



คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



ชีววิทยา เล่ม ๒

๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑





คู่มือครู

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

วิชา

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พ.ศ. ๒๕๖๑

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และยังมี บทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการ ใช้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ โดยครอบคลุมเนื้อหา ตามสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตาม หลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระชีววิทยา โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการ เรียนรู้และสาระการเรียนรู้ เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติม มีแนวการจัดการเรียนรู้ การให้ ความรู้เพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยคำตอบ และแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการ พัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากร ทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(นางพรพรรณ ไวทยางกูร)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปโรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูผู้สอนสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่างๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนเกี่ยวกับ หลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของดีเอ็นเอ การจำลองดีเอ็นเอ กระบวนการสังเคราะห์โปรตีน การเกิดมิวเทชัน หลักการและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วยจะขอบคุณยิ่ง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิตและการทำงาน นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาวิธีคิดและทำให้มีทักษะที่จำเป็นในการตัดสินใจและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่สำคัญตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มีดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะ ขอบเขต และข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสารและความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์ และสภาพแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อนำความรู้ความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า
7. เพื่อให้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ รวมทั้งมีสื่อการเรียนรู้ในเว็บไซต์ที่สามารถเชื่อมโยงได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท ซึ่งครูสามารถใช้ส่งเสริมให้นักเรียนบรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตามครูอาจพิจารณาดัดแปลงหรือเพิ่มเติมการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียนได้ โดยคู่มือครูมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะ ซึ่งช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับ

ผลการเรียนรู้ได้ ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียน รวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และ จิตวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละผลการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

ผังมโนทัศน์

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ครูเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน

สาระสำคัญ

การสรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของเนื้อหาในบทเรียนนั้น

เวลาที่ใช้

เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูอาจดำเนินการตามข้อเสนอแนะที่กำหนดไว้ หรืออาจปรับเวลาได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความที่เป็นความรู้พื้นฐาน ซึ่งนักเรียนควรมีก่อนที่จะเรียนรู้เนื้อหาในบทเรียนนั้น

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามและเฉลยที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียนตามที่ระบุไว้ในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูได้ตรวจสอบและทบทวนความรู้ให้นักเรียนก่อนเริ่มกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้ออาจมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

- จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้ หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งสามารถวัดและประเมินผลได้ ทั้งนี้ครูอาจตั้งจุดประสงค์เพิ่มเติมจากที่ให้ไว้ ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- **ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น**
เนื้อหาที่นักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย ซึ่งเป็นข้อมูลให้ครูได้พึงระวังหรืออาจเน้นย้ำในประเด็นดังกล่าวเพื่อป้องกันการเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้
- **แนวการจัดการเรียนรู้**
แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการนำเสนอทั้งในส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ทั้งนี้ครูอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรมจากที่ให้ไว้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งควรให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง โดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียดดังนี้

- **จุดประสงค์**
เป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมนั้น
- **วัสดุและอุปกรณ์**
รายการวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารเคมี ที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งครูควรเตรียมให้เพียงพอสำหรับการจัดกิจกรรม
- **การเตรียมล่วงหน้า**
ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้าสำหรับการจัดกิจกรรม เช่น การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต
- **ข้อเสนอแนะสำหรับครู**
ข้อมูลที่ให้ครูแจ้งต่อนักเรียนให้ทราบถึงข้อควรระวัง ข้อควรปฏิบัติ หรือข้อมูลเพิ่มเติมในการทำกิจกรรมนั้นๆ
- **ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม**
ตัวอย่างผลการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่นๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน
- **อภิปรายและสรุปผล**
ตัวอย่างข้อมูลที่ควรได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการ รวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้อาจมี**ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู** เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้นๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรนำไปเพิ่มเติมให้นักเรียน เพราะเป็นส่วนที่เสริมจากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

แนวทางการวัดและประเมินผล

แนวทางการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่างๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูอาจเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้แล้ว ดัดแปลงจากเครื่องมือที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว หรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างของเครื่องมือวัดและประเมินผล ดังภาคผนวก

เฉลยคำถาม

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนและคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบการตอบคำถามของนักเรียน

- เฉลยคำถามระหว่างเรียน

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนซึ่งมีทั้งคำถามชวนคิด ตรวจสอบความเข้าใจ และแบบฝึกหัด ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามระหว่างเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่ เพื่อให้สามารถปรับการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป

- เฉลยคำถามท้ายบทเรียน

แนวคำตอบของแบบฝึกหัดท้ายบท ซึ่งครูควรใช้คำถามท้ายบทเรียนเพื่อตรวจสอบว่า หลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใด เพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้

สารบัญ		บทที่ 4 - 7
บทที่	เนื้อหา	หน้า
4 โครโมโซม และสารพันธุกรรม	4 โครโมโซมและสารพันธุกรรม	1
	ผลการเรียนรู้	1
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	2
	ผังมโนทัศน์	4
	สาระสำคัญ	5
	เวลาที่ใช้	5
	ความรู้ก่อนเรียน	6
	4.1 โครโมโซม	8
	4.2 สารพันธุกรรม	10
	4.3 สมบัติของสารพันธุกรรม	17
	4.4 มิวเทชัน	29
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	38
5 การถ่ายทอดลักษณะ ทางพันธุกรรม	5 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม	45
	ผลการเรียนรู้	45
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	46
	ผังมโนทัศน์	49
	สาระสำคัญ	50
	เวลาที่ใช้	51
	ความรู้ก่อนเรียน	51
	5.1 การศึกษาพันธุกรรมของเมนเดล	53
	5.2 ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล	83
	5.3 ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน	116
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	119

6

เทคโนโลยี
ทางดีเอ็นเอ

6	เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	135
	ผลการเรียนรู้	135
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	136
	ผังมโนทัศน์	138
	สาระสำคัญ	139
	เวลาที่ใช้	140
	ความรู้ก่อนเรียน	140
6.1	พันธุวิศวกรรมและการโคลนนิ่ง	144
6.2	การหาขนาดของ DNA และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์	157
6.3	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	161
6.4	เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอกับความปลอดภัยทางชีวภาพ และชีวจริยธรรม	177
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6	183

7

วิวัฒนาการ

7	วิวัฒนาการ	191
	ผลการเรียนรู้	191
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	192
	ผังมโนทัศน์	195
	สาระสำคัญ	196
	เวลาที่ใช้	196
	ความรู้ก่อนเรียน	196
7.1	หลักฐานและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	199
7.2	แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	212
7.3	พันธุศาสตร์ประชากร	219
7.4	ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล	227
7.5	กำเนิดสปีชีส์	232
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7	240

สารบัญ	บทที่ 4 - 7
บทที่	เนื้อหา
ภาคผนวก	ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล 254
	บรรณานุกรม 266
	คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู 268

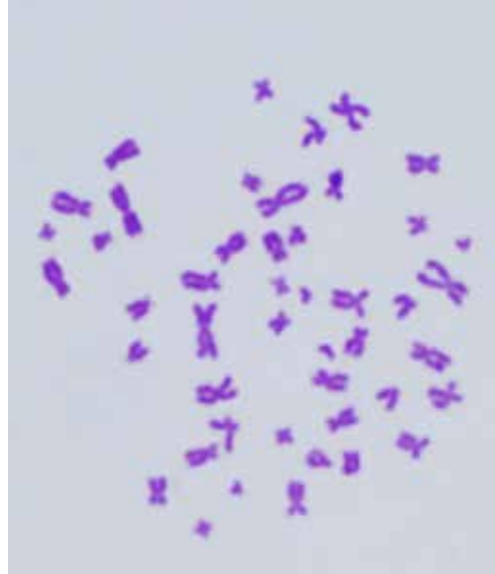
บทที่

| โครโมโซมและสารพันธุกรรม

4

ipst.me/7694

โครโมโซมของกบนา



โครโมโซมของมนุษย์

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายสมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA และสรุปการจำลองดีเอ็นเอ
2. อธิบายและระบุขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและหน้าที่ของ DNA และ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
3. สืบค้นข้อมูลและอธิบายการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม สาเหตุการเกิดมิวเทชัน รวมทั้งยกตัวอย่างโรคและกลุ่มอาการที่เป็นผลของการเกิดมิวเทชัน

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายสมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA และสรุปการจำลองดีเอ็นเอ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบของโครโมโซม และหลักการจำแนกโครโมโซม
2. อภิปรายเกี่ยวกับการค้นพบสารพันธุกรรมโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์
3. อธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA
4. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับ DNA แต่ละโมเลกุลมีจำนวนและลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกัน
5. อธิบายและสรุปความสัมพันธ์ในเชิงโครงสร้างระหว่างยีน DNA และโครโมโซม
6. อธิบายสมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม
7. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปกระบวนการจำลองดีเอ็นเอ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ

ผลการเรียนรู้

- อธิบายและระบุขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและหน้าที่ของ DNA และ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน

จุดประสงค์การเรียนรู้

- สืบค้นข้อมูล อธิบาย และระบุขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
- อธิบายหน้าที่ของ DNA และ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
- เปรียบเทียบการสังเคราะห์โปรตีนของโพรแคริโอตและยูแคริโอต

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
- การสังเกต - การลงความเห็นจากข้อมูล	- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ - การสื่อสาร	การใช้วิจารณ์ญาณ

ผลการเรียนรู้

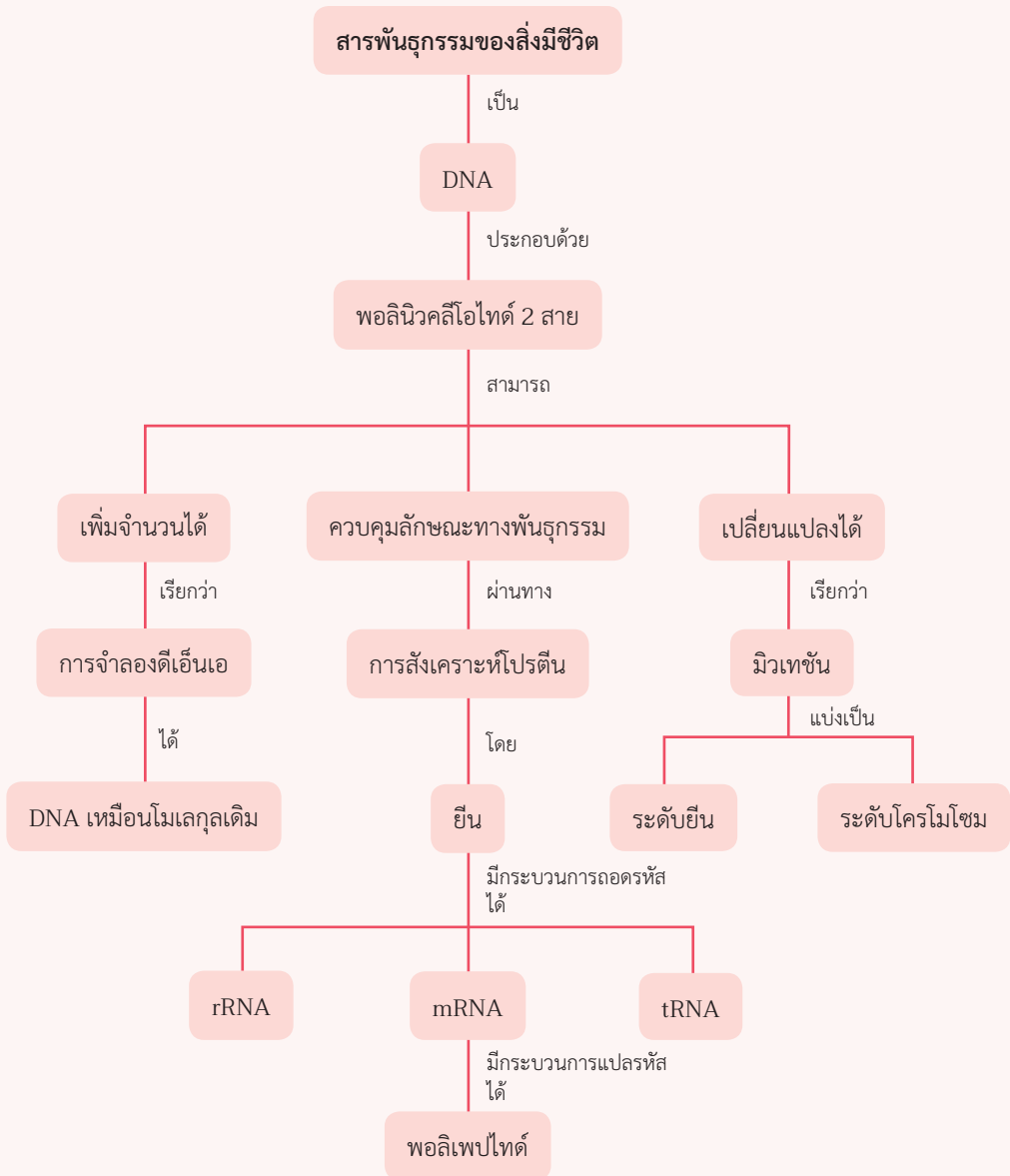
- สืบค้นข้อมูลและอธิบายการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม สาเหตุการเกิดมิวเทชัน รวมทั้งยกตัวอย่างโรคและกลุ่มอาการที่เป็นผลของการเกิดมิวเทชัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

- สืบค้นข้อมูล อธิบาย และอธิบายสาเหตุ และผลของการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม
- ยกตัวอย่างโรคและกลุ่มอาการที่เป็นผลของการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
- การสังเกต - การลงความเห็นจากข้อมูล	การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	- ความอยากรู้อยากเห็น - การใช้วิจารณ์ญาณ

ผังมโนทัศน์บทที่ 4



สาระสำคัญ

โครโมโซมของสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีจำนวนคงที่ โครโมโซมประกอบด้วย DNA และโปรตีน นักวิทยาศาสตร์ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ค้นพบว่า DNA เป็นสารพันธุกรรม ส่วนของ DNA ที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตเรียกว่า ยีน และสารพันธุกรรมทั้งหมดที่อยู่ในสิ่งมีชีวิต เรียกว่า จีโนม DNA เป็นพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายบิดเป็นเกลียวเวียนขวา แต่ละสายเกิดจากนิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสายยาว นิวคลีโอไทด์ประกอบด้วยน้ำตาลดีออกซีไรโบส หมู่ฟอสเฟต และไนโตรจีนัสเบส ซึ่ง DNA แต่ละโมเลกุลมีจำนวนและลำดับของนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกัน

DNA สามารถจำลองตัวเองขึ้นได้ใหม่โดยมีโครงสร้างทางเคมีและลำดับของนิวคลีโอไทด์เหมือนเดิม DNA ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน โดยถ่ายทอดรหัสพันธุกรรมให้แก่ mRNA เพื่อกำหนดลำดับของกรดอะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน โปรตีนเกี่ยวข้องกับการแสดงลักษณะทางพันธุกรรม เช่น เอนไซม์ที่ทำงานในกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิต

มิวเทชันเป็นการเปลี่ยนแปลงของลำดับหรือจำนวนนิวคลีโอไทด์ใน DNA ซึ่งอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของโปรตีนซึ่งเกิดได้ทั้งในระดับยีนและระดับโครโมโซม มิวเทชันสามารถเกิดได้ทั้งเซลล์ร่างกายและเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งมิวเทชันที่เกิดในเซลล์สืบพันธุ์สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ จึงอาจก่อให้เกิดลักษณะใหม่ในสิ่งมีชีวิตรุ่นต่อไป มนุษย์ประยุกต์ใช้การเกิดมิวเทชันในการชักนำให้สิ่งมีชีวิตมีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิมโดยใช้รังสีและสารเคมีต่าง ๆ

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 18 ชั่วโมง

4.1	โครโมโซม	1.0	ชั่วโมง
4.2	สารพันธุกรรม	4.0	ชั่วโมง
4.3	สมบัติของสารพันธุกรรม		
4.3.1	การจำลองดีเอ็นเอ	3.0	ชั่วโมง
4.3.2	การควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของ DNA	6.0	ชั่วโมง
4.4	มิวเทชัน	4.0	ชั่วโมง
	รวม	18.0	ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

- ☒ 1. โครโมโซมของเซลล์ยูแคริโอตประกอบด้วย DNA และโปรตีน
- ☒ 2. ซิสเตอร์โครมาทิดยึดติดกันที่ตำแหน่งเซนโทรเมียร์
- ☒ 3. สิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซมของเซลล์ร่างกายมีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เรียกว่า ดิพลอยด์
- ☐ 4. ฮอมอโลกัสโครโมโซมแยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส II
- ☒ 5. กรดนิวคลีอิกทำหน้าที่เก็บและถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรม
- ☒ 6. นิวคลีโอไทด์ประกอบด้วย น้ำตาลเพนโทส ไนโตรจีนัสเบส และหมู่ฟอสเฟต
- ☒ 7. นิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์เป็นสายยาว เรียกว่า พอลินิวคลีโอไทด์
- ☒ 8. DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย
- ☐ 9. การเปลี่ยนแปลงของยีนหรือโครโมโซมไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนเรื่องโครโมโซมจากที่ได้เรียนมาแล้วเรื่องการแบ่งเซลล์ โดยมีแนวคำถามดังนี้

- ในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสจะเห็นโครโมโซมตลอดทุกระยะของวัฏจักรของเซลล์หรือไม่ อย่างไร
- โครโมโซมจะเห็นชัดเจนในการแบ่งเซลล์ระยะใด

นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปว่า ในเซลล์ยูแคริโอตจะเห็นโครโมโซมได้ในบางระยะของการแบ่งเซลล์เท่านั้น ในระยะอินเตอร์เฟสจะเห็นโครมาทินอยู่ในนิวเคลียส เมื่อมีการแบ่งนิวเคลียสในระยะโพรเฟส โครมาทินจึงมีการขดตัวทำให้หนาขึ้นและสั้นลงเห็นเป็นแท่งโครโมโซม ระยะที่เห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดคือระยะเมทาเฟส

ครูให้นักเรียนศึกษารูปนำบทในหนังสือเรียนซึ่งแสดงจำนวนและรูปร่างลักษณะของโครโมโซมในสิ่งมีชีวิต 2 สปีชีส์ คือ กบนาและมนุษย์ แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยมีแนวคำถามดังนี้

- สิ่งมีชีวิต 2 สปีชีส์นี้มีจำนวนโครโมโซมเท่ากันหรือไม่ และมีรูปร่างลักษณะของโครโมโซมแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร และใช้อะไรเป็นเกณฑ์
- รูปร่างลักษณะของโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

นักเรียนควรสรุปได้ว่า สิ่งมีชีวิต 2 สปีชีส์นี้มีจำนวนโครโมโซมที่ต่างกัน คือ กบนามี 26 โครโมโซม ส่วนมนุษย์มี 46 โครโมโซม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ พบว่าโครโมโซมของกบนาและมนุษย์มีรูปร่างลักษณะทั้งที่คล้ายกันและแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตหนึ่ง ๆ พบว่ามีขนาดและรูปร่างลักษณะที่คล้ายกันและแตกต่างกันด้วย”

4.1 โครโมโซม

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบของโครโมโซม และหลักการจำแนกโครโมโซม

แนวการจัดการเรียนรู้

4.1.1 รูปร่าง ลักษณะ และจำนวนโครโมโซม

หลังจากอภิปรายเกี่ยวกับรูปร่างบทแล้ว ใช้คำถามถามนักเรียน ว่า

- ถ้าจัดเรียงโครโมโซมโดยพิจารณาจากขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ จะจัดเรียงได้อย่างไร

คำตอบของนักเรียนอาจจะหลากหลาย จากนั้นให้นักเรียนศึกษารูป 4.1 แคริโอไทป์ของกบนา และมนุษย์ ซึ่งนักเรียนควรจะสังเกตเห็นว่า เมื่อนำโครโมโซมมาเรียงแล้วจะเรียงได้เป็นคู่ๆ แต่ละคู่มีรูปร่างลักษณะที่เหมือนกัน ซึ่งก็คือ ฮอมอโลกัสโครโมโซม จากนั้นจึงสรุปได้ว่า สามารถจำแนกโครโมโซมได้ตามขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ โดยโครโมโซมอาจมีรูปร่างได้หลายแบบ ดังรูป 4.2

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเรื่องตำแหน่งของเซนโทรเมียร์บนโครโมโซม ว่า เซนโทรเมียร์อาจอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ เช่น อยู่กึ่งกลางโครโมโซมทำให้แขน 2 ข้างยาวใกล้เคียงกัน อยู่ค่อนมาทางด้านใดด้านหนึ่งของโครโมโซมทำให้แขน 2 ข้างยาวไม่เท่ากัน และอยู่ใกล้ส่วนปลายโครโมโซม

ครูให้นักเรียนศึกษาตาราง 4.1 ในหนังสือเรียนและร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่างๆ โดยมีแนวคำถามดังนี้

- สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันจะมีจำนวนโครโมโซมต่างกันเสมอหรือไม่ และสามารถใช้จำนวนโครโมโซมในการระบุสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตได้หรือไม่ อย่างไร

จากการศึกษาตาราง 4.1 พบว่า โดยทั่วไปแล้ว สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีจำนวนโครโมโซมไม่เท่ากัน แต่สิ่งมีชีวิตบางสปีชีส์มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน เช่น สุนัขและไก่มีจำนวนโครโมโซม 78 โครโมโซมเท่ากัน กะหล่ำปลีและมะละกอมีจำนวนโครโมโซม 18 โครโมโซมเท่ากัน และให้นักเรียนตอบคำถามท้ายตาราง ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

- ?** นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้จำนวนโครโมโซมในการระบุปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
-  จำนวนโครโมโซมไม่สามารถใช้ระบุปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตได้ เพราะสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันอาจมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันได้ เช่น สุนัข ม้า เชื้อเห็ด และข้าว มีจำนวนโครโมโซม 24 โครโมโซมเท่ากัน
- ?** ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในตาราง 4.1 มีจำนวนโครโมโซมที่เป็นเลขคู่เพราะเหตุใด
-  ข้อมูลในตารางเป็นจำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่เป็นดิพลอยด์ ($2n$) สิ่งมีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ได้รับโครโมโซมชุดหนึ่งมาจากพ่อและอีกชุดหนึ่งมาจากแม่ จำนวนโครโมโซมจึงเป็นเลขคู่เสมอ

จากนั้นครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมเพื่อขยายความรู้ให้แก่นักเรียนว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์จะมีจำนวนโครโมโซมที่แน่นอน และโครโมโซมแต่ละแท่งจะมีขนาดและรูปร่างคงที่

4.1.2 ส่วนประกอบของโครโมโซม

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบของโครโมโซม แล้วศึกษาส่วนประกอบของโครโมโซมของยูแคริโอตจากรูป 4.3 ในหนังสือเรียน ครูตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยมีแนวคำถามดังนี้

- โครโมโซมของยูแคริโอตมีส่วนประกอบอะไรบ้าง
- นิวคลีโอโซมคืออะไร

จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า โครโมโซมของยูแคริโอตประกอบด้วย DNA 1 ใน 3 และอีก 2 ใน 3 เป็นโปรตีน ได้แก่ ฮิสโตนและนอนฮิสโตนโปรตีน

นิวคลีโอโซมเป็นโครงสร้างของโครโมโซมของยูแคริโอต ประกอบด้วยฮิสโตน 8 โมเลกุล มี DNA ยาวประมาณ 150 คู่เบสพันรอบเป็นเกลียว แต่ละนิวคลีโอโซมเชื่อมกันด้วย DNA ความยาวประมาณ 50 คู่เบส โครโมโซมของยูแคริโอตจะมีลักษณะเป็นแท่ง แต่โครโมโซมของโพรแคริโอตจะมีลักษณะเป็นวงและมีขนาดเล็ก

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลในตาราง 4.2 เกี่ยวกับขนาดของจีโนม จำนวนโครโมโซม และจำนวนยีนโดยประมาณของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีขนาดของจีโนมแตกต่างกัน สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น ยีสต์และแบคทีเรียจะมีขนาดของจีโนมค่อนข้างเล็ก และให้นักเรียนตอบคำถามท้ายตาราง ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? ยูแคริโอตเซลล์เดียวและหลายเซลล์มีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

 มีความแตกต่างกัน คือยูแคริโอตเซลล์เดียวมีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนน้อยกว่ายูแคริโอตหลายเซลล์

? เพราะเหตุใดมนุษย์จึงมีจำนวนยีนมากกว่ายีสต์และแบคทีเรีย

 มนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความซับซ้อนจึงต้องการโปรตีนเพื่อใช้เป็นโปรตีนโครงสร้างและเอนไซม์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ มากกว่า

4.2 สารพันธุกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อภิปรายเกี่ยวกับการค้นพบสารพันธุกรรมโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์
2. อธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA
3. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับ DNA แต่ละโมเลกุลมีจำนวนและลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกัน
4. อธิบายและสรุปความสัมพันธ์ในเชิงโครงสร้างระหว่างยีน DNA และโครโมโซม

แนวการจัดการเรียนรู้

4.2.1 การค้นพบสารพันธุกรรม

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยเชื่อมโยงกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ในบทที่ 1 เรื่องการศึกษาทางชีววิทยา โดยถามความรู้เดิมที่นักเรียนเคยเรียนมาตอนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นเกี่ยวกับการศึกษาของเมนเดล และตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยมีแนวคำถามดังนี้

- นักเรียนรู้จักนักวิทยาศาสตร์อื่นอีกหรือไม่ที่ศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ และนักวิทยาศาสตร์เหล่านั้นใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์อย่างไรบ้าง

นักเรียนอาจจะตอบได้หรือไม่ ขึ้นกับความรู้เดิมของนักเรียน จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการค้นพบสารพันธุกรรมจากหนังสือเรียนหรือแหล่งเรียนรู้อื่น ๆ นักเรียนอาจสรุปได้ว่า มีนักวิทยาศาสตร์หลายคนศึกษาเกี่ยวกับสารพันธุกรรมโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ทำการทดลองและหาข้อสรุปในข้อสงสัยต่าง ๆ และการค้นคว้าทดลองของนักวิทยาศาสตร์เหล่านั้นมีดังนี้

ฟรีดริช มีเชอร์ พบว่า ในนิวเคลียสมีสารที่มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ คือ กรดนิวคลีอิก

รอเบิร์ต ฮอยล์เกน พบว่า DNA อยู่ที่โครโมโซมจากการศึกษาการย้อมโครโมโซมด้วยสีฟuchsine เฟรเดอริก กริฟฟิท พบว่าเมื่อนำแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้เกิดโรคปอดบวม ไปทำให้ตายด้วยความร้อน แล้วนำไปใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อพร้อมทั้งใส่แบคทีเรียสายพันธุ์ R ที่ไม่ทำให้เกิดโรคปอดบวมลงไปด้วย พบว่ามีสารบางอย่างจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ไปทำให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R กลายเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคและสามารถถ่ายทอดลักษณะนี้ไปสู่แบคทีเรียรุ่นต่อไปได้

ครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน โดยศึกษาจากรูป 4.5 ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

-  ถ้าทำการทดลองเฉพาะชุดการทดลองที่ 3 และ 4 โดยที่ไม่มีชุดการทดลองที่ 1 และ 2 จะสามารถสรุปผลได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
-  ไม่สามารถสรุปผลการทดลองได้ เพราะชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เป็นชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 1 เป็น negative control และชุดการทดลองที่ 2 เป็น positive control)
-  ถ้านำเลือดของหนูจากชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มาตรวจ จะพบแบคทีเรียหรือไม่ อย่างไร
-  พบแบคทีเรียในเลือดของหนูที่ตายของชุดการทดลองที่ 2 และไม่พบแบคทีเรียในหนูของชุดการทดลองที่ 3
-  ในชุดการทดลองที่ 4 พบทั้งแบคทีเรียสายพันธุ์ S และสายพันธุ์ R ในเลือดของหนูที่ตายแบคทีเรียสายพันธุ์ใดที่ทำให้หนูตาย เพราะเหตุใด
-  เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ฉีดแบคทีเรียสายพันธุ์ R ที่มีชีวิตให้หนู แล้วหนูไม่ตาย ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ฉีดแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่มีชีวิตให้หนู แล้วหนูตาย ดังนั้นในชุดการทดลองที่ 4 ที่พบทั้งแบคทีเรียสายพันธุ์ S และสายพันธุ์ R แบคทีเรียที่ทำให้หนูตายจึงควรเป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S เหมือนกับชุดการทดลองที่ 2

กริฟฟิทยังไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่า สารจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อนสามารถทำให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R เปลี่ยนแปลงเป็นสายพันธุ์ S คือสารอะไร จากนั้นนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน 3 คน คือ ออสวอลด์ แอเวอร์รี่ คอลิน แมคลอยด์ และแมคลิน แมคคาร์ที ทำการทดลองต่อจากกริฟฟิท เพื่อตรวจสอบว่า DNA RNA หรือโปรตีนเป็นสารที่เปลี่ยนพันธุกรรมของแบคทีเรียจากสายพันธุ์ R ให้เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 4.6 การทดลองของแอเวอรี แมคลอยด์ และแมคคาร์ที ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า DNA เป็นสารที่สามารถเปลี่ยนพันธุกรรมของแบคทีเรียสายพันธุ์ R ให้เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S

ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมว่า การที่แอเวอรีทดลองโดยใช้เอนไซม์ต่างๆ ได้แก่ DNase RNase และ โปรตีเอสลงไปรวมกับสารสกัดจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S เพื่อให้แน่ใจว่า เมื่อ DNA ถูกย่อยสลายโดย DNase จะไม่มี DNA ที่จะไปเปลี่ยนแบคทีเรียสายพันธุ์ R ให้เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S ได้ ส่วนหลอดอื่นๆ DNA ไม่ถูกย่อยสลายจะพบแบคทีเรียสายพันธุ์ S นอกจากนี้มีนักวิทยาศาสตร์บางคนคิดว่าโปรตีนอาจเป็นสารพันธุกรรม ดังนั้นการทดลองของแอเวอรีที่เติมโปรตีเอส เมื่อย่อยสลายโปรตีนแล้วพบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ S เกิดขึ้น ซึ่งยืนยันว่าสารพันธุกรรมคือ DNA ไม่ใช่โปรตีน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ถ้าเพิ่มชุดการทดลอง จ. ที่เติมเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด คือ DNase RNase และโปรตีเอส ลงในหลอดทดลองที่มีแบคทีเรียสายพันธุ์ R แล้วนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อตรวจสอบจะพบแบคทีเรียสายพันธุ์ใด เพราะเหตุใด



ชุดการทดลอง จ. ควรจะพบแบคทีเรียสายพันธุ์ R เนื่องจาก DNase ย่อย DNA ของแบคทีเรียสายพันธุ์ S จึงไม่เหลือ DNA ที่จะเปลี่ยนพันธุกรรมของแบคทีเรียจากสายพันธุ์ R ให้เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S



ชวนคิด



DNA ส่วนที่ไม่ใช่ยีน ทำหน้าที่อะไรบ้าง และมนุษย์สามารถใช้ประโยชน์จาก DNA ส่วนนี้ได้หรือไม่ อย่างไร



DNA ส่วนที่ไม่ใช่ยีนมีลำดับนิวคลีโอไทด์บางส่วนทำหน้าที่ควบคุมการแสดงออกของยีน บางส่วนทำหน้าที่เป็นจุดเริ่มต้นของการจำลองตัวเองของ DNA บางส่วนเป็นเซนโทรเมียร์ บางส่วนอยู่ที่ปลายโครโมโซมเรียกว่า เทโลเมียร์ อย่างไรก็ตาม DNA ส่วนที่ไม่ใช่ยีนส่วนใหญ่ยังไม่ทราบว่าจะทำหน้าที่อะไร มนุษย์ใช้ประโยชน์ของ DNA ส่วนที่ไม่ใช่ยีนในด้านนิติวิทยาศาสตร์ เช่น การระบุตัวบุคคลเพื่อตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือดหรือคดีความต่าง ๆ ซึ่งจะได้ศึกษาในบทเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอต่อไป

4.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของ DNA

ครูทบทวนความรู้เดิมเรื่องกรดนิวคลีอิกจากที่เรียนมาแล้วในบทที่ 2 และให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบของ DNA โดยใช้รูป 4.7 ในหนังสือเรียน แสดงโครงสร้างของนิวคลีโอไทด์จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- ไนโตรจีนัสเบสประกอบด้วยอะตอมของธาตุใดบ้าง จำแนกได้เป็นกี่ประเภท และแต่ละประเภทมีความเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปรายจากรูป 4.7 ในหนังสือเรียน นักเรียนควรบอกได้ว่า ไนโตรจีนัสเบสประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงที่มีธาตุ C และ N เป็นองค์ประกอบ จากนั้นครูควรให้นักเรียนเปรียบเทียบความแตกต่างของไนโตรจีนัสเบส ซึ่งจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ เบสพิวรีน มี 2 ชนิด คือ อะดีนีน (A) และกวานีน (G) ส่วนเบสไพริมิดีน มี 2 ชนิด คือ ไซโทซีน (C) และไทมีน (T) และตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้



นิวคลีโอไทด์แต่ละชนิดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



นิวคลีโอไทด์แต่ละชนิดมีน้ำตาลและหมู่ฟอสเฟตเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ชนิดของเบส โดยอาจมีเบสเป็น A G C หรือ T

จากนั้นครูทบทวนเรื่องการเชื่อมต่อของนิวคลีโอไทด์เป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ที่เรียนมาแล้วในเรื่องกรดนิวคลีอิก และศึกษารูป 4.8 ก. นักเรียนควรสรุปได้ว่า แต่ละนิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วยหมู่ฟอสเฟต หมู่ฟอสเฟตของนิวคลีโอไทด์หนึ่งจะเชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลเพนโทสของอีกนิวคลีโอไทด์หนึ่ง แต่ละสายพอลินิวคลีโอไทด์แตกต่างกันที่จำนวนและลำดับของนิวคลีโอไทด์ที่มาเชื่อมต่อกัน

ครูควรเน้นให้นักเรียนสังเกตรูป 4.8 ข. สายพอลินิวคลีโอไทด์ ซึ่งปลายด้านหนึ่งของนิวคลีโอไทด์จะมีคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ของน้ำตาลดีออกซีไรโบสจะยึดกับหมู่ฟอสเฟต เรียกปลายด้านนี้ว่าปลาย 5' และอีกปลายหนึ่งเป็นคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของน้ำตาลดีออกซีไรโบสของนิวคลีโอไทด์ที่อยู่ปลายสุดที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เรียกปลายด้านนี้ว่า ปลาย 3'

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตาราง 4.3 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นการทดลองของเออร์วิน ชาร์กฮอฟฟ์ แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้

- ?** ปริมาณเบส 4 ชนิด ใน DNA ของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่าง ๆ สัมพันธ์กันอย่างไร
-  เบส A มีปริมาณใกล้เคียงกับเบส T และเบส G มีปริมาณใกล้เคียงกับเบส C นั่นคือ A : T มีค่าใกล้เคียง 1:1 และ G : C มีค่าใกล้เคียง 1:1
- ?** อัตราส่วนของ A + T และ G + C ในโมเลกุลของ DNA ของสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์ มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่
-  อัตราส่วนของ A + T และ G + C ในสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีค่าไม่ใกล้เคียงกัน
- ?** อัตราส่วนของ A + G และ T + C ในโมเลกุลของ DNA ของสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์ มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่
-  อัตราส่วนของ A + G และ T + C ในสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีค่าใกล้เคียงกัน

จากข้อมูลในตาราง สามารถสรุปได้ว่า ใน DNA ของสิ่งมีชีวิตทุกสปีชีส์ เบส A มีปริมาณใกล้เคียงกับเบส T ส่วน เบส G มีปริมาณใกล้เคียงกับเบส C และปริมาณของ A + T จะไม่เท่ากับปริมาณของเบส G + C และปริมาณของ A + G จะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของ T + C

4.2.3 โครงสร้างของ DNA

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยเชื่อมโยงการทดลองของชาร์กาฟฟ์ จากผลการทดลองจะเห็นว่า อัตราส่วนระหว่างเบส A : T และ G : C คงที่เสมอ เป็นไปได้หรือไม่ว่าเบส A จับคู่กับ T และเบส G จับคู่กับ C ถ้าเป็นดังที่กล่าวแล้วโครงสร้างของ DNA น่าจะเป็นอย่างไร

หรือครูอาจใช้แนวคำถามดังนี้

- จากอัตราส่วนระหว่างเบสของโมเลกุลของ DNA ถ้าหากนำมาเขียนเป็นโครงสร้างโมเลกุลของ DNA นักเรียนทราบหรือไม่ว่าโมเลกุลของ DNA จะมีโครงสร้างเป็นอย่างไร
- พอลินิวคลีโอไทด์ประกอบกันเป็น DNA ได้อย่างไร

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน ซึ่งคำตอบของนักเรียนอาจจะยังไม่ได้ข้อสรุปที่ถูกต้อง ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและวิเคราะห์โครงสร้างของ DNA จากการศึกษาค้นคว้าของแฟรงกลิน กอสลิง และวิลคินส์ เพื่อหาข้อสรุปที่ถูกต้องเกี่ยวกับโครงสร้างของ DNA

จากการสืบค้นข้อมูล นักเรียนควรจะตอบได้ว่า มีการศึกษาโครงสร้างของ DNA โดยใช้เทคนิค เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันด้วยการฉายรังสีเอกซ์ผ่านเส้นใย DNA พบว่าจะเกิดการหักเหของรังสีเอกซ์ทำให้เกิดภาพบนแผ่นฟิล์ม เมื่อนำมาแปลข้อมูลทำให้ทราบว่า

1. DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์มากกว่า 1 สาย
2. พอลินิวคลีโอไทด์มีลักษณะเป็นเกลียว
3. เกลียวของพอลินิวคลีโอไทด์แต่ละรอบมีระยะห่างเท่ากัน

วอตสันและคริกได้เสนอแบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของ DNA โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลองของชาร์กาฟฟ์ พร้อมด้วยภาพจากเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ DNA ทำให้ทราบว่า พันธะเคมีที่เชื่อมพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายให้ติดกันเป็นพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างคู่เบส ซึ่งพันธะนี้สามารถยึดสายพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายให้เข้าคู่กันได้ จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารูป 4.10 ในหนังสือเรียนประกอบและตอบคำถาม ซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้



แรงยึดระหว่างคู่เบส A กับ T และคู่เบส G กับ C คูใดมีความแข็งแรงมากกว่ากัน เพราะเหตุใด
 แรงยึดระหว่างเบส G กับ C แข็งแรงมากกว่าแรงยึดระหว่างเบส A กับ T เพราะเบส G กับ C ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ แต่เบส A กับ T ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ



ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง DNA และศึกษารูป 4.11 ซึ่งนักเรียนควรอธิบายได้ว่า วอตสันและคริกได้สร้างแบบจำลองโมเลกุลของ DNA แล้วเสนอโครงสร้างโมเลกุลของ DNA ว่า ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย เบสในแต่ละสายของ DNA ที่เป็นเบสคู่สมยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จากแนวคิดดังกล่าวนี้สรุปได้ว่า

1. DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย โดยแต่ละสายมีทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' เรียงสลับทิศทางกัน
2. มีการจับคู่อย่างจำเพาะเจาะจงคือ เบส A จับกับเบส T และเบส G จับกับเบส C
3. เบส A ยึดกับเบส T ด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ เบส G ยึดกับเบส C ด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ เปรียบคล้ายกับขั้นบันได
4. พอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย พันกันบิดเป็นเกลียวคู่เวียนขวา คล้ายบันไดเวียน โดยมีน้ำตาลดีออกซีไรโบสจับกับหมู่ฟอสเฟตคล้ายเป็นราวบันได
5. เกลียวแต่ละรอบห่างเท่ากัน 3.4 nm และคู่เบสแต่ละคู่ห่างกัน 0.34 nm ระยะระหว่างคู่เบสแต่ละคู่เปรียบคล้ายกับระยะระหว่างขั้นบันได และพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายห่างกัน 2 nm

จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 4.1 แบบจำลอง DNA เพื่อให้นักเรียนเข้าใจโครงสร้างของ DNA โดยการสร้างแบบจำลอง



กิจกรรม 4.1 แบบจำลอง DNA

จุดประสงค์

- 1. สร้างแบบจำลอง DNA จากวัสดุต่างๆ
- 2. เปรียบเทียบจำนวนนิวคลีโอไทด์และชนิดของเบสจากแบบจำลอง DNA

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

กระดาษ ลูกปัด ผัก ผลไม้ หรือวัสดุอื่นๆ ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
กระดาษ ลูกปัด ผัก ผลไม้ หรือวัสดุอื่นๆ ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น ที่มีสีแตกต่างกันชัดเจน 4 สี เพื่อแทนเบส 4 ชนิด	เตรียมวัสดุต่างๆ สำหรับนำมาสร้างแบบจำลอง DNA ที่มี 15-20 คู่เบส

วิธีการทำกิจกรรม

ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำกิจกรรมและนำเสนอแบบจำลอง และเปรียบเทียบจำนวนนิวคลีโอไทด์และชนิดของเบสที่เหมือนหรือแตกต่างกันของแต่ละกลุ่ม

อภิปรายและสรุปผล

จากการทำกิจกรรมพบว่าจำนวนนิวคลีโอไทด์ของแต่ละกลุ่มอาจจะเท่าหรือไม่เท่ากันก็ได้ และมีการจัดเรียงตัวของเบสในแต่ละพอลินิวคลีโอไทด์มีความหลากหลาย ถ้า DNA ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 2 คู่เบสเรียงต่อกัน จะสามารถจัดเรียงให้แตกต่างกันได้ 16 แบบ (4^2) ดังนั้นถ้า DNA ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์จำนวนมาก จะมีรูปแบบของการเรียงลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกันมากด้วย

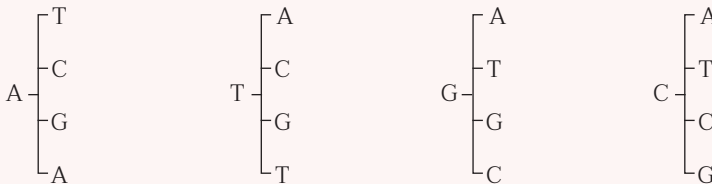
เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? แบบจำลอง DNA ของแต่ละกลุ่มมีจำนวนนิวคลีโอไทด์เท่ากันหรือแตกต่างกันอย่างไร และถ้ามีจำนวนนิวคลีโอไทด์เท่ากัน การจัดเรียงตัวของเบสในแต่ละพอลินิวคลีโอไทด์ใน DNA จะเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร

 คำตอบขึ้นอยู่กับจำนวนนิวคลีโอไทด์ที่แต่ละกลุ่มกำหนดขึ้น ซึ่งอาจจะมีเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ และถ้ามีบางกลุ่มเท่ากัน เมื่อพิจารณาการจัดเรียงตัวของเบสในแต่ละพอลินิวคลีโอไทด์แล้วอาจจะแตกต่างกัน

? ถ้า DNA สายเดี่ยวประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 2 โมเลกุลเรียงต่อกัน จะสามารถจัดเรียงเบสให้แตกต่างกันได้อย่างไรบ้าง

 DNA สายเดี่ยวที่มีเบส A T C G จะมีการจัดเรียงแตกต่างกัน 16 แบบ ดังนี้



4.3 สมบัติของสารพันธุกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม
2. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปกระบวนการจำลองดีเอ็นเอ
3. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และระบุขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
4. อธิบายหน้าที่ของ DNA และ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
5. เปรียบเทียบการสังเคราะห์โปรตีนของโพรแคริโอตและยูแคริโอต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้รูปแสดงโครงสร้างของ DNA แล้วใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า โครงสร้างของ DNA มีความเหมาะสมอย่างไร จึงจะสามารถถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลานได้ และร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับสมบัติของสารพันธุกรรม จากการอภิปราย

นักเรียนควรจะสรุปได้ว่า DNA ต้องเพิ่มจำนวนได้โดยมีลักษณะเหมือนเดิม สามารถควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนที่มีผลต่อลักษณะทางพันธุกรรม และอาจเปลี่ยนแปลงได้บ้างซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างไปจากเดิม แล้วจึงนำเข้าสู่เรื่องการสังเคราะห์ดีเอ็นเอด้วยวิธีการที่เรียกว่าการจำลองดีเอ็นเอ

4.3.1 การจำลองดีเอ็นเอ

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์โดยใช้คำถามและให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- เมื่อมีการแบ่งเซลล์ ข้อมูลทางพันธุกรรมจากเซลล์แม่จะส่งต่อไปยังเซลล์ลูกได้อย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า การถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมจากเซลล์แม่ไปยังเซลล์ลูก เกิดขึ้นได้เมื่อมีการแบ่งเซลล์ ซึ่งมีการจำลองดีเอ็นเอเพิ่มปริมาณเป็นสองชุด (ในระยะ S) แล้วถ่ายทอด DNA ให้เซลล์ลูกต่อไป ข้อมูลใน DNA ที่ถ่ายทอดให้เซลล์ลูกจะต้องเหมือนกับ DNA ในเซลล์แม่

ครูถามนักเรียนเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อการจำลองดีเอ็นเอว่า

- ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA ในโมเลกุลเดิมและโมเลกุลใหม่เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

จากนั้นจึงให้นักเรียนสืบค้นการจำลองดีเอ็นเอ และศึกษารูป 4.12 นักเรียนควรสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. พอลินิวคลีโอไทด์สองสายของ DNA คลายเกลียว พันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างคู่เบสของทั้งสองสายจะสลาย ทำให้พอลินิวคลีโอไทด์สองสายแยกออกจากกัน
2. พอลินิวคลีโอไทด์แต่ละสายจะทำหน้าที่เป็นสายแม่แบบเพื่อสังเคราะห์พอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ โดยเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสนำนิวคลีโอไทด์อิสระเข้าจับกับนิวคลีโอไทด์ของสายแม่แบบที่มีเบสคู่สมกันคือ เบส A จับคู่กับ T และเบส G จับคู่กับ C
3. นิวคลีโอไทด์ของพอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่จะเข้าคู่กับนิวคลีโอไทด์ของสายแม่แบบ ด้วยพันธะไฮโดรเจน
4. การจำลองดีเอ็นเอทำให้มีการเพิ่มโมเลกุลของ DNA จาก 1 เป็น 2 โมเลกุล โดย DNA แต่ละโมเลกุลมีพอลินิวคลีโอไทด์สายเดิม 1 สาย และสายใหม่ 1 สาย การจำลองดีเอ็นเอจึงเป็นแบบกึ่งอนุรักษ์และการจัดเรียงตัวของนิวคลีโอไทด์ใน DNA ที่สังเคราะห์ใหม่เหมือนกับ DNA โมเลกุลเดิม

ครูถามนักเรียนเพื่อนำไปสู่การอภิปรายเพิ่มเติมว่า

- สิ่งจำเป็นในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอมีอะไรบ้าง
- ขั้นตอนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอเป็นอย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นการสังเคราะห์ดีเอ็นเอและศึกษารูป 4.13 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนอภิปรายและสรุปเกี่ยวกับการสังเคราะห์ DNA สายใหม่ 2 สาย ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

1. เอนไซม์เฮลิเคสทำให้ DNA เกลียวคู่คลายเกลียวแยกออกจากกัน ดีเอ็นเอแม่แบบ 2 สายที่แยกออกจากกันมีทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' สวนทางกัน
2. DNA สายที่มีปลาย 5' ไปยังปลาย 3' สวนทางกับการเคลื่อนที่ของเอนไซม์เฮลิเคสจะเป็นแม่แบบของการสร้าง DNA สายใหม่จากทิศทาง 5' ไปยังปลาย 3' อย่างต่อเนื่องเป็นสายยาว DNA สายใหม่นี้เรียกว่า ลีดดิ้งสแตรนด์
3. DNA อีกสายหนึ่งที่มีปลาย 5' ไปยังปลาย 3' ทิศทางเดียวกับที่เอนไซม์เฮลิเคสเคลื่อนที่จะไม่สามารถเป็นแม่แบบเพื่อสร้างสาย DNA ได้อย่างต่อเนื่อง การสร้าง DNA สายใหม่จึงสร้างเป็นสายสั้น ๆ และจะมีเอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกสเชื่อม DNA สายใหม่ที่เป็นสายสั้น ๆ เข้าด้วยกันเป็นสายยาวเรียกว่า แลกกิงสแตรนด์
4. การสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่จะมีเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสทำหน้าที่เชื่อมนิวคลีโอไทด์ให้เป็นสายยาว ทั้งสำหรับลีดดิ้งสแตรนด์และแลกกิงสแตรนด์

ครูอาจเน้นให้นักเรียนเข้าใจยิ่งขึ้นว่า ในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ จะต้องมิติศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' เสมอ เนื่องจากเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสจะทำงานโดยทำหน้าที่เชื่อมนิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสายยาวจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' และอีกประการหนึ่งคือ DNA สายใหม่อีกสายหนึ่งไม่สามารถสร้างต่อกันเป็นสายยาวได้ เนื่องจากทิศทางการสร้างจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' นั้นสวนทางกับทิศทางการคลายเกลียวของ DNA โมเลกุลเดิม จากนั้นตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

-  หากพิจารณาบริเวณด้านขวาของจุดเริ่มต้นของการจำลองตัว ซึ่ง DNA มีทิศทางการคลายเกลียวและแยกออกจากกันไป ในทิศทางด้านขวา DNA สายบนจะยังคงเป็นแม่แบบสำหรับการสร้างลีดดิ้งสแตรนด์หรือไม่ อย่างไร
-  การสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ จะต้องมิติศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' เสมอ โดยกรณีนี้สายบนจะเป็นแม่แบบสำหรับการสร้างแลกกิงสแตรนด์ ส่วนสายล่างจะสร้างลีดดิ้งสแตรนด์

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- สมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA และการจำลองดีเอ็นเอจากการทำกิจกรรม การทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบ

ด้านทักษะ

- การสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูล
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำจากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณ์ญาณจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน

4.3.2 การควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของ DNA

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยอาจใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- โปรตีนเป็นส่วนประกอบส่วนใดของร่างกายของสิ่งมีชีวิต
- โปรตีนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกายอย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนอาจยกตัวอย่างสารในร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่เป็นโปรตีน เช่น ฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง และเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ในร่างกาย

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 4.15 ซึ่งเป็นรูปเซลล์ 2 ชนิดในต่อมไทรอยด์ คือ เซลล์ฟอลลิคูลาร์ที่มีโปรตีนสำหรับการสังเคราะห์ฮอร์โมนไทรอกซิน และเซลล์พาราฟอลลิคูลาร์ที่สร้างฮอร์โมนแคลซิโทนิน และถามนักเรียนว่า ถ้าเซลล์ทั้ง 2 ชนิดมาจากบุคคลเดียวกันซึ่งมีข้อมูลทางพันธุกรรมใน DNA เหมือนกัน เพราะเหตุใดจึงมีรูปร่าง ลักษณะ และหน้าที่ที่แตกต่างกัน เพื่อให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อได้ข้อสรุปว่า แม้ว่าเซลล์ในบุคคลเดียวกันจะมีข้อมูลทางพันธุกรรมใน DNA เหมือนกันแต่มีการแสดงออกของยีนและสังเคราะห์โปรตีนที่แตกต่างกัน จากนั้นอาจใช้คำถามดังนี้ ลำดับ

นิวคลีโอไทด์ใน DNA เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนอย่างไร และการสังเคราะห์โปรตีนเกี่ยวข้องกับการแสดงลักษณะทางพันธุกรรมได้อย่างไร ในหัวข้อนี้ต้องการให้นักเรียนร่วมกันสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง DNA กับลักษณะทางพันธุกรรมได้

ครูอาจทบทวนความรู้เรื่องเซลล์ให้นักเรียนเห็นว่า DNA อยู่ในนิวเคลียส แต่ในเซลล์ยูแคริโอตนั้นการสังเคราะห์โปรตีนอยู่ในไซโทพลาซึม โดยมีไรโบโซมทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน

จากนั้นครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายประเด็นต่อไปนี้

- DNA ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนในไซโทพลาซึมได้อย่างไร
- เป็นไปได้หรือไม่ว่า DNA ส่งสารบางอย่างเป็นตัวแทนมาควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนในไซโทพลาซึม
- สารที่ DNA ส่งมานั้นคืออะไร และมีกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลและใช้รูป 4.16 การสังเคราะห์โปรตีนในหนังสือเรียนประกอบการอภิปรายเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปได้ว่า mRNA เป็นสารตัวกลางที่นำข้อมูลทางพันธุกรรมจาก DNA เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนมายังไรโบโซมในไซโทพลาซึม ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสังเคราะห์โปรตีน จึงอาจสรุปได้ว่ากระบวนการสังเคราะห์โปรตีนประกอบด้วย ขั้นตอนการสังเคราะห์ mRNA จากดีเอ็นเอแม่แบบหรือการถอดรหัส และการสังเคราะห์โปรตีนในไรโบโซมหรือการแปลรหัส

จากนั้นครูอาจทบทวนเกี่ยวกับกรดนิวคลีอิกว่าในเซลล์มี DNA และ RNA เป็นกรดนิวคลีอิกและตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า RNA มีโครงสร้างที่แตกต่างจาก DNA อย่างไร จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นร่วมกันอภิปรายและวิเคราะห์ความแตกต่างของโครงสร้าง RNA และ DNA โดยให้นักเรียนร่วมกันเสนอหัวข้อที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อเป็นประเด็นการอภิปราย จากการอภิปรายและการวิเคราะห์ นักเรียนควรสรุปความแตกต่างของโครงสร้าง DNA และ RNA เป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

ข้อเปรียบเทียบ	DNA	RNA
1. จำนวนพอลินิวคลีโอไทด์	2 สาย	1 สาย
2. ชนิดของเบส	อะดีนีน กวานีน ไทมีน และไซโทซีน	อะดีนีน กวานีน ยูราซิล และไซโทซีน
3. ชนิดของน้ำตาล	ดีออกซีไรโบส	ไรโบส

การถอดรหัส

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการสังเคราะห์ mRNA จากดีเอ็นเอแม่แบบ จากรูป 4.17 ในหนังสือเรียน จากนั้นตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนนำความรู้มาอธิบายขั้นตอนการสังเคราะห์ mRNA ดังนี้

- การสังเคราะห์ mRNA มีขั้นตอนอย่างไร
- เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรสมีบทบาทอย่างไรในการสังเคราะห์ mRNA
- ในการสังเคราะห์ mRNA มีทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' หรือจากปลาย 3' ไปยังปลาย 5'

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า การสังเคราะห์ mRNA นั้น เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรสไปจับกับ DNA บริเวณที่จะสังเคราะห์ mRNA แล้ว DNA สองสายจึงคลายเกลียวแยกออกจากกัน โดยมีสายหนึ่งของ DNA ทำหน้าที่เป็นแม่แบบ จากนั้นนิวคลีโอไทด์ที่มีเบสคู่สมกับนิวคลีโอไทด์บน DNA แม่แบบจะเข้าไปจับกับสายแม่แบบ โดยนิวคลีโอไทด์บน RNA จะเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว มีทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' ซึ่งสลับทิศทางกับสายดีเอ็นเอแม่แบบจนได้เป็นสาย mRNA จากนั้น mRNA แยกออกจาก DNA ไปยังไรโบโซม

เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรสมีบทบาทในการสังเคราะห์ mRNA คือ ทำให้พอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายแยกออกจากกัน และเชื่อมนิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสาย mRNA และทิศทางการสังเคราะห์ mRNA จะสังเคราะห์จากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' กระบวนการสังเคราะห์ mRNA เรียกว่า การถอดรหัส

จากนั้นครูให้นักเรียนเปรียบเทียบกระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอและกระบวนการสังเคราะห์ mRNA ซึ่งนักเรียนควรเปรียบเทียบได้ดังนี้

กระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ	กระบวนการสังเคราะห์ mRNA
1. ใช้พอลินิวคลีโอไทด์ทั้ง 2 สายเป็นแม่แบบ	1. ใช้พอลินิวคลีโอไทด์เพียงสายเดียวเป็นแม่แบบ
2. ใช้เอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส	2. ใช้เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส
3. ใช้ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์ที่ประกอบด้วยเบส 4 ชนิด คือ A T C G	3. ใช้ไรโบนิวคลีโอไทด์ที่ประกอบด้วยเบส 4 ชนิด คือ A U C G
4. ผลผลิตได้ DNA สายใหม่ 2 สาย	4. ผลผลิตได้ mRNA สายเดียว

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมว่า การสังเคราะห์ rRNA และ tRNA มีขั้นตอนเหมือนกับการสังเคราะห์ mRNA แต่ rRNA และ tRNA ไม่มีการแปลรหัสต่อไป

รหัสพันธุกรรม

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลว่า จากกระบวนการถอดรหัสทำให้ได้ mRNA แล้ว mRNA จะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนอย่างไร จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับรหัสพันธุกรรม

ครูอาจใช้รูปโครงสร้างของ DNA จากหนังสือเรียน หรือแบบจำลองโครงสร้างของ DNA เพื่อเน้นให้นักเรียนเห็นว่าความแตกต่างของโมเลกุล DNA อยู่ที่จำนวนและลำดับนิวคลีโอไทด์ใน DNA จากนั้นให้นักเรียนวิเคราะห์ว่า ส่วนใดของ DNA ที่เก็บข้อมูลทางพันธุกรรมและถ่ายทอดให้ mRNA ซึ่งไปกำหนดชนิดของกรดแอมิโนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน นักเรียนควรตอบได้ว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA เป็นข้อมูลทางพันธุกรรมที่ถอดรหัสให้ mRNA

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ความแตกต่างของนิวคลีโอไทด์เนื่องมาจากเบสที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นลำดับนิวคลีโอไทด์ในสาย DNA และ RNA จึงอาจเรียกแทนว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์หรือลำดับเบส

ครูควรเน้นให้นักเรียนสรุปประเด็นสำคัญได้ว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA จะกำหนดลำดับนิวคลีโอไทด์ของ mRNA และลำดับนิวคลีโอไทด์ของ mRNA จะกำหนดชนิดและการเรียงตัวของกรดแอมิโน จากนั้นครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลและการอภิปรายว่า การเรียงลำดับของนิวคลีโอไทด์ใน mRNA จำนวนเท่าใดจึงเป็น 1 รหัสพันธุกรรมเพื่อกำหนดกรดแอมิโน 1 ชนิด ถ้ามีนิวคลีโอไทด์ 1 โมเลกุลเป็นรหัสกำหนดกรดแอมิโน 1 ชนิด จะได้กรดแอมิโนกี่ชนิด ซึ่งนักเรียนควรตอบได้ว่า 4 ชนิด เนื่องจาก DNA มีนิวคลีโอไทด์ 4 ชนิด

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมโดยให้ประเด็นว่า ถ้ามีนิวคลีโอไทด์ 2 โมเลกุลติดกันเป็นรหัสกำหนดกรดแอมิโน 1 ชนิดจะได้รหัสของกรดแอมิโนกี่รหัส และกำหนดชนิดของกรดแอมิโนกี่ชนิด โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายและออกแบบรหัสพันธุกรรมอย่างอิสระ วัสดุที่ทำกิจกรรมอาจใช้ปากกาเคมีสีต่าง ๆ เขียนชนิดของนิวคลีโอไทด์ในกระดาศ หรือตัดกระดาศสีแทนชนิดของนิวคลีโอไทด์ เป็นต้น แล้วนำเสนอหน้าชั้นเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ จากการทำกิจกรรมและอภิปรายและบอกวิธีคิด ทำให้ได้ข้อสรุปว่ารหัสพันธุกรรมที่ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 2 โมเลกุลเรียงกันจะสามารถจัดเรียงให้แตกต่างกันได้ 16 แบบ หรือ 4^2 หรือ 16 รหัส ดังนี้

AA	AT	AC	AG
CC	CA	CT	CG
GG	GA	GT	GC
TT	TA	TC	TG

จากรูปจะเห็นได้ว่าถ้า 1 รหัสพันธุกรรมประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 2 โมเลกุลเรียงกันในการกำหนดรหัสของกรดแอมิโน 1 ชนิด จะจัดเรียงรหัสพันธุกรรมได้ 16 รหัส หรือ 4^2 ซึ่งจะเป็นรหัสของกรดแอมิโน 16 ชนิด จึงมีจำนวนรหัสไม่เพียงพอสำหรับกำหนดชนิดกรดแอมิโนซึ่งมี 20 ชนิด

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- ถ้ารหัสพันธุกรรม 1 รหัสประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 3 โมเลกุลติดกัน จะจัดเรียงให้แตกต่างกันได้กี่รหัส

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า 1 รหัสพันธุกรรมประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 3 โมเลกุลเรียงกันจะได้ 64 รหัสหรือ 4^3 ซึ่งมีจำนวนรหัสพันธุกรรมที่มากเกินไปสำหรับกำหนดชนิดกรดแอมิโนซึ่งมีเพียง 20 ชนิด

ครูให้นักเรียนศึกษาตาราง 4.4 ในหนังสือเรียนที่แสดงรหัสพันธุกรรม 64 รหัส เรียกรหัสพันธุกรรมที่ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 3 โมเลกุลเรียงกันว่า โคดอน จากนั้นตั้งคำถามแล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ เพื่อนำความรู้เกี่ยวกับรหัสพันธุกรรมไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนต่อไปดังนี้

- จำนวนรหัสพันธุกรรมที่กำหนดกรดแอมิโน 20 ชนิด มีเท่าใด
- กรดแอมิโนชนิดใดที่กำหนดโดยรหัสพันธุกรรม 1 รหัส หรือ 2 หรือ 3 หรือ 4 หรือ 6 รหัส
- รหัสใดบ้างที่ไม่กำหนดกรดแอมิโน

จากการวิเคราะห์และอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่ารหัสพันธุกรรมที่กำหนดกรดแอมิโน 20 ชนิด มีเพียง 61 รหัสเท่านั้นที่จะกำหนดกรดแอมิโนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน กรดแอมิโนบางชนิดที่กำหนดโดยรหัสพันธุกรรม 1 รหัส ได้แก่ เมไทโอนีน (Met) และทริปโตเฟน (Trp) กรดแอมิโนที่กำหนดโดยรหัสพันธุกรรม 2 รหัส เช่น ฮิสทีดีน (His) กำหนดโดย 3 รหัส เช่น ไอโซลิวซีน (Ile) กำหนดโดย 4 รหัส เช่น วาลีน (Val) และกำหนดโดย 6 รหัส เช่น ลิวซีน (Leu) ส่วนรหัสพันธุกรรมอีก 3 รหัส ได้แก่ UAA UAG UGA จะไม่กำหนดกรดแอมิโน แต่เป็นรหัสหยุดการสังเคราะห์โปรตีน

การแปลรหัส

ครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและอภิปราย เพื่อให้เห็นบทบาทหน้าที่และความสำคัญของ DNA และ RNA ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนได้ดังนี้

- RNA ที่สำคัญกับการสังเคราะห์โปรตีนมีกี่ชนิด อะไรบ้าง
- RNA แต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกันอย่างไรในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน

จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า การสังเคราะห์ RNA โดยใช้ DNA เป็นแม่แบบ ได้ RNA 3 ชนิดคือ mRNA tRNA และ rRNA แต่ละชนิดมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ดังนี้

mRNA นำรหัสการสร้างโปรตีนมายังไรโบโซมในไซโทพลาซึม

tRNA ทำหน้าที่นำกรดแอมิโนมาต่อกันเป็นสายยาวบนไรโบโซม

rRNA เป็นส่วนประกอบของไรโบโซม

ครูควรเน้นให้นักเรียนเข้าใจว่าการสังเคราะห์ RNA ทั้ง 3 ชนิด ในเซลล์ยูแคริโอตเกิดในนิวเคลียส จากนั้นจึงออกสู่ไซโทพลาซึม ซึ่งเป็นแหล่งที่มีการสังเคราะห์โปรตีนและชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดเรียงลำดับเบสบน mRNA ซึ่งจะเป็นรหัสพันธุกรรมเพื่อนำเข้าสู่หัวขั้วรหัสพันธุกรรมต่อไป ครูอาจใช้รูป 4.20 ในหนังสือเรียน ในการประกอบการสรุปเกี่ยวกับชนิดของ RNA และหน้าที่ของ RNA ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจดียิ่งขึ้น

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษากระบวนการสังเคราะห์โปรตีน โดยอาจใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- สิ่งใดทำหน้าที่กำหนดชนิดและลำดับของกรดแอมิโนในการสังเคราะห์โปรตีน
- สิ่งที่ต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนมีอะไรบ้าง
- tRNA มีบทบาทอย่างไรในการสังเคราะห์โปรตีน
- กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนมีขั้นตอนอะไรบ้าง
- การสังเคราะห์โปรตีนเกิดขึ้นในทิศทางใดเมื่อเทียบกับทิศทางของ mRNA

จากการสืบค้นและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า ชนิดและการเรียงลำดับของกรดแอมิโน ถูกกำหนดโดยลำดับของนิวคลีโอไทด์ 3 โมเลกุล ของ mRNA ที่เป็นรหัสพันธุกรรม และสรุปได้ว่า สิ่งที่ต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ได้แก่ DNA mRNA tRNA ไรโบโซม กรดแอมิโน เอนไซม์

กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนประกอบด้วย

- กระบวนการถอดรหัส เป็นกระบวนการที่ DNA ถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมให้ mRNA ซึ่งจะนำรหัสการสังเคราะห์โปรตีนไปยังไซโทพลาซึม
- กระบวนการแปลรหัส เป็นกระบวนการที่เกิดการสังเคราะห์โปรตีนโดย tRNA นำกรดอะมิโนชนิดที่ตรงกับโคดอนของ mRNA มาโยงไรโบโซม ดังตาราง 4.4 ในหนังสือเรียน เช่น tRNA ที่มีแอนติโคดอน 3' CCA 5' จะนำกรดอะมิโนชนิดไกลซีน (Gly) มาโยงไรโบโซมตรงที่มีโคดอน 5' GGU 3' ของ mRNA โดย tRNA อีกโมเลกุลหนึ่งจะนำกรดอะมิโนโมเลกุลถัดไปมาเรียงต่อกันบนไรโบโซมตามลำดับรหัสพันธุกรรมของ mRNA โดยไรโบโซมจะทำหน้าที่เชื่อมพันธะเพปไทด์ระหว่างกรดอะมิโน

ครูให้นักเรียนสืบค้นเพื่อนำไปสู่การอภิปรายและเปรียบเทียบการสังเคราะห์โปรตีนของสิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอตและยูแคริโอต จากการอภิปรายนักเรียนควรเปรียบเทียบได้ว่าการสังเคราะห์โปรตีนของโพรแคริโอตทั้งกระบวนการการถอดรหัสและการแปลรหัสเกิดในไซโทพลาซึมเนื่องจากโพรแคริโอตไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ส่วนยูแคริโอตจะมีการถอดรหัสในนิวเคลียส และมีการแปลรหัสในไซโทพลาซึม

การสังเคราะห์สาย mRNA มีทิศทางจากปลาย 5' ไปปลาย 3' เช่นเดียวกับทิศทางการแปลรหัสเพื่อสังเคราะห์โปรตีนซึ่งมีทิศทางจากปลาย 5' ไปปลาย 3'

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 4.22 การเกิดพอลิโซมในหนังสือเรียนแล้วร่วมกันอภิปราย โดยครูอาจใช้คำถามประกอบว่า จากสาย mRNA 1 สาย สามารถสังเคราะห์พอลิเพปไทด์พร้อมกันได้หลายสายหรือไม่ นักเรียนควรสรุปได้ว่า การสังเคราะห์พอลิเพปไทด์สามารถเกิดได้หลายๆ สายพร้อมกัน โดยไรโบโซมจะมาเกาะจับกับ mRNA ได้หลายๆ ไรโบโซม mRNA ลักษณะนี้เรียกว่า พอลิไรโบโซมหรือพอลิโซม

ครูให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ใหม่กับความรู้เดิมที่นักเรียนเคยเรียนมาแล้วว่า DNA ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน โปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้นเหล่านี้ไปทำหน้าที่อะไรบ้าง ซึ่งนักเรียนควรจะนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการตอบได้หลากหลาย เช่น โปรตีนฮีโมโกลบินช่วยขนส่งออกซิเจน โปรตีนที่เป็นเอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีโปรตีนโครงสร้างที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า DNA สามารถควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมโดยควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน

ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 4.2 เพื่อทบทวนความรู้ที่ได้เรียนมาแล้วเกี่ยวกับ DNA การถอดรหัสและการแปลรหัส



กิจกรรม 4.2 การถอดรหัสและการแปลรหัส

จุดประสงค์

นำความรู้เรื่องการถอดรหัสและการแปลรหัสมาแก้โจทย์ปัญหาที่กำหนด

วิธีการทำกิจกรรม

พิจารณาลำดับนิวคลีโอไทด์ต่อไปนี้และตอบคำถาม

5'CGCAGATTTCGATGGCCCTGTGGATACGCCTCCTGCCCTGAAGCTCTCT3'
3'GCGTCTAAGCTACCGGGACACCTATGCGGAGGACGGGACTTCGAGAGA5'

จากลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA ที่กำหนดให้ ให้ตัวอักษรสีน้ำเงินแสดงบริเวณที่เป็นยีน และให้ DNA สายล่างเป็นแม่แบบสำหรับการถอดรหัส ตอบคำถามต่อไปนี้

? mRNA ที่ได้จากการถอดรหัสจะมีลำดับเบสเป็นอย่างไร

✎ mRNA 5'GAUUCGAUGGCCUGUGGAUACGCCUCCUGCCCUGAAGC3'

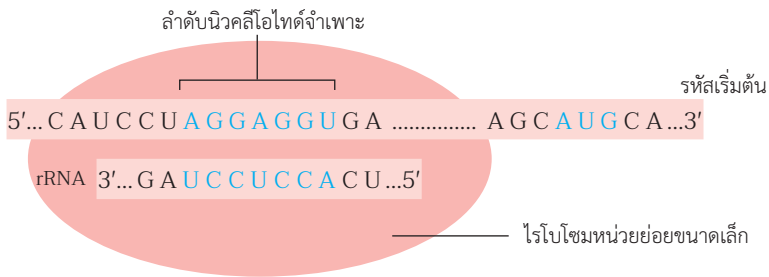
? เมื่อสิ้นสุดการแปลรหัสจะได้สายพอลิเพปไทด์ที่มีกรดอะมิโนกี่โมเลกุล

✎ กรดอะมิโน 9 โมเลกุล

? สายพอลิเพปไทด์ที่ได้จากการแปลรหัสมีลำดับกรดอะมิโนเป็นอย่างไร

✎ Met Ala Leu Trp Ile Arg Leu Leu Pro (เริ่มที่รหัสเริ่มต้น AUG GCC CUG UGG AUA CGC CUC CUG CCC UGA)

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า บนสาย mRNA อาจมี AUG ได้หลายตำแหน่ง ซึ่งไม่ได้เป็นรหัสเริ่มต้นในทุกตำแหน่ง AUG ที่ตำแหน่งใดจะเป็นรหัสเริ่มต้นนั้นจะมีบริเวณที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์จำเพาะอยู่ระหว่างปลาย 5' และ AUG ซึ่งสามารถจับกับ rRNA ในไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดเล็กได้ เมื่อไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดเล็กมาเกาะแล้ว AUG นั้นจะทำหน้าที่เป็น รหัสเริ่มต้น



DNA เกี่ยวข้องกับการแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิต ซึ่ง DNA เป็นแหล่งเก็บข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตแล้วถ่ายทอดให้กับ mRNA ผ่านการถอดรหัส จากนั้นมีการแปลรหัสจาก mRNA เป็นกรดอะมิโน ในที่สุดจะได้โปรตีนซึ่งทำหน้าที่เป็นโปรตีนโครงสร้าง โปรตีนที่เป็นเอนไซม์หรือทำหน้าที่อื่นๆ ภายในเซลล์ มีผลทำให้เซลล์และสิ่งมีชีวิตมีลักษณะต่างๆ ปรากฏให้เห็นได้

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- ขั้นตอนการถอดรหัส การแปลรหัส หน้าที่ของ DNA และ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนจากการทำกิจกรรมการอภิปรายร่วมกัน การทำแบบฝึกหัดและการทำแบบทดสอบ

ด้านทักษะ

- การสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูล
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อจากการอภิปรายร่วมกัน

ด้านจิตวิทยาาสตร์

- การใช้วิจารณญาณจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน

4.4 มิวเทชัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายสาเหตุและผลของการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม
2. ยกตัวอย่างโรคและกลุ่มอาการที่เป็นผลของการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนศึกษารูป 4.23 แก้งและแก้งเผือก หรือรูปสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น กระต่ายสีขาวและกระต่ายสีอื่น ๆ แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายในประเด็นดังนี้

- ลักษณะของสัตว์เผือกลักษณะใดที่ผิดไปจากปกติและลักษณะใดบ้างที่เหมือนเดิม
- ลักษณะที่ผิดปกตินี้สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้หรือไม่

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า สัตว์เผือกมีลักษณะที่ต่างไปจากปกติ เช่น สีขนเป็นสีขาว สีของดวงตาเป็นสีแดง แม้ว่าสัตว์เผือกจะมีลักษณะบางอย่างที่ผิดปกติ แต่ลักษณะส่วนใหญ่ยังคงเหมือนกับพ่อแม่ ลักษณะเผือกนี้สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ ลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ DNA และโครโมโซม เรียกลักษณะนี้ว่า การกลายหรือมิวเทชัน ในกรณีของกระต่ายสีขาวซึ่งมีลักษณะเผือก แต่ถูกนำมาขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนเป็นสัตว์เลี้ยงจนพบเห็นได้ทั่วไป

ครูถามนักเรียนว่า นักเรียนเคยเห็นสัตว์ที่มีลักษณะเผือกบ่อยหรือไม่ คำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลากหลาย ครูให้ความรู้ที่ มิวเทชันสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแต่เกิดในอัตราที่ต่ำมาก มิวทาเจน เช่น รังสีและสารเคมีต่าง ๆ ชักนำให้เกิดมิวเทชันเพิ่มขึ้นได้ มิวทาเจนบางชนิดเป็นสิ่งที่ก่อมะเร็ง ถ้าได้รับในปริมาณมากหรือบ่อยครั้ง จะทำให้เป็นมะเร็งได้

การเกิดมิวเทชันแบ่งออกเป็นมิวเทชันระดับยีนและมิวเทชันระดับโครโมโซม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 มิวเทชันระดับยีน

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับมิวเทชันระดับยีน และศึกษารูป 4.24 ในหนังสือเรียน จากนั้นตอบคำถามซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



จากรูป 4.24 การเปลี่ยนแปลงของเบสใน DNA เป็นอย่างไร และส่งผลอย่างไรต่อ DNA สายใหม่ ในการจำลองดีเอ็นเอครั้งแรก มีการจับคู่ของเบสผิดคู่ เบส G ควรจะจับคู่กับเบส C แต่ไปจับคู่กับเบส T แทน และเมื่อสายพอลินิวคลีโอไทด์ที่มีเบส T นี้ไปเป็นแม่แบบในการสร้างพอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ เบส T จะไปจับกับเบส A ดังนั้นลำดับของเบสในสาย DNA สายนี้จึงเปลี่ยนแปลงไป

ครูให้นักเรียนศึกษาอีโมโกลบินที่ผิดปกติของคนที่ เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ โดยการเปรียบเทียบกับอีโมโกลบินของคนปกติ โดยใช้รูป 4.25 ในหนังสือเรียน จากรูปจะเห็นว่าลำดับกรดแอมิโนลำดับที่ 6 ในสายบีตาของโมเลกุลอีโมโกลบินของคนปกติเป็นกรดกลูตามิก ส่วนคนที่ เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์เป็นวาลีน ส่วนคำถามในหนังสือเรียนมีแนวคำตอบดังนี้



ผู้ป่วยโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์มีลำดับของกรดแอมิโนในอีโมโกลบินสายบีตาแตกต่างจากคนปกติอย่างไร

แตกต่างกันคือ กรดแอมิโนตำแหน่งที่ 6 ของพอลิเพปไทด์สายบีตาของอีโมโกลบินในคนปกติเป็นกรดกลูตามิก ส่วนในคนที่ เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์จะเป็นวาลีน



ลักษณะทางพันธุกรรมของโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์เกี่ยวข้องกับ DNA และโปรตีนอย่างไร เมื่อเบสของ DNA เปลี่ยนไป การสังเคราะห์โปรตีนอีโมโกลบินจะผิดปกติ ทำให้คนที่มีลักษณะทางพันธุกรรมเช่นนี้เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์

จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นว่า กรดกลูตามิกในสายบีตาของโมเลกุลอีโมโกลบินเปลี่ยนเป็นวาลีนได้อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันพร้อมทั้งศึกษารูป 4.26 ในหนังสือเรียนประกอบซึ่งแสดงการเกิดมิวเทชัน ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า มีการแทนที่คู่เบสแล้วได้กรดแอมิโนชนิดใหม่ อาจเกิดจากความผิดพลาดขณะที่ DNA มีการจำลองตัวเอง ดังนั้นเมื่อ DNA ที่สังเคราะห์มาได้ถ่ายทอดรหัสให้ mRNA การแปลรหัสจาก mRNA จึงได้กรดแอมิโนที่แตกต่างจากเดิม แล้วตอบคำถามซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



การเกิดมิวเทชันแบบการแทนที่คู่เบสทำให้เกิดผลเสียเสมอไปหรือไม่ เพราะเหตุใด

ไม่เสมอไป ถ้ามีการแทนที่คู่เบสแล้วได้กรดแอมิโนชนิดเดิม จะไม่มีผลต่อฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตนั้น

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นหรือขาดหายของนิวคลีโอไทด์ แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

- ?** มิวเทชันแบบการแทนที่คู่เบสและเฟรมชิฟท์มิวเทชัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง DNA และมีผลต่อการแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันอย่างไร



การแทนที่คู่เบส	เฟรมชิฟท์มิวเทชัน
1. มีการเปลี่ยนแปลงแทนที่คู่เบสในสายพอลินิวคลีโอไทด์ของ DNA เช่น A-T ถูกแทนที่ด้วย G-C 2. มีผลทำให้เปลี่ยนแปลงเฉพาะบริเวณรหัสพันธุกรรม แต่ไม่ทำให้รหัสพันธุกรรมอื่นๆ เปลี่ยนแปลง 3. อาจมีผลหรือไม่มีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต คือถ้าเกิดการแทนที่คู่เบสแล้วได้รหัสพันธุกรรมที่กำหนดชนิดของกรดอะมิโนเหมือนเดิม จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดกรดอะมิโน จึงไม่มีผลต่อลักษณะพันธุกรรม แต่ถ้าได้รหัสที่ทำให้ชนิดของกรดอะมิโนเปลี่ยนไป โปรตีนอาจจะเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งจะทำให้มีผลต่อการแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิต เช่น โรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์	1. มีการเพิ่มหรือขาดหายของนิวคลีโอไทด์ที่หารด้วยสามไม่ลงตัว ในสายพอลินิวคลีโอไทด์ของ DNA 2. มีผลทำให้รหัสพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ลำดับและชนิดของกรดอะมิโนในลำดับถัดไปจะเปลี่ยนไปด้วย 3. มักจะมีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต สมบัติของพอลินิวคลีโอไทด์หรือโปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์โปรตีนจะแตกต่างไปจากปกติ เนื่องจากเกิดรหัสหยุดก่อนรหัสหยุดเดิมและทำให้พอลิเพปไทด์มีขนาดสั้นลง

ครูอาจเน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง DNA โปรตีน และลักษณะทางพันธุกรรมได้ว่า เมื่อลำดับเบสของ DNA เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้ลักษณะทางพันธุกรรมเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า DNA ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม



ตรวจสอบความเข้าใจ



การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ DNA อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรหัสพันธุกรรมและการสังเคราะห์โปรตีนอย่างไร



ถ้า DNA สายที่เกิดมิวเทชันไปเป็นแม่แบบในการสร้าง mRNA จะมีรหัสบนสาย mRNA ในตำแหน่งนั้นเปลี่ยนแปลงไป ชนิดของกรดแอมิโนที่ได้จากการแปลรหัสอาจจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

4.4.2 มิวเทชันระดับโครโมโซม

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับมิวเทชันระดับโครโมโซม จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับมิวเทชันระดับโครโมโซม ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซม อาจมีสาเหตุมาจากความผิดปกติในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส รังสีต่างๆ หรือสารเคมี จึงทำให้เกิดเซลล์สืบพันธุ์ที่ผิดปกติ ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายแบบ เช่น บางส่วนของโครโมโซมขาดหายไปอาจเกิดที่ส่วนปลายหรือส่วนกลางแห่งโครโมโซม ความผิดปกตินี้ทำให้เกิดกลุ่มอาการครีดูชา บางส่วนของโครโมโซมที่ขาดไปอาจจะกลับมาต่อใหม่แต่ต่อแบบกลับทิศทำให้ลำดับของยีนเปลี่ยนไป บางส่วนของโครโมโซมเกินมาจากปกติ ส่วนที่เกินอาจมาจากโครโมโซมที่เป็นคู่กัน และการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนของโครโมโซมที่ต่างคู่กัน จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซมทำให้จำนวนของนิวคลีโอไทด์และลำดับของนิวคลีโอไทด์เปลี่ยนไป ซึ่งทำให้รหัสพันธุกรรมและการสังเคราะห์โปรตีนเปลี่ยนไป มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟีโนไทป์ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้
2. การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซม อาจมีสาเหตุมาจากความผิดปกติในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส คือ เกิดนอนดิสจังชัน ซึ่งฮอโมโลกัสโครโมโซมไม่แยกจากกันขณะแบ่งเซลล์ในระยะไมโอซิส I หรือไมโอซิส II มีผลทำให้เซลล์สืบพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมขาดหรือเกินเป็นแห่ง ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งออโตโซมและโครโมโซมเพศ ความผิดปกตินี้ทำให้เกิดกลุ่มอาการดาวน์ กลุ่มอาการเทิร์นเนอร์ หรือกลุ่มอาการและโรคอื่นๆ นอกจากนี้จำนวนโครโมโซมขาดหรือเกินเป็นชุด เรียกว่า พอลิพลอยด์ มักพบในพืชซึ่งทำให้ขนาดของดอกและผลใหญ่ขึ้น ซึ่งมนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์พืชได้ แต่ถ้าเกิดกับสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมักจะเกิดผลเสียมากกว่าผลดี



บทความ

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

-  การเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบใดที่สังเกตความผิดปกติได้ยากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพราะเหตุใด
-  การเปลี่ยนแปลงโครโมโซมแบบที่บางส่วนขาดหายไปแล้วกลับมาต่อใหม่แต่ต่อแบบกลับทิศ เนื่องจากจะเห็นโครโมโซมมีขนาดเท่าเดิม

จากนั้นครูให้นักเรียนวิเคราะห์ข้อมูลและสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มอาการครีดูชาและกลุ่มอาการดาวน์ แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



กรณีศึกษา แผนภาพโครโมโซมของกลุ่มอาการครีดูชา

1. กลุ่มอาการครีดูชาเกิดจากความผิดปกติของโครโมโซมคู่ใด และโครโมโซมนั้นมีความผิดปกติอย่างไร
 -  แขนข้างสั้นของโครโมโซมคู่ที่ 5 ขาดหายไปบางส่วน
2. จำนวนโครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
 -  จำนวนโครโมโซมไม่เปลี่ยนแปลง
3. แผนภาพนี้เป็นของทารกเพศใด ทราบได้อย่างไร
 -  เพศชาย เพราะโครโมโซมเพศเป็น XY
4. จากการสืบค้นข้อมูล กลุ่มอาการครีดูชามีลักษณะความผิดปกติอย่างไร
 -  มีลักษณะผิดปกติ คือ ศีรษะเล็ก ใบหน้ากลม ตาเล็กอยู่ห่างกันและเฉียง ตั้งงุ้มแบน ใบหูอยู่ต่ำกว่าปกติ เส้นสายเสียงผิดปกติ ทำให้เสียงเล็กแหลมคล้ายเสียงร้องของแมว ปัญญาอ่อน อาจมีชีวิตอยู่ได้จนเป็นผู้ใหญ่



กรณีศึกษา แผนภาพโครโมโซมของกลุ่มอาการดาวน์

1. การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมมีความผิดปกติอย่างไร
 โครโมโซมคู่ที่ 21 เกินมา 1 โครโมโซม
2. แผนภาพนี้เป็นของทารกเพศใด ทราบได้อย่างไร
 เพศหญิง เพราะโครโมโซมเพศเป็น XX
3. จากการสืบค้นข้อมูล กลุ่มอาการดาวน์มีลักษณะความผิดปกติอย่างไร
 กลุ่มอาการดาวน์ มีลักษณะผิดปกติคือ รูปร่างเตี้ย ตาห่าง หางตาชี้ขึ้น ลิ้นโตคับปาก คอสั้นกว้าง นิ้วมือนิ้วเท้าสั้น เส้นลายมือผิดปกติ ปัญญาอ่อน

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดอนดิสจังก์ชัน แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

-  การเกิดอนดิสจังก์ชันในระยะใดที่ลูกมีโอกาสมีความผิดปกติมากกว่า เพราะเหตุใด
-  การเกิดอนดิสจังก์ชันในระยะไมโอซิส I เพราะเมื่อสิ้นสุดกระบวนการแบ่งเซลล์แล้วจะได้เซลล์สืบพันธุ์ที่โครโมโซมผิดปกติทั้ง 4 เซลล์ ในขณะที่การเกิดอนดิสจังก์ชันในระยะไมโอซิส II จะได้เซลล์สืบพันธุ์ที่โครโมโซมผิดปกติเพียง 2 เซลล์
-  ถ้าสเปิร์มมีโครโมโซม XY ปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซม X ลูกจะมีโครโมโซมเพศเป็นอย่างไร และเกิดเป็นเพศใด
-  โครโมโซมเพศของลูกเป็น XXY เป็นเพศชาย
-  การเกิดอนดิสจังก์ชันสามารถเกิดขึ้นในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้หรือไม่ และจะส่งผลอย่างไร
-  เกิดขึ้นได้ ส่งผลให้เซลล์ลูกมีความผิดปกติ เช่น อาจเกิดเป็นมะเร็ง แต่เนื่องจากเกิดกับเซลล์ร่างกาย เซลล์ที่ผิดปกตินี้จะไม่ถ่ายทอดไปยังรุ่นลูก
-  เพราะเหตุใดพืชที่เป็นพอลิพลอยด์เลขคี่จึงมักเป็นหมัน
-  เนื่องจากมีปัญหาในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์นั้น ในระยะโพรเฟส I จะมีบางโครโมโซมที่ไม่เป็นโฮมอโลกัสและเข้าคู่กันไม่ได้

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะ เรื่องกลุ่มอาการหรือโรคที่เกิดจากมิวเทชัน โดยการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโรคหรือกลุ่มอาการที่เกิดจากมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซมของมนุษย์ และอภิปรายเกี่ยวกับสาเหตุของการเกิดมิวเทชัน นักเรียนอาจยกตัวอย่างมิวทาเจนที่เป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งบางชนิด โดยพิจารณาจากสิ่งรอบตัวจากการอุปโภคและบริโภคของนักเรียนเอง รวมทั้งสาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้เกิดมิวเทชัน แล้วนำเสนอรายงานหน้าชั้นเรียนหรือนำเสนอในรูปแบบอื่น ซึ่งตัวอย่างกลุ่มอาการหรือโรคเป็นดังนี้

ความผิดปกติที่เกิดจากมิวเทชันระดับยีน เช่น โรคซิสติกไฟโบรซิส (cystic fibrosis) เกิดจากมิวเทชันของยีน *CFTR* ที่ควบคุมการสร้าง cystic fibrosis transmembrane conductance regulator ผู้ป่วยจะมีความผิดปกติของโปรตีนลำเลียงคลอไรด์ไอออนและโซเดียมไอออนบนเยื่อหุ้มเซลล์บุผิวของทางเดินหายใจ ทำให้เกิดออสโมซิสของน้ำเข้าสู่ทางเดินหายใจน้อย สารคัดหลั่งจึงข้นเหนียวกว่าปกติ ส่งผลให้เกิดการติดเชื้อในทางเดินหายใจได้ง่าย มิวเทชันที่พบบ่อยที่สุดคือ การขาดหายของนิวคลีโอไทด์จำนวน 3 นิวคลีโอไทด์ ทำให้ไม่มีการแปลรหัสเป็นกรดแอมิโนฟีนิลอะลานีนที่กรดแอมิโนตำแหน่งที่ 508 ของโปรตีนนี้ ทำให้โปรตีนมีความผิดปกติ มิวเทชันแบบนี้พบได้ 66-70% ของผู้ป่วยโรคนี้ อย่างไรก็ตามยังมีมิวเทชันแบบอื่นที่ทำให้เกิดโรคซิสติกไฟโบรซิสได้

ความผิดปกติที่เกิดจากมิวเทชันระดับโครโมโซม มีทั้งความผิดปกติที่เกิดกับออโตโซมและโครโมโซมเพศ ซึ่งจำนวนโครโมโซมที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ เช่น

ชื่อกลุ่มอาการหรือโรค	ความผิดปกติที่เกิดกับโครโมโซม	ลักษณะของความผิดปกติ
พาทัวซินโดรม (Patau syndrome) หรือกลุ่มอาการ trisomy 13	ออโตโซม 47, +13	ปากแหว่ง เพดานโหว่ ตาเล็ก หูหนวก ใบหูต่ำ นิ้วมือนิ้วเท้า มักเกิน หัวใจและไตผิดปกติ สมองพิการ ทารกตายหลังจากคลอดไม่กี่เดือน
เอ็ดเวิร์ดซินโดรม (Edwards syndrome) หรือกลุ่มอาการ trisomy 18	ออโตโซม 47, +18	มือกำ ท้ายทอยโหนก ใบหูผิดปกติ และเกาะต่ำ

ชื่อกลุ่มอาการหรือโรค	ความผิดปกติที่เกิดกับโครโมโซม	ลักษณะของความผิดปกติ
เทิร์นเนอร์ซินโดรม (Turner syndrome)	โครโมโซมเพศ 45, X	เป็นเพศหญิง รูปร่างเตี้ย คอสั้น หน้าแก่ มีแผ่นหนังคล้ายปีก จากต้นคอลงมาจรดหัวไหล่ เป็นหมัน
เอกซ์วายวายซินโดรม (XYY syndrome)	โครโมโซมเพศ 47, XYY	เป็นเพศชายมีรูปร่างสูงกว่า ปกติ ไม่เป็นหมัน
ไคลน์เฟลเตอร์ซินโดรม (Klinefelter syndrome)	โครโมโซมเพศ 47, XXY 48, XXXY 49, XXXXY	เป็นเพศชาย แขนขายาว สูง กว่าเพศชายปกติ มีเต้านม คล้ายเพศหญิง สะโพกผาย มัก เป็นหมัน สติปัญญาต่ำกว่า ปกติ

หมายเหตุ : การเขียนสัญลักษณ์แทนความผิดปกติที่เกิดกับโครโมโซมจะใช้ตัวเลขแรกแสดงจำนวนโครโมโซมทั้งหมดและตัวเลขหรือตัวอักษรด้านหลังแสดงความผิดปกติ เช่น
47, +13 หมายถึงมีจำนวนโครโมโซมทั้งหมด 47 แท่งโดยมีโครโมโซมแท่งที่ 13 เกินมา 1 แท่ง
48, XXXY หมายถึงมีจำนวนโครโมโซมทั้งหมด 48 แท่งโดยมีโครโมโซมเพศ (X) เกินมา 2 แท่ง

ครูอาจตั้งประเด็นเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า **มิวเทชันที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นอย่างไร** นักเรียนควรนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาเรื่องมิวเทชันมาใช้ในการวิเคราะห์และสรุปได้ว่า การเกิดมิวเทชันมีทั้งระดับยีนและระดับโครโมโซม ถ้าเกิดมิวเทชันมากอาจส่งผลทำให้ลำดับของนิวคลีโอไทด์หรือโครงสร้างหรือจำนวนของโครโมโซมเปลี่ยนแปลงไปมาก ซึ่งอาจมีผลต่อการกำหนดลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้น และอาจส่งผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต แต่ถ้ามิวเทชันที่เกิดในสิ่งมีชีวิตนั้นน้อยอาจไม่มีผลทำให้ลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มิวเทชันที่เกิดที่เซลล์สืบพันธุ์จะสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ มีผลทำให้เกิดการแปรผันทางพันธุกรรม จึงทำให้ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังสามารถชักนำให้เกิดมิวเทชันเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- การเกิดมิวเทชันระดับยีน และระดับโครโมโซม สาเหตุการเกิดมิวเทชัน ตัวอย่างโรคและกลุ่มอาการที่เป็นผลของการเกิดมิวเทชันจากการนำเสนอ การอภิปรายร่วมกัน การทำแบบฝึกหัดและการทำแบบทดสอบ

ด้านทักษะ

- การสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูล

ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำจากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็นและการใช้วิจารณ์ญาณจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง
 -✓ 1.1 เมื่อนำสารที่สกัดจากแบคทีเรีย *Streptococcus pneumoniae* สายพันธุ์ก่อโรคที่ทำให้ตายด้วยความร้อนมาเติมเอนไซม์ DNase และ RNase นำสารที่ได้ไปใส่ในอาหารที่เลี้ยงแบคทีเรียสายพันธุ์ไม่ก่อโรค แบคทีเรียจะไม่สามารถก่อโรคได้
 -× 1.2 โปรตีนฮิสโตนในโครโมโซมประกอบด้วยกรดแอมิโนซึ่งส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ทำให้สามารถเกาะจับกับสาย DNA ได้ดี
แก้ไขเป็น บวก
 -✓ 1.3 จำนวนยีน ขนาดเซลล์ และขนาดของสิ่งมีชีวิตไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กับขนาดของจีโนมของสิ่งมีชีวิตนั้น
 -× 1.4 DNA เป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ที่มีปลาย 2 ด้าน ด้านหนึ่งเรียกว่าปลาย 5' และอีกด้านหนึ่งเรียกว่าปลาย 3' โดยที่ปลายด้าน 3' นี้จะมีหมู่ฟอสเฟตเชื่อมอยู่กับน้ำตาลดีออกซีไรโบสที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3
แก้ไขเป็น หมู่ไฮดรอกซิล
 -✓ 1.5 ปริมาณเบสในโมเลกุล DNA สายคู่สายหนึ่ง จะมีอัตราส่วนของ A + G ต่อ T + C มีค่าเท่ากับ 1 เสมอ
 -✓ 1.6 สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์จะมีจำนวนนิวคลีโอไทด์และการจัดเรียงลำดับของนิวคลีโอไทด์ในโมเลกุล DNA แตกต่างกัน
 -✓ 1.7 สิ่งมีชีวิตสามารถถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นพ่อแม่ไปยังรุ่นลูกได้สาเหตุหนึ่งมาจากการที่สารพันธุกรรมมีสมบัติในการเพิ่มจำนวนตัวเองได้โดยมีลักษณะเหมือนเดิม
 -× 1.8 ในการจำลองดีเอ็นเอโดยเริ่มต้นจาก DNA 1 โมเลกุล เมื่อผ่านการจำลองไป 3 รอบ จะได้ DNA ใหม่ 7 โมเลกุล และเป็น DNA ตั้งต้น 1 โมเลกุล
แก้ไขเป็น DNA ใหม่ 8 โมเลกุล

-^x 1.9 ในการสังเคราะห์สาย DNA จะสร้างในทิศทางจากปลาย 5' ไป 3' ของ DNA สายใหม่ โดยเบสของ DNA สายใหม่จะต้องเป็นเบสคู่สมของ DNA สายเดิม และปริมาณเบส A ใน DNA สายใหม่จะต้องเท่ากับใน DNA สายที่ใช้เป็นแม่แบบ
แก้ไขเป็น ไม่จำเป็นต้อง
แนวความคิด ปริมาณเบส A ใน DNA สายใหม่จะเท่ากับปริมาณเบส T ใน DNA สายแม่แบบ
-^x 1.10 การสังเคราะห์สาย DNA จะใช้เอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสเชื่อมนิวคลีโอไทด์ให้ต่อกันเป็นสายยาวจากปลาย 5' ไป 3' ของ DNA สายใหม่ ส่วนการสังเคราะห์สาย mRNA จะใช้สาย DNA เป็นแม่แบบ และใช้เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรสเชื่อมนิวคลีโอไทด์ให้ต่อกันเป็นสายยาวจากปลาย 3' ไป 5'
แก้ไขเป็น ปลาย 5' ไป 3'
-^x 1.11 ในการสังเคราะห์โปรตีนจะแปลรหัสบนสาย mRNA จากปลาย 5' ไป 3' โดยกรดแอมิโนเมไทโอนีนจะแปลจากรหัสซึ่งมีลำดับเบสบนสาย mRNA เป็น AUG ซึ่งจะจับกับ tRNA ที่มีลำดับเบสบริเวณรหัส 5' UAC 3'
กรณีที่ 1 แก้ไขเป็น 5' CAU 3'
กรณีที่ 2 แก้ไขเป็น 3' UAC 5'
-[✓] 1.12 ในสิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอตการแปลรหัสจากข้อมูลทางพันธุกรรมเป็นโปรตีนเกิดขึ้นในไซโทพลาซึมโดยมี mRNA เป็นตัวกลางในการนำข้อมูลจาก DNA ในนิวเคลียส
-^x 1.13 การเกิดมิวเทชันระดับยีนไม่สามารถทำให้เกิดการกลายแบบที่ทำให้สายพอลิเพปไทด์สั้นลงได้
แก้ไขเป็น ตัดคำว่า "ไม่" ออก
แนวความคิด การขาดหายของนิวคลีโอไทด์ทำให้ได้สายพอลิเพปไทด์สั้นลง การเพิ่มขึ้นหรือการขาดหายของนิวคลีโอไทด์อาจสามารถทำให้เปลี่ยนรหัสโคดอนจากกรดแอมิโนเป็นรหัสหยุดหรืออาจทำให้เกิดเฟรมชิฟท์มิวเทชันซึ่งอาจทำให้เกิดรหัสหยุดก่อนตำแหน่งเดิม
-^x 1.14 การแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ซึ่งเกิดนอนดิสจังชันของฮอมอโลกัสโครโมโซมในไมโอซิส I จะได้เซลล์สืบพันธุ์ปกติจำนวนมากกว่าที่ได้จากการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ซึ่งเกิดนอนดิสจังชันของฮอมอโลกัสโครโมโซมในไมโอซิส II
แก้ไขเป็น น้อยกว่า

2. ถ้าสิ่งมีชีวิตสปีชีส์หนึ่งมีสารพันธุกรรมเป็น DNA สายคู่ และมีปริมาณของเบส A เป็นร้อยละ 20 ของปริมาณเบสใน DNA ทั้งหมด จงหาปริมาณร้อยละของเบส T C และ G

คำตอบ T = 20%
 C = 30%
 G = 30%

3. จงเติมข้อมูลลงในช่องว่างของตารางแสดงการสังเคราะห์โปรตีนบนส่วนหนึ่งของยีน A ให้สมบูรณ์

ตารางแสดงการสังเคราะห์โปรตีนบนส่วนหนึ่งของยีน A														
ลำดับนิวคลีโอไทด์บนสาย DNA	ปลาย 3'	TAC	CGG	CCG	GGA	AGT	GAA	TCA	TGC	AAG	TGA	TCA	CTG	ปลาย 5'
ลำดับนิวคลีโอไทด์บนสาย mRNA	ปลาย 5'	AUG	GCC	GGC	CCU	UCA	CUU	AGU	ACG	UUC	ACU	AGU	GAC	ปลาย 3'
ลำดับกรดแอมิโน	ปลาย N	Met	Ala	Gly	Pro	Ser	Leu	Ser	Thr	Phe	Thr	Ser	Asp	ปลาย C

4. จากลำดับนิวคลีโอไทด์ต่อไปนี้

3' GCTACACGCCTATAGCGGTGCGGTTCTGAAT 5'

4.1 เมื่อผ่านกระบวนการถอดรหัส mRNA ที่ได้จะมีลำดับนิวคลีโอไทด์อย่างไร

คำตอบ 5' CGAUGUGCGGAUAUCGCCACGCCAAGACUUA 3'

4.2 ถ้ากระบวนการแปลรหัสเริ่มที่รหัสพันธุกรรมของเมไทโอนีนตัวแรกในสาย mRNA สายพอลิเพปไทด์ที่ได้จะมีลำดับอย่างไร

คำตอบ NH₂ – Met – Cys – Gly- Tyr– Arg - His – Ala - Lys – Thr – COOH

4.3 ถ้า DNA เกิดมิวเทชันทำให้คู่เบสที่ตำแหน่งที่ 18 หายไป (นับจากปลาย 5') สายพอลิเพปไทด์ที่ได้จะมีลำดับอย่างไร

คำตอบ NH₂ – Met – Cys – Gly – Tyr – Ala - Thr – Pro - Asp – Leu – COOH

แนวความคิด

DNA 3' GC TAC ACG CCT ATG CGG TGC GGT TCT GAA T 5'

mRNA 5' CG AUG UGC GGA UAC GCC ACG CCA AGA CUU A 3'

polypeptide NH₂ – Met – Cys – Gly – Tyr – Ala - Thr – Pro - Asp – Leu – COOH

4.4 ถ้า DNA เกิดมิวเทชันทำให้คู่เบสที่ตำแหน่งที่ 23 (นับจากปลาย 5') เปลี่ยนเป็น T สายพอลิเพปไทด์ที่ได้จะมีลำดับอย่างไร

คำตอบ NH₂ – Met – Cys – Arg- Tyr– Arg - His – Ala - Lys – Thr – COOH

แนวความคิด

DNA 3' GC TAC ACG TCT ATA GCG GTG CGG TTC TGA AT 5'

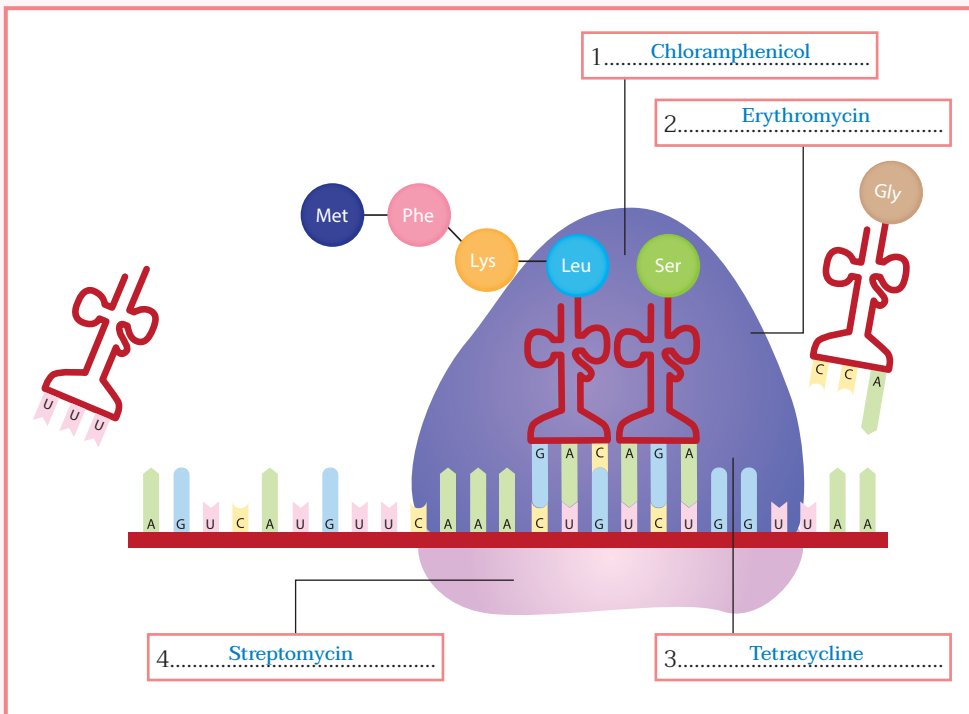
mRNA 5' CG AUG UGC AGA UAU CGC CAC GCC AAG ACU UA 3'

polypeptide NH₂ – Met – Cys – Arg - Tyr – Arg - His – Ala - Lys – Thr – COOH

5. ภาพแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์โปรตีนในแบคทีเรีย

ถ้าแบคทีเรียได้รับยาปฏิชีวนะชนิดต่าง ๆ จะยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน ให้เติมชื่อยาปฏิชีวนะลงในช่องว่างให้สัมพันธ์กับขั้นตอนยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนของแบคทีเรียในลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

- Chloramphenicol จับกับไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดใหญ่และยับยั้งการสร้างพันธะเพปไทด์
- Streptomycin เปลี่ยนแปลงรูปร่างของไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดเล็ก ส่งผลให้อ่านโคดอนของ mRNA ผิด
- Tetracycline รบกวนการจับกันระหว่าง mRNA และ tRNA
- Erythromycin จับกับไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดใหญ่ทำให้ไรโบโซมไม่เคลื่อนที่



6. ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ mRNA ของสายพันธุ์ปกติและพันธุ์กลาย (mutant) ของสิ่งมีชีวิตเป็นดังนี้

สายพันธุ์ปกติ: mRNA 5' ... UCC CUG ACC CAG CGA AAC CCU ... 3'

สายพันธุ์ปกติ: พอลิเพปไทด์ Ser - Leu - Thr - Gln - Arg - Asn - Pro

พันธุ์กลาย 1: 5' ... UCC CUG ACC UAG CGA AAC CCU ... 3'

พันธุ์กลาย 2: 5' ... UCC CUG ACC CAG CUA AAC CCU ... 3'

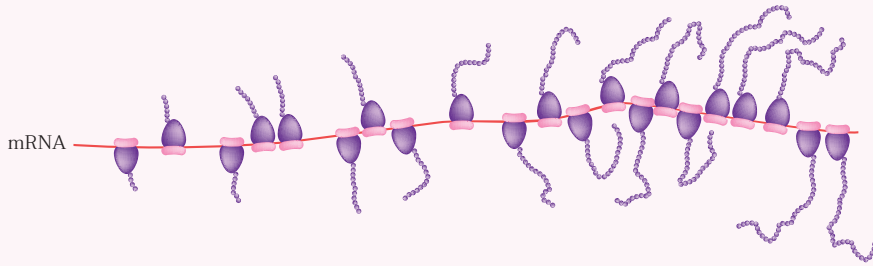
พันธุ์กลาย 3: 5' ... UCC CUA ACC CAG CGA AAC CCU ... 3'

พันธุ์กลาย 4: 5' ... UCC CUG ACC CCA GCG AAA CCC ... 3'

จงระบุว่าพันธุ์กลายเกิดมิวเทชันอย่างไร ทำให้เกิดผลอย่างไร และลำดับกรดอะมิโนบนสายพอลิเพปไทด์ที่สังเคราะห์ได้จะมีลำดับอย่างไร

	มิวเทชัน	ผลที่เกิดขึ้น	ลำดับกรดอะมิโน
พันธุ์กลาย 1	การแทนที่คู่เบสของเบสตำแหน่งที่ 10	สายพอลิเพปไทด์ที่ได้สั้นลง	Ser-Leu-Thr
พันธุ์กลาย 2	การแทนที่คู่เบสของเบสตำแหน่งที่ 14	ชนิดของกรดอะมิโนเปลี่ยนแปลง	Ser-Leu-Thr-Gln-Leu-Asn-Pro
พันธุ์กลาย 3	การแทนที่คู่เบสของเบสตำแหน่งที่ 6	ชนิดของกรดอะมิโนไม่เปลี่ยนแปลง	Ser-Leu-Thr-Gln-Arg-Asn-Pro
พันธุ์กลาย 4	การเพิ่มขึ้นของนิวคลีโอไทด์ระหว่างเบสตำแหน่งที่ 10 และ 11	ชนิดของกรดอะมิโนตั้งแต่ตำแหน่งที่มีการเพิ่มขึ้นเปลี่ยนแปลงไป	Ser-Leu-Thr-Pro-Ala-Lys-Pro

7. พอลิโซมที่เกิดในภาพเป็นการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์โพรแคริโอตหรือเซลล์ยูแคริโอต อธิบายเหตุผลประกอบ และการแปลรหัสที่เกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์



คำตอบ เป็นการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ยูแคริโอต เนื่องจากพบเฉพาะ mRNA ที่กำลังมีการแปลรหัส ไม่พบ DNA ซึ่งอยู่ในนิวเคลียส การแปลรหัสที่เกิดขึ้นที่ไซโทพลาซึม

บทที่

5

| การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

ipst.me/7695

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายและสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสารพันธุกรรม แอลลีล โปรตีน ลักษณะทางพันธุกรรม และเชื่อมโยงกับความรู้เรื่องพันธุศาสตร์เมนเดล
3. อธิบายและสรุปกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ และนำกฎของเมนเดลนี้ไปอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และใช้ในการคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์แบบต่างๆ ของรุ่น F_1 และ F_2
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล
5. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่อง และลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง
6. อธิบายการถ่ายยีนบนโครโมโซม และยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายและสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสารพันธุกรรม แอลลีล โพรตีน ลักษณะทางพันธุกรรม และเชื่อมโยงกับความรู้เรื่องพันธุศาสตร์เมนเดล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. อธิบายความหมายและยกตัวอย่าง ลักษณะเด่น ลักษณะด้อย แอลลีล ฟีนไทป์ จีโนไทป์ ฮอมอไซกัส เฮเทอโรไซกัส ฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ และฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ
3. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสารพันธุกรรม แอลลีล โพรตีน ลักษณะทางพันธุกรรม และเชื่อมโยงกับความรู้เรื่องพันธุศาสตร์เมนเดล

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์

ผลการเรียนรู้

3. อธิบายและสรุปกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ และนำกฎของเมนเดลนี้ไปอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และใช้ในการคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์แบบต่างๆ ของรุ่น F_1 และ F_2

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบาย และสรุปกฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
2. นำกฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระไปอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และใช้ในการคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์แบบต่างๆ ของรุ่น F_1 และ F_2

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน 2. การลงความเห็นจากข้อมูล 3. การพยากรณ์	1. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ 2. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและ การแก้ปัญหา	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน เชิงประจักษ์ 3. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

- สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล

จุดประสงค์การเรียนรู้

- สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นความเด่นไม่สมบูรณ์ ความเด่นร่วม มัลติเพิลแอลลีล และลักษณะควบคุมด้วยยีนหลายคู่
- นำความรู้ไปใช้ในการหาโอกาสเกิดลักษณะที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน 2. การลงความเห็นจากข้อมูล 3. การพยากรณ์	1. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ 2. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและ การแก้ปัญหา	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน เชิงประจักษ์ 3. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

5. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่อง และลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่อง และลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การจำแนกประเภท 3. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน เชิงประจักษ์ 3. ความรอบคอบ

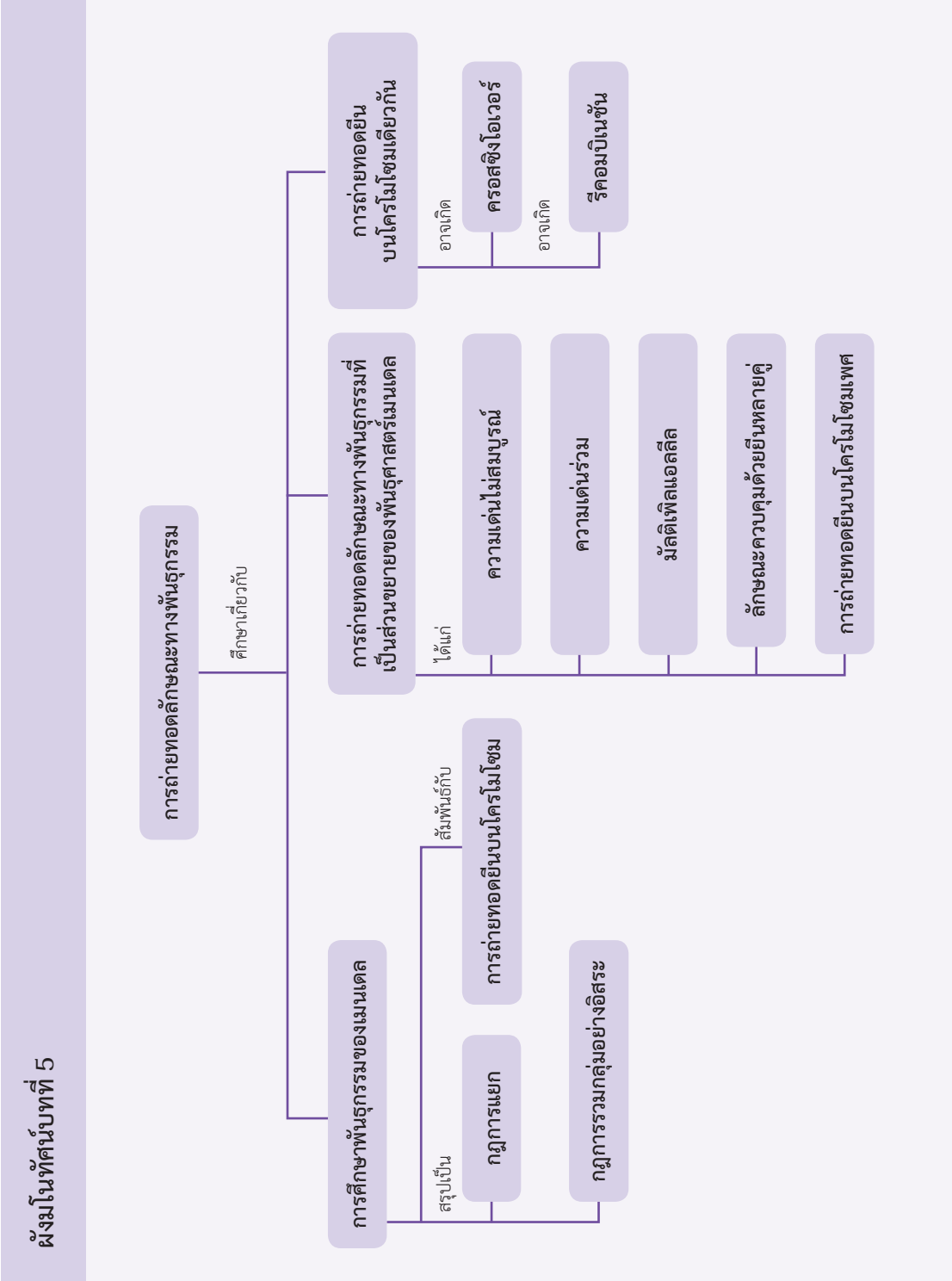
ผลการเรียนรู้

6. อธิบายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม และยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล และอธิบายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม และยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ
2. อธิบายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเดียวกัน และการเกิดครอสซิงโอเวอร์ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การจำแนกประเภท 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน เชิงประจักษ์ 3. ความรอบคอบ



สาระสำคัญ

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะซึ่งสามารถถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่งได้ เมนเดลศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมโดยการผสมพันธุ์ถั่วลันเตา จนสรุปเป็นกฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ กฎการแยกมีใจความว่าแอลลีลที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกัน ในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะมีเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง กฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระมีใจความว่า หลังจากคู่ของแอลลีลแยกออกจากกัน แต่ละแอลลีลจะจัดกลุ่มอย่างอิสระกับแอลลีลอื่นๆ ที่แยกออกจากคู่เช่นกันในการเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะให้อัตราส่วนที่แตกต่างจากผลการศึกษาของเมนเดล เรียกลักษณะเหล่านี้ว่า ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล เช่น ความเด่นไม่สมบูรณ์ ความเด่นร่วม มัลติเพิลแอลลีล ลักษณะควบคุมด้วยยีนหลายคู่ การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศ

ลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะมีความแตกต่างกันชัดเจน เช่น การมีติ่งหูหรือไม่มีติ่งหู ซึ่งเป็นลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่อง แต่บางลักษณะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยและลดหลั่นกันไป เช่น ความสูงและสีผิวของมนุษย์ถูกควบคุมโดยยีนหลายคู่ ซึ่งเป็นลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่องและสิ่งแวดล้อมอาจมีผลต่อการแสดงลักษณะนั้น

โครโมโซมภายในเซลล์ร่างกายแบ่งเป็นออโตโซมและโครโมโซมเพศ ยีนบนโครโมโซมจะถ่ายทอดสู่รุ่นถัดไปผ่านเซลล์สืบพันธุ์ ลักษณะทางพันธุกรรมส่วนใหญ่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม ซึ่งยีนที่ควบคุมลักษณะต่างๆ จะอยู่กันเป็นคู่ บางลักษณะถูกควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซมเพศ ซึ่งทำให้โอกาสในการแสดงลักษณะในเพศชายและเพศหญิงแตกต่างกัน

เมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ยีนบนโครโมโซมเดียวกันที่อยู่ใกล้กันมักจะถูกถ่ายทอดไปด้วยกัน แต่การเกิดครอสซิงโอเวอร์ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสอาจทำให้ยีนบนโครโมโซมเดียวกันแยกจากกันได้ ส่งผลให้รูปแบบของเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้แตกต่างไปจากกรณีที่ไม่เกิดครอสซิงโอเวอร์

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 16 ชั่วโมง

5.1 การศึกษาพันธุกรรมของเมนเดล	7.0	ชั่วโมง
5.2 ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล	8.0	ชั่วโมง
5.3 ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน	1.0	ชั่วโมง
รวม	16.0	ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



1. ลักษณะการห่อลิ้น ความสูง และโรคทาลัสซีเมีย ควบคุมโดยพันธุกรรม



2. ลูกจะมีลักษณะทางพันธุกรรมครึ่งหนึ่งเหมือนพ่อและอีกครึ่งหนึ่งเหมือนแม่ เพราะได้รับการถ่ายทอดโครโมโซมชุดหนึ่งจากพ่อและอีกชุดหนึ่งจากแม่



3. “โครโมโซม ยีน DNA นิวคลีโอไทด์” เป็นการเรียงลำดับจากใหญ่ไปเล็ก



4. ลักษณะเด่นจะพบในประชากรของสิ่งมีชีวิตมากกว่าลักษณะด้อย



5. แอลลีล คือ รูปแบบของยีนที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกัน



6. ถ้าพ่อมีลักยิ้มและแม่ไม่มีลักยิ้ม ลูกทุกคนในครอบครัวจะมีลักยิ้ม



7. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างอสุจิของมนุษย์ ได้เซลล์ลูก 4 เซลล์ แต่ละเซลล์มีจำนวนโครโมโซม 46 แท่ง



8. สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเด่นจะมีความแข็งแรงมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะด้อย



9. เมื่อเกิดมิวเทชันอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของโปรตีน ซึ่งถ้าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดในเซลล์สืบพันธุ์จะสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้



10. ลูกชายจะมีลักษณะทางพันธุกรรมเหมือนกับพ่อมากกว่าแม่

ครูพบทวนการทำงานของยีนที่ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตผ่านกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งทำให้เกิดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต บางลักษณะจะปรากฏให้เห็นได้ เช่น สีตา สีผิว ความสูง บางลักษณะจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากภายนอกแต่สามารถตรวจสอบได้ เช่น หมู่เลือด ตาบอดสี จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและอภิปรายว่า **ลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตถ่ายทอดจากบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลานได้อย่างไร** จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ

5.1 การศึกษาพันธุกรรมของเมนเดล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. อธิบายความหมายและยกตัวอย่าง ลักษณะเด่น ลักษณะด้อย แอลลีล ฟิโนไทป์ จีโนไทป์ ฮอมอไซกัส เฮเทอโรไซกัส ฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ และฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ
3. อธิบายและสรุปกฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
4. นำกฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระไปอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และใช้ในการคำนวณโอกาสในการเกิดฟิโนไทป์และจีโนไทป์แบบต่างๆ ของรุ่น F_1 และ F_2

แนวการจัดการเรียนรู้



บทความ



บทความ

ครูพบทวนสมบัติของสิ่งมีชีวิตจากที่ได้เรียนมาแล้ว สมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตคือสามารถสืบพันธุ์เพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ได้โดยการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง จากนั้นให้นักเรียนสำรวจและยกตัวอย่างลักษณะของนักเรียนว่ามีลักษณะใดที่คล้ายพ่อหรือแม่ และบรรพบุรุษ มีลักษณะใดที่เหมือนหรือแตกต่างจากพี่และน้อง หรือครูอาจใช้รูปสัตว์ที่ลูกมีลักษณะเหมือนพ่อหรือแม่ให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เพื่อแสดงให้เห็นว่าลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตสามารถถ่ายทอดได้

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาวิดิทัศน์เกี่ยวกับการทดลองของเมนเดล จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและอภิปรายว่า **การศึกษาทางวิทยาศาสตร์เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมทำได้อย่างไร** ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกสิ่งมีชีวิตในการทดลองของเมนเดล และอภิปรายว่าเหตุใดเมนเดลจึงเลือกถั่วลันเตาเป็นพืชทดลอง เพื่อให้นักเรียนสรุปได้ว่าถั่วลันเตามีลักษณะที่เหมาะสมต่อการทดลองของเมนเดล คือ

1. เป็นพืชที่มีวัฏจักรชีวิตสั้น ให้ผลการทดลองได้ในระยะเวลาไม่นาน
2. ปลุกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ให้ลูกหลานจำนวนมากในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลจากผลการทดลองน่าเชื่อถือมากขึ้น
3. มีหลายลักษณะซึ่งแต่ละลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น สีกลีบดอกมีสีม่วงและสีขาว รูปร่างของเมล็ดมีเมล็ดกลมและเมล็ดขรุขระ
4. มีดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบดอกปิดคลุมกลุ่มเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมีย ป้องกันไม่ให้เรณูจากดอกอื่นเข้ามาผสมกับเซลล์ไข่ ในธรรมชาติจึงมีการปฏิสนธิตัวเอง ทำให้ควบคุมการปฏิสนธิข้ามได้ง่าย

ครูใช้คำถามหรืออาจให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับวิธีการทดลองของเมนเดล คำถามอาจเป็นดังนี้

- เมนเดลมีวิธีการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาอย่างไร
- ผลการทดลองของเมนเดลเป็นอย่างไรบ้าง

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นและวิเคราะห์การทดลองของเมนเดล โดยพิจารณาจากรูป 5.1 และรูป 5.2 ในหนังสือเรียน ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปขั้นตอนการทดลองของเมนเดล ดังนี้

1. เมนเดลคัดเลือกลักษณะของถั่วลันเตา 7 ลักษณะ ได้แก่ ความสูงของต้น สีของกลีบดอก ตำแหน่งของดอกบนต้น สีของเมล็ด รูปร่างของเมล็ด สีของฝัก และรูปร่างของฝัก ซึ่งแต่ละลักษณะมีรูปแบบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น กลีบดอกสีม่วงและกลีบดอกสีขาว
2. เมนเดลทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตาโดยพิจารณาลักษณะทีละลักษณะ เรียกว่าการผสมลักษณะเดียว
3. ผสมภายในดอกเดียวกันหลาย ๆ รุ่น จนแน่ใจว่าได้ต้นที่เป็นพันธุ์แท้ของลักษณะนั้นแล้วนำต้นแม่ที่มีกลีบดอกสีม่วงพันธุ์แท้และต้นพ่อที่มีกลีบดอกสีขาวพันธุ์แท้มาผสมกัน เรียกวันนี้ว่ารุ่นพ่อแม่ หรือ รุ่น P
4. ตัดเกสรเพศผู้ทิ้งให้เหลือเฉพาะเกสรเพศเมีย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการผสมภายในดอกเดียวกัน แล้วนำเรณูจากอับเรณูของดอกจากอีกต้นหนึ่งมาป้ายที่ยอดเกสรเพศเมียของดอกเพศเมียนั้น เพื่อให้เกิดการปฏิสนธิข้าม
5. ผสมพันธุ์ในรุ่นพ่อแม่จะได้เมล็ดซึ่งไปปลูกได้เป็นต้นใหม่จำนวนมาก เรียกวันนี้ว่า รุ่น F_1
6. ให้รุ่น F_1 ปฏิสนธิตัวเองจะได้เมล็ดซึ่งไปปลูกได้เป็นต้นใหม่ เรียกวันนี้ว่า รุ่น F_2

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับผลการทดลองในการผสมถั่วลิ้นเตาดอกสีม่วงและดอกสีขาวของเมนเดล ในรูป 5.2 ในหนังสือเรียน โดยครูอาจทบทวนเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตว่าสิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซมเป็น 2 ชุด ยีนแต่ละโลค์สับบนฮอโมโลกัสโครโมโซมจะมี 2 แอลลีล ซึ่งอาจมีรูปแบบเดียวกันหรือแตกต่างกัน โดยลูกจะได้รับแอลลีลหนึ่งมาจากพ่อและอีกแอลลีลมาจากแม่ ส่วนคำถามในหนังสือมีแนวการตอบดังต่อไปนี้

- ?** เพราะเหตุใดถั่วลิ้นเตาในรุ่น F_1 จึงไม่ปรากฏต้นที่มีดอกสีขาว
-  ยีนควบคุมลักษณะสีกลีบดอกถูกถ่ายทอดจากรุ่น P ไปยังรุ่น F_1 และไปยังรุ่น F_2 โดยลูกจะได้รับแอลลีลหนึ่งจากพ่อและอีกแอลลีลจากแม่ ทั้งนี้ในรุ่น F_1 จะปรากฏต้นที่มีกลีบดอกสีม่วง ซึ่งเป็นลักษณะเด่นทั้งหมด แม้ว่าจะมีแอลลีลด้อยควบคุมกลีบดอกสีขาวจากรุ่น P อยู่ แต่ไม่มีการแสดงออก จึงทำให้เกิดกลีบดอกสีม่วง
- ?** เพราะเหตุใดลักษณะที่ปรากฏในรุ่น F_2 จึงแตกต่างจากลักษณะที่ปรากฏในรุ่น F_1
-  ในรุ่น F_2 จะปรากฏทั้งต้นที่มีกลีบดอกสีม่วงและต้นที่มีกลีบดอกสีขาว ในอัตราส่วนประมาณ 3 : 1 เนื่องจากรุ่น F_1 เป็นลูกผสมจากแม่เด่นพันธุ์แท้และพ่อด้อยพันธุ์แท้ เมื่อนำรุ่น F_1 ที่เป็นเฮเทอไรโกสมาผสมภายในดอกเดียวกันจึงปรากฏต้นที่มีกลีบดอกสีขาว

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลิ้นเตาจากตาราง 5.1 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ในประเด็น ดังนี้

- ผลการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลิ้นเตาทั้ง 7 ลักษณะสอดคล้องกันหรือไม่ อย่างไร
- ลักษณะใดของต้นถั่วลิ้นเตาเป็นลักษณะเด่น และลักษณะใดเป็นลักษณะด้อย
- ถ้าผสมสลับลักษณะสีกลีบดอกของต้นพ่อและต้นแม่ ลักษณะของรุ่น F_1 และ F_2 จะเป็นอย่างไร
- ถ้าในรุ่น P ต้นพ่อหรือต้นแม่ไม่เป็นพันธุ์แท้ ลักษณะสีกลีบดอกของรุ่น F_1 และ F_2 จะเป็นดังตารางหรือไม่

จากการสืบค้นข้อมูลและการวิเคราะห์ นักเรียนควรสรุปได้ว่าผลการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลิ้นเตาทั้ง 7 ลักษณะสอดคล้องกันคือ รุ่น F_1 จะแสดงเฉพาะลักษณะของพ่อหรือแม่เพียงลักษณะเดียวที่เป็นลักษณะเด่น ส่วนลักษณะที่ถ่ายทอดไปยัง F_2 จะแสดงทั้งสองลักษณะของรุ่น P ในอัตราส่วนลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย โดยประมาณ 3 : 1 ลักษณะเด่น ได้แก่ ต้นสูง กลีบดอกสีม่วง

ดอกตามซอก เมล็ดสีเหลือง เมล็ดกลม ฝักสีเขียว และฝักอวบ ส่วนลักษณะด้อย ได้แก่ ต้นเตี้ย กลีบดอกสีขาว ดอกตามยอด เมล็ดสีเขียว เมล็ดขรุขระ ฝักสีเหลือง และฝักแฟบ

โดยถ้าผสมสลับลักษณะของพ่อแม่ในรุ่น P ลักษณะของลูกในรุ่น F_1 และ F_2 จะยังคงเป็นเหมือนเดิม แต่ถ้าในรุ่น P ต้นพ่อหรือต้นแม่ไม่เป็นพันธุ์แท้จะส่งผลให้ลักษณะของลูกในรุ่น F_1 และ F_2 แตกต่างไปจากข้อมูลผลการทดลองของเมนเดล

ครูบทวนและให้ความรู้เกี่ยวกับโลคัสของยีนบนฮอมอโลกัสโครโมโซม โดยใช้รูป 5.3 ในหนังสือเรียนประกอบ และครูอาจบทวนหลักการเขียนจีโนไทป์และให้นักเรียนฝึกเขียนจีโนไทป์ของลักษณะต่าง ๆ

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและอธิบายความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในทางพันธุศาสตร์

- o ลักษณะเด่น (dominant trait) คือ ลักษณะที่แสดงออกมาให้เห็นได้ในสภาพเฮเทอโรไซกัส แม้ว่าจะมีแอลลีลเด่นเพียงแอลลีลเดียว
- o ลักษณะด้อย (recessive trait) คือ ลักษณะที่แสดงออกมาให้เห็นได้ในสภาพที่มีแอลลีลด้อย 2 แอลลีล (ฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ)
- o แอลลีล (allele) คือ รูปแบบของยีนที่อยู่บนโลคัสเดียวกันบนฮอมอโลกัสโครโมโซม
- o ฟีนোটป์ (phenotype) คือ ลักษณะที่ปรากฏซึ่งเป็นผลจากการควบคุมของจีโนไทป์
- o จีโนไทป์ (genotype) คือ รูปแบบของยีนที่อยู่เป็นคู่ เพื่อควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม
- o โลคัส (locus) คือ ตำแหน่งของยีนที่เป็นแอลลีลกัน และอยู่ตรงกันบนฮอมอโลกัสโครโมโซม
- o ฮอมอไซกัส (homozygous) คือ รูปแบบของจีโนไทป์ที่มีแอลลีล 2 แอลลีลที่เหมือนกัน เช่น แอลลีลเด่นทั้ง 2 แอลลีล (AA) เป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ (homozygous dominant) หรือแอลลีลด้อยทั้ง 2 แอลลีล (aa) เป็นฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ (homozygous recessive)
- o เฮเทอโรไซกัส (heterozygous) คือ รูปแบบของจีโนไทป์ที่มีแอลลีล 2 แอลลีลที่ต่างกัน เช่น Aa

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารูป 5.4 ในหนังสือเรียน เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนในจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ เฮเทอโรไซกัส และฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ แล้วอภิปรายในประเด็นดังต่อไปนี้

- ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแอลลีล P และแอลลีล p แตกต่างกันหรือไม่ ถ้าแตกต่างกันจะส่งผลอย่างไร
- ✎ แตกต่างกัน แอลลีล P ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างสารสีแอนโทไซยานิน ทำให้เกิดกลีบดอกสีม่วง ส่วนแอลลีล p มีลำดับนิวคลีโอไทด์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้โปรตีนนี้เปลี่ยนแปลงไป จึงไม่มีเอนไซม์ในกระบวนการสร้างสารสีแอนโทไซยานิน
- จากการทดลองของเมนเดลในรุ่น F_1 แอลลีลที่ควบคุมลักษณะกลีบดอกสีขาวยังคงมีหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ✎ รุ่น F_1 เป็นเฮเทอโรไซกัสและมีแอลลีลควบคุมลักษณะกลีบดอกสีขาว (p) ที่ได้รับการถ่ายทอดจากรุ่น P อยู่ แต่ไม่มีการแสดงออก และกลีบดอกสีม่วงในรุ่น F_1 เกิดจากการแสดงออกของแอลลีลที่ควบคุมลักษณะกลีบดอกสีม่วง (P) ทำให้มีการสร้างสารสีแอนโทไซยานิน

แนวการจัดการเรียนรู้เรื่องความน่าจะเป็น

ในหัวข้อเกี่ยวกับกฎของเมนเดล นักเรียนควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความน่าจะเป็น ครูควรทบทวนเกี่ยวกับความน่าจะเป็นโดยอาจนำเข้าสู่บทเรียนด้วยการตั้งประเด็นคำถามว่า เมนเดลใช้หลักการใดอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม จากนั้นครูทบทวนความหมายของความน่าจะเป็น โดยอาจใช้แนวการจัดการเรียนรู้เรื่องความน่าจะเป็นดังนี้

ครูอาจให้นักเรียนแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมนอกเวลาเรียน โดยเลือกทำกิจกรรม ได้แก่ โยนเหรียญ 1 เหรียญ และโยนเหรียญ 2 เหรียญ หรือ โยนลูกเต๋า ซึ่งการทำลูกเต๋อาจใช้ยางลบดินสอดัดให้เหมือนกันกับลูกเต๋าทน และเขียนหมายเลข 1-6 กำกับ ทำการทดลองประมาณ 100 ครั้ง จากนั้นบันทึกผล นำเสนอ และอภิปรายผลการทดลองโดยอาศัยหลักของความน่าจะเป็น

เมื่อมีการทดลองโดยสุ่ม ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งจะเท่ากับอัตราส่วนของจำนวนผลลัพธ์ของเหตุการณ์ต่อจำนวนผลลัพธ์ทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น เมื่อโยนเหรียญ 1 เหรียญ จะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น 2 แบบ คือ ออกหัวหรือออกก้อย ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการออกหัวจึงเท่ากับ $\frac{1}{2}$ และความน่าจะเป็นของการออกก้อยจึงเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ส่วนการโยนลูกเต๋า 1 ครั้ง จะมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ขึ้น 6 แบบ คือ ออกแต้มเป็น 1, 2, 3, 4, 5 หรือ 6 ดังนั้นความน่าจะเป็นของการออกแต้มเป็นแต้มใดแต้มหนึ่งจึงเท่ากับ $\frac{1}{6}$ เป็นต้น

ครูและนักเรียนอภิปรายตัวอย่างในหนังสือเรียน เพื่อสรุปหลักการคูณและหลักการบวก และอาจอภิปรายตัวอย่างเพิ่มเติม ดังนี้

หลักการคูณ เช่น กรณีการโยนเหรียญ 2 เหรียญพร้อมกัน โอกาสของการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ จะเท่ากับผลคูณของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นแต่ละเหตุการณ์ เช่น โอกาสของการออกหัวทั้ง 2 เหรียญจึงมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ โอกาสของการออกก้อยทั้ง 2 เหรียญจะเท่ากับ $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ แต่โอกาสของการออกหัวและก้อยอย่างละ 1 เหรียญจะเท่ากับ $(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}) + (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}) = \frac{2}{4}$ หรือ $\frac{1}{2}$

หลักการบวก เช่น การโยนลูกเต๋า 1 ครั้ง มีโอกาสของการออกแต้มเป็นเลขคู่ มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$ หรือ $\frac{1}{2}$

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? ให้นักเรียนยกตัวอย่างเหตุการณ์ที่สามารถใช้ความน่าจะเป็นในการอธิบายอย่างน้อย 2 เหตุการณ์



คำตอบของนักเรียนมีได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น

- เมื่อโยนเหรียญ 3 อันพร้อมกัน โอกาสของการออกหัวทั้ง 3 เหรียญจะเท่ากับ $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$
- โอกาสในการโยนลูกเต๋า 2 ลูกพร้อมกัน โดยมีลูกหนึ่งออกแต้ม 1 และอีกลูกหนึ่งออกแต้ม 6 $= (\frac{1}{6} \times \frac{1}{6}) + (\frac{1}{6} \times \frac{1}{6}) = \frac{1}{18}$
- โอกาสที่สิ่งมีชีวิตซึ่งมีจีโนไทป์ Aa จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล A = $\frac{1}{2}$ และเซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล a = $\frac{1}{2}$

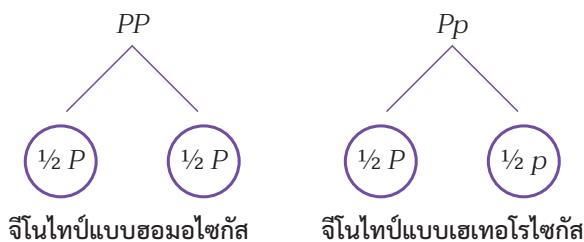
5.1.1 กฎการแยก

ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 5.5 ในหนังสือเรียน แล้วครูตั้งคำถามนำเพื่อเชื่อมโยงความน่าจะเป็น และกฎการแยกของเมนเดลว่า **เพราะเหตุใดอัตราส่วนฟีโนไทป์ของรุ่น F_2 จึงมีลักษณะเด่นต่อลักษณะด้อยเท่ากับ 3 : 1**

นักเรียนควรสรุปได้ว่าถั่วลันเตาที่มีกลีบดอกสีม่วงมีจีโนไทป์ Pp โดยแอลลีล P และ p มีโอกาสที่จะแยกสู่เซลล์ไข่หรือสเปิร์มเท่า ๆ กัน คือ $\frac{1}{2}$ เมื่อมีการปฏิสนธิโอกาสที่สเปิร์มจะรวมกับเซลล์ไข่เป็นไปได้อีก 3 แบบ คือ PP , Pp และ pp ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 และมีฟีโนไทป์ 2 แบบ คือ กลีบดอกสีม่วงและกลีบดอกสีขาวในอัตราส่วน 3 : 1 จากนั้นครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ตารางพันเนตต์ในการหาจีโนไทป์ของรุ่นลูก

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับใจความสำคัญของกฎการแยก คือ แอลลีลที่อยู่เป็นคู่กันจะแยกออกจากกันในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะมีเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง และครูเชื่อมโยงกฎการแยกกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสว่าสัมพันธ์กับระยะใดในการแบ่งเซลล์ และอาจให้นักเรียนเขียนแผนภาพแสดงกฎการแยก

ครูอาจชี้ให้นักเรียนเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองของเมนเดล มีการนำคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองและใช้หลักความน่าจะเป็นในการอธิบาย และนำไปสู่การอธิบายเกี่ยวกับการแยกของแอลลีลที่เข้าคู่กันไปยังเซลล์สืบพันธุ์ซึ่งจะมีโอกาสปรากฏในเซลล์สืบพันธุ์ได้เท่า ๆ กัน โดยในกรณีที่มิมีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัส เซลล์สืบพันธุ์ทั้งหมดจะมีแบบเดียว ส่วนในกรณีที่มิมีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัส เซลล์สืบพันธุ์จะมี 2 แบบ แต่ละแบบมีโอกาสเกิดเท่ากันคือ $\frac{1}{2}$ ดังรูป 5.1



รูป 5.1 กฎการแยก

นอกจากนี้ ครูอาจตั้งคำถามกระตุ้นให้นักเรียนอยากรับว่า อัตราส่วน 3 : 1 ในรุ่น F_2 ในการทดลองของเมนเดลเกิดได้อย่างไร โดยอาจเชื่อมโยงกับกิจกรรมนอกเวลาเรียนในการโยนเหรียญ 2 เหรียญ เพื่อศึกษาความน่าจะเป็น ซึ่งได้ข้อสรุปว่า เมื่อโยนเหรียญ 2 เหรียญพร้อมกัน โอกาสที่จะเป็นไปได้อีก 3 แบบ คือ ออกหัว 2 เหรียญ ออกหัวและออกก้อย และออกก้อยทั้ง 2 เหรียญ ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 เช่นเดียวกับการผสมพันธุ์ต้นถั่วลันเตาที่เป็นเฮเทอโรไซกัส จะมีโอกาสได้ลูกที่มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ : เฮเทอโรไซกัส : ฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ เท่ากับ 1 : 2 : 1 โดยจะมีฟีโนไทป์เป็นลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย เท่ากับ 3 : 1

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? ถ้าผสมพันธุ์ถั่วลันเตาต้นพ่ที่มีเมล็ดรูปร่างกลมและมีจีโนไทป์ Rr กับถั่วลันเตาต้นแม่ที่มีเมล็ดรูปร่างขรุขระและมีจีโนไทป์ rr จะมีโอกาสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ อะไรบ้าง และรุ่นลูกมีโอกาสมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์กี่แบบ อะไรบ้าง และมีอัตราส่วนเป็นเท่าใด

 ต้นพ่ที่มีจีโนไทป์ Rr มีโอกาสสร้างสเปิร์ม 2 แบบ คือ R และ r และต้นแม่ที่มีจีโนไทป์ rr สร้างเซลล์ไข่ 1 แบบ คือ r รุ่น F_1 มีโอกาสมีจีโนไทป์ 2 แบบ คือ Rr และ rr มีอัตราส่วนเป็น 1 : 1 และมีฟีโนไทป์ 2 แบบ คือ เมล็ดกลม และเมล็ดขรุขระ มีอัตราส่วนเป็น 1 : 1

? ถ้านำถั่วลันเตากลิบดอกสีม่วงที่มีจีโนไทป์เป็น Pp มาผสมพันธุ์กันเอง การเข้าคู่กันของแอลลีลเป็นไปตามหลักความน่าจะเป็นอย่างไร

 ถ้าถั่วลันเตากลิบดอกสีม่วงมีจีโนไทป์ Pp โดยแอลลีล P และ p มีโอกาสที่จะแยกสู่เซลล์ไข่หรือสเปิร์มเท่าๆ กัน คือ $\frac{1}{2}$ เมื่อมีการปฏิสนธิ สเปิร์มจะรวมกับเซลล์ไข่ มีโอกาสเกิดจีโนไทป์ 3 แบบ คือ

$$PP \text{ มีโอกาสเป็น } \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$Pp \text{ มีโอกาสเป็น } (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}) + (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}) = \frac{2}{4} \text{ และ}$$

$$pp \text{ มีโอกาสเป็น } \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$



กิจกรรม 5.1 การแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง การผสมลักษณะเดียว

จุดประสงค์

1. เขียนจีโนไทป์และฟีโนไทป์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
2. ห้ออัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_1 และ F_2 จากสถานการณ์ที่กำหนดให้

แนวการจัดกิจกรรม

1. ครูให้นักเรียนฝึกแก้โจทย์ปัญหา โดยอาจเพิ่มเติมโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับการผสมพิจารณา ลักษณะเดียวที่เป็นไปตามกฎของเมนเดล
2. ครูและนักเรียนอาจอภิปรายแนวการตอบร่วมกันในชั้นเรียน

แนวการตอบกิจกรรม

1. จงเติมจีโนไทป์ สภาพของจีโนไทป์ แบบของแอลลีลในเซลล์สืบพันธุ์ และโอกาสของการเกิดเซลล์สืบพันธุ์แต่ละแบบ ลงในตารางต่อไปนี้ให้สมบูรณ์



จีโนไทป์	สภาพของจีโนไทป์	แบบของแอลลีลในเซลล์สืบพันธุ์ และโอกาสของการเกิด
WW	ฮอมอไซกัสโดมิแนนท์	W (1)
Ww	เฮเทอโรไซกัส	W (1/2) และ w (1/2)
Tt	เฮเทอโรไซกัส	T (1/2) และ t (1/2)
aa	ฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ	a (1)

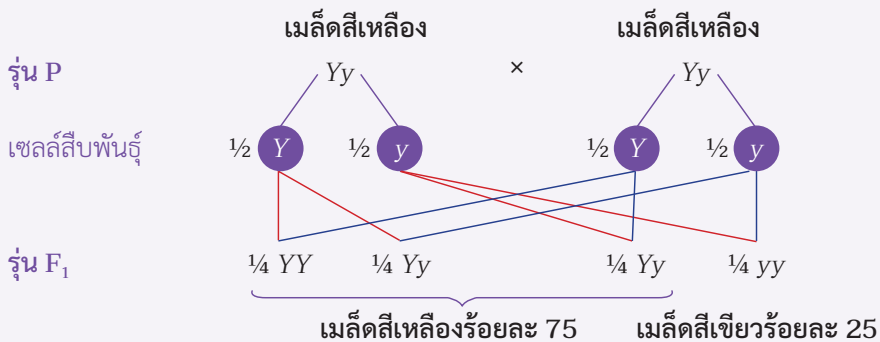
2. ถั่วลันเตาลักษณะเมล็ดสีเหลืองเป็นลักษณะเด่นต่อลักษณะเมล็ดสีเขียว ในการผสมพันธุ์ภายในดอกเดียวกันของต้นที่มีลักษณะเมล็ดสีเหลืองที่เป็นเฮเทอโรไซกัส จงหาร้อยละของรุ่น F_1 ที่มีลักษณะเมล็ดสีเขียว



รุ่น F_1 ที่มีลักษณะเมล็ดสีเขียว คิดเป็นร้อยละ 25 ดังนี้

แนวการคิด

กำหนดให้ Y แทนแอลลีลควบคุมเมล็ดสีเหลืองและ y แทนแอลลีลควบคุมเมล็ดสีเขียว

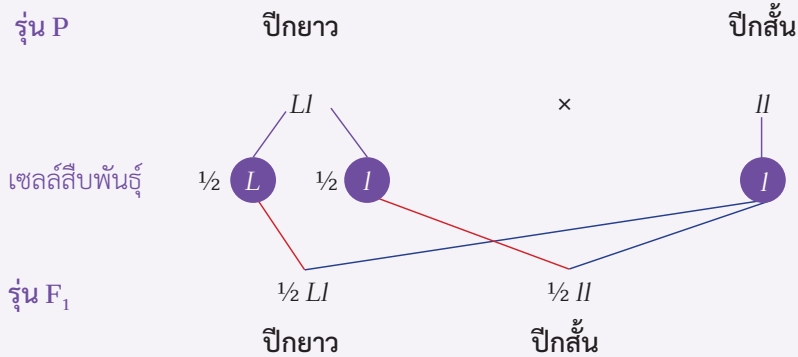


3. ในแมลงหวี่ กำหนดให้ L แทนแอลลีลควบคุมลักษณะปีกยาวและ l แทนแอลลีลควบคุมลักษณะปีกสั้น เมื่อผสมพันธุ์แมลงหวี่ปีกยาวและปีกสั้น จะได้ลูกที่มีปีกยาวและลูกที่มีปีกสั้น ในอัตราส่วน 1 : 1 จงหาจีโนไทป์ของพ่อแม่และลูก



จีโนไทป์ของพ่อแม่เป็น Ll และ ll และจีโนไทป์ของรุ่น F_1 เป็น Ll และ ll

แนวความคิด



4. ถ้า B แทนแอลลีลที่ควบคุมลักษณะลำต้นมีขนในพืชชนิดหนึ่ง และ b แทนแอลลีลที่ควบคุมลักษณะลำต้นไม่มีขน ในการผสมพันธุ์ต้นที่มีลำต้นมีขนคู่หนึ่ง ปรากฏว่ารุ่นลูกจำนวน 123 ต้น มีลำต้นมีขนจำนวน 90 ต้น และมีลำต้นไม่มีขนจำนวน 33 ต้น

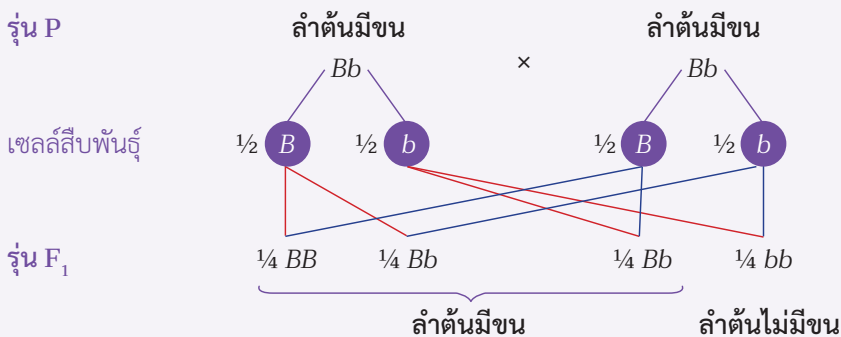
4.1 ข้อมูลนี้บอกอะไรแก่เราบ้าง

เนื่องจากรุ่นลูกมีลักษณะลำต้นมีขน 90 ต้น และลำต้นไม่มีขน 33 ต้น คิดเป็นอัตราส่วนจะได้ประมาณ 3 : 1 ดังนั้นลำต้นมีขนเป็นลักษณะเด่น และลำต้นไม่มีขนเป็นลักษณะด้อย และรุ่นพ่อแม่เป็นเฮเทอโรไซกัส

4.2 จงเขียนจีโนไทป์ของพืชในรุ่นพ่อแม่

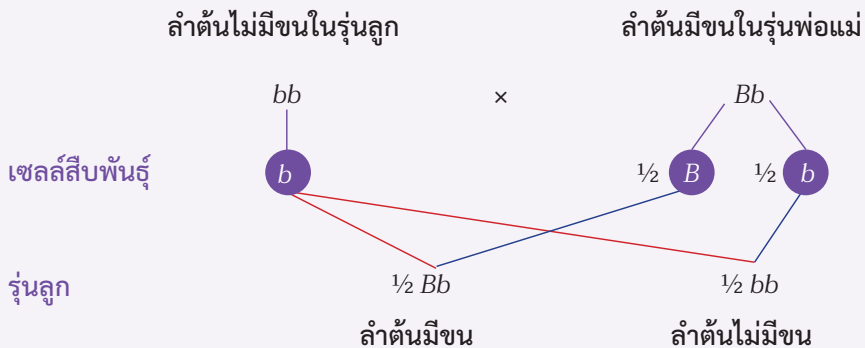
จีโนไทป์ในรุ่นพ่อแม่เป็น Bb

แนวความคิด แสดงได้ดังนี้



4.3 เมื่อนำต้นไม่มีขนในรุ่นลูกผสมพันธุ์กับต้นมีขนในรุ่นพ่อแม่จะได้ลูกมีลักษณะเป็นอย่างไร คิดเป็นอัตราส่วนเท่าใด

✎ จะได้รุ่นลูกที่มีลักษณะลำต้นมีขน : ลำต้นไม่มีขน ในอัตราส่วน 1 : 1
แนวความคิด แสดงได้ดังนี้



5.1.2 กฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับการผสมลักษณะเดียวเพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่หัวข้อการผสมสองลักษณะ ครูอาจตั้งคำถามว่า ในการผสมพันธุ์ของพ่อและแม่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 2 ลักษณะพร้อมกัน **ลักษณะทั้งสองลักษณะมีการถ่ายทอดไปด้วยกันจากรุ่นสู่รุ่นหรือไม่**

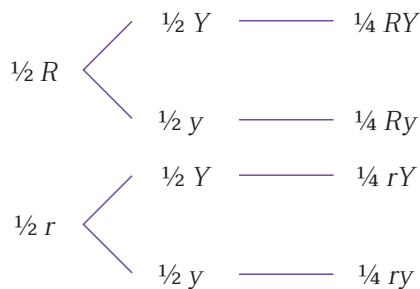
ครูให้นักเรียนศึกษารูป 5.6 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นการผสมสองลักษณะของถั่วลิ้นเตา คือ การผสมพันธุ์ถั่วลิ้นเตาลักษณะเมล็ดกลมสีเหลืองพันธุ์แท้ ($RRYY$) กับลักษณะเมล็ดขรุขระสีเขียว ($rryy$) จากนั้นให้รุ่น F_1 ผสมกัน แล้วร่วมกันอภิปรายและตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? รุ่น F_1 มีโอกาสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ อะไรบ้าง และรูปแบบของยีนในเซลล์สืบพันธุ์เป็นไปตามกฎการแยกหรือไม่

✎ รุ่น F_1 มีจีโนไทป์เป็น $RrYy$ สร้างสเปิร์มหรือเซลล์ไข่ได้ 4 แบบ คือ RY Ry rY และ ry โดยแอลลีลแต่ละคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะหนึ่งๆ แยกจากกันตามกฎการแยก

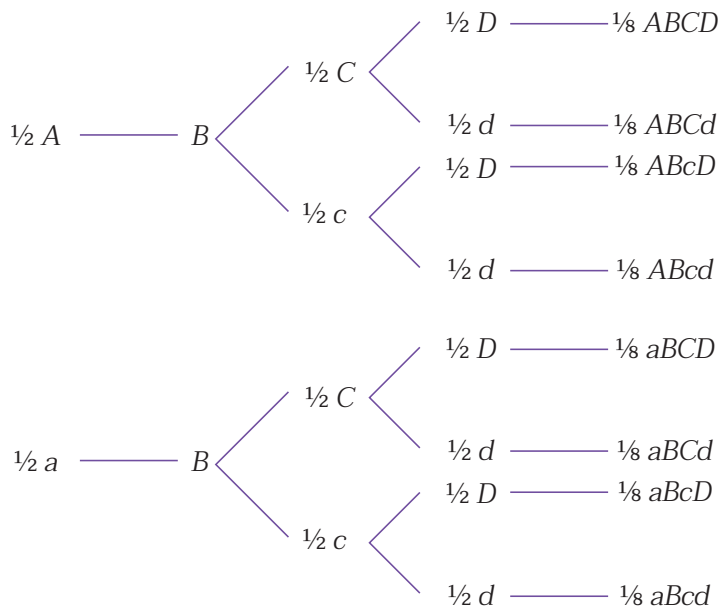
- ? ในรุ่น F_1 ที่มีจีโนไทป์เป็น $RrYy$ โอกาสที่ R และ Y อยู่ในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกัน จะเท่ากับ โอกาสที่ R และ y อยู่ในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกันหรือไม่
- ✎ เท่ากัน โดยเป็นไปตามหลักความน่าจะเป็น R มีโอกาสเข้าคู่กับ Y หรือ y เท่ากัน คือ $\frac{1}{2}$
- ? รุ่น F_2 ที่มีฟีโนไทป์เหมือนต้นพ่อหรือต้นแม่ในรุ่น P มีอัตราส่วนเป็นเท่าใด
- ✎ รุ่น F_2 มีจำนวนเมล็ดที่มีฟีโนไทป์เหมือนรุ่น P คือ เมล็ดกลมสีเหลืองและเมล็ดขรุขระสีเขียว เท่ากับ $315 + 32$ เท่ากับ 347 โดยมีอัตราส่วนประมาณ $\frac{10}{16}$
- ? อัตราส่วนฟีโนไทป์ในรุ่น F_2 ที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับหลักความน่าจะเป็นหรือไม่ อย่างไร
- ✎ อัตราส่วนของลักษณะเมล็ดกลมกับเมล็ดขรุขระเท่ากับ $3 : 1$ และอัตราส่วนของลักษณะเมล็ดสีเหลืองกับเมล็ดสีเขียวเท่ากับ $3 : 1$ เมื่อนำอัตราส่วนของสองลักษณะมาคูณกันจะได้รุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ 4 ลักษณะ อัตราส่วนเป็น $9 : 3 : 3 : 1$ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการคูณของความน่าจะเป็น

ครูอาจแสดงให้นักเรียนเข้าใจถึงการรวมกลุ่มอย่างอิสระในระหว่างการแบ่งเซลล์ ดังรูป 5.7 เมื่อมีการแยกของแอลลีลที่อยู่เป็นคู่ซึ่งควบคุมลักษณะเดียวกันแล้ว จะมีการจัดกลุ่มอย่างอิสระกับแอลลีลของยีนที่ควบคุมลักษณะอื่น เช่น R กับ r เมื่อแยกจากกันแล้วอาจจัดกลุ่มกับ Y หรือ y ก็ได้ จึงทำให้โอกาสที่จะเกิดเซลล์สืบพันธุ์ $RY Ry rY$ และ ry ในอัตราส่วน $1 : 1 : 1 : 1$ เป็นดังนี้



จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายสรุปใจความสำคัญของกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ คือ ในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ยีนที่อยู่บนโครโมโซมที่ไม่ได้เป็นคู่ฮอโมโลกัสกัน จะมีการจัดกลุ่มอย่างอิสระ โดยแต่ละคู่ของแอลลีลจะแยกออกจากกัน และจัดกลุ่มอย่างอิสระกับแอลลีลอื่นที่แยกออกจากคู่เช่นกัน

เมื่อนักเรียนเข้าใจกฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระแล้ว ครูอาจให้ตัวอย่างเพิ่มเติม เช่น การหาโอกาสในการเกิดเซลล์สืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่มีจีโนไทป์เป็น $AaBBCcDd$ ครูอาจให้นักเรียนใช้แผนภาพ ซึ่งสรุปได้ว่าสิ่งมีชีวิตที่มีจีโนไทป์เป็น $AaBBCcDd$ จะมีโอกาสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 8 รูปแบบ ดังรูป และแต่ละรูปแบบจะมีโอกาสเกิดขึ้นเท่ากับ $\frac{1}{8}$



ครูให้นักเรียนสรุปใจความสำคัญของกฎเมนเดลทั้ง 2 ข้อ คือ กฎการแยก และกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ แล้วให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนเกี่ยวกับการทดลองของเมนเดล ซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้

? ถ้ายีนสองยีนที่ต้องการศึกษาอยู่บนคู่โฮมอโลกัสโครโมโซมเดียวกัน นักเรียนคิดว่าจะได้รุ่นลูกมีฟีโนไทป์อย่างไร และมีอัตราส่วนแตกต่างจากผลการทดลองของเมนเดลอย่างไร

✎ ถักรุ่น P เป็น $RRYY$ และ $rryy$ เมื่อรุ่น F_1 ที่มีจีโนไทป์เป็น $RrYy$ ปฏิสนธิตัวเอง และยีนทั้งสองอยู่บนคู่โฮมอโลกัสโครโมโซม โดยถ้า R และ Y อยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกัน r และ y อยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกัน รุ่น F_1 ที่มีจีโนไทป์ $RrYy$ จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ 2 แบบ คือ RY และ ry ทำให้รุ่นลูกที่ได้จะมีจีโนไทป์เป็น $RRYY : RrYy : rryy$ ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 โดยมีฟีโนไทป์เป็นเมล็ดกลมสีเหลือง : เมล็ดขรุขระสีเขียว ในอัตราส่วน 3 : 1 ซึ่งมีอัตราส่วนแตกต่างจากผลการทดลองของเมนเดลที่เป็น 9 : 3 : 3 : 1

? กฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระสัมพันธ์กับระยะใดในการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์

✎ กฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระสัมพันธ์กับการแบ่งเซลล์ในระยะไมโอซิส I โดยโครโมโซมที่เป็นคู่กันแต่ละคู่จะจัดกลุ่มอย่างอิสระ และจะแยกไปยังขั้วเซลล์อย่างอิสระ จนในที่สุดได้เป็นเซลล์สืบพันธุ์

? นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดการทดลองของเมนเดลจึงน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับจากนักวิทยาศาสตร์

 เมนเดลทำการทดลองโดยการคัดเลือกสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตที่จะนำมาทดลอง เช่น ถั่วลันเตา มีโครงสร้างของดอกที่ป้องกันการปฏิสนธิข้าม ทำให้แน่ใจได้ว่าการผสมในรุ่น F_1 เป็นการปฏิสนธิตัวเองอย่างแน่นอน และเมื่อต้องการปฏิสนธิข้ามก็สามารถควบคุมได้โดยตัดเกสรเพศผู้ของดอกที่ต้องใช้เกสรเพศเมียออก นอกจากนี้ยังมีการคัดเลือกพันธุ์ในรุ่นพ่อแม่โดยการผสมพันธุ์หลายครั้งจนแน่ใจว่ารุ่นพ่อแม่เป็นพันธุ์แท้ และการผสมพันธุ์ในรุ่นพ่อแม่ให้ได้รุ่น F_1 และการผสมพันธุ์ในรุ่น F_1 ให้ได้รุ่น F_2 มีการทำการทดลองหลายครั้งก่อนสรุปผลการทดลอง นอกจากนี้เมนเดลยังทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตาด้วยความละเอียดรอบคอบ มีการเก็บข้อมูลจำนวนมาก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้คณิตศาสตร์และสถิติมาอธิบาย

5.1.3 การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยการทบทวนการปฏิสนธิระหว่างสเปิร์มและเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกตและเจริญไปเป็นเอ็มบริโอ เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงไปสู่การถ่ายทอดยีนของพ่อแม่ไปสู่ลูก

ครูทบทวนเกี่ยวกับโครโมโซมและสารพันธุกรรมที่นักเรียนได้เรียนมาแล้ว เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าโครโมโซมอยู่ในนิวเคลียส ยีนเป็นส่วนหนึ่งของ DNA และอยู่บนโครโมโซม จากนั้นครูตั้งประเด็นอภิปรายว่า ยีนจากพ่อแม่ถ่ายทอดไปยังลูกได้อย่างไร ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า ยีนซึ่งเป็นหน่วยควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมจากพ่อแม่สามารถถ่ายทอดไปยังลูกได้โดยผ่านทางโครโมโซมในเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อแม่

จากการอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับความสอดคล้องของการถ่ายทอดยีนและโครโมโซม และจากความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ที่นักเรียนได้ศึกษามาแล้ว ทำให้ทราบว่าในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์คือเซลล์ไข่และสเปิร์มนั้น สารพันธุกรรมจากพ่อและแม่จะถ่ายทอดมายังลูกได้เมื่อมีการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่และสเปิร์ม ซึ่งสารพันธุกรรมนั้นก็คือ DNA ที่อยู่บนโครโมโซมนั่นเอง

เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงกฎของเมนเดลกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้ กฎของเมนเดลทั้ง 2 ข้อมีความสอดคล้องกับกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสอย่างไร ครูอาจใช้รูป 5.8 ประกอบการอภิปราย

จากการอภิปรายนักเรียนควรตอบได้ว่ากฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระมีความสอดคล้องกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส คือ ฮอมอโลกัสโครโมโซมจะแยกออกจากกันและรวมกลุ่มกับโครโมโซมต่างคู่อย่างอิสระ ในขณะที่แบ่งเซลล์ระยะไมโอซิส I โดยเมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์แต่ละเซลล์สืบพันธุ์จะได้รับโครโมโซม 1 แท่ง จากฮอมอโลกัสโครโมโซมแต่ละคู่ เช่นเดียวกับการที่แอลลีลของยีนหนึ่งแยกจากคู่และไปรวมกลุ่มกับแอลลีลของยีนอื่นอย่างอิสระ

ถ้ามียีน 2 คู่ สภาพเฮเทอโรไซกัส เช่น $RrYy$ เมื่อมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 4 แบบ คือ RY Ry rY และ ry ในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน จะเห็นได้ว่าการรวมกลุ่มอย่างอิสระของยีนเกิดจากการที่ยีนเหล่านั้นอยู่บนฮอมอโลกัสโครโมโซมต่างคู่กัน

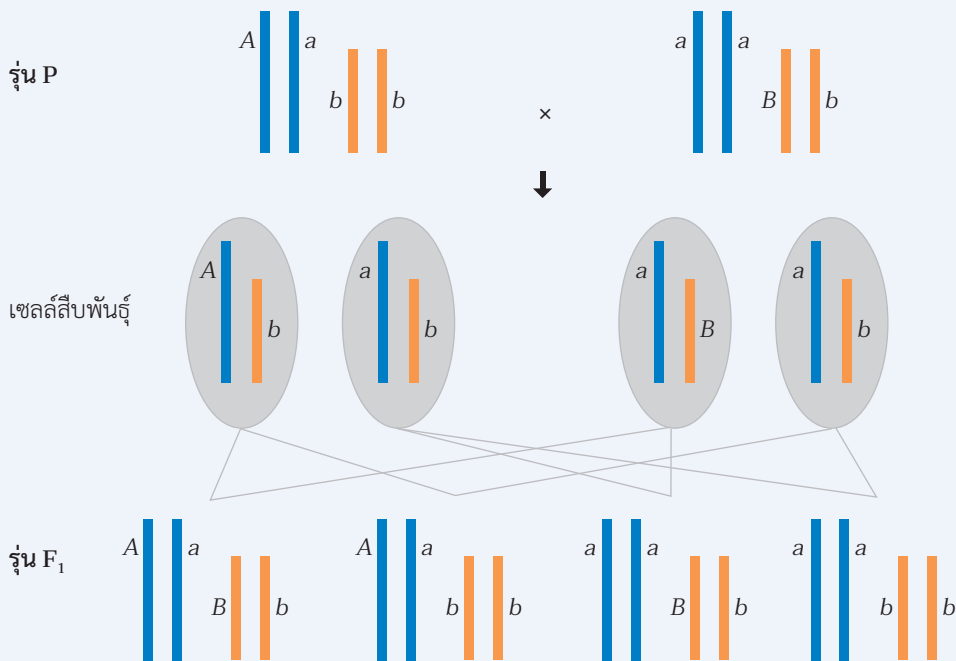
ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมและสรุปเกี่ยวกับทฤษฎีโครโมโซมของวอลเตอร์ ชัตตัน ในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม



ตรวจสอบความเข้าใจ

? เขียนแผนภาพแสดงการแยกและการรวมตัวของยีนบนแท่งโครโมโซมในเซลล์สืบพันธุ์ในการผสมพันธุ์ระหว่าง $Aabb$ กับ $aaBb$ โดยวาดภาพโครโมโซม พร้อมระบุแอลลีลในเซลล์สืบพันธุ์

✎ $Aabb$ จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 ชนิด คือ Ab และ ab ส่วน $aaBb$ จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 ชนิด คือ aB และ ab เมื่อผสมพันธุ์กันจะได้รุ่นลูกที่มีจีโนไทป์เป็น $AaBb$ $Aabb$ $aaBb$ $aabb$ ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 1 ดังนี้





กิจกรรม 5.2 การแก้โจทย์ปัญหา เรื่องการผสมพิจารณาหลายลักษณะ

จุดประสงค์

1. เขียนจีโนไทป์และฟีโนไทป์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
2. หาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_1 และ F_2 จากสถานการณ์ที่กำหนดให้

แนวการจัดกิจกรรม

1. ครูให้นักเรียนฝึกแก้โจทย์ปัญหา โดยอาจเพิ่มเติมโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับการผสมพิจารณาหลายลักษณะที่เป็นไปตามกฎของเมนเดล
2. ครูและนักเรียนอาจอภิปรายแนวการตอบร่วมกันในชั้นเรียน

แนวการตอบกิจกรรม

1. ในการผสมระหว่างพืชที่มีจีโนไทป์ $AABBrr \times aabbrr$ ถ้าการจัดกลุ่มของยีนแต่ละคู่เป็นไปอย่างอิสระ
 - 1.1 รุ่น F_1 มีจีโนไทป์อย่างไร

 รุ่น F_1 มีจีโนไทป์เป็น $AaBbrr$

แนวความคิด แสดงได้ดังนี้

รุ่น P

เซลล์สืบพันธุ์

รุ่น F_1

$AABBrr$

×

$aabbrr$

ABr

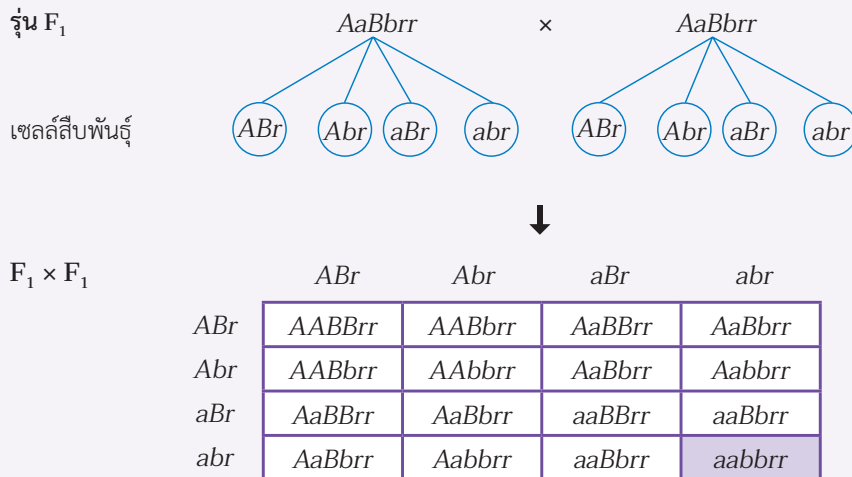
abr

$AaBbrr$

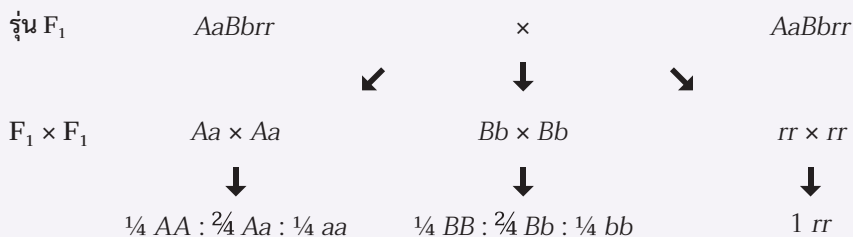
1.2 โอกาสที่จะได้รุ่น F_2 ที่มีจีโนไทป์ $aabbrr$ เป็นเท่าใด

✎ โอกาสที่จะได้รุ่น F_2 ที่มีจีโนไทป์ $aabbrr$ เท่ากับ $\frac{1}{16}$ ในที่นี้จะเสนอวิธีคิด 2 วิธี
แนวความคิด แสดงได้ดังนี้

วิธีที่ 1 การเข้าตารางพันเนตต์



วิธีที่ 2 การพิจารณาทีละลักษณะ และใช้หลักการคูณโดยนำผลที่คำนวณได้จากแต่ละลักษณะมาคูณกัน เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน ดังแผนภาพ



$$\begin{aligned} \text{โอกาสที่จะได้รุ่น } F_2 \text{ ที่มีจีโนไทป์เป็น } aabbrr &= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 1 \\ &= \frac{1}{16} \end{aligned}$$

1.3 โอกาสที่รุ่น F_2 จะมีจีโนไทป์เหมือนพ่อแม่เป็นเท่าใด

✎ เมื่อพิจารณาทีละลักษณะและใช้หลักการคูณ โอกาสที่จะได้รุ่น F_2 ที่มีจีโนไทป์เหมือนพ่อแม่ ($AaBbrr$) คือ $\frac{1}{4}$

แนวการคิด $AaBbrr \times AaBbrr$

$$= \frac{2}{4} \times \frac{2}{4} \times 1$$

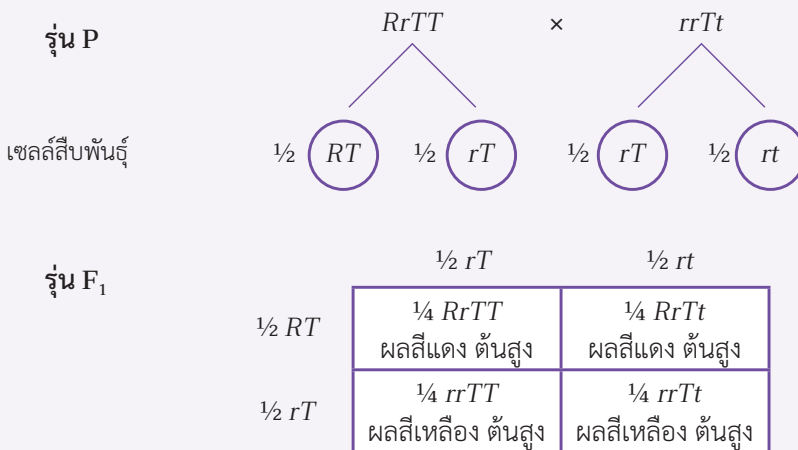
$$= \frac{4}{16}$$

$$= \frac{1}{4}$$

2. มะเขือเทศผลสีแดงเป็นลักษณะเด่น (R) ผลสีเหลืองเป็นลักษณะด้อย (r) และต้นสูงเป็นลักษณะเด่น (T) ต้นเตี้ยเป็นลักษณะด้อย (t) เมื่อผสมพันธุ์มะเขือเทศต้นหนึ่งมีจีโนไทป์ $RrTT$ กับต้นที่มีจีโนไทป์ $rrTt$ จงหาอัตราส่วนฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของรุ่นลูก

✎ รุ่นลูกที่มีลักษณะผลสีแดง ต้นสูง : ผลสีเหลือง ต้นสูง ในอัตราส่วน 1 : 1 และได้ลูกที่มีจีโนไทป์ $RrTT : RrTt : rrTT : rrTt$ ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 1

แนวการคิด แสดงได้ดังนี้

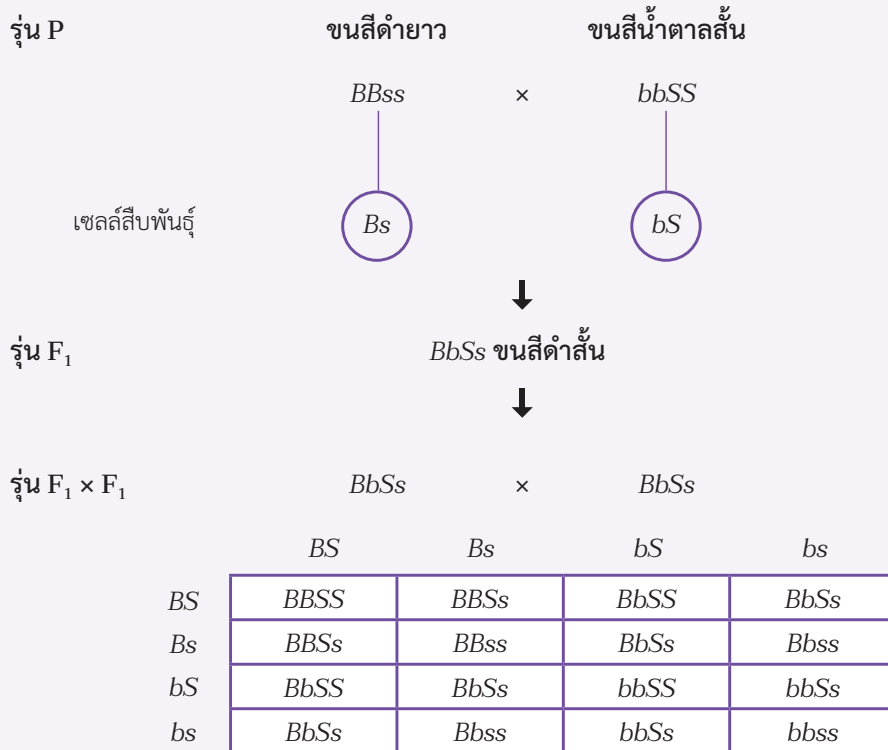


3. กระต่ายขนสีดำเป็นลักษณะเด่น (B) ขนสีน้ำตาลเป็นลักษณะด้อย (b) และขนสั้นเป็นลักษณะเด่น (S) ขนยาวเป็นลักษณะด้อย (s) ในการผสมพันธุ์ระหว่างกระต่ายฮอมม็อกซ์กัสขนสีดำยาวและฮอมม็อกซ์กัสขนสีน้ำตาลสั้น

3.1 จงคำนวณอัตราส่วนของฟีโนไทป์ต่างๆ ในรุ่น F₁ และอัตราส่วนของฟีโนไทป์ต่างๆ ในรุ่น F₂

✎ ฟีโนไทป์ของรุ่น F₁ มีเฉพาะกระต่ายขนสีดำสั้น ($BbSs$) และฟีโนไทป์ของ รุ่น F₂ คือ ขนสีดำสั้น : ขนสีดำยาว : ขนสีน้ำตาลสั้น : ขนสีน้ำตาลยาว ในอัตราส่วน 9 : 3 : 3 : 1

แนวความคิด รุ่นพ่อแม่เป็นกระต่ายฮอมอไซกัสขนสีดำยาว ดังนั้นจึงเขียนจีโนไทป์ได้เป็น $BBss$ ส่วนกระต่ายฮอมอไซกัสขนสีน้ำตาลสั้น เขียนจีโนไทป์ได้เป็น $bbSS$ เมื่อผสมกันจะได้รุ่น F_1 และ F_2 ดังนี้



อัตราส่วนฟีโนไทป์ในรุ่น F_2

ขนสีดำสั้น ($B_S_$) = $\frac{9}{16}$

ขนสีดำยาว (B_ss) = $\frac{3}{16}$

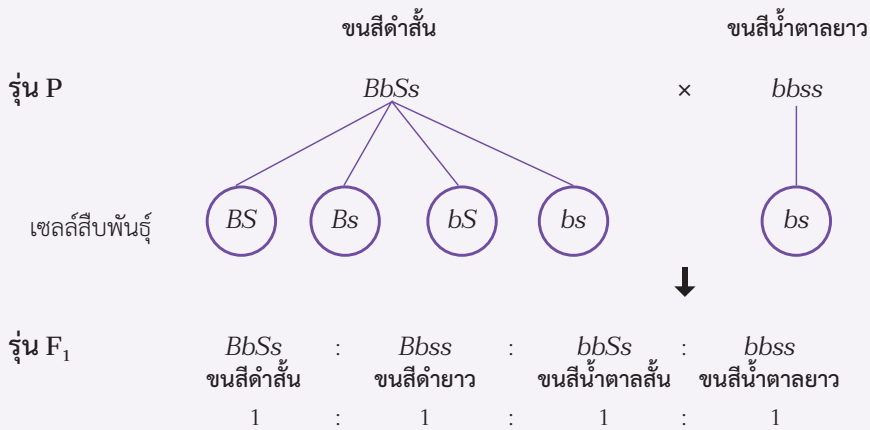
ขนสีน้ำตาลสั้น ($bbS_$) = $\frac{3}{16}$

ขนสีน้ำตาลยาว ($bbss$) = $\frac{1}{16}$

3.2 ลูกที่เกิดจากการผสมระหว่างรุ่น F_1 กับกระต่ายขนสีน้ำตาลยาว มีฟีโนไทป์อะไรบ้าง และมีอัตราส่วนเท่าใด

ลูกจะมีฟีโนไทป์ 4 ลักษณะ คือ ขนสีดำสั้น : ขนสีดำยาว : ขนสีน้ำตาลสั้น : ขนสีน้ำตาลยาว ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 1

แนวความคิด แสดงได้ดังนี้



4. พืชต้นหนึ่งมีจีโนไทป์ $AABbCcDD$ โดยยีนทั้งหมดอยู่บนโครโมโซมต่างคู่กัน

4.1 พืชต้นนี้จะสามารถสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ อะไรบ้าง

✎ สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 4 แบบ ได้แก่ $ABCD$ $ABcD$ $AbCD$ $AbcD$

แนวความคิด

คิดโดยพิจารณาทีละลักษณะ ดังนี้

จีโนไทป์ AA สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 1 แบบ คือ A

จีโนไทป์ Bb สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 แบบ คือ B และ b

จีโนไทป์ Cc สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 แบบ คือ C และ c

จีโนไทป์ DD สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 1 แบบ คือ D

เมื่อพิจารณาทุกลักษณะร่วมกันสามารถสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ $1 \times 2 \times 2 \times 1 = 4$ แบบ หรืออาจหาจำนวนรูปแบบของเซลล์สืบพันธุ์ได้ด้วยสูตร 2^n เมื่อ n คือจำนวนชุดของเฮเทอโรไซกัส จึงมีจำนวนรูปแบบเซลล์สืบพันธุ์เท่ากับ $2^2 = 4$ แบบ

4.2 ถ้าให้พืชต้นนี้เกิดการถ่ายเรณูภายในดอกเดียวกัน พืชต้นนี้จะมีสัดส่วนของลูกที่มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสทั้ง 4 โครโมโซมเป็นเท่าใด

✎ จะได้ลูกที่มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสทั้ง 4 โครโมโซมในสัดส่วน $\frac{1}{4}$ โดยลูกที่เป็นฮอมอไซโกตเกิดจากการผสมดังนี้

$AA \times AA$ คือ AA มีสัดส่วนเท่ากับ 1

$Bb \times Bb$ คือ BB มีสัดส่วนเท่ากับ $\frac{1}{4}$ และ bb มีสัดส่วนเท่ากับ $\frac{1}{4}$

$Cc \times Cc$ คือ CC มีสัดส่วนเท่ากับ $\frac{1}{4}$ และ cc มีสัดส่วนเท่ากับ $\frac{1}{4}$

$DD \times DD$ คือ DD มีสัดส่วนเท่ากับ 1

ลูกที่มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสทั้ง 4 โคล์ส คือ

$AABBCCDD$ มีสัดส่วนเท่ากับ $1 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{16}$

$AABBccDD$ มีสัดส่วนเท่ากับ $1 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{16}$

$AAbbCCDD$ มีสัดส่วนเท่ากับ $1 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{16}$

$AAbbccDD$ มีสัดส่วนเท่ากับ $1 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 1 = \frac{1}{16}$

ดังนั้นโอกาสที่มีลูกเป็นฮอมอไซโกตของจีโนไทป์ที่เป็นฮอมอไซกัสทั้ง 4 โคล์สคือ

$$\frac{1}{16} + \frac{1}{16} + \frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$$

4.3 ถ้าให้พืชต้นนี้เกิดการถ่ายเรณูภายในดอกเดียวกันและยีนทั้งหมดเป็นลักษณะเด่นสมบูรณ์

จะได้ลูกที่มีฟีโนไทป์เป็นลักษณะเด่นทุกลักษณะในสัดส่วนเท่าใด

 จะได้ลูกที่มีฟีโนไทป์เป็นลักษณะเด่นทุกลักษณะในสัดส่วน $\frac{9}{16}$

แนวความคิด

ลูกที่มีฟีโนไทป์เป็นลักษณะเด่น เกิดจากการผสม ดังนี้

$AA \times AA$ คือ AA มีสัดส่วนเท่ากับ 1

$Bb \times Bb$ คือ $B_$ มีสัดส่วนเท่ากับ $\frac{3}{4}$

$Cc \times Cc$ คือ $C_$ มีสัดส่วนเท่ากับ $\frac{3}{4}$

$DD \times DD$ คือ DD มีสัดส่วนเท่ากับ 1

ลูกที่มีฟีโนไทป์เป็นลักษณะเด่นทุกลักษณะ คือ

AAB_C_DD มีสัดส่วนเท่ากับ $1 \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times 1 = \frac{9}{16}$



กิจกรรมเสนอแนะ: ความน่าจะเป็นกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

จุดประสงค์

นำกฎการแยก กฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ และหลักการความน่าจะเป็นมาใช้ในการหาโอกาสการเกิดลักษณะของลูกที่เกิดจากพ่อแม่ที่กำหนด

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม/ห้อง
1. ถุงผ้าที่มีสีแตกต่างกัน	4 ใบ
2. ลูกปัดลักษณะและขนาดเดียวกัน 4 สี ได้แก่ สีแดง สีชมพู สีน้ำเงินและสีฟ้า	อย่างน้อยสีละ 40 เม็ด
3. ถุงพลาสติกใสแบบซิปป	24 ใบ

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

90 นาที

แนวการจัดกิจกรรม

1. ในการทำกิจกรรมเสนอแนะตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ครูอาจให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มเพื่อให้มีจำนวนซ้ำของข้อมูลสีลูกปัดจากการสุ่มหยิบมากขึ้น พร้อมทั้งอาจให้นักเรียนทุกกลุ่มในห้องแลกเปลี่ยนข้อมูลกันเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลของทั้งห้องหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของสีลูกปัดที่ได้ จากนั้นหาอัตราส่วนอย่างต่ำ
2. ครูอาจแนะนำให้นักเรียนทำตารางเพื่อบันทึกผลกิจกรรม
3. ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม หลังจากการอภิปรายควรให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมมานำเสนอในชั้นเรียนเพื่ออภิปรายแลกเปลี่ยนความรู้กัน

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. วัสดุอุปกรณ์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม โดยถุงผ้าอาจใช้ภาชนะทึบแสงที่สามารถใช้มือล้วงได้
2. ครูอาจปรับเปลี่ยนตัวอย่างสถานการณ์จากลักษณะของพืชเป็นลักษณะทางพันธุกรรมอื่นๆ ได้ เช่น การห่อลิ้น การมีลักยิ้ม หรือโรคทางพันธุกรรม

3. สำหรับนักเรียนที่มีศักยภาพสูง ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบด้วยโครโมโซมเพื่อพิสูจน์สมมติฐานเกี่ยวกับข้อมูลที่ได้ โดยให้ใช้การทดสอบโครโมโซมเพื่อยืนยันข้อสรุปในประเด็นต่อไปนี้

ในตอนต้นที่ 1 ถ้าการหยิบลูกปิดแบบนี้เหมือนกับการแยกแอลลีลออกจากกันและเมื่อเกิดการปฏิสนธิ แอลลีลของเซลล์สืบพันธุ์จะมารวมกัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของเมนเดลที่ผสมโดยพิจารณาลักษณะเดียวหรือไม่ อย่างไร

ในตอนต้นที่ 2 ถ้าการหยิบลูกปิดแบบนี้เหมือนกับการแยกออกจากกันของคู่แอลลีล และการรวมกลุ่มอย่างอิสระของแอลลีลเมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของเมนเดลหรือไม่ อย่างไร

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

คำถามท้ายกิจกรรมมีคำตอบได้หลากหลายขึ้นกับผลการทำกิจกรรม มีแนวคำตอบดังนี้

- จากตอนที่ 1.1 ต้นแม่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ และมีโอกาสเกิดแต่ละแบบเท่าใด
 ต้นแม่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 แบบ คือ A และ a โดยมีโอกาสเกิด A : a ในอัตราส่วนประมาณ 1 : 1
- จากตอนที่ 1.2 ต้นพ่อและต้นแม่มีจีโนไทป์เป็นแบบใด
 ต้นพ่อและต้นแม่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัส คือ Aa
- จีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นลูกที่ได้มีแบบใดบ้าง และมีโอกาสเกิดแต่ละแบบเท่าใด
 จีโนไทป์ของรุ่นลูกที่ได้ คือ AA Aa และ aa ในอัตราส่วนประมาณ 1 : 2 : 1 ฟีโนไทป์ของรุ่นลูกที่ได้ คือ ดอกสีแดง และดอกสีชมพู ในอัตราส่วนประมาณ 3:1 ทั้งนี้ข้อมูลอัตราส่วนของแต่ละกลุ่มอาจแตกต่างกันได้ ขึ้นกับความน่าจะเป็นในการสุ่มหยิบลูกปิด
- ถ้าการหยิบลูกปิดออกจากถุงเปรียบเทียบกับกับการแยกกันของแอลลีลในระหว่างการแบ่งเซลล์และการจับคู่กันของลูกปิดเปรียบเทียบกับกับการปฏิสนธิ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของเมนเดลที่ผสมพันธุ์ถั่วลันเตาโดยพิจารณาลักษณะเดียวหรือไม่ อย่างไร
 จากกิจกรรมแอลลีลที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกันในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะมีเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง และเกิดการปฏิสนธิอย่างสุ่ม ผลการทำกิจกรรมน่าจะสอดคล้องกับผลการทดลองของเมนเดล ทั้งนี้ข้อมูลอัตราส่วนของ

แต่ละกลุ่มอาจแตกต่างกันได้ ซึ่งอาจมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของเมนเดล หรืออาจมีค่าแตกต่างกันก็ได้ ครูอาจให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับผลการทำกิจกรรม และให้ความรู้เพิ่มเติมว่าสามารถใช้การทดสอบไคสแควร์เพื่อยืนยันข้อสรุป

ตอนที่ 2

คำถามท้ายกิจกรรมมีคำตอบได้หลากหลายขึ้นกับผลการทำกิจกรรม โดยมีแนวคำตอบดังนี้

- จากตอนที่ 2.1 ลูกบิดที่หยิบออกจากถุงผ้าใบที่ 1 และใบที่ 2 เป็นไปตามกฎของเมนเดลข้อใด
 เป็นไปตามกฎการแยก
- จากตอนที่ 2.1 เมื่อลูกบิดสีแดงหรือชมพูจากถุงผ้าใบที่ 1 ไปรวมกับลูกบิดสีน้ำเงินหรือฟ้าจากถุงผ้าใบที่ 2 เป็นไปตามกฎของเมนเดลข้อใด
 เป็นไปตามกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
- จากตอนที่ 2.2 จีโนไทป์ของรุ่นลูกที่ได้จากการหยิบถุงพลาสติกลูกบิด มีกี่แบบ และมีโอกาสเกิดแต่ละแบบเท่าใด
 จากการสุ่มหยิบถุงลูกบิดในตอนที่ 2.2 ซึ่งจะมีรูปแบบสีลูกบิดได้ 9 แบบ

รูปแบบ	สีลูกบิด	
I	แดง-น้ำเงิน	แดง-น้ำเงิน
II	แดง-น้ำเงิน	แดง-ฟ้า
III	แดง-น้ำเงิน	ชมพู-น้ำเงิน
IV	แดง-น้ำเงิน	ชมพู-ฟ้า
	แดง-ฟ้า	ชมพู-น้ำเงิน
V	แดง-ฟ้า	แดง-ฟ้า
VI	แดง-ฟ้า	ชมพู-ฟ้า
VII	ชมพู-น้ำเงิน	ชมพู-น้ำเงิน
VIII	ชมพู-น้ำเงิน	ชมพู-ฟ้า
IX	ชมพู-ฟ้า	ชมพู-ฟ้า

จีโนไทป์ของรุ่นลูกมีโอกาสเกิดขึ้น 9 แบบ และมีโอกาสเกิดขึ้นดังนี้ $AABB : AABb : AaBB : AaBb : AAbb : aaBB : Aabb : aaBb : aabb$ มีอัตราส่วนเป็น $1 : 2 : 2 : 4 : 1 : 1 : 2 : 2 : 1$ และมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็นลักษณะเด่น-ลักษณะเด่น : ลักษณะเด่น-ลักษณะด้อย : ลักษณะด้อย-ลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย-ลักษณะด้อย ในอัตราส่วน $9 : 3 : 3 : 1$

4. ถ้าการหยิบลูกปัดนี้เปรียบเทียบกับกับการแยกออกจากกันและการเข้าคู่ของแอลลีลเมื่อมีการแบ่งเซลล์และสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของเมนเดลที่ผสมพันธุ์ถั่วลันเตาโดยพิจารณาสองลักษณะหรือไม่ อย่างไร

 จากกิจกรรมแอลลีลที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกันในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะมีเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง และหลังจากคู่ของแอลลีลแยกออกจากกัน แต่ละแอลลีลจะรวมกลุ่มอย่างอิสระกับแอลลีลของโลค์สอื่นที่แยกออกจากคู่เช่นกันในการเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์ ผลการทำกิจกรรมน่าจะสอดคล้องกับผลการทดลองของเมนเดล ทั้งนี้ข้อมูลอัตราส่วนของแต่ละกลุ่มอาจแตกต่างกันได้ ซึ่งอาจมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของเมนเดล หรืออาจมีค่าแตกต่างก็ได้ ครูอาจให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับผลการทำกิจกรรม และให้ความรู้เพิ่มเติมว่าสามารถใช้การทดสอบไคสแควร์เพื่อยืนยันข้อสรุป

5. ถ้านำผลการทดลองของนักเรียนทุกคนในห้องมาวิเคราะห์ร่วมกัน ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

 เมื่อนำผลการทดลองของนักเรียนทุกคนในห้องมาวิเคราะห์ร่วมกัน ข้อมูลมีจำนวนมากขึ้น ค่าอัตราส่วนอย่างต่ำของนักเรียนทั้งห้องอาจมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของเมนเดลมากขึ้น

อภิปรายและสรุปผล

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปเกี่ยวกับกฎของเมนเดลและความน่าจะเป็น การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นเรื่องของโอกาส ขึ้นอยู่กับว่าขณะเกิดกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ แต่ละเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้จะได้รับแอลลีลใดบ้าง และเซลล์สืบพันธุ์ใดจะมีโอกาสเกิดการปฏิสนธิกัน

เช่น ถ้าพ่อแม่มีจีโนไทป์ Aa เมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์แอลลีจะแยกออกจากกันตามกฎการแยกของเมนเดลให้เซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีต่างกัน 2 แบบ คือ A และ a โดยมีโอกาสเกิดเท่ากับ $\frac{1}{2}$ และถ้า Aa ผสมพันธุ์กับ Aa โอกาสจะได้ลูกจีโนไทป์ต่างๆ จะเท่ากับผลคูณของโอกาสการเกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อและแม่ เช่น โอกาสที่ลูกจะมีจีโนไทป์เป็น AA เท่ากับ $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ เท่ากับ $\frac{1}{4}$



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การทดสอบด้วยไคสแควร์ (Chi-Square test)

ในการทดลองบางอย่างผลการทดลองอาจไม่เป็นไปตามทฤษฎีหรือกฎที่เกี่ยวข้อง ถ้าผู้ทดลองต้องการทดสอบว่าผลการทดลองแตกต่างไปจากผลทางทฤษฎีมากน้อยเพียงใด และสามารถยอมรับผลการทดลองได้หรือไม่อาจใช้การทดสอบทางสถิติ เช่น ไคสแควร์

ตัวอย่างเช่น การทดลองผสมพันธุ์ระหว่างพ่อแม่ที่มีจีโนไทป์ Aa ด้วยกันเอง อัตราส่วนทางทฤษฎีควรได้ลูกที่มีอัตราส่วนจีโนไทป์ $AA : Aa : aa$ เท่ากับ $1 : 2 : 1$ แต่เมื่อทดลองจริงผลการทดลองอาจมีค่าคลาดเคลื่อนไปจาก $1 : 2 : 1$ ซึ่งจะพิจารณาว่าเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้หรือไม่โดยการนำข้อมูลมาหาค่าไคสแควร์ จากสูตรดังนี้

$$\chi^2 = \sum \left\{ \frac{(O - E)^2}{E} \right\}$$

χ^2 = ค่าไคสแควร์

O = ค่าที่ได้จากการทดลอง (observed value)

E = ค่าที่ได้จากการคาดหวังตามทฤษฎี (expected value)

ในกรณีผลการทดลองที่ได้มีลักษณะเพียง 2 ลักษณะ ($n=2$) จะมีค่าระดับความอิสระหรือองศาเสรี (degree of freedom) เท่ากับ 1 ซึ่งคำนวณได้จากสูตร $n-1$

ตัวอย่าง ในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมของสีดอกของพืชชนิดหนึ่งซึ่งมีดอกสีม่วงและดอกสีขาว เมื่อผสมดอกสีม่วงและดอกสีขาวพันธุ์แท้ ได้รุ่น F_1 ดอกสีม่วงทุกต้น และเมื่อผสมรุ่น F_1 ด้วยกันเอง รุ่น F_2 ที่ได้มีต้นที่มีดอกสีม่วง 80 ต้น และต้นที่มีดอกสีขาว 20 ต้น ถ้านำข้อมูลของรุ่น F_2 มาหาค่าไคสแควร์ว่าสีดอกของพืชชนิดนี้ควบคุมโดยยีน 1 คู่หรือไม่ โดยอัตราส่วนที่ควรได้ตามทฤษฎีควรเป็น จำนวนต้นที่ให้ดอกสีม่วง : ดอกสีขาวเท่ากับ 3 : 1 ดังนั้นสมมติฐานที่ตั้ง คือ

$$H_0 : \text{ดอกสีม่วง} : \text{ดอกสีขาว} = 3 : 1$$

$$H_1 : \text{ดอกสีม่วง} : \text{ดอกสีขาว} \neq 3 : 1$$

สามารถคำนวณหาค่าไคสแควร์ได้ดังนี้

ลักษณะ	O	E	(O - E)	$\frac{(O - E)^2}{E}$
ดอกสีม่วง	80	75	5	0.33
ดอกสีขาว	20	25	-5	1.00
รวม	100	100	0	1.33

$$\chi^2 = 0.33 + 1.00 = 1.33$$

นำค่าไคสแควร์ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าในตารางค่าไคสแควร์ซึ่งสามารถสืบค้นข้อมูลได้ โดยพิจารณาที่ความน่าจะเป็น 0.05 ที่ระดับความอิสระค่าหนึ่ง ดังนี้

1. ถ้าค่าไคสแควร์ที่คำนวณได้มากกว่าค่าไคสแควร์ในตารางที่ความน่าจะเป็น 0.05 จะสรุปได้ว่าผลการทดลองที่ได้แตกต่างไปจากอัตราส่วนของสมมติฐาน H_0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. ถ้าค่าไคสแควร์ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าไคสแควร์ในตารางที่ความน่าจะเป็น 0.05 จะสรุปได้ว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตัวอย่างไคสแควร์ที่คำนวณได้เท่ากับ 1.33 มีค่าน้อยกว่าค่าไคสแควร์ในตารางที่ความน่าจะเป็น 0.05 ที่ระดับความอิสระเท่ากับ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.84146 จึงสรุปได้ว่าผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎี คืออัตราส่วนของรุ่น F_2 ระหว่างต้นที่ให้ดอกสีม่วง : ต้นที่ให้ดอกสีขาวเท่ากับ 3 : 1 นั่นคือลักษณะสีดอกของพืชชนิดนี้ควบคุมโดยยีน 1 คู่ และเป็นค่าที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับผลการทดลองของเมนเดล

การประยุกต์ใช้กฎของเมนเดล

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้คำถามว่า กฎของเมนเดลสามารถนำมาใช้ในการอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมได้อย่างไร ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่างการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมในหนังสือเรียน ได้แก่ โรคทาลัสซีเมีย ลักษณะสีขนของหนู โดยครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์พันธุประวัติ ซึ่งเป็นการนำข้อมูลของลักษณะทางพันธุกรรมของบุคคลต่าง ๆ ในครอบครัวเดียวกันจากหลาย ๆ รุ่น มาเขียนเป็นแผนผัง แล้วพิจารณาลักษณะดังกล่าวว่ามีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นอย่างไร และครูอาจเพิ่มเติมคำถาม เช่น

- การถ่ายทอดลักษณะโรคทาลัสซีเมียสอดคล้องกับหลักการของเมนเดลอย่างไร
- การถ่ายทอดลักษณะสีขนของหนูสอดคล้องกับหลักการของเมนเดลอย่างไร

โดยการถ่ายทอดลักษณะโรคทาลัสซีเมียและสีขนของหนูสอดคล้องกับกฎการแยก คือ แอลลีลที่เป็นคู่กันในเซลล์ร่างกายจะแยกจากกันไปยังเซลล์สืบพันธุ์แล้วถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไป

ครูอาจยกตัวอย่างเพิ่มเติมการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมต่าง ๆ ในครอบครัวและให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับแนวทางการวางแผนครอบครัว เช่น กรณีที่พ่อและแม่เป็นพาหะของโรคทางพันธุกรรม

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการใช้หลักการของเมนเดลในการเกษตร เช่น การคัดเลือกพันธุ์ การปรับปรุงพันธุ์ ครูถามคำถามเพื่อนำเข้าสู่เรื่องการผสมทดสอบว่าในการคัดเลือกพันธุ์พืชจะมีวิธีการตรวจสอบอย่างไรว่าพืชที่แสดงลักษณะเด่นนั้นมีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์หรือเป็นเฮเทอโรไซกัส

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากรูป 5.10 ในหนังสือเรียน และร่วมกันอภิปรายในประเด็นต่อไปนี้

- การผสมทดสอบมีวิธีการอย่างไร
- เมื่อทำการผสมทดสอบแล้ว สิ่งมีชีวิตที่มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์และเฮเทอโรไซกัส มีผลการทดสอบเป็นอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรสรุปได้ว่า การผสมทดสอบทำได้โดยนำสิ่งมีชีวิตที่ต้องการทดสอบมาผสมกับลักษณะด้อย ถ้ารุ่นลูกที่ได้มีลักษณะเด่นทั้งหมดแสดงว่าสิ่งมีชีวิตที่นำมาทดสอบมีจีโนไทป์เป็น ฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ แต่ถ้ารุ่นลูกปรากฏลักษณะด้อย แสดงว่าสิ่งมีชีวิตที่ต้องการทดสอบมีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัส

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนวิเคราะห์ความหมายของการผสมกลับและประโยชน์ของการผสมกลับ โดยนักเรียนควรสรุปได้ว่า การผสมกลับเป็นการผสมพันธุ์โดยนำลูกผสมไปผสมพันธุ์กับพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ การผสมกลับมีประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์พืชหรือสัตว์เพื่อให้ได้ลูกผสมที่มีลักษณะดีตามที่ต้องการ

ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปการทดลองของเมนเดล ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้พันธุศาสตร์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ได้มากมาย จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่เนื้อหาต่อไปว่าการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมทุกลักษณะเป็นไปตามการทดลองของเมนเดลได้หรือสามารถนำหลักการของเมนเดลมาใช้อธิบายได้อย่างไร

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- หลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของเมนเดล จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทำแบบทดสอบ
- กฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม การคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์ จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทำแบบทดสอบ

ด้านทักษะ

- การลงความเห็นจากข้อมูล จากการอภิปรายผลการทดลองของเมนเดล
- การใช้จำนวน การพยากรณ์ และการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการฝึกคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการสืบค้นข้อมูลและการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ และความรอบคอบ จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปรายร่วมกัน และการฝึกคำนวณ

5.2 ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบความเด่นไม่สมบูรณ์ ความเด่นร่วม มัลติเพิลแอลลีล และลักษณะควบคุมด้วยยีนหลายคู่
2. นำความรู้ไปใช้ในการหาโอกาสเกิดลักษณะที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล
3. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่อง และลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปรายและอธิบายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม และยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนหัวข้อลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล โดยยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมในธรรมชาติที่ไม่ได้เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดลให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายในประเด็นดังนี้

- การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมลักษณะใดบ้างที่นักเรียนคิดว่าไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดล

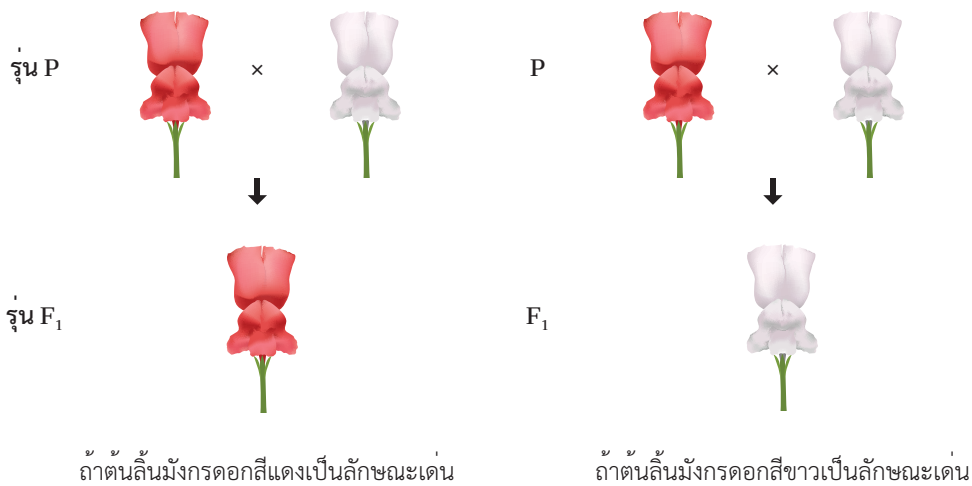
5.2.1 ความเด่นไม่สมบูรณ์

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยแสดงรูป 5.11 ในหนังสือเรียน ซึ่งแสดงต้นลิ้นมังกรที่มีดอกสีแดงผสมกับต้นที่มีดอกสีขาว และได้รุ่นลูกที่มีดอกสีชมพู โดยครูอาจใช้คำถามให้นักเรียนอภิปราย ดังนี้

- การถ่ายทอดลักษณะสีดอกของต้นลิ้นมังกรเป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดลหรือไม่อย่างไร
- ถ้าการถ่ายทอดลักษณะสีดอกของต้นลิ้นมังกรเป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดลรุ่น F_1 จะมีลักษณะอย่างไร

นักเรียนอภิปรายร่วมกันและควรตอบได้ว่า รุ่น F_1 ทุกต้นมีดอกสีชมพู มีลักษณะแตกต่างจากรุ่นพ่อแม่ การถ่ายทอดลักษณะสีดอกของต้นลั่นมั่งกรไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดล คือ ลักษณะสีดอกลั่นมั่งกรมี 3 ลักษณะ คือ แดง ขาว และชมพู ซึ่งแตกต่างจากลักษณะของถั่วลันเตาที่เมนเดลนำเสนอที่มี 2 ลักษณะ เช่น ลักษณะสีกลีบดอกถั่วลันเตา มี 2 ลักษณะ คือ กลีบดอกสีม่วงและกลีบดอกสีขาว

ซึ่งถ้าผลการทดลองในการผสมพันธุ์ต้นลั่นมั่งกรเป็นไปตามการทดลองของเมนเดล รุ่น F_1 ที่ได้จะมีดอกสีแดงทั้งหมดถ้าแอลลีลเด่นควบคุมดอกสีแดงหรือดอกสีขาวทั้งหมดถ้าแอลลีลเด่นควบคุมดอกสีขาว ซึ่งรุ่นลูกจะมีลักษณะสีดอกเหมือนพ่อหรือแม่เสมอ



รูป 5.2 การผสมต้นลั่นมั่งกรดอกสีแดงกับดอกสีขาว

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของสีดอกลั่นมั่งกร การถ่ายทอดลักษณะสีดอกของต้นลั่นมั่งกรแบบความเด่นไม่สมบูรณ์ ดังรูป 5.12 และ 5.13 ในหนังสือเรียน จากนั้นครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันในประเด็นต่อไปนี้

- ลักษณะสีดอกของต้นลั่นมั่งกรถูกควบคุมด้วยแอลลีลที่รูปแบบ แต่ละแอลลีลควบคุมลักษณะสีดอกของต้นลั่นมั่งกรอย่างไร
- ดอกสีชมพูในรุ่น F_1 เกิดขึ้นได้อย่างไร
- เมื่อนำต้นลั่นมั่งกรที่มีดอกสีแดงผสมกับต้นที่มีดอกสีขาว รุ่น F_1 และ รุ่น F_2 ที่ได้จะมีฟีโนไทป์และจีโนไทป์เป็นอย่างไร
- รูปแบบการถ่ายทอดลักษณะสีดอกของต้นลั่นมั่งกรเรียกว่าอะไร

จากการสืบค้นข้อมูล นักเรียนควรสรุปได้ว่าลักษณะสีของดอกลั่นมั่งกรถูกควบคุมด้วยยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารสีโดยยีนนี้มีแอลลีล 2 รูปแบบ คือ แอลลีล C^R เป็นแอลลีลที่สังเคราะห์โปรตีนเกี่ยวข้องกับการสร้างสารสีแดง และแอลลีล C^W เป็นแอลลีลที่สังเคราะห์โปรตีนที่บกพร่องไม่สามารถสร้างสารสีแดง ในกรณีดอกลั่นมั่งกรที่มีจีโนไทป์ $C^R C^W$ จะมีแอลลีล C^R เพียงแอลลีลเดียวจึงสังเคราะห์สารสีแดงในปริมาณน้อยกว่าต้นที่มีจีโนไทป์เป็น $C^R C^R$ ทำให้ได้ดอกสีชมพู รูปแบบการถ่ายทอดลักษณะสีดอกของต้นลั่นมั่งกรเป็นการถ่ายทอดแบบเด่นไม่สมบูรณ์

จากนั้นครูอธิบายเพิ่มเติมการเขียนจีโนไทป์ของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบเด่นไม่สมบูรณ์

จากการสืบค้นข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล นักเรียนควรสรุปได้ว่าการผสมต้นลั่นมั่งกรที่มีดอกสีแดง ($C^R C^R$) กับดอกสีขาว ($C^W C^W$) ได้รุ่น F_1 ดอกสีชมพู ($C^R C^W$) เมื่อนำลูกรุ่น F_1 ผสมกันเอง ได้ลูกรุ่น F_2 มีอัตราส่วนของต้นลั่นมั่งกรที่มีดอกสีแดง : ดอกสีชมพู : ดอกสีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1 ครูบรรยายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการผสมพันธุ์ต้นลั่นมั่งกรว่าเป็นลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดลที่อัตราส่วนของจีโนไทป์ในรุ่นลูกและรุ่นหลานจะแตกต่างไปจากผลการทดลองของเมนเดล แต่สามารถอธิบายกระบวนการถ่ายทอดลักษณะนี้ได้โดยกฎการแยกและกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันสรุปความหมายของความเด่นไม่สมบูรณ์ โดยสรุปได้ว่าความเด่นไม่สมบูรณ์เป็นการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่แอลลีลหนึ่งไม่สามารถข่มอีกแอลลีลหนึ่งได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้สิ่งมีชีวิตที่เป็นเฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์ที่อยู่ระหว่างฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตที่เป็นโฮโมไซกัส

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหาเกี่ยวกับลักษณะที่มีการถ่ายทอดแบบเด่นไม่สมบูรณ์ต่าง ๆ เช่น การสร้างตัวรับ LDL จากนั้นครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดเกี่ยวกับความเด่นไม่สมบูรณ์เพิ่มเติม

ศัพท์น่ารู้

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2560) ได้บัญญัติศัพท์พันธุศาสตร์ โดยคำศัพท์บางคำมีการเปลี่ยนแปลงจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 4 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

คำศัพท์ภาษาอังกฤษ	คำศัพท์ภาษาไทย		ความหมาย
codominance	ความเด่นร่วม	การข่มร่วมกัน*	การที่คู่ของแอลลีลแสดงลักษณะเด่นเท่ากัน ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์ของทั้ง 2 แอลลีลร่วมกัน
complete dominance	ความเด่นสมบูรณ์	การข่มสมบูรณ์*	การที่แอลลีลเด่นข่มแอลลีลด้อยได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสและโฮโมไซกัสแบบเด่นมีลักษณะเหมือนกัน
incomplete dominance	ความเด่นไม่สมบูรณ์	การข่มไม่สมบูรณ์*	การที่แอลลีลเด่นไม่สามารถข่มแอลลีลด้อยได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์อยู่ระหว่างลักษณะเด่นกับลักษณะด้อย
multiple allele	มัลติเพิลแอลลีล	มัลติเปิลแอลลีล*	รูปแบบของยีนที่ตำแหน่งใด ๆ มีตั้งแต่ 3 รูปแบบขึ้นไป
polygene	ยีนหลายคู่	พอลิยีน*	กลุ่มของยีนที่ควบคุมลักษณะเชิงปริมาณ

* คำศัพท์ในหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 4 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551

ที่มา: สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2560). พจนานุกรมศัพท์พันธุศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

5.2.2 ความเด่นร่วม

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยอาจถามนักเรียนว่า นอกจากการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นแบบเด่นสมบูรณ์และเป็นแบบเด่นไม่สมบูรณ์แล้ว ยังมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมรูปแบบอื่นอีกหรือไม่

ครูอธิบายเกี่ยวกับหมู่เลือดของมนุษย์ซึ่งมีหลายระบบ จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลหมู่เลือดระบบ MN โดยใช้รูป 5.15 แล้วร่วมกันอภิปรายในประเด็นต่อไปนี้

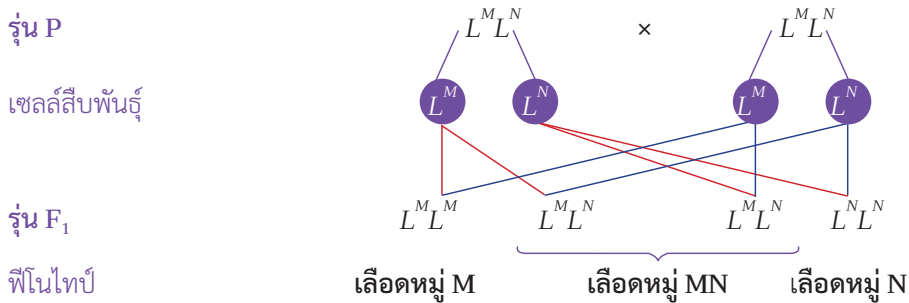
- ลักษณะหมู่เลือดระบบ MN ถูกควบคุมด้วยแอลลีลที่รูปแบบ ควบคุมลักษณะอย่างไรบ้าง
- หมู่เลือดระบบ MN มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์กี่แบบ อะไรบ้าง
- รูปแบบการถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ MN เป็นรูปแบบใด แตกต่างจากผลการทดลองของเมนเดลอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูล นักเรียนควรสรุปได้ว่าลักษณะหมู่เลือดระบบ MN เกี่ยวข้องกับยีนที่ควบคุมการสร้างไกลโคโปรตีนบนผิวเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีแอลลีล 2 รูปแบบ คือ แอลลีล L^M ควบคุมการสร้างไกลโคโปรตีนชนิด M และแอลลีล L^N ควบคุมการสร้างไกลโคโปรตีนชนิด N หมู่เลือดระบบ MN มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังตาราง

จีโนไทป์	ฟีโนไทป์
$L^M L^M$	เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดงมีไกลโคโปรตีน M
$L^M L^N$	เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดงมีไกลโคโปรตีน M และ N
$L^N L^N$	เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดงมีไกลโคโปรตีน N

การถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ MN เป็นแบบเด่นร่วม ซึ่งไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดล เนื่องจากเมนเดลศึกษาลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่มีแอลลีลหนึ่งเด่นสมบูรณ์ต่อแอลลีลที่เป็นคู่กัน แต่ลักษณะเลือดหมู่ MN จะควบคุมด้วยยีนที่มีแอลลีล L^M และแอลลีล L^N ที่แสดงลักษณะได้ทั้งคู่จึงแสดงออกร่วมกัน ทำให้ผู้ที่มีจีโนไทป์ $L^M L^N$ สามารถสร้างไกลโคโปรตีน M และ N ได้ จึงมีเลือดหมู่ MN

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ MN โดยครูตั้งคำถามนำคือ ถ้าพ่อและแม่มีเลือดหมู่ MN จะมีโอกาสมีลูกที่มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์อย่างไรบ้าง อัตราส่วนเท่าใด ให้นักเรียนเขียนแผนผังการถ่ายทอดลักษณะดังกล่าว นักเรียนควรเขียนแผนผังการถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือด MN ได้ดังนี้



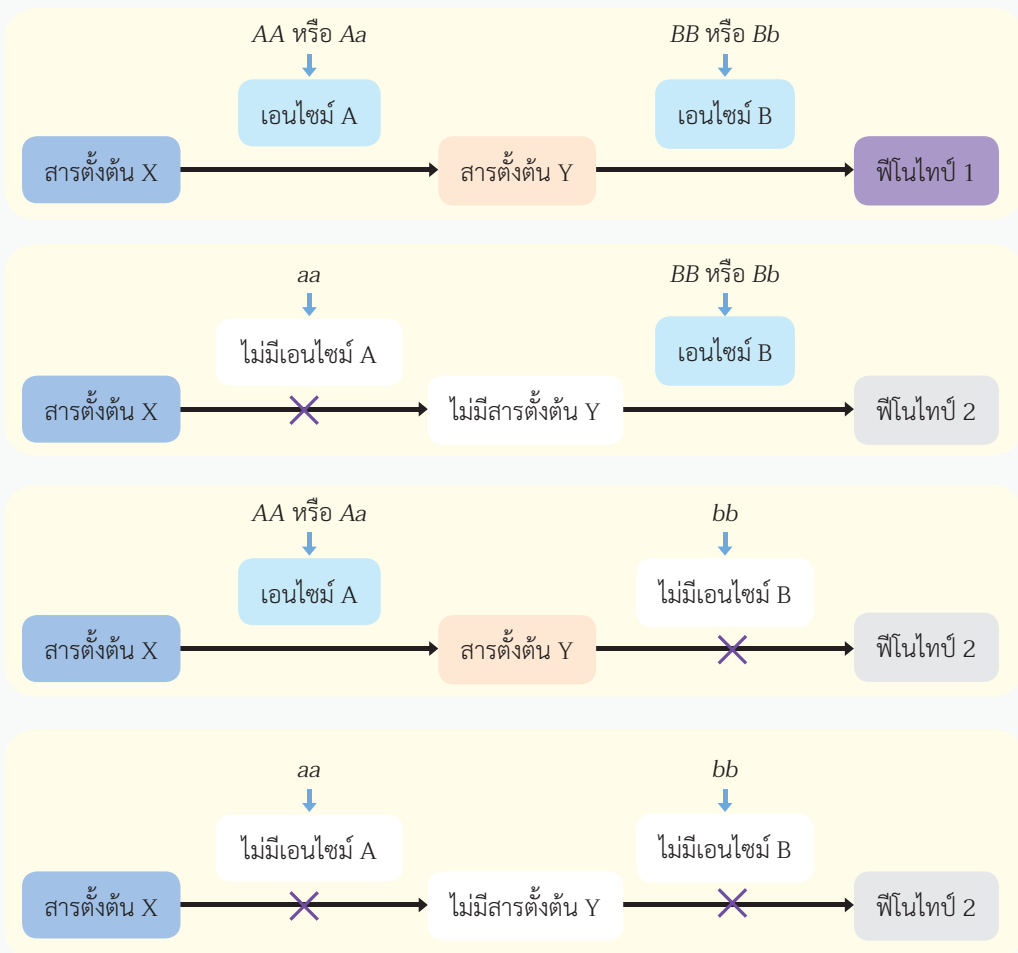
สรุปได้ว่าลูกมีโอกาสมีจีโนไทป์ได้ 3 แบบ ได้แก่ $L^M L^M$, $L^M L^N$ และ $L^N L^N$ ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 และมีฟีโนไทป์ 3 แบบ ได้แก่ เลือดหมู่ M เลือดหมู่ MN และเลือดหมู่ N ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 ครูอาจให้นักเรียนฝึกตัวอย่างโจทย์เกี่ยวกับความเด่นร่วมเพิ่มเติม

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปความหมายของความเด่นร่วมว่าเป็นการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่แอลลีลทั้งสองแอลลีลบนคู่โฮมอโลก์สโครโมโซมสามารถแสดงออกได้เท่าๆ กัน ทำให้สิ่งมีชีวิตที่เป็นเฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์ของทั้งสองแอลลีลร่วมกัน



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ลักษณะหนึ่ง ๆ ของสิ่งมีชีวิตอาจมีการควบคุมโดยการทำงานซึ่งมีหลายขั้นตอนเป็นวิถี (pathway) และเกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิด โดยแต่ละเอนไซม์ควบคุมด้วยยีนที่ต่างกัน ยีน A ควบคุมเอนไซม์ A ที่เปลี่ยนสารตั้งต้น X เป็น Y และยีน B ควบคุมเอนไซม์ B ที่ทำให้การแสดงออกเป็นฟีโนไทป์แบบที่ 1 เมื่อสิ่งมีชีวิตมีจีโนไทป์ของยีน A และยีน B แตกต่างกันจะส่งผลต่อการแสดงออกให้เป็นฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูป 5.3 การแสดงออกของยีน A และยีน B ในการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม

5.2.3 มัลติเพิลแอลลีล

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความหมายของแอลลีล และยกตัวอย่างแอลลีลที่ควบคุมลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO ได้แก่ I^A I^B และ i ครูอาจตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อว่า **ลักษณะทุกลักษณะของสิ่งมีชีวิตมียีนควบคุมเพียงสองแอลลีลเท่านั้นหรือไม่**

ครูตั้งประเด็นคำถามเพื่อให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO โดยใช้รูป 5.16 และ 5.17 ดังนี้

- แอลลีลที่ควบคุมหมู่เลือดระบบ ABO มีกี่รูปแบบ อะไรบ้าง
- ตำแหน่งของแอลลีล I^A I^B และ i อยู่บนโครโมโซมเดียวกันหรือไม่ มีลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกันหรือไม่
- เลือดแต่ละหมู่เลือดถูกควบคุมด้วยแอลลีลกี่แอลลีล และหมู่เลือดระบบ ABO มีจีโนไทป์กี่แบบ
- ฟีนোটป์ของหมู่เลือดระบบ ABO มีกี่แบบ อะไรบ้าง
- การแสดงออกของยีนในหมู่เลือดระบบ ABO เป็นอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล นักเรียนควรสรุปว่า หมู่เลือดระบบ ABO ควบคุมด้วยแอลลีล 3 แอลลีล คือ แอลลีล I^A I^B และ i ซึ่งอยู่บนโครโมโซมเดียวกันบนฮอมอโลกัลโครโมโซมคู่เดียวกัน โดยแต่ละแอลลีลมีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกัน แต่ละคนจะมี 2 แอลลีล โดยเลือดหมู่ A และเลือดหมู่ B มีจีโนไทป์ได้ 2 แบบ คือ $I^A I^A$ $I^A i$ และ $I^B I^B$ $I^B i$ ตามลำดับ ส่วนเลือดหมู่ AB และเลือดหมู่ O มีจีโนไทป์ได้แบบเดียวคือ $I^A I^B$ และ ii ตามลำดับ ดังนั้นหมู่เลือดระบบ ABO มี 4 ฟีนোটป์ คือ เลือดหมู่ A เลือดหมู่ B เลือดหมู่ AB และเลือดหมู่ O

จากการสืบค้นข้อมูล นักเรียนควรสรุปได้ว่า แอลลีล I^A และแอลลีล I^B เป็นแอลลีลเด่นทั้งคู่สามารถข่มแอลลีล i ที่เป็นแอลลีลด้อยได้อย่างสมบูรณ์ เช่น ในกรณีของบุคคลที่มีจีโนไทป์เป็น $I^A i$ นั้นมีแอลลีล I^A ที่ข่มแอลลีล i และควบคุมการสร้างแอนติเจน A บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้บุคคลนั้นมีเลือดหมู่ A ในบุคคลที่มีเลือดหมู่ AB มีแอลลีล I^A เข้าคู่กับแอลลีล I^B โดยแอลลีลทั้งสองแอลลีลมีความเด่นร่วม จึงแสดงออกของทั้งสองลักษณะได้เท่า ๆ กัน ทำให้มีทั้งแอนติเจน A และแอนติเจน B บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง ส่วนบุคคลที่มีเลือดหมู่ O เป็นฮอมอไซกัสรีเซสซีฟมีจีโนไทป์เป็น ii จึงไม่มีการสร้างทั้งแอนติเจน A และแอนติเจน B

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปความหมายของมัลติเพิลแอลลีล ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า มัลติเพิลแอลลีล คือ ลักษณะที่มีการควบคุมด้วยยีนโลคัสเดียวบนฮอมอโลกัสโครโมโซม แต่มีแอลลีลมากกว่า 2 รูปแบบ

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่างการถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนสรุปการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO โดยนักเรียนควรสรุปได้ว่า คนที่มีเลือดหมู่ O จีโนไทป์ ii จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้รูปแบบเดียว ได้แก่ i และคนที่เลือดหมู่ AB จีโนไทป์ $I^A I^B$ จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ I^A และ I^B เมื่อเซลล์สืบพันธุ์แต่ละรูปแบบมารวมกันจะทำให้ลูกมีโอกาสมีเลือดหมู่ A และ B

จากนั้นครูตั้งประเด็นคำถามให้นักเรียนอภิปราย คือ

- การถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO สามารถใช้กฎของเมนเดลอธิบายได้หรือไม่

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า การถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO ให้ผลแตกต่างจากการทดลองของเมนเดล เนื่องจากเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีน 3 แอลลีลใน 1 โลคัสบนฮอมอโลกัสโครโมโซม ซึ่งถ้าเป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดลลักษณะหนึ่งลักษณะจะควบคุมด้วยยีนเพียง 1 คู่ หรือ 2 แอลลีลเท่านั้น โดยสามารถอธิบายการถ่ายทอดแบบมัลติเพิลแอลลีลได้ด้วยกฎของเมนเดล

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนทำนายจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลูกที่เกิดจากพ่อแม่ที่มีเลือดหมู่ต่าง ๆ หรือให้นักเรียนกำหนดปัญหาเอง เช่น กำหนดเลือดหมู่ของพ่อและแม่แล้วให้หาเลือดหมู่ของลูก หรือให้หาเลือดหมู่ของพ่อและแม่ โดยอาจให้นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียน ดังตัวอย่างในตาราง

ฟีโนไทป์ ของพ่อและแม่	จีโนไทป์ ของพ่อและแม่	จีโนไทป์ของลูก	ฟีโนไทป์ของลูก
$A \times O$	$I^A I^A \times ii$ $I^A i \times ii$	$I^A i$ $I^A i$ และ ii	เลือดหมู่ A เลือดหมู่ A และ O



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

เลือดหมู่โอบอมเบย์

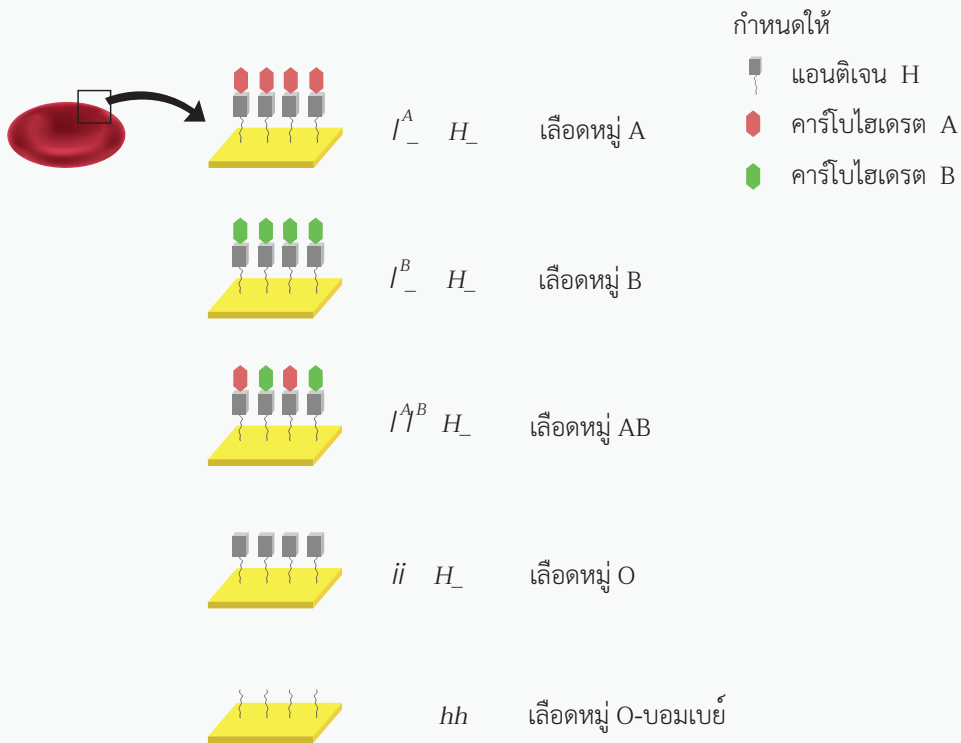
เลือดหมู่โอบอมเบย์ (O-Bombay หรือ hh-antigen blood group) ประชากรทั้งโลกจะพบคนที่มียีนเลือดหมู่โอบอมเบย์ประมาณ 4 คนใน 1 แสนคน คนที่มีเลือดหมู่นี้จะไม่สามารถรับเลือดจากหมู่ O ปกติได้ ต้องรับเลือดจากหมู่โอบอมเบย์เท่านั้น

เลือดหมู่โอบอมเบย์แตกต่างจากเลือดหมู่ O อย่างไร

เลือดหมู่ O และ O-Bombay มีลักษณะที่ต่างกันที่ชนิดของแอนติเจน H ซึ่งเป็นแอนติเจนที่พบที่เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง และเป็นสารต้นกำเนิดของแอนติเจน A และแอนติเจน B โดยที่เอนไซม์ transferase A จะเปลี่ยนแอนติเจน H ให้เป็นแอนติเจน A และเอนไซม์ transferase B จะเปลี่ยนแอนติเจน H ให้เป็นแอนติเจน B ดังนั้นที่เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดงของเลือดหมู่ต่างๆ จะมีแอนติเจน ดังตาราง

คนที่มียีนเลือดหมู่ O ที่เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีแต่แอนติเจน H เพียงอย่างเดียว ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนเป็นแอนติเจน A หรือแอนติเจน B ได้ เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ transferase A หรือเอนไซม์ transferase B และที่เยื่อหุ้มของเซลล์เม็ดเลือดแดงของเลือดหมู่ O-Bombay ไม่มีแอนติเจน H ส่งผลให้ไม่มีแอนติเจน A และ แอนติเจน B ดังตาราง

หมู่เลือด	แอนติเจนที่เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง	แอนติบอดีในพลาสมา
A	A และ H	B
B	B และ H	A
AB	A และ B และ H	ไม่มี
O	แสดงแอนติเจน H (ไม่สร้างแอนติเจน A และ B)	A และ B
O-Bombay	ไม่แสดงแอนติเจน H	A และ B



รูป 5.5 จีโนไทป์และฟีโนไทป์ของเลือดหมู่ต่างๆ ในหมู่เลือดระบบ ABO



กิจกรรม 5.3 การแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง ความเด่นไม่สมบูรณ์ ความเด่นร่วม และ มัลติเพิลแอลลีล

จุดประสงค์

อธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบความเด่นไม่สมบูรณ์ ความเด่นร่วม และ มัลติเพิลแอลลีล และนำหลักการไปใช้ในการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา

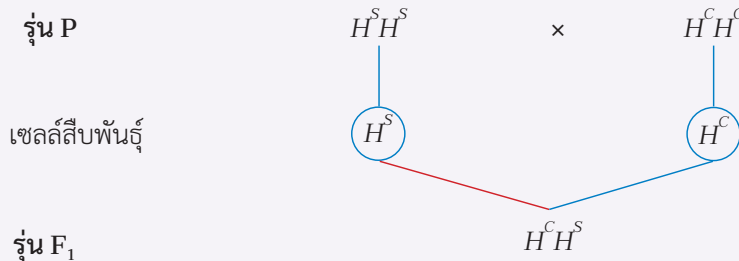
แนวการจัดกิจกรรม

1. ครูให้นักเรียนฝึกแก้โจทย์ปัญหา โดยอาจเพิ่มเติมโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบความเด่นไม่สมบูรณ์ ความเด่นร่วม และมัลติเพิลแอลลีล
2. ครูและนักเรียนอาจอภิปรายแนวการตอบร่วมกันในชั้นเรียน

แนวการตอบกิจกรรม

1. ลักษณะเส้นผมในมนุษย์มีจีโนไทป์ 3 รูปแบบ ดังนี้ จีโนไทป์ $H^C H^C$ แสดงลักษณะผมหยิก $H^S H^S$ แสดงลักษณะผมเหยียดตรง และ $H^C H^S$ แสดงลักษณะผมเป็นลอนหรือหยักศก
 - 1.1 ถ้าพ่อแม่ผมเหยียดตรงและแม่ผมหยิก ลูกที่เกิดมาจะมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์เป็นอย่างไร จงเขียนแผนภาพแสดงการถ่ายทอดลักษณะดังกล่าว

 ลูกที่เกิดมาจะมีเส้นผมหยักศก และมีการถ่ายทอดลักษณะเส้นผมดังแผนภาพ



- 1.2 นักเรียนคิดว่าเส้นผมในมนุษย์มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบใด จงอธิบาย

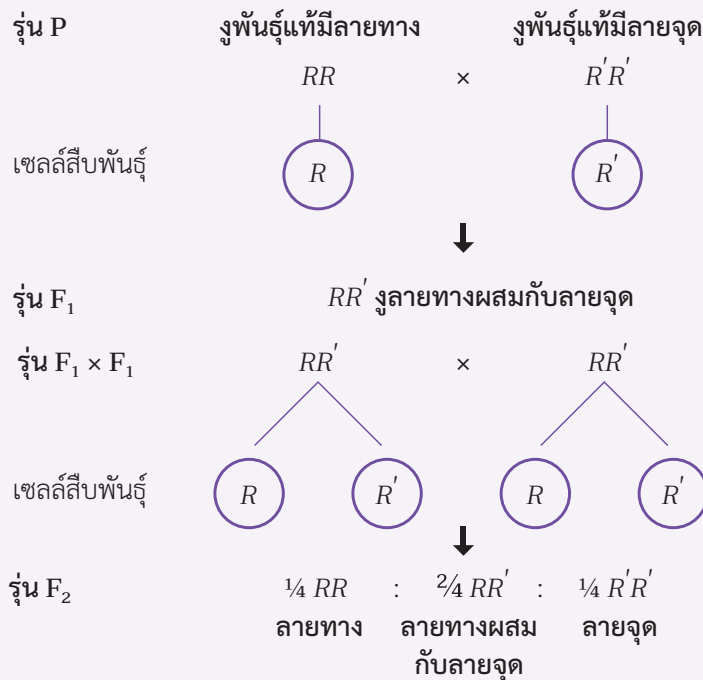
 เส้นผมในมนุษย์มีการถ่ายทอดแบบเด่นไม่สมบูรณ์ โดยมีฟีโนไทป์ของเส้นผม 3 รูปแบบ ฟีโนไทป์ของลูกที่เกิดจากพ่อแม่ผมเหยียดตรงและแม่ผมหยิกจะเกิดมาแตกต่างจากพ่อแม่และแสดงลักษณะที่อยู่ระหว่างฟีโนไทป์ของพ่อแม่ที่เป็นฮอมอไซกัสทั้งสองแบบ คือแสดงลักษณะผมหยักศก

2. เมื่อผสมพันธุ์ระหว่างงูเหลือมพันธุ์แท้มีลายทางกับงูเหลือมพันธุ์แท้มีลายจุด จะได้รุ่น F_1 เป็นงูเหลือมที่มีลายทางผสมกับลายจุด เมื่อให้รุ่น F_1 ผสมกันเอง จงหาโอกาสของรุ่น F_2 ที่มีลักษณะเหมือนรุ่น F_1

✎ จากโจทย์นี้แสดงว่าลักษณะลายของงูเป็นลักษณะแบบเด่นร่วม ดังนั้นงูในรุ่น F_2 มีลักษณะลายทางผสมกับลายจุดเหมือนพ่อแม่เท่ากับ $\frac{2}{4}$ หรือ $\frac{1}{2}$

แนวความคิด

กำหนดให้ R แทนแอลลีลควบคุมลักษณะลายทาง R' แทนแอลลีลควบคุมลักษณะลายจุด แสดงการถ่ายทอดได้ดังนี้

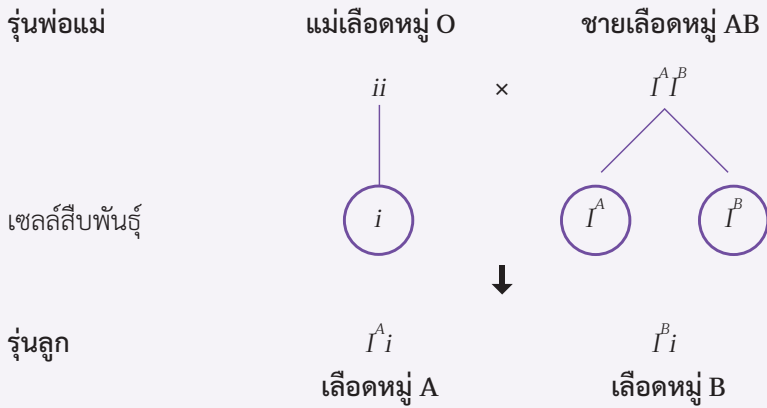


3. จงใช้เหตุผลทางพันธุศาสตร์มาอธิบายความเป็นไปได้ของข้อความต่อไปนี้

3.1 แม่และลูกมีเลือดหมู่ O แต่ชายที่อ้างว่าเป็นพ่อมีเลือดหมู่ AB

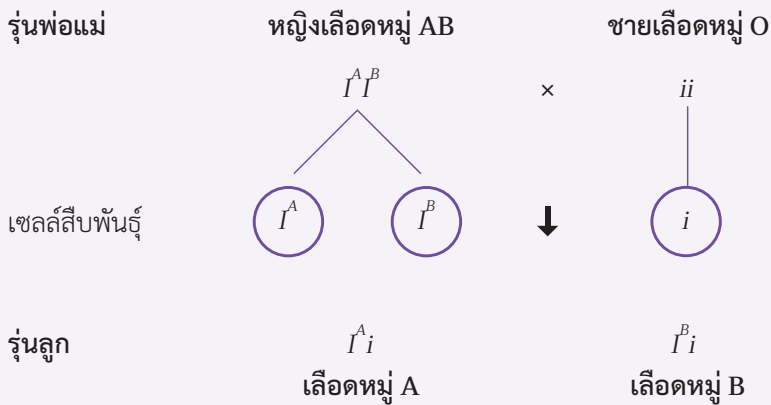
✎ จะเห็นได้ว่าแม่มีเลือดหมู่ O ชายที่อ้างว่าเป็นพ่อมีเลือดหมู่ AB ถ้าเป็นพ่อจริง จะได้ลูกที่มีเลือดหมู่ A หรือเลือดหมู่ B เท่านั้น ดังนั้นชายที่อ้างว่าเป็นพ่อ จึงไม่ใช่พ่อของเด็กเลือดหมู่ O

แนวความคิด แสดงได้ดังนี้



3.2 หญิงคนหนึ่งมีเลือดหมู่ AB ยืนยันว่าลูกที่มีเลือดหมู่ A เป็นลูกของชายที่มีเลือดหมู่ O กรณีนี้การที่ลูกมีเลือดหมู่ A อาจจะมีจีโนไทป์เป็น $I^A I^A$ หรือ $I^A i$ และเมื่อแม่มีเลือดหมู่ AB นั้น ดังนั้นลูกที่มีเลือดหมู่ A อาจเป็นลูกของชายคนนั้นตามที่กล่าวอ้าง

แนวความคิด แสดงได้ดังนี้



4. ถ้าพ่อมีเลือดหมู่ในระบบ ABO และระบบ MN เป็น A และ M ส่วนแม่มีเลือดหมู่เป็น B และ N ตามลำดับ ลูกจะมีโอกาสมีฟีโนไทป์ได้กี่แบบ อะไรบ้าง

 ในระบบ ABO ลูกมีโอกาสมีฟีโนไทป์ได้ 4 แบบ คือ A B AB หรือ O และในระบบ MN มีโอกาสมีฟีโนไทป์ได้ 1 แบบ คือ MN

แนวความคิด

ในระบบ ABO พ่อมีเลือดหมู่ A แสดงว่าอาจมีจีโนไทป์เป็น $I^A I^A$ หรือ $I^A i$ ส่วนแม่มีเลือดหมู่ B แสดงว่าอาจมีจีโนไทป์เป็น $I^B I^B$ หรือ $I^B i$ รุ่นลูกจึงมีโอกาสมีฟีโนไทป์เป็น A B AB หรือ O ก็ได้ ในระบบ MN พ่อมีเลือดหมู่ M แสดงว่ามีจีโนไทป์เป็น $L^M L^M$ ส่วนแม่มีเลือดหมู่ N แสดงว่ามีจีโนไทป์เป็น $L^N L^N$ ลูกจึงมีโอกาสมีฟีโนไทป์เป็น MN

5.2.4 ลักษณะควบคุมด้วยยีนหลายคู่

ครูอาจทบทวนลักษณะพันธุกรรมของถั่วลันเตาแต่ละลักษณะที่เมนเดลศึกษาว่าถูกควบคุมด้วยยีน 1 คู่ และตั้งประเด็นเพื่อไปสู่การอภิปรายว่า **ลักษณะหนึ่งๆ ของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมด้วยยีนเพียงคู่เดียวเสมอไปหรือไม่และมีลักษณะทางพันธุกรรมลักษณะใดบ้างที่ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่** เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจอยากรู้

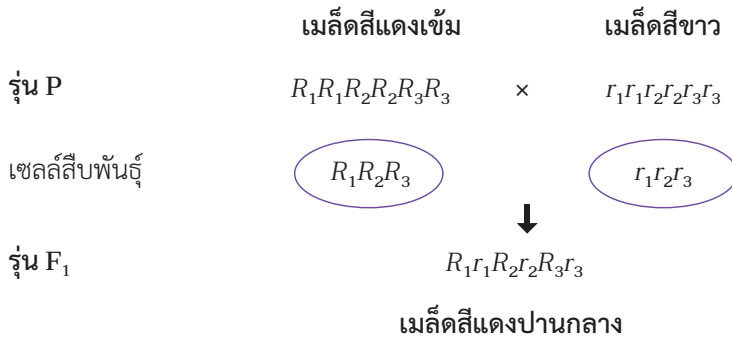
ครูอธิบายเกี่ยวกับโลคัสของยีนหลายคู่ที่ควบคุมลักษณะเดียวกัน โดยใช้รูป 5.18 ในหนังสือเรียนประกอบการอธิบาย

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 5.19 ในหนังสือเรียน และสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีที่เกิดจากการผสมของพันธุ์แท้เมล็ดสีแดงเข้มกับเมล็ดสีขาว ครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีนกี่โลคัส มีลักษณะใดเป็นลักษณะเด่นและลักษณะใดเป็นลักษณะด้อย
- รุ่น F_1 มีเมล็ดสีอะไร
- รุ่น F_1 ผสมกันเองจะได้รุ่น F_2 ที่มีสีของเมล็ดข้าวสาลีแตกต่างกันอย่างไรบ้าง

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า สีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีน 3 โลคัส โดยมีเมล็ดสีแดงเป็นลักษณะเด่น เมล็ดสีขาวเป็นลักษณะด้อย รุ่น F_1 เมล็ดมีสีแดงปานกลาง รุ่น F_2 เมล็ดมีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่สีแดงเข้ม และมีสีแดงจางลงลดหลั่นกันจนถึงเมล็ดสีขาว

ครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนวิเคราะห์ว่า รุ่น F_1 มีเมล็ดสีเป็นสีแดงปานกลางและรุ่น F_2 เมล็ดมีสีแดงเข้มไปจนถึงสีขาวได้อย่างไร โดยอาจชี้แนะให้พิจารณาจากจำนวนของแอลลีลเด่น จีโนไทป์ของแต่ละรุ่นและการแสดงออกของยีนแต่ละคู่ จากการวิเคราะห์นักเรียนควรสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้



จะเห็นได้ว่ารุ่น F_1 มีเมล็ดสีแดงปานกลางเนื่องจากจีโนไทป์มีแอลลีลเด่นและแอลลีลด้อยจำนวนเท่ากันคือ 3 แอลลีล ฟีนไทป์มีลักษณะกึ่งกลาง เมื่อให้ F_1 ผสมกันเองจะได้รุ่น F_2 ที่มีฟีนไทป์แตกต่างกันเป็น 7 แบบ ขึ้นอยู่กับจำนวนแอลลีลเด่น ถ้ามีแอลลีลเด่นมากเมล็ดจะมีสีแดง ทำนองเดียวกันถ้าแอลลีลเด่นมีน้อยเมล็ดจะมีสีแดงจางลงมา ถ้าไม่มีแอลลีลเด่นเมล็ดจะมีสีขาว

คำถามในหนังสือเรียนมีแนวการตอบดังนี้

-  เมล็ดข้าวสาลีในรุ่น F_2 มีฟีนไทป์กี่แบบ คิดเป็นอัตราส่วนเท่าใด

 รุ่น F_2 มีฟีนไทป์ 7 แบบ ในอัตราส่วน 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1
-  เมล็ดข้าวสาลีในรุ่น F_2 จะมีโอกาสมีฟีนไทป์เหมือนรุ่น F_1 เป็นเท่าใด

 มีฟีนไทป์เหมือนพ่อแม่ (F_1) คือ $\frac{20}{64}$ หรือ $\frac{5}{16}$
-  ระดับความเข้มของสีเมล็ดข้าวสาลีขึ้นอยู่กับสิ่งใด

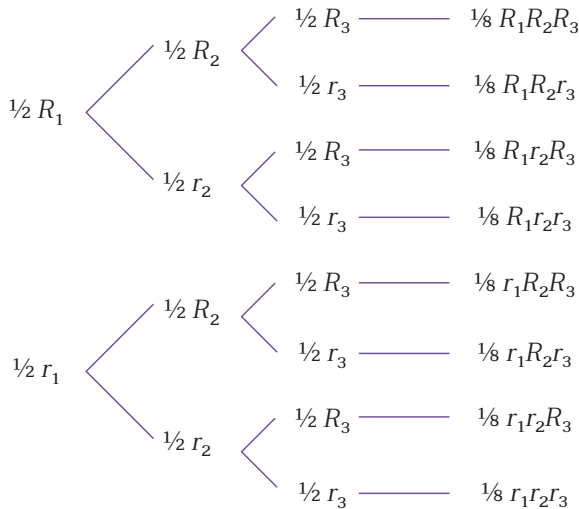
 ระดับความเข้มของสีของเมล็ดข้าวสาลีขึ้นอยู่กับจำนวนแอลลีลเด่นในจีโนไทป์
-  เมื่อนำต้นข้าวสาลีที่มีจีโนไทป์ $R_1r_1R_2r_2R_3R_3$ ผสมพันธุ์กับ $R_1r_1R_2R_2r_3r_3$ ต้นพ่อแม่และต้นแม่จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ และรุ่นลูกมีโอกาสมีฟีนไทป์ได้กี่แบบ

 ต้นที่มีจีโนไทป์ $R_1r_1R_2r_2R_3R_3$ จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 4 แบบ ได้แก่ $R_1R_2R_3$ $R_1r_2R_3$ $r_1R_2R_3$ และ $r_1r_2R_3$ และต้นที่มีจีโนไทป์ $R_1r_1R_2R_2r_3r_3$ จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 แบบ ได้แก่ $R_1R_2r_3$ และ $r_1R_2r_3$ รุ่นลูกมีโอกาสมีฟีนไทป์ได้ 4 แบบ

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- เมล็ดที่มีจีโนไทป์ $R_1r_1R_2r_2R_3r_3$ เมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โอกาสที่จะสร้างเซลล์ไข่แบบ $r_1r_2r_3$ และโอกาสที่จะสร้างเซลล์ไข่แบบ $R_1r_2r_3$ มีเท่าใด

ครูอาจชี้แนะการหาชนิดของเซลล์สืบพันธุ์ของจีโนไทป์ $R_1r_1R_2r_2R_3r_3$ โดยวิธีแผนภาพต้นไม้ และร่วมกันอภิปราย ดังนี้



จากการอภิปรายนักเรียนสรุปได้ว่าโอกาสที่จะเกิดเซลล์สืบพันธุ์แบบ $r_1r_2r_3$ เป็น 1/8 และโอกาสที่จะเกิดเซลล์สืบพันธุ์แบบ $R_1r_2r_3$ เป็น 1/8

- ถ้าวัวเป็นแบบ $r_1r_2R_3$ ผสมกับเซลล์ไข่แบบ $r_1r_2r_3$ จะได้ลูกที่มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์เป็นอย่างไร

ถ้าสเปิร์มเป็นแบบ $r_1r_2R_3$ ผสมกับเซลล์ไข่แบบ $r_1r_2r_3$ จะได้ลูกที่มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้

เซลล์สืบพันธุ์

$r_1r_2R_3$

×

$r_1r_2r_3$

จีโนไทป์ของลูก

$r_1r_1r_2r_2R_3r_3$

ลูกจะมีจีโนไทป์ $r_1r_1r_2r_2R_3r_3$ ซึ่งมีแอลลีเด่น 1 แอลลี แอลลีด้อย 5 แอลลี ฟีโนไทป์จึงเป็น เมล็ดสีแดงอ่อนมาก

นักเรียนอภิปรายเพื่อสรุปความหมายของลักษณะควบคุมด้วยยีนหลายคู่ได้ว่าลักษณะทางพันธุกรรมลักษณะหนึ่งควบคุมด้วยยีนหลายโลคัส แอลลีเด่นแต่ละคู่แสดงผลต่อลักษณะเท่า ๆ กัน เช่น R_1R_1 แสดงลักษณะเด่นเท่า ๆ กับ R_2R_2 หรือ R_3R_3 ครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมเกี่ยวกับการถ่ายทอดสีของเมล็ดข้าวสาลี ซึ่งนิลส์สัน-เอิล (Nilsson-Ehle) ได้เสนอสมมติฐานยีนหลายคู่เพื่ออธิบายลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายคู่ แอลลีเด่นแต่ละคู่แสดงผลต่อลักษณะนั้นเท่า ๆ กัน และมีการแสดงออกแบบสะสม (additive effect) คือ ถ้ามีแอลลีเด่นมากก็แสดงผลสีแดงมาก ถ้ามีแอลลีเด่นน้อยก็แสดงผลสีแดงน้อย

การแปรผันต่อเนื่องและการแปรผันไม่ต่อเนื่อง

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการแปรผันต่อเนื่องและการแปรผันไม่ต่อเนื่อง โดยครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันในประเด็นต่อไปนี้

- ลักษณะที่มีการแปรผันต่อเนื่องและการแปรผันไม่ต่อเนื่องแตกต่างกันอย่างไร
- เมื่อเขียนกราฟแสดงขนาดของประชากรที่มีการแปรผันต่อเนื่องและการแปรผันไม่ต่อเนื่องจะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

นักเรียนควรสรุปได้ว่า ลักษณะที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่อง เป็นลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยยีนโลคัสเดียว ฟีโนไทป์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อเขียนกราฟแสดงขนาดประชากรจะเป็นดังรูป 5.20 ก. ส่วนลักษณะที่มีการแปรผันต่อเนื่อง จะเป็นลักษณะควบคุมด้วยยีนหลายคู่ ฟีโนไทป์มีความหลากหลายและความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ลักษณะเหล่านี้สามารถตรวจวัดในเชิงปริมาณได้ และบางลักษณะพบว่าสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลสูงต่อการแสดงออกของยีน เมื่อเขียนกราฟแสดงขนาดประชากรในแต่ละฟีโนไทป์จะมีการกระจายอย่างต่อเนื่องหรือกระจายแบบโค้งปกติ ดังรูป 5.20 ข.

ครูอาจให้นักเรียนสังเกตลักษณะของนักเรียนในห้องว่ามีลักษณะใดเป็นลักษณะแปรผันไม่ต่อเนื่องและลักษณะใดที่เป็นลักษณะแปรผันต่อเนื่อง และอภิปรายถึงสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อลักษณะทางพันธุกรรม

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายคำถามในหนังสือเรียนต่อไปนี้ เพื่อสรุปเกี่ยวกับการแปรผันต่อเนื่องและการแปรผันไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้

- การควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมแบบมัลติเพิลแอลลีลแตกต่างจากลักษณะควบคุมด้วยยีนหลายคู่อย่างไร
- ✎ การเปรียบเทียบลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเพิลแอลลีลและลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายคู่ มีดังนี้

ลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเพิลแอลลีล	ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายคู่
1. ควบคุมด้วยยีน 1 คู่	1. ควบคุมด้วยยีนหลายคู่
2. ควบคุมด้วยยีนหลายแอลลีลในโลคัสเดียวกันบนฮอมอโลกัสโครโมโซม	2. ควบคุมด้วยยีนหลายโลคัสของฮอมอโลกัสโครโมโซมต่างคู่กัน
3. ลักษณะที่แสดงออกมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดเป็นการแปรผันไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variation)	3. ลักษณะที่แสดงออกจะแตกต่างกันเล็กน้อยมีความลดหลั่นจากมากที่สุดไปยังน้อยที่สุดของลักษณะนั้นเป็นการแปรผันต่อเนื่อง (continuous variation)
4. สิ่งแวดล้อมมีผลต่อการแสดงลักษณะน้อยมากหรือไม่มีเลย	4. สิ่งแวดล้อมมีผลต่อการแสดงลักษณะ
5. เป็นลักษณะเชิงคุณภาพ (qualitative trait)	5. เป็นลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait)

5.2.5 การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศ



บทความ



บทความ

ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับบอโตโซมและโครโมโซมเพศ ครูอาจตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศแตกต่างจากการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซมอย่างไร โดยให้นักเรียนยกตัวอย่างการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซม เช่น ลักษณะของถั่วลิสงเตาที่เมนเดลศึกษา หมู่เลือดระบบ ABO สีตา ลักษณะเส้นผม พร้อมทั้งเขียนจีโนไทป์

ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า **บนโครโมโซมเพศมียีนหรือไม่** ถ้ามีการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศจะเหมือนกับการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซมหรือไม่ อย่างไร

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองของมอร์แกน และครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับโครโมโซมของแมลงหวี่ว่าแมลงหวี่เพศผู้และเพศเมียมีจำนวนโครโมโซม 8 แท่งเท่ากัน ต่างกันที่โครโมโซมเพศ โดยเพศเมียมีจำนวนโครโมโซมเป็น 8, XX เพศผู้มีจำนวนโครโมโซมเป็น 8, XY

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากการทดลองการผสมพันธุ์ของแมลงหวี่จากภาพที่ 5.23 ในหนังสือเรียน แล้ววิเคราะห์การทดลอง ซึ่งอาจสรุปเป็นลำดับได้ดังนี้

ในธรรมชาติแมลงหวี่เพศผู้และเพศเมียมีตาสีแดง เมื่อผสมแมลงหวี่หลายชั่วรุ่นจะพบแมลงหวี่เพศผู้บางตัวมีตาสีขาว

เมื่อแมลงหวี่เพศผู้ตาสีขาวผสมกับแมลงหวี่เพศเมียตาสีแดง ได้ลูกรุ่น F_1 ทุกตัวตาสีแดง ส่วนรุ่น F_2 เพศเมียทุกตัวตาสีแดง และเพศผู้ตาสีแดง : เพศผู้ตาสีขาว เท่ากับ 1 : 1

ครูตั้งคำถามจากภาพที่ 5.23 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ว่าเหตุใดแมลงหวี่ตาสีขาวในรุ่น F_2 จึงปรากฏในเพศผู้และแมลงหวี่เพศเมียมีโอกาสเป็นตาสีขาวได้หรือไม่ โดยให้นักเรียนอภิปรายอย่างอิสระ

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? จากผลการทดลองการถ่ายทอดลักษณะสีตาของแมลงหวี่ ทราบหรือไม่ว่าลักษณะใดเป็นลักษณะเด่นและลักษณะใดเป็นลักษณะด้อย

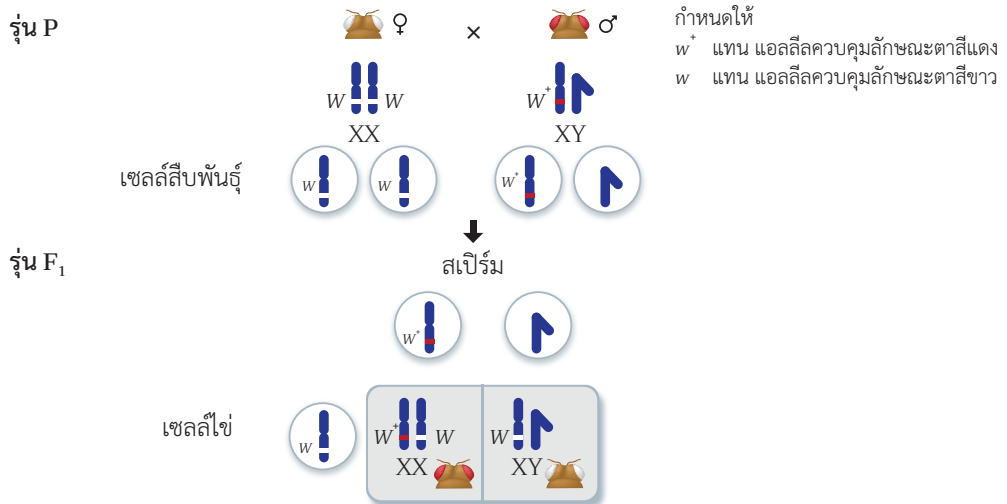
 ตาสีแดงเป็นลักษณะเด่น ตาสีขาวเป็นลักษณะด้อย

? แมลงหวี่เพศเมียจะมีโอกาสมีตาสีขาวได้หรือไม่ อย่างไร

 เพศเมียจะมีโอกาสมีตาสีขาวได้ เมื่อมียีนควบคุมตาสีขาวบนโครโมโซม X ที่ได้รับมาจากพ่อและแม่

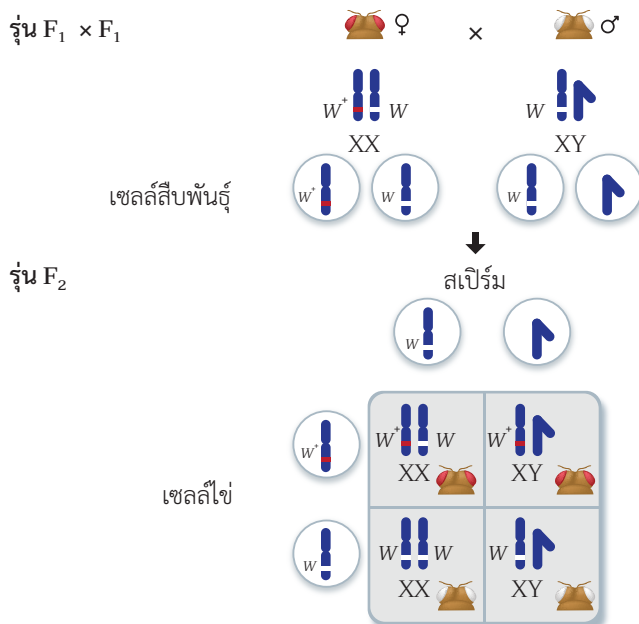
? เมื่อผสมสลับลักษณะระหว่างเพศเมียและเพศผู้โดยผสมแมลงหวี่เพศเมียตาสีขาวกับเพศผู้ตาสีแดง ผลที่ได้จะแตกต่างจากแมลงหวี่เพศเมียตาสีแดงพันธุ์แท้ผสมกับเพศผู้ตาสีขาวหรือไม่ อย่างไร

 แตกต่างโดยในรุ่น F_1 จะได้แมลงหวี่เพศเมียตาสีแดง และเพศผู้ตาสีขาว เมื่อนำรุ่น F_1 มาผสมกันจะได้รุ่น F_2 ที่มีเพศเมียตาสีแดง เพศเมียตาสีขาว เพศผู้ตาสีแดง และเพศผู้ตาสีขาว ดังรูป



จีโนไทป์ในรุ่น F₁: $\frac{1}{2} w^+w$, $\frac{1}{2} wY$

ฟีโนไทป์ในรุ่น F₁: $\frac{1}{2}$ เพศเมียตาสีแดง, $\frac{1}{2}$ เพศผู้ตาสีขาว



จีโนไทป์ในรุ่น F₂: $\frac{1}{4} w^+w$, $\frac{1}{4} ww$, $\frac{1}{4} w^+Y$, $\frac{1}{4} wY$

ฟีโนไทป์ในรุ่น F₂: $\frac{1}{4}$ เพศเมียตาสีแดง, $\frac{1}{4}$ เพศเมียตาสีขาว, $\frac{1}{4}$ เพศผู้ตาสีแดง, $\frac{1}{4}$ เพศผู้ตาสีขาว

รูป 5.5 การผสมสลับลักษณะระหว่างเพศเมียกับเพศผู้

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายประเด็นดังต่อไปนี้

- การแสดงออกของยีนควบคุมสีตาแมลงหวี่ในเพศผู้และเพศเมียแตกต่างกันอย่างไร
- ✎ จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่าแอลลีลด้อยบนโครโมโซม X จะมีโอกาสแสดงออกได้ในเพศผู้มากกว่าเพศเมีย เนื่องจากเพศผู้มีโครโมโซม X เพียง 1 แท่ง ดังนั้นแมลงหวี่เพศผู้ที่ได้รับโครโมโซม X ซึ่งมีแอลลีลด้อยมาจากแม่จะแสดงผลได้ทันที ส่วนเพศเมียจะต้องได้รับโครโมโซม X ที่มีแอลลีลด้อยมาจากพ่อและแม่จึงจะแสดงลักษณะนั้นได้
- การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซม X เป็นไปตามการทดลองของเมนเดลหรือไม่ อย่างไร
- ✎ ไม่เป็นไปตามการทดลองของเมนเดล เนื่องจากการถ่ายทอดยีนตามกฎของเมนเดลเป็นการถ่ายทอดยีนบนออโตโซมจะปรากฏลักษณะทั้งเพศชายและเพศหญิงได้เท่า ๆ กัน แต่การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม X จะปรากฏลักษณะในเพศหนึ่งมากกว่าอีกเพศหนึ่ง
- นักเรียนจะสรุปได้อย่างไรว่าลักษณะใดถูกควบคุมด้วยแอลลีลเด่นหรือแอลลีลด้อยบนโครโมโซม X
- ✎ ลักษณะที่ควบคุมด้วยแอลลีลเด่นบนโครโมโซม X จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย ส่วนลักษณะที่ควบคุมด้วยแอลลีลด้อยบนโครโมโซม X จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศชายมากกว่าเพศหญิง

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาการถ่ายทอดลักษณะตาบอดสีของมนุษย์จากภาพที่ 5.24 ในหนังสือเรียนแล้วตอบคำถามซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

- ❓ ผู้ชายคนที่ 1 และคนที่ 4 ในรุ่นที่ III ได้รับการถ่ายทอดแอลลีลตาบอดสีเขียว-แดงมาได้อย่างไร
- ✎ ชายคนที่ 1 ได้รับแอลลีลตาบอดสีจากแม่หมายเลข 2 รุ่นที่ II และชายคนที่ 4 ได้รับยีนตาบอดสีมาจากแม่หมายเลข 4 รุ่นที่ II ซึ่งแม่หมายเลข 2 และ 4 นี้จะเป็นพาหะโดยได้รับยีนตาบอดสีจากพ่อรุ่นที่ I
- ❓ ลักษณะตาบอดสีเขียว-แดงส่วนใหญ่ปรากฏในเพศใด
- ✎ ลักษณะตาบอดสีเขียว-แดงส่วนใหญ่พบในเพศชาย

? หากในครอบครัวหนึ่งมีลูกสาวมีลักษณะตาบอดสีเขียว-แดง พ่อและแม่มีจีโนไทป์เป็นอย่างไรได้บ้าง

✎ ลูกสาวจะมีโอกาสเป็นตาบอดสีเขียว-แดง เมื่อได้รับยีนตาบอดสีมาจากพ่อ ซึ่งมีจีโนไทป์เป็น X^cY และจากแม่ซึ่งอาจมีจีโนไทป์เป็น X^CX^c หรือ X^cX^c

ครูอาจขยายความรู้ให้กับนักเรียนว่า การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศ เรียกว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับเพศ หากยีนมีตำแหน่งบนโครโมโซม X เรียกว่ายีนบนโครโมโซม X (X-linked gene) ถ้ายีนมีตำแหน่งบนโครโมโซม Y เรียกว่ายีนบนโครโมโซม Y (Y-linked gene) และอาจให้ร่วมกันตอบคำถามว่า

- ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่อยู่เฉพาะบนโครโมโซม Y จะปรากฏในลูกสาวได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ✎ จากการอภิปรายนักเรียนตอบคำถามว่า ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่อยู่เฉพาะบนโครโมโซม Y จะไม่ปรากฏในลูกสาว เนื่องจากลูกสาวจะได้รับการถ่ายทอดโครโมโซม X จากพ่อและแม่ ไม่ได้รับโครโมโซม Y

ครูอาจแนะนำยีนบนโครโมโซม X มีทั้งแอลลีเด่นและแอลลีด้อย จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม X ในหนังสือเรียนและหนังสือพันธุศาสตร์ทั่วไป และเน้นให้นักเรียนเห็นความสำคัญว่ายีนบางยีนก่อให้เกิดโรคหรือลักษณะผิดปกติ เช่น ตาบอดสี ฮีโมฟีเลีย ภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD

ครูตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซมและยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ โดยมีแนวคำถามดังนี้

- การถ่ายทอดยีนบนออโตโซม จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศชายและเพศหญิงได้เท่ากันหรือไม่
- การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม X จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศหญิงและเพศชายหรือไม่อย่างไร
- ถ้ายีนบนโครโมโซม X เป็นแอลลีด้อยหรือเป็นแอลลีเด่น จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศใดมากกว่ากัน เพราะเหตุใด

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากหนังสือเรียน ร่วมกันอภิปรายและวิเคราะห์การถ่ายทอดยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ

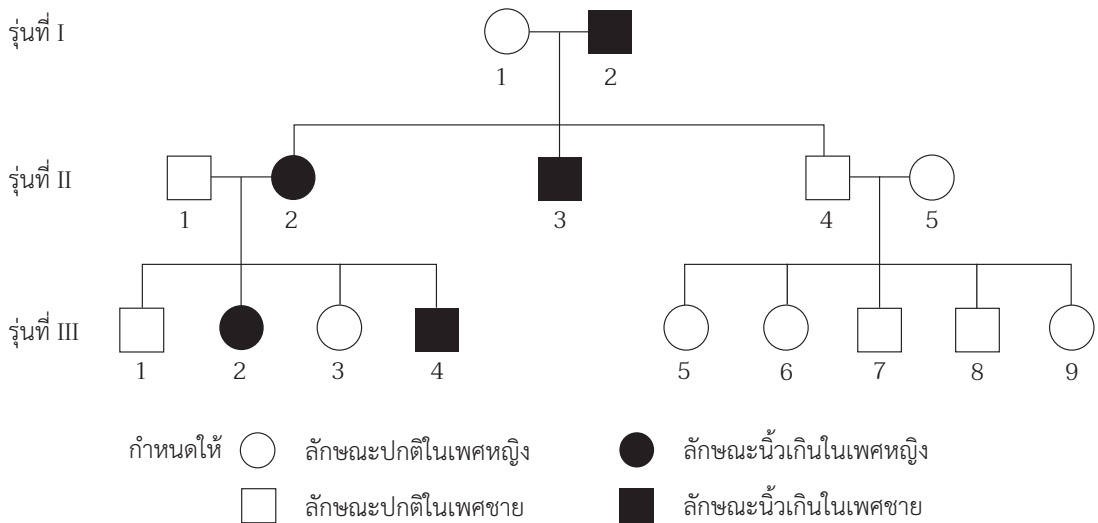
จากการอธิบายและการวิเคราะห์ นักเรียนควรตอบได้ว่าการถ่ายทอดลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม จะปรากฏทั้งสองเพศได้เท่าๆ กัน ส่วนการถ่ายทอดลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม X จะปรากฏลักษณะในเพศหนึ่งมากกว่าอีกเพศหนึ่ง แล้วแต่ว่ายีนบนโครโมโซม X เป็นแอลลีลเด่นหรือแอลลีลด้อย ถ้าเป็นแอลลีลเด่นจะปรากฏลักษณะในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย เช่น ลักษณะฟันเป็นสีน้ำตาล ถ้าเป็นแอลลีลด้อยจะปรากฏลักษณะในเพศชายมากกว่าในเพศหญิง เช่น ลักษณะตาบอดสี ฮีโมฟีเลีย โรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบ เป็นต้น

พันธุประวัติ

ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้นักเรียน โดยให้นักเรียนศึกษาพันธุประวัติดังตัวอย่างนี้แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์

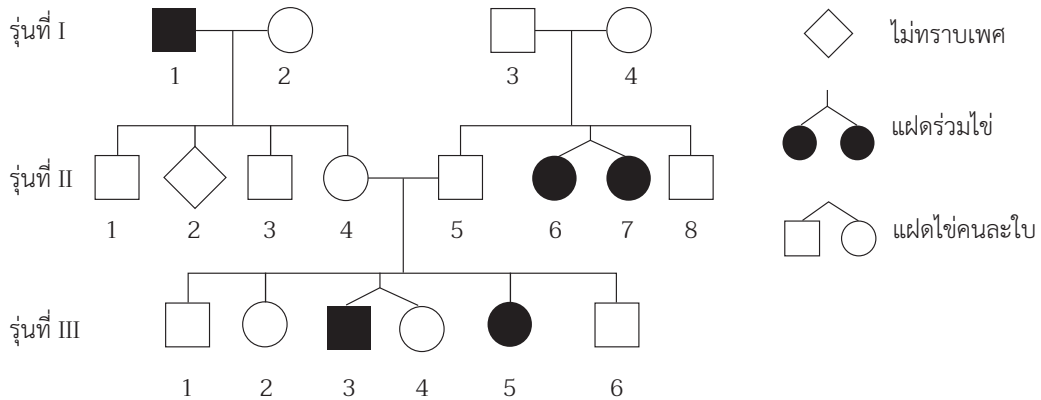
ตัวอย่างพันธุประวัติของลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม

1. พันธุประวัติของครอบครัวหนึ่งแสดงลักษณะการมีนิ้วเกินซึ่งเป็นลักษณะเด่น



- พ่อหรือแม่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งแสดงลักษณะนิ้วเกิน ลูกจะมีลักษณะนิ้วเกินได้
- ถ้าพ่อแม่ไม่มีลักษณะนิ้วเกิน (คนที่ 4 และคนที่ 5 ในรุ่นที่ II) ลูกก็จะไม่แสดงลักษณะนิ้วเกิน
- ลักษณะนิ้วเกินปรากฏทั้งในเพศหญิงและเพศชายได้เท่าๆ กัน แสดงว่ายีนควบคุมลักษณะนิ้วเกินอยู่บนออโตโซม

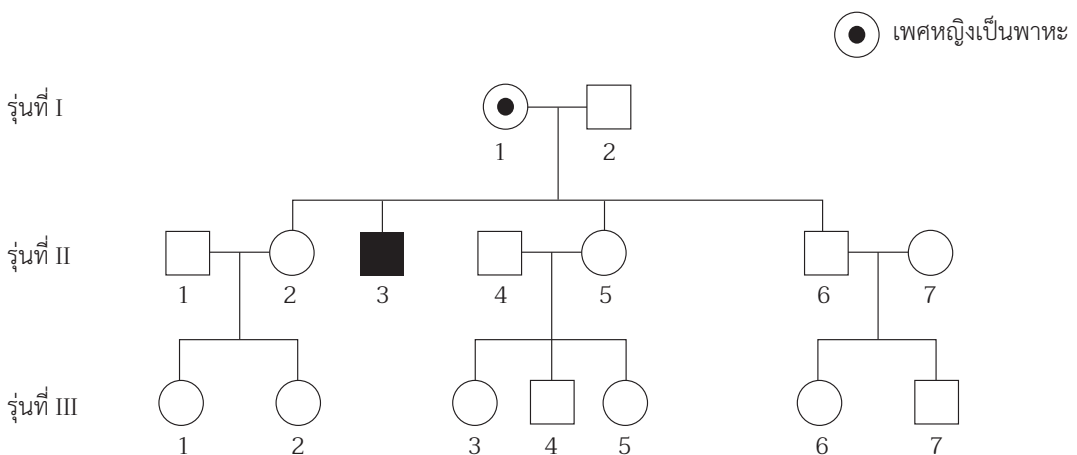
2. พันธประวัติของครอบครัวหนึ่งแสดงลักษณะผิวเผือก



- พ่อแม่ที่ปกติ (คนที่ 3 และคนที่ 4 ในรุ่นที่ I) มีลูกผิวเผือก (คนที่ 6 และคนที่ 7 ในรุ่นที่ II) แสดงว่าพ่อแม่เป็นเฮเทอโรไซกัส และลักษณะผิวเผือกนี้ถูกควบคุมด้วยแอลลีลด้อย
- ลักษณะผิวเผือกเกิดขึ้นได้ทั้งเพศหญิงและเพศชายเท่า ๆ กัน แสดงว่ายีนควบคุมลักษณะผิวเผือกอยู่บนออโตโซม

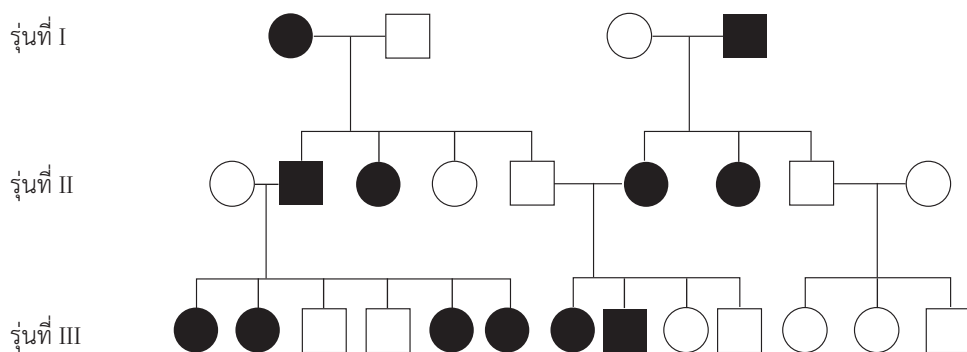
ตัวอย่างพันธประวัติของลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซมเพศ

1. พันธประวัติของครอบครัวหนึ่งแสดงโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD



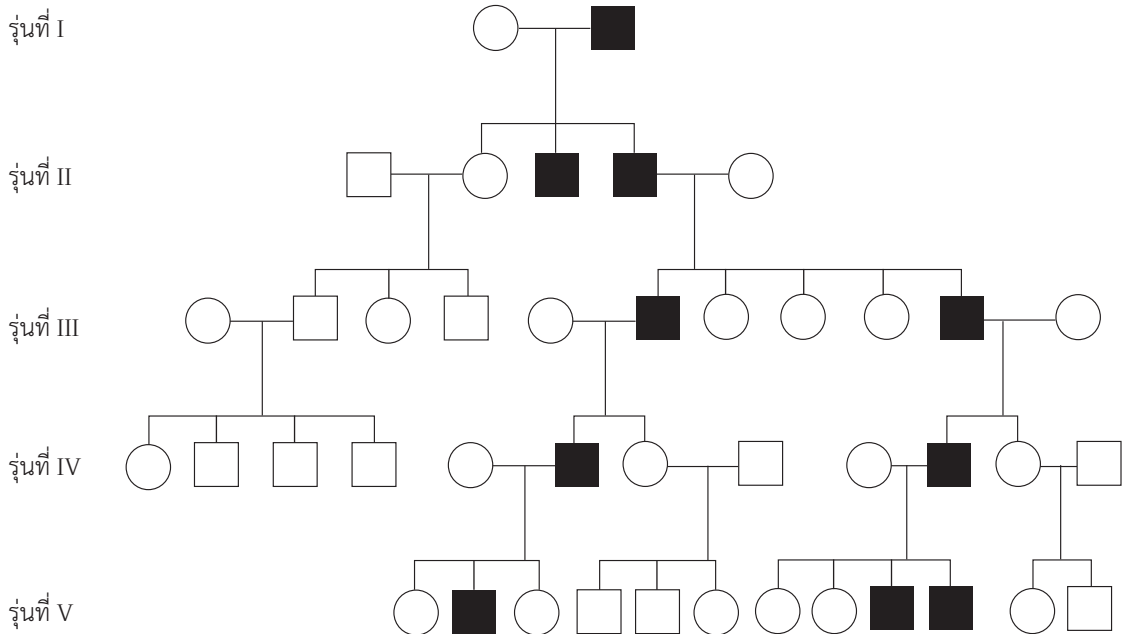
- พ่อปกติและแม่เป็นพาหะในรุ่นที่ I ลูกชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD จะได้รับแอลลีลด้อยจากแม่และลูกสาวมีโอกาสเป็นพาหะโดยได้รับแอลลีลด้อยจากแม่เช่นกัน
- โรคภาวะพร่องเอนไซม์นี้ปรากฏในเพศชาย โดยได้รับยีนจากแม่เพียงยีนเดียวก็สามารถแสดงออกได้ ส่วนเพศหญิงต้องได้รับยีนจากทั้งพ่อและแม่ แสดงว่าลักษณะนี้ควบคุมด้วยแอลลีลด้อยบนโครโมโซม X

2. พันธุประวัติของโรคกระดูกอ่อนในครอบครัวหนึ่ง



- พ่อหรือแม่เป็นโรคกระดูกอ่อน ลูกจะเป็นโรคกระดูกอ่อนทุกชั่วรุ่นแต่ไม่เป็นทุกคน แสดงว่าโรคกระดูกอ่อนเป็นลักษณะเด่น
- ถ้าแม่เป็นโรคกระดูกอ่อน ลูกสาวและลูกชายจะมีโอกาสเป็นโรคกระดูกอ่อน
- ถ้าพ่อเป็นโรคกระดูกอ่อน ลูกสาวทุกคนจะเป็นโรคกระดูกอ่อนแต่ลูกชายไม่เป็น
- โรคกระดูกอ่อนจะปรากฏลักษณะในเพศหญิงมากกว่าในเพศชาย แสดงว่าลักษณะนี้ควบคุมด้วยแอลลีลเด่นบนโครโมโซม X

3. ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม Y



- ถ้าพ่อมีลักษณะที่ต้องการศึกษา และปรากฏลักษณะในลูกหลานที่เป็นเพศชายเท่านั้น แสดงว่าลักษณะนี้ถูกควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนโครโมโซม Y

จากการอภิปรายเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ นักเรียนควรสรุปหลักเกณฑ์การถ่ายทอดลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม และยีนบนโครโมโซมเพศที่ได้จากการวิเคราะห์พันธุประวัติ ดังนี้

หลักเกณฑ์การวิเคราะห์พันธุประวัติ

1. ลักษณะที่ต้องการศึกษา เกิดทั้งในเพศหญิงและเพศชายในอัตราส่วนใกล้เคียงกัน อาจสรุปได้ว่าลักษณะนี้ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม
2. ลักษณะที่ต้องการศึกษา พบเฉพาะในเพศใดเพศหนึ่งหรือเกิดในเพศหนึ่งมากกว่าอีกเพศหนึ่ง อาจสรุปว่ายีนที่ควบคุมลักษณะอยู่บนโครโมโซมเพศ โดยถ้าพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง อาจสรุปว่ายีนที่ควบคุมลักษณะนี้เป็นแอลลีลด้อยบนโครโมโซม X แต่ถ้าพบลักษณะนี้ในเพศหญิงมากกว่าเพศชายอาจสรุปว่ายีนที่ควบคุมลักษณะนี้เป็นแอลลีลเด่นบนโครโมโซม X

3. ลักษณะที่ต้องการศึกษา ถ้าเกิดในรุ่นพ่อแม่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือทั้ง 2 ฝ่าย และลักษณะนี้เกิดขึ้นในลูกทุกชั่วรุ่น แสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะดังกล่าวอาจเป็นแอลลีลเด่น ถ้าไม่พบลักษณะนี้ในรุ่นพ่อแม่ แต่เกิดในรุ่นลูกบางชั่วรุ่นแสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะอาจเป็นแอลลีลด้อย
4. ลักษณะที่ต้องการศึกษาเกิดเฉพาะในเพศชาย มีการถ่ายทอดยีนจากพ่อไปยังลูกชายทุกคน แสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะนั้นอยู่บนโครโมโซม Y



กิจกรรมที่ 5.4 การแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง ลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนบนโครโมโซมเพศ

จุดประสงค์

อธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนบนโครโมโซมเพศ

แนวการจัดกิจกรรม

1. หญิงตาบอดสีคนหนึ่งมีพ่อเป็นตาบอดสีแต่งงานกับชายตาบอดสีซึ่งมีพ่อเป็นตาบอดสี จงหาโอกาสของลูกที่จะเป็นตาบอดสี
-  มีโอกาสที่ลูกตาบอดสีเท่ากับ $\frac{1}{4}$

แนวการคิด

หญิงตาบอดสีแต่มีพ่อตาบอดสี แสดงว่าหญิงคนนี้เป็นพาหะของตาบอดสี และมีจีโนไทป์เป็น $X^C X^c$ โดยแอลลีล X^c ได้รับการถ่ายทอดมาจากพ่อซึ่งเป็นตาบอดสี ส่วนชายตาบอดสีมีพ่อตาบอดสี จะไม่ได้รับการถ่ายทอดยีนตาบอดสีจากพ่อจึงมีจีโนไทป์เป็น $X^C Y$ ดังนั้นจะมีโอกาสที่ลูกตาบอดสีเท่ากับ $\frac{1}{4}$ และเกิดกับลูกชาย ดังนี้

กำหนดให้ C แทนแอลลีลควบคุมลักษณะตาปกติ c แทนแอลลีลควบคุมลักษณะตาบอดสี

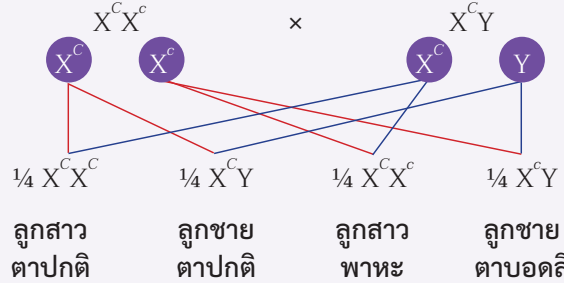
รุ่น P

เซลล์สืบพันธุ์

รุ่น F₁

หญิงตาปกติมีพ่อเป็นตาบอดสี

ชายตาปกติมีพ่อเป็นตาบอดสี



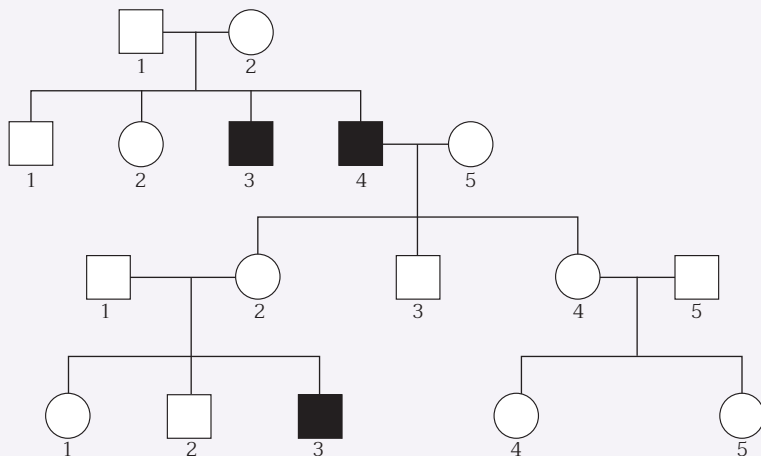
2. จากพันธุประวัติแสดงการถ่ายทอดโรคฮีโมฟีเลียซึ่งเป็นลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมโดยแอลลีลด้อยบนโครโมโซม X

รุ่นที่ I

รุ่นที่ II

รุ่นที่ III

รุ่นที่ IV



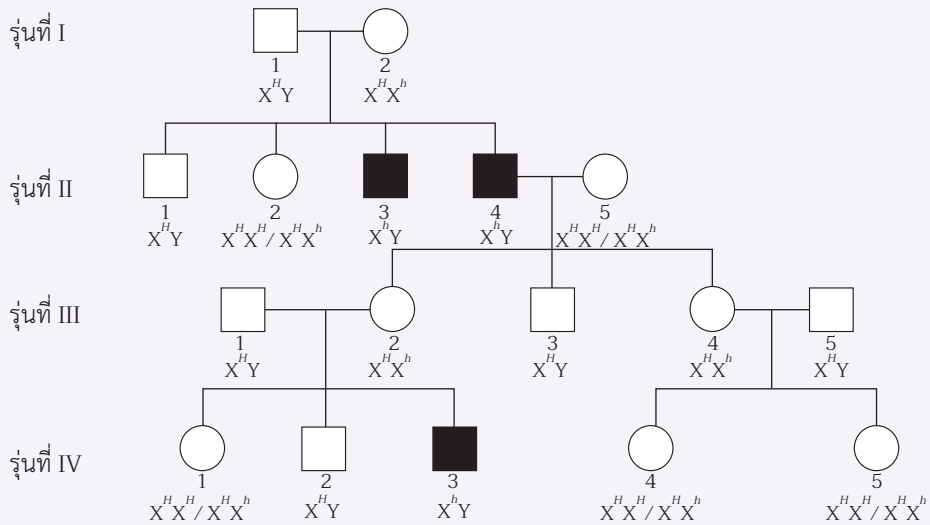
2.1 จากพันธุ์ประวัติมีบุคคลใดบ้างที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสอย่างแน่นอน

✎ บุคคลที่ 2 ในรุ่นที่ I บุคคลที่ 2 ในรุ่นที่ III และบุคคลที่ 4 ในรุ่นที่ III มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสอย่างแน่นอน

แนวความคิด จากพันธุ์ประวัติที่กำหนดให้สามารถระบุจีโนไทป์ได้ดังนี้

กำหนดให้ H แทนแอลลีลควบคุมลักษณะปกติ

h แทนแอลลีลควบคุมลักษณะโรคฮีโมฟีเลีย



2.2 ถ้าบุคคลที่ 1 ในรุ่นที่ IV แต่งงานกับชายปกติ โอกาสที่ลูกจะแสดงลักษณะดังกล่าวเป็นเท่าใด

 โอกาสที่ลูกจะแสดงลักษณะดังกล่าวเป็น $\frac{1}{4}$ เนื่องจากเป็นไปได้ 2 กรณี
กรณีที่ 1 ถ้าบุคคลที่ 1 ในรุ่นที่ IV เป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ โอกาสที่ลูกจะแสดงลักษณะดังกล่าวเป็น 0

กรณีที่ 2 ถ้าบุคคลที่ 1 ในรุ่นที่ IV เป็นเฮเทอโรไซกัสโอกาสที่ลูกจะแสดงลักษณะดังกล่าวเป็น $\frac{1}{4}$

แนวความคิด บุคคลบุคคลที่ 1 ในรุ่นที่ IV มีโอกาสมีจีโนไทป์ได้ 2 แบบ คือ $X^H X^H$ หรือ $X^H X^h$ ถ้าบุคคลที่ 1 ในรุ่นที่ IV เป็น $X^H X^H$ แต่งงานกับ $X^H Y$ โอกาสที่ลูกเป็นโรคฮีโมฟีเลียเท่ากับ 0

$$\begin{array}{c} X^H X^H \times X^H Y \\ \downarrow \\ X^H X^H \quad X^H Y \end{array}$$

ถ้าบุคคลที่ 1 ในรุ่นที่ IV เป็น $X^H X^h$ แต่งงานกับ $X^H Y$ โอกาสที่ลูกเป็นโรคฮีโมฟีเลียเท่ากับ $\frac{1}{4}$

$$\begin{array}{c} X^H X^h \times X^H Y \\ \downarrow \\ X^H X^H \quad X^H Y \quad X^h X^h \quad X^h Y \end{array}$$

3. หญิงปกติคนหนึ่งแต่งงานกับชายที่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย มีลูกสาวคนหนึ่งเป็นโรคฮีโมฟีเลีย

3.1 จีโนไทป์ของหญิงชายคู่นี้ และลูกสาว เป็นอย่างไร

 $X^H X^h$ $X^h Y$ และ $X^h X^h$ ตามลำดับ

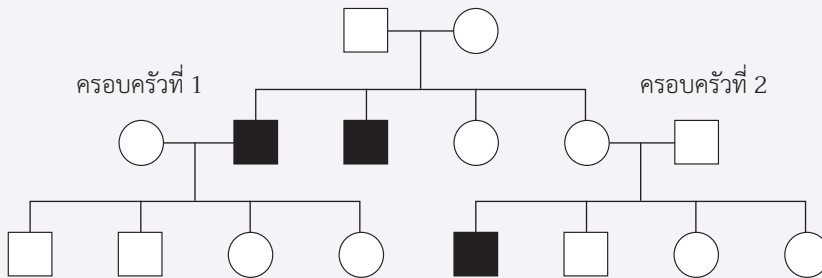
แนวความคิด แสดงการถ่ายทอดโรคฮีโมฟีเลียของครอบครัวนี้ได้ดังนี้

$$\begin{array}{c} X^H X^h \times X^h Y \\ \downarrow \\ X^H X^h \quad X^H Y \quad X^h X^h \quad X^h Y \end{array}$$

3.2 โอกาสที่ลูกคนถัดไปจะเป็นเพศหญิงและเป็นโรคฮีโมฟีเลียเป็นเท่าใด

 โอกาสที่ลูกคนถัดไปจะเป็นเพศหญิงและเป็นโรคฮีโมฟีเลีย คือ $\frac{1}{4}$ แม้ว่าลูกสาวคนก่อนหน้าจะเป็นโรคไปแล้ว ลูกคนถัดๆ ไปก็มีโอกาสที่จะเป็นโรคได้ในโอกาสเท่าเดิม

4. จากพันธุ์ประวัติของครอบครัวหนึ่งที่มีประวัติเกี่ยวกับโรคฮีโมฟีเลีย



4.1 เพราะเหตุใดครอบครัวที่ 1 จึงมีลูกชายที่ไม่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย

✎ ครอบครัวที่ 1 มีพ่อเป็นโรคฮีโมฟีเลีย จึงจะถ่ายทอดยีน X^h ให้กับลูกสาวเท่านั้นและแม่อาจไม่เป็นพาหะ ดังนั้นลูกชายจึงไม่เป็นโรคนี

4.2 เพราะเหตุใดครอบครัวที่ 2 จึงมีลูกชายคนหนึ่งเป็นโรคฮีโมฟีเลีย

✎ ลูกชายคนหนึ่งในครอบครัวที่ 2 เป็นโรคฮีโมฟีเลีย แสดงว่าแม่เป็นพาหะมีจีโนไทป์ $X^H X^h$ และถ่ายทอดแอลลีล X^h ให้กับลูกชายคนหนึ่ง

4.3 ลูกสาวของครอบครัวใดที่เป็นพาหะทุกคน เพราะเหตุใด

✎ ลูกสาวของครอบครัวที่ 1 เป็นพาหะของโรคฮีโมฟีเลียทุกคนเพราะพ่อเป็นโรคฮีโมฟีเลียและถ่ายทอดแอลลีล X^h ให้กับลูกสาวทุกคน

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดลและการคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์แบบต่างๆ ในรุ่น F_1 และรุ่น F_2 จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย การนำเสนอ การทำแบบฝึกหัดและการทำแบบทดสอบ
- การเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่องและลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง จากการสืบค้นข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การอภิปราย และการทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบ
- การถ่ายทอดยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย การทำแบบฝึกหัดและการทำแบบทดสอบ
- ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย การทำแบบฝึกหัดและการทำแบบทดสอบ

ด้านทักษะ

- การลงความเห็นจากข้อมูล จากการศึกษาแผนภาพ และการอภิปรายร่วมกัน
- การใช้จำนวน การพยากรณ์ และการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการศึกษาคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานการณ์ที่กำหนด
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการสืบค้นข้อมูล การทำกิจกรรม และการนำเสนอ
- การสังเกต การจำแนกประเภท การลงความเห็นจากข้อมูล จากการทำกิจกรรม

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ ความอยากรู้อยากเห็น จากการศึกษาสังเกตพฤติกรรมในการสืบค้นข้อมูล การนำเสนอ และการอภิปรายร่วมกัน
- ความรอบคอบ จากการศึกษาพฤติกรรมในการอภิปรายร่วมกัน และการทำกิจกรรม

5.3 ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเดียวกัน และการเกิดครอสซิงโอเวอร์ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจตั้งคำถามว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีจำนวนมาก ยีนที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกันจะมีหลักการการถ่ายทอดเหมือนกับการทดลองของเมนเดลหรือไม่ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายอย่างอิสระ โดยใช้ความรู้เดิมที่นักเรียนได้เรียนมาแล้วเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมต่างคู่กันประกอบการอภิปราย

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ยีนเหล่านี้จะถูกถ่ายทอดไปด้วยกันได้ จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับลิงเกจ (linkage) ว่า การที่ยีน 2 โคล์สหรือมากกว่า 2 โคล์สมีการถ่ายทอดไปด้วยกันพร้อม ๆ กัน ยีนเหล่านั้นเรียกว่า ลิงเกจ

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและศึกษาการผสมพันธุ์ของแมลงหวี่โดยพิจารณาสองลักษณะ คือ สีของลำตัว และขนาดของปีก ดังรูป 5.26 และ 5.27 ในหนังสือเรียน แล้วร่วมกันอภิปรายและวิเคราะห์ถึงการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเดียวกัน เมื่อผสมพันธุ์แมลงหวี่ลักษณะตัวสีน้ำตาลปีกปกติที่เป็นเฮเทอโรไซกัสกับลักษณะตัวสีดำปีกกุด ในประเด็นต่อไปนี้

- แมลงหวี่ตัวสีน้ำตาลปีกปกติรุ่น F_1 ที่เป็นเฮเทอโรไซกัสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่ชนิด อะไรบ้าง
- รุ่น F_1 มีอัตราส่วนของฟีโนไทป์เป็นเท่าใด
- การถ่ายทอดยีนควบคุมลักษณะสีตัวและยีนควบคุมลักษณะปีกของแมลงหวี่เป็นไปตามกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระของเมนเดลหรือไม่ เพราะเหตุใด

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรตอบได้ว่า โครโมโซมเป็นแหล่งรวมของยีน ดังนั้นแต่ละโครโมโซมซึ่งมียีนจำนวนมาก และจากการผสมพันธุ์แมลงหวี่ตัวสีน้ำตาลปีกปกติที่มีจีโนไทป์ที่เป็นเฮเทอโรไซกัสในรุ่นพ่อแม่จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 แบบ คือ $b^+ vg^+$ และ $b vg$ เมื่อผสมกับแมลงหวี่ตัวสีดำปีกกุด ซึ่งสร้างเซลล์สืบพันธุ์แบบเดียวคือ $b vg$ จะได้รุ่น F_2 ที่มีฟีโนไทป์ 2 แบบ คือ ตัวสีน้ำตาลปีกปกติและตัวสีดำปีกกุดในอัตราส่วน 1 : 1

หากเป็นไปตามกฎทั้งสองข้อของเมนเดล จะได้รุ่นลูกที่มีตัวสีน้ำตาลปีกปกติ ตัวสีน้ำตาลปีกกุด ตัวสีดำปีกปกติ ตัวสีดำปีกกุด ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 1 ครูอาจนำอภิปรายต่อไปว่าจะเป็นไปได้

หรือไม่ว่าการที่ลูกมีฟีโนไทป์ 2 ลักษณะอัตราส่วน 1 : 1 เป็นเพราะยีนควบคุมสีตัวและยีนควบคุมลักษณะปีกอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน เมื่อมีการถ่ายทอดแอลลีลของยีนทั้งสองที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกันจะไปปรากฏในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกัน

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาการผสมพันธุ์แมลงหวี่ตามรูป 5.28 ในหนังสือเรียน และร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายคำถามในหนังสือเรียนว่า ในกระบวนการแบ่งเซลล์มีเหตุการณ์ใดที่ทำให้เกิดการจับกลุ่มใหม่ของแอลลีล และได้เซลล์สืบพันธุ์แบบ $b^+ vg$ และ $b vg^+$ เพื่ออธิบายว่าลักษณะของลูกตัวสีดำปีกปกติและตัวสีน้ำตาลปีกกุดเกิดขึ้นได้อย่างไร

ครูทบทวนและอธิบายเกี่ยวกับการเกิดครอสซิงโอเวอร์และการเกิดรีคอมบิเนชัน จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า ยีนบนโครโมโซมเดียวกันจะถ่ายทอดไปด้วยกัน แต่การเกิดครอสซิงโอเวอร์ที่มีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิดจะมีผลทำให้ยีนบนโครโมโซมเดียวกันที่เคยถ่ายทอดไปด้วยกันบางส่วนจะต้องแยกออกจากกันและเกิดรีคอมบิเนชัน (recombination) ไปปรากฏในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกันได้ เมื่อเกิดการผสมพันธุ์จึงก่อให้เกิดลักษณะที่มีความแปรผัน ซึ่งมีความสำคัญต่อวิวัฒนาการ

ครูอาจให้ตัวอย่างเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนฝึกทำแบบฝึกหัดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเดียวกัน



ตรวจสอบความเข้าใจ

หมู่เลือดระบบ ABO ในมนุษย์ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม โรคตาบอดสีควบคุมด้วยแอลลีลด้อยบนโครโมโซมเพศ พ่อและแม่มีเลือดหมู่ A และตาปกติทั้งคู่ มีลูกชายคนหนึ่งมีเลือดหมู่ O และตาบอดสี พ่อแม่คู่นี้จะมีโอกาสให้กำเนิดลูกในกรณีต่อไปนี้เท่าใด

- 1 ลูกสาวมีเลือดหมู่ O และตาปกติ
- 2 ลูกชายมีเลือดหมู่ A และตาบอดสี
-  1. ลูกสาวมีเลือดหมู่ O และตาปกติในอัตราส่วน $\frac{2}{16}$ หรือ $\frac{1}{8}$
2. ลูกชายมีเลือดหมู่ A และตาบอดสีในอัตราส่วน $\frac{3}{16}$

จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า จีโนไทป์ของพ่อและแม่เลือดหมู่ A จะเป็น $I^A i$ จากข้อมูลว่าลูกมีเลือดหมู่ O แสดงว่าได้รับแอลลีล i จากพ่อและแม่ ส่วนจีโนไทป์ตาปกติของพ่อและแม่จะเป็น $X^C Y$ และ $X^C X^c$ ตามลำดับ เนื่องจากมีลูกชายตาบอดสีซึ่งได้แอลลีลโรคตาบอดสีจากแม่ที่เป็นพาหะ พ่อแม่คู่นี้มีโอกาสมีลูกที่มีจีโนไทป์ต่างๆ ดังนี้

		พ่อเลือดหมู่ A ตาปกติ		แม่เลือดหมู่ A ตาปกติ	
รุ่น P		$I^A i$	$X^C Y$	$I^A i$	$X^C X^c$
รุ่น F ₁		↓ เซลล์ไข่			
		$I^A X^C$	$I^A X^c$	$i X^C$	$i X^c$
สเปิร์ม	$I^A X^C$	$I^A I^A X^C X^C$	$I^A I^A X^C X^c$	$I^A i X^C X^C$	$I^A i X^C X^c$
	$I^A Y$	$I^A I^A X^C Y$	$I^A I^A X^c Y$	$I^A i X^C Y$	$I^A i X^c Y$
	$i X^C$	$I^A i X^C X^C$	$I^A i X^C X^c$	$ii X^C X^C$	$ii X^C X^c$
	$i Y$	$I^A i X^C Y$	$I^A i X^c Y$	$ii X^C Y$	$ii X^c Y$

ดังนั้นลูกสาวที่มีเลือดหมู่ O และตาปกติ มีโอกาสเกิดในอัตราส่วน $\frac{2}{16}$ โดยอาจมีจีโนไทป์เป็น $ii X^C X^C$ หรือ $ii X^C X^c$

และลูกชายที่มีเลือดหมู่ A และตาบอดสี มีโอกาสเกิดในอัตราส่วน $\frac{3}{16}$ โดยอาจมีจีโนไทป์เป็น $I^A I^A X^c Y$ หรือ $I^A i X^c Y$

นอกจากนี้อาจวิเคราะห์ด้วยวิธีการดังนี้

รุ่น P	$I^A i$	$\times$	$I^A i$	รุ่น P	$X^C X^c$	$\times$	$X^C Y$		
รุ่น F ₁	$\frac{1}{4} I^A I^A$	$\frac{1}{4} I^A i$	$\frac{1}{4} I^A i$	$\frac{1}{4} ii$	รุ่น F ₁	$\frac{1}{4} X^C X^C$	$\frac{1}{4} X^C Y$	$\frac{1}{4} X^C X^c$	$\frac{1}{4} X^c Y$

ดังนั้นโอกาสที่จะมีลูกสาวมีเลือดหมู่ O และตาปกติ คือ $\frac{1}{4} \times \frac{2}{4} = \frac{2}{16}$

และโอกาสที่จะมีลูกชายมีเลือดหมู่ A และตาบอดสี คือ $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- ยืนยันโครโมโซมเดียวกันและการเกิดครอสซิงโอเวอร์ จากการสืบค้นข้อมูล ตอบคำถาม และการอภิปราย

ด้านทักษะ

- การสังเกต การลงความเห็นข้อมูล จากการนำเสนอและการอภิปรายร่วมกัน

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น และความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปรายร่วมกัน



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5

1. จากแผนผังแสดงการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และการปฏิสนธิของสิ่งมีชีวิตที่มีจีโนไทป์ ดังกำหนด



จงตอบคำถามต่อไปนี้

- 1.1 ขั้นตอนใดสัมพันธ์กับกฎการแยกของเมนเดล

I

- 1.2 ขั้นตอนใดสัมพันธ์กับกฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระของเมนเดล

II

แนวความคิด กฎการแยก กล่าวว่า เมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ แอลลีลที่เป็นคู่จะแยกออกจากกันไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์ ทำให้เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์มียีนเพียงหนึ่งแอลลีล เช่น เซลล์ที่มียีนประกอบด้วยแอลลีล R และแอลลีล r เมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์จะได้เซลล์สืบพันธุ์ 2 แบบ คือ แบบที่มีเพียงแอลลีล R และแบบที่มีเพียงแอลลีล r

กฎการรวมกลุ่มอย่างอิสระ กล่าวว่า แอลลีลที่แยกออกจากกันเมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์จะมีอิสระที่จะไปรวมกลุ่มกับแอลลีลของลักษณะอื่นที่แยกออกจากคู่เช่นกัน เช่น เซลล์ที่มียีนหนึ่งประกอบด้วยแอลลีล R และแอลลีล r และอีกยีนหนึ่งประกอบด้วย แอลลีล T และแอลลีล t เมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์จะได้เซลล์สืบพันธุ์ 4 แบบ คือ

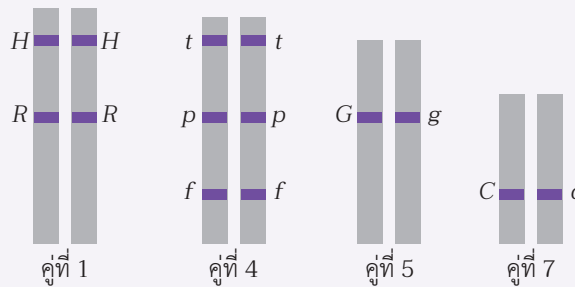
- แบบที่ 1 ยีนหนึ่งเป็นแอลลีล R รวมกับอีกยีนหนึ่งที่เป็นแอลลีล T (RT)
- แบบที่ 2 ยีนหนึ่งเป็นแอลลีล R รวมกับอีกยีนหนึ่งที่เป็นแอลลีล t (Rt)
- แบบที่ 3 ยีนหนึ่งเป็นแอลลีล r รวมกับอีกยีนหนึ่งที่เป็นแอลลีล T (rT)
- แบบที่ 4 ยีนหนึ่งเป็นแอลลีล r รวมกับอีกยีนหนึ่งที่เป็นแอลลีล t (rt)

2. จากตารางแสดงลักษณะทางพันธุกรรมของพืชชนิดหนึ่ง และตำแหน่งของแอลลีลที่ควบคุมแต่ละลักษณะบนคู่ของโครโมโซม เป็นดังนี้

ลักษณะทางพันธุกรรม	คู่โครโมโซมที่แอลลีลอยู่
ต้นสูง (T) / ต้นเตี้ย (t)	4
ขอบใบหยัก (C) / ขอบใบเรียบ (c)	7
ใบมีขน (H) / ใบไม่มีขน (h)	1
ก้านมีหนาม (P) / ก้านไม่มีหนาม (p)	4
กลีบดอกสีแดง (R) / กลีบดอกสีขาว (r)	1
ฝักอวบ (F) / ฝักแฟบ (f)	4
ฝักสีเขียว (G) / ฝักสีเหลือง (g)	5

กำหนดให้พืชชนิดนี้ต้นหนึ่งมีลักษณะดังนี้ ต้นเตี้ย ขอบใบหยัก ใบมีขน ก้านไม่มีหนาม กลีบดอกสีแดง ฝักแฟบ ฝักสีเขียว โดยแอลลีลบนโครโมโซมคู่ที่ 1 เป็นแอลลีลเด่นทั้งหมด และแอลลีลบนโครโมโซมคู่ที่ 5 และ 7 เป็นเฮเทอไรซิกัส

2.1 จงเขียนแผนภาพโครโมโซมที่แสดงตำแหน่งแอลลีลควบคุมลักษณะของพืชที่กำหนด



2.2 ต้นพืชที่กำหนดมีจีโนไทป์ควบคุม 7 ลักษณะนี้เป็นอย่างไร และจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ อะไรบ้าง ถ้าในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ไม่เกิดครอสซิงโอเวอร์



จีโนไทป์ คือ $HHRrttppffGgCc$ และสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 4 แบบ คือ $HRtpfGC$, $HRtpfGc$, $HRtpfgC$ และ $HRtpfgc$

3. ลักษณะกลีบดอกของพืชชนิดหนึ่งมี 2 แบบ คือ ขอบกลีบดอกหยักและขอบกลีบดอกเรียบ ซึ่งควบคุมโดยยีนบนออโตโซม จากการผสมพันธุ์ต้นที่มีขอบกลีบดอกหยักและต้นที่มีขอบกลีบดอกเรียบในรุ่นที่ 1 จะได้เมล็ดซึ่งนำไปปลูกเป็นรุ่นที่ 2 นำต้นที่มีขอบกลีบดอกหยักในรุ่นที่ 2 ผสมกันเอง ได้เมล็ดซึ่งนำไปปลูกเป็นรุ่นที่ 3 ได้ผลดังตาราง

รุ่นที่	จำนวนต้น		
	ขอบกลีบดอกหยัก	ขอบกลีบดอกเรียบ	จำนวนทั้งหมด
1	52	48	100
2	280	0	280
3	240	80	320

3.1 ลักษณะขอบกลีบดอกของพืชชนิดนี้แบบใดเป็นลักษณะเด่น และแบบใดเป็นลักษณะด้อย



ลักษณะเด่น คือ ขอบกลีบดอกหยัก ลักษณะด้อย คือ ขอบกลีบดอกเรียบ

3.2 สามารถระบุจีโนไทป์ของแต่ละรุ่นได้อย่างแน่นอนหรือไม่ และระบุจีโนไทป์ได้ว่าอย่างไร

-  สามารถระบุจีโนไทป์ของแต่ละรุ่นได้ดังนี้
- กำหนดให้ A แทน แอลลีลควบคุมลักษณะขอบกลีบดอกหยัก
- a แทน แอลลีลควบคุมลักษณะขอบกลีบดอกเรียบ

รุ่นที่	จีโนไทป์ของขอบกลีบดอกหยัก	จีโนไทป์ของขอบกลีบดอกเรียบ
1	AA	aa
2	Aa	-
3	ระบุจีโนไทป์ได้ไม่แน่นอน อาจเป็น AA หรือ Aa	aa

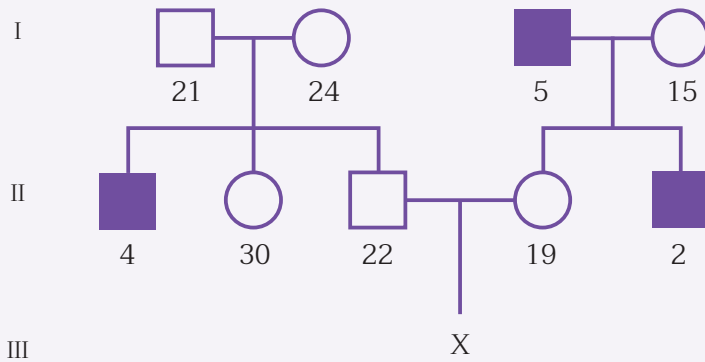
3.3 ถ้าต้องการผสมพันธุ์พืชชนิดนี้ให้ได้เมล็ดที่นำไปปลูกแล้วได้จำนวนต้นที่ขอบกลีบดอกหยักและขอบกลีบดอกเรียบใกล้เคียงกัน ควรถ่ายเรณูระหว่างต้นในรุ่นใดลักษณะอย่างไร

-  ถ่ายเรณูระหว่างต้นที่ขอบกลีบดอกหยักรุ่นที่ 2 กับต้นที่ขอบกลีบดอกเรียบรุ่นที่ 1 หรือรุ่นที่ 3

4. กาแลคโตซีเมีย (galactosemia) เป็นโรคทางพันธุกรรมที่แสดงอาการตั้งแต่น้ำนมที่แม่มีการถ่ายทอดโดยแอลลีลด้อยบนออโตโซม โดยมีอาการขาดเอนไซม์ galactose-1-phosphate uridyl transferase (GALT) ซึ่งในแต่ละจีโนไทป์จะมีระดับการทำงานของเอนไซม์ในเลือดแตกต่างกัน ดังตาราง

จีโนไทป์	ระดับการทำงานของเอนไซม์ GALT (หน่วย)
AA	28-40
Aa	12-27
aa	0-11

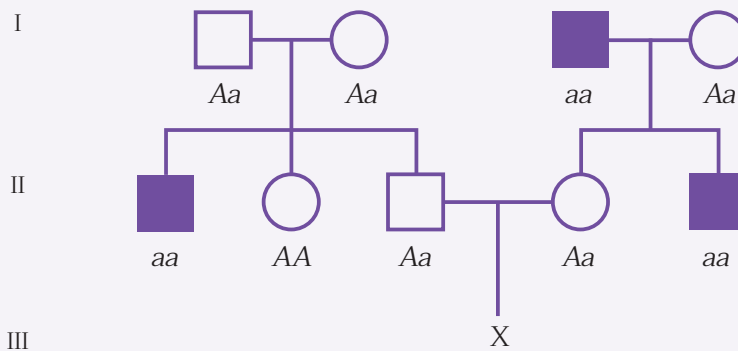
จากพันธุประวัติซึ่งแสดงระดับการทำงานของเอนไซม์ GALT ต่อไปนี้



4.1 ลูกของบุคคลที่ II-3 และ II-4 จะมีจีโนไทป์เป็นอย่างไรได้บ้าง และแต่ละแบบมีโอกาสเป็นเท่าใด

ลูกของบุคคลที่ II-3 และ II-4 มีโอกาสมีจีโนไทป์เป็น 3 แบบ คือ AA, Aa และ aa โดยมีโอกาสเป็น $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$ และ $\frac{1}{4}$ ตามลำดับ

แนวความคิด จากตารางและพันธุประวัติที่กำหนดให้ สามารถกำหนดจีโนไทป์ของบุคคลในพันธุประวัติได้ดังนี้



ลูกของบุคคลที่ II-3 และ II-4 มีโอกาสมีจีโนไทป์เป็น 3 แบบ คือ AA, Aa และ aa โดยมีโอกาสเป็น $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$ และ $\frac{1}{4}$ ตามลำดับ

- 4.2 ถ้าลูกของบุคคลที่ II-3 และ II-4 คนหนึ่งแต่งงานกับบุคคลที่มีระดับการทำงานของเอนไซม์ GALT ประมาณ 20 หน่วย โอกาสที่จะมีลูกเป็นโรคกาแลคโตซีเมียเป็นเท่าใด
- เมื่อลูกคนหนึ่งของบุคคลที่ II-3 และ II-4 มีจีโนไทป์เป็น AA Aa และ aa เมื่อแต่งงานกับบุคคลที่มีระดับการทำงานของเอนไซม์ GALT ประมาณ 20 หน่วย จะมีโอกาสที่จะมีลูกมีความบกพร่องกาแลคโตซีเมียเป็น $0 \frac{1}{4}$ และ $\frac{1}{2}$ ตามลำดับ

แนวความคิด คู่แต่งงานซึ่งมีระดับการทำงานของเอนไซม์ GALT ประมาณ 20 หน่วย จะเป็นเฮเทอโรไซกัสมีจีโนไทป์เป็น Aa

ถ้าบุคคล X มี จีโนไทป์ เป็น AA

$$AA \times Aa \rightarrow \frac{1}{2} AA : \frac{1}{2} Aa \quad \text{โอกาสมีลูกเป็นโรคกาแลคโตซีเมียเท่ากับ } 0$$

ถ้าบุคคล X มี จีโนไทป์ เป็น Aa

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} AA : \frac{2}{4} Aa : \frac{1}{4} aa \quad \text{โอกาสมีลูกเป็นโรคกาแลคโตซีเมียเท่ากับ } \frac{1}{4}$$

ถ้าบุคคล X มี จีโนไทป์ เป็น aa

$$aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{2} Aa : \frac{1}{2} aa \quad \text{โอกาสมีลูกเป็นโรคกาแลคโตซีเมียเท่ากับ } \frac{1}{2}$$

5. พืชชนิดหนึ่งมีทั้งต้นที่มีดอกสีขาว ต้นที่มีดอกสีแดง และต้นที่มีดอกสีชมพู โดยลักษณะสีดอกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่งซึ่งอยู่ในนิวเคลียส เมื่อนำต้นที่มีดอกสีแดงผสมพันธุ์กับต้นที่มีดอกสีขาว รุ่นลูกจะได้ต้นที่มีดอกสีชมพูทุกต้น

- 5.1 สีของดอกในพืชชนิดนี้มีลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเป็นแบบใด

ลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบความเด่นไม่สมบูรณ์

แนวความคิด

กำหนดให้ จีโนไทป์ของต้นที่มีดอกสีแดงเป็น RR ดอกสีชมพูเป็น RR' และดอกสีขาวเป็น R'R'

$$\begin{array}{ccccc} \text{รุ่นพ่อแม่} & RR & \times & R'R' \\ \text{รุ่นลูก} & & \downarrow & RR' \end{array}$$

- 5.2 ถ้าต้องการรุ่นลูกมีดอกสีแดงทุกต้น จะต้องผสมพันธุ์ระหว่างต้นพ่อแม่และต้นแม่ที่มีดอกสีอะไร

 ต้นพ่อแม่และต้นแม่ที่มีดอกสีแดงทั้งคู่

แนวความคิด

รุ่นพ่อแม่	RR	$\times$	RR
รุ่นลูก		$\downarrow$	RR

- 5.3 ถ้าต้องการรุ่นลูกที่มีทั้งต้นที่มีดอกสีขาว ต้นที่มีดอกสีแดง และต้นที่มีดอกสีชมพู จะต้องผสมพันธุ์ระหว่างต้นพ่อแม่และต้นแม่ที่มีดอกสีอะไร

 ต้นพ่อแม่และต้นแม่ที่มีดอกสีชมพูทั้งคู่

แนวความคิด

รุ่นพ่อแม่	RR'	$\times$	RR'
รุ่นลูก	RR	$\downarrow$	RR'
			$R'R'$

- 5.4 ถ้าต้องการรุ่นลูกที่มีทั้งต้นที่มีดอกสีขาวและต้นที่มีดอกสีชมพู จะต้องผสมพันธุ์ระหว่างต้นพ่อแม่และต้นแม่ที่มีดอกสีอะไร

 ต้นพ่อแม่และต้นแม่ที่ต้นหนึ่งมีดอกสีชมพูและอีกต้นหนึ่งมีดอกสีขาว

แนวความคิด

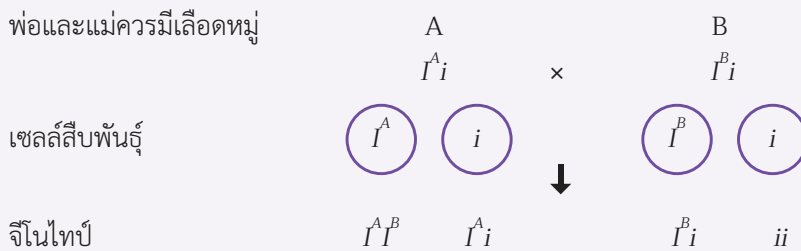
รุ่นพ่อแม่	RR'	$\times$	$R'R'$
รุ่นลูก	RR'	$\downarrow$	$R'R'$

6. ครอบครัวหนึ่งมีบุตร 4 คน ซึ่งมีเลือดหมู่ A B AB และ O ตามลำดับ จงหาว่าพ่อและแม่มีเลือดหมู่ใด และมีจีโนไทป์แบบใด

✎ พ่อแม่จะมีเลือดหมู่ A และ B และมีจีโนไทป์ $I^A i$ และ $I^B i$ หรือมีเลือดหมู่ B และ A และมีจีโนไทป์ $I^B i$ และ $I^A i$ ตามลำดับ

แนวความคิด

เนื่องจากลูกที่มีเลือดหมู่ A	มีจีโนไทป์เป็น $I^A I^A$ หรือ $I^A i$
ลูกที่มีเลือดหมู่ B	มีจีโนไทป์เป็น $I^B I^B$ หรือ $I^B i$
ลูกที่มีเลือดหมู่ AB	มีจีโนไทป์เป็น $I^A I^B$
ลูกที่มีเลือดหมู่ O	มีจีโนไทป์เป็น ii



7. จากการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมในสัตว์ชนิดหนึ่ง ซึ่งลักษณะสีขนถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง โดยการทดลองที่ 1 นำตัวที่มีขนสีดำพันธุ์แท้ผสมกับสีส้มพันธุ์แท้ได้รุ่น F_1 ที่มีขนสีดำทุกตัว และการทดลองที่ 2 นำตัวที่มีขนสีน้ำตาลพันธุ์แท้ผสมกับตัวที่มีขนสีส้มพันธุ์แท้ ได้รุ่น F_1 ที่มีขนสีน้ำตาลทุกตัว ในการทดลองที่ 3 นำตัวที่มีขนสีดำ รุ่น F_1 จากการทดลองที่ 1 มาผสมกับตัวที่มีขนสีน้ำตาล รุ่น F_1 จากการทดลองที่ 2 ได้รุ่น F_2 ที่มีขนสีดำ 20 ตัว ขนสีน้ำตาล 10 ตัว ขนสีส้ม 10 ตัว

7.1 จงกำหนดแอลลีลควบคุมลักษณะสีขนของสิ่งมีชีวิตในการทดลองนี้ พร้อมระบุว่าลักษณะสีขนของสิ่งมีชีวิตที่ได้จากการทดลองนี้เป็นการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบใด แอลลีลที่ควบคุมลักษณะขนสีดำ น้ำตาล และส้ม มีการแสดงออกที่เท่ากันหรือไม่ อย่างไร พร้อมเขียนการถ่ายทอดลักษณะสีขนในการทดลองที่ 1 2 และ 3

 จากโจทย์ระบุว่าลักษณะสีขนของสัตว์ชนิดนี้ควบคุมโดยยีน 1 ตำแหน่ง โดยแสดงออกเป็น 3 สี แสดงว่าลักษณะสีขนของสัตว์ชนิดนี้ควบคุมด้วย 3 แอลลีล (multiple alleles) โดยจากการทดลองที่ 1 ลักษณะขนสีดำจะเด่นสมบูรณ์ต่อสีส้ม และจากการทดลองที่ 2 ลักษณะขนสีน้ำตาลจะเด่นสมบูรณ์ต่อสีส้ม และจากการทดลองที่ 3 ลักษณะขนสีดำจะเด่นกว่าสีน้ำตาล

แนวความคิด

กำหนดให้

แอลลีล C^{Bl} ควบคุมลักษณะขนสีดำ

แอลลีล c^{br} ควบคุมลักษณะขนสีน้ำตาล

แอลลีล c^{or} ควบคุมลักษณะขนสีส้ม

โดยแอลลีลที่ควบคุมลักษณะสีขนแบบต่าง ๆ มีการแสดงออกไม่เท่ากัน โดยมีลำดับการความเด่น ดังนี้ $C^{Bl} > c^{br} > c^{or}$

การทดลองที่ 1

การถ่ายทอดลักษณะสีขนในการทดลองที่ 1 เป็นดังนี้

$$\begin{array}{c} C^{Bl} C^{Bl} \times c^{or} c^{or} \\ \downarrow \\ C^{Bl} c^{or} \\ \text{ขนสีดำ} \end{array}$$

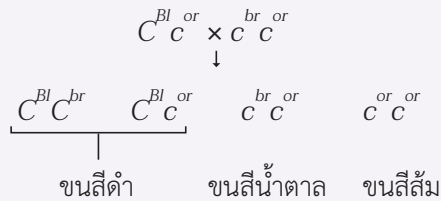
การทดลองที่ 2

การถ่ายทอดลักษณะสีขนในการทดลองที่ 2 เป็นดังนี้

$$\begin{array}{c} c^{br} c^{br} \times c^{or} c^{or} \\ \downarrow \\ c^{br} c^{or} \\ \text{ขนสีน้ำตาล} \end{array}$$

การทดลองที่ 3

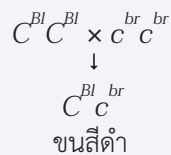
เมื่อนำตัวที่มีขนสีดำรุ่น F_1 จากการทดลองที่ 1 ผสมกับตัวที่มีขนสีน้ำตาลรุ่น F_2 จากการทดลองที่ 2 การถ่ายทอดลักษณะสีขนในการทดลองที่ 3 เป็นดังนี้



7.2 ถ้านำสิ่งมีชีวิตดังกล่าวสีดำพันธุ์แท้ผสมกับสีน้ำตาลพันธุ์แท้ จงระบุจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_1

 มีจีโนไทป์เป็น $C^{Bl} c^{br}$ ทุกตัว ซึ่งควรจะแสดงลักษณะขนสีดำ แสดงว่าแอลลีล C^{Bl} เด่นสมบูร์กต่อแอลลีล c^{br}

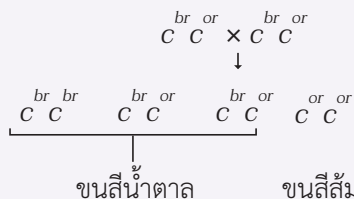
แนวความคิด



7.3 ถ้านำสิ่งมีชีวิตดังกล่าวจากการทดลองที่ 2 ในรุ่น F_1 มาผสมกันเอง จงระบุจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นลูก

 มีจีโนไทป์เป็น $c^{br} c^{br}$ และ $c^{br} c^{or}$ และ $c^{or} c^{or}$ (ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1) ซึ่งมีฟีโนไทป์เป็นขนสีน้ำตาล และขนสีส้ม (ในอัตราส่วน 3 : 1)

แนวความคิด



8. ในครอบครัวหนึ่งสามีภรรยาไม่เป็นโรคฮีโมฟีเลียมีลูกสาวและลูกชายซึ่งทั้งคู่ไม่เป็นโรคฮีโมฟีเลียเช่นกัน ต่อมาลูกสาวแต่งงานกับชายซึ่งไม่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย แต่ให้กำเนิดลูกที่เป็นโรคและไม่เป็นโรครอย่างละหนึ่งคน ถ้าหากแอลลีลที่ควบคุมการเป็นโรคฮีโมฟีเลียคือ แอลลีลด้อยซึ่งอยู่บนโครโมโซม X (X^h) และแอลลีลที่ควบคุมลักษณะไม่เป็นโรคคือ แอลลีลเด่น (X^H) จงหาว่า

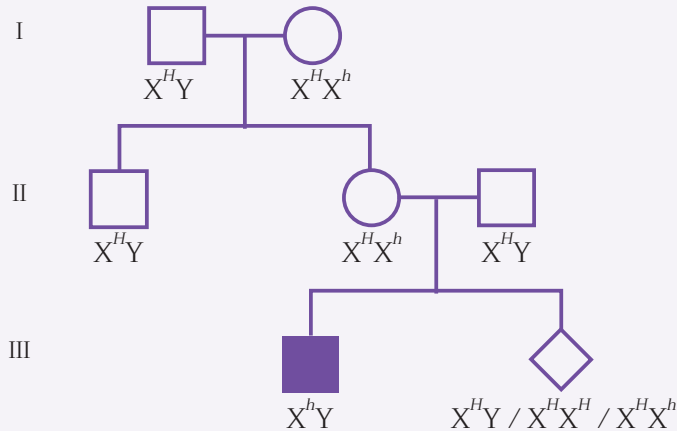
8.1 สามีภรรยาคู่แรกจะมีจีโนไทป์เป็นอย่างไร

 สามีภรรยาคู่แรกจะมีจีโนไทป์ ดังนี้ ภรรยา $X^H X^h$ และสามี $X^H Y$

แนวความคิด เนื่องจากลูกสาวแต่งงานกับผู้ชายที่ไม่เป็นโรค แต่ให้กำเนิดหลาน (ลูกของลูกสาว) ที่เป็นโรคฮีโมฟีเลียดังนั้นลูกสาวจึงเป็นพาหะของโรค และเนื่องจากสามีภรรยาซึ่งไม่เป็นโรค ให้กำเนิดลูกสาวซึ่งเป็นพาหะของโรค ดังนั้นภรรยาจึงเป็นพาหะของโรค ดังนี้



ดังนั้น จีโนไทป์ของสามีภรรยาคู่แรกจึงเป็น $X^H X^h$ และ $X^H Y$



8.2 ลูกของลูกสาวที่แสดงอาการเกิดโรคฮีมฟีเลียคือลูกชายหรือลูกสาว และจีโนไทป์ของลูกคนดังกล่าวเป็นอย่างไร

ลูกที่แสดงอาการเกิดโรคฮีมฟีเลียคือ ลูกชายซึ่งมีจีโนไทป์เป็น $X^h Y$

แนวความคิด ลูกที่เกิดจากแม่ที่เป็นพาหะ และพ่อที่เป็นปกตินั้น จะมีเพียงลูกชายเท่านั้นที่แสดงอาการเกิดโรค เนื่องจากมีโอกาสที่จะได้รับแอลลีล X^h จากแม่ และจะแสดงอาการของโรคแม่จะมีแอลลีล X^h เพียงแอลลีลเดียวก็ตาม ในขณะที่ลูกสาวจะเป็นโรคฮีมฟีเลียได้ก็ต่อเมื่อได้รับแอลลีล X^h จากทั้งพ่อและแม่ทั้งสองคน

8.3 ถ้าลูกชายของสามีภรรยาคู่แรกแต่งงานกับผู้หญิงที่เป็นโรคฮีมฟีเลียในบรรดาลูกชายที่เกิดมาจะมีโอกาสเป็นโรคนี้อยู่ละเท่าใด

ลูกชายจะแสดงอาการของโรคร้อยละ 100

แนวความคิด เนื่องจากลูกชายจะได้รับโครโมโซม X จากแม่ และโครโมโซม Y จากพ่อ เมื่อแม่เป็นโรคฮีมฟีเลียลูกชายทุกคนจึงได้รับแอลลีล X^h ที่ควบคุมลักษณะเกิดโรคจากแม่มาด้วย ดังนี้

$$\begin{array}{ccc}
 \text{หญิงเป็นโรค} & & \text{ชายปกติ} \\
 X^h X^h & \times & X^H Y \\
 & \downarrow & \\
 X^H X^h & & X^h Y \\
 & & \text{ลูกชายเป็นโรค}
 \end{array}$$

9. ตาบอดสีควบคุมด้วยแอลลีลด้อยบนโครโมโซมเพศ (X^c) ครอบครัวที่ 1 มีลูกสาวสองคนและลูกชายหนึ่งคนตามลำดับ และครอบครัวที่ 2 มีลูกสาวปกติ ลูกชายตาปกติและลูกชายเป็นตาบอดสีตามลำดับ ถ้าลูกชายจากครอบครัวที่ 1 แต่งงานกับลูกสาวจากครอบครัวที่ 2 มีลูกสาวปกติและลูกชายเป็นตาบอดสีตามลำดับ

9.1 จงเติมสัญลักษณ์ในพันธุประวัติของ 2 ครอบครัวนี้ให้สมบูรณ์

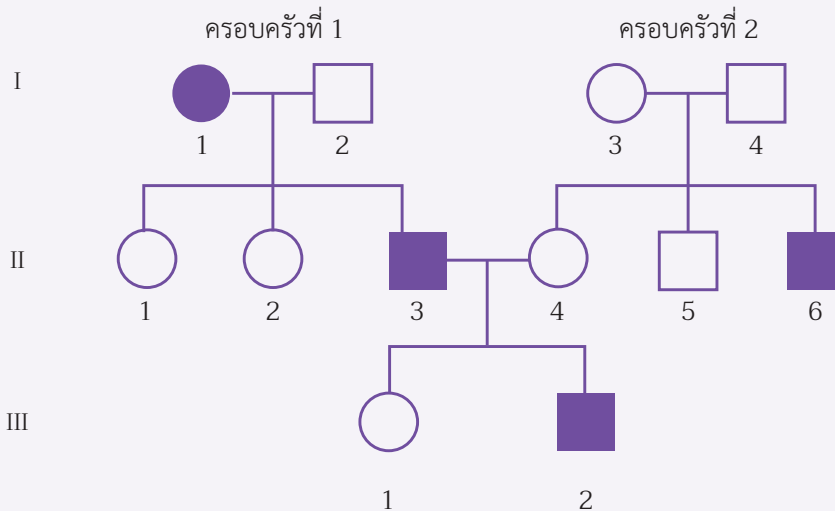
กำหนดให้

○ แทนผู้หญิงปกติ

□ แทนผู้ชายปกติ

● แทนผู้หญิงเป็นตาบอดสี

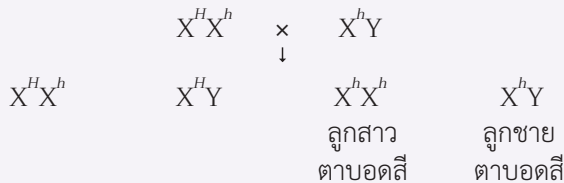
■ แทนผู้ชายเป็นตาบอดสี



9.2 ถ้าบุคคล II-3 และ II-4 มีลูกคนที่ 3 จะมีโอกาสเป็นลูกชายที่เป็นตาบอดสีร้อยละเท่าใด และมีโอกาสเป็นลูกสาวที่เป็นตาบอดสีร้อยละเท่าใด

 โอกาสที่จะมีลูกชายที่เป็นตาบอดสีคือร้อยละ 25 และโอกาสที่จะมีลูกสาวที่เป็นตาบอดสีคือร้อยละ 25

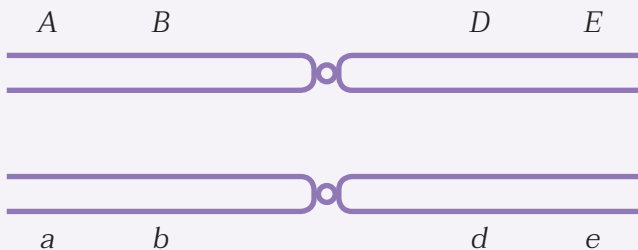
แนวความคิด บุคคลที่ II-3 มีแม่ (I-1) ซึ่งตาบอดสีจึงเป็นชายที่เป็นโรคมียีนโนไทป์เป็น $X^H Y$ ส่วนบุคคลที่ II-4 เป็นหญิงซึ่งมีลูกชายเป็นโรค จึงเป็นหญิงที่เป็นพาหะมียีนโนไทป์เป็น $X^H X^h$ โอกาสที่บุคคลทั้งสองแต่งงานกันจะมีลูกแบบต่างๆ ดังนี้



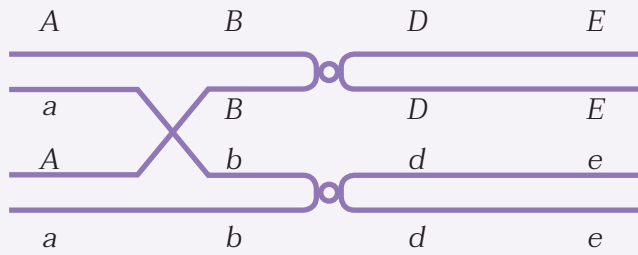
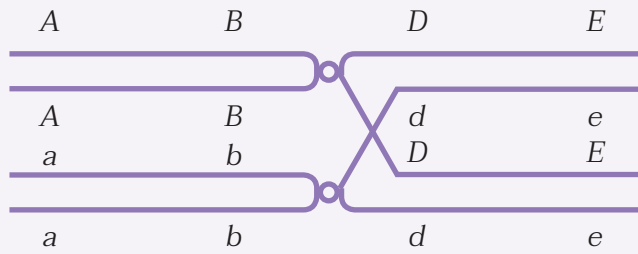
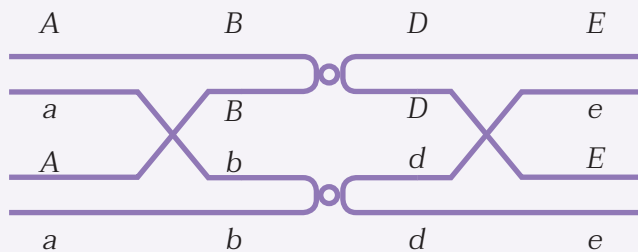
ดังนั้นโอกาสที่จะมีลูกชายที่ตาบอดสีคือร้อยละ 25

ส่วนโอกาสที่จะมีลูกสาวที่ตาบอดสีคือร้อยละ 25

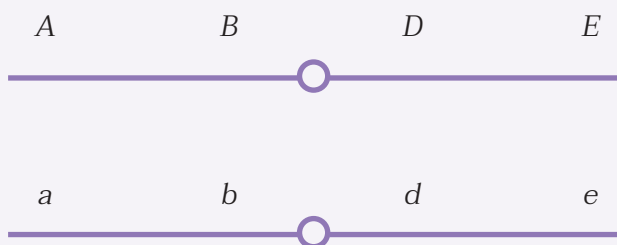
10. จากแผนภาพโครโมโซมระบุตำแหน่งแอลลีล A/a B/b D/d และ E/e



การเกิดครอสซิงโอเวอร์ทำให้ยีนที่เคยถ่ายทอดไปด้วยกัน บางแอลลีลจะต้องแยกจากกัน ทำให้เซลล์สืบพันธุ์ที่ได้บางส่วนมีแอลลีลต่างไปจากปกติ จงวาดแผนภาพเพื่อแสดงตำแหน่งการเกิดครอสซิงโอเวอร์ซึ่งส่งผลให้ได้เซลล์สืบพันธุ์ต่อไปนี้

10.1 เซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล $Abde$ 10.2 เซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล $abDE$ 10.3 เซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล $AbdE$ 

แนวความคิด จากแผนภาพระบุตำแหน่งแอลลีล บนโครโมโซมที่กำหนดให้ตั้งโจทย์ในกรณีที่ไม่มีการเกิดครอสซิงโอเวอร์เลยจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ 2 แบบ คือ



ถ้าได้เซลล์สืบพันธุ์ที่แตกต่างกันและทำให้มีความหลากหลายมากขึ้นในยีนใด แสดงว่าเกิดครอสซิงโอเวอร์ในตำแหน่งที่ทำให้แอลลีลของยีนนั้นบนฮอมอโลกัสโครโมโซมสลับกัน เช่น ได้เซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล $Abde$ แสดงว่าเกิดครอสซิงโอเวอร์ในบริเวณที่ทำให้ A และ a สลับกัน

บทที่

| เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

6

ipst.me/7696

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายหลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมโดยใช้ดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์
2. สืบค้นข้อมูล ยกตัวอย่าง และอภิปรายการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอไปประยุกต์ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม นิติวิทยาศาสตร์ การแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม และข้อควรคำนึงถึงด้านชีวจริยธรรม

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายหลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมโดยใช้ดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายหลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมและการสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายการโคลนนิ่งโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรียและเทคนิค PCR
3. สืบค้นข้อมูลและอธิบายการหาขนาด DNA โดยใช้เทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณ์ญาณ

ผลการเรียนรู้

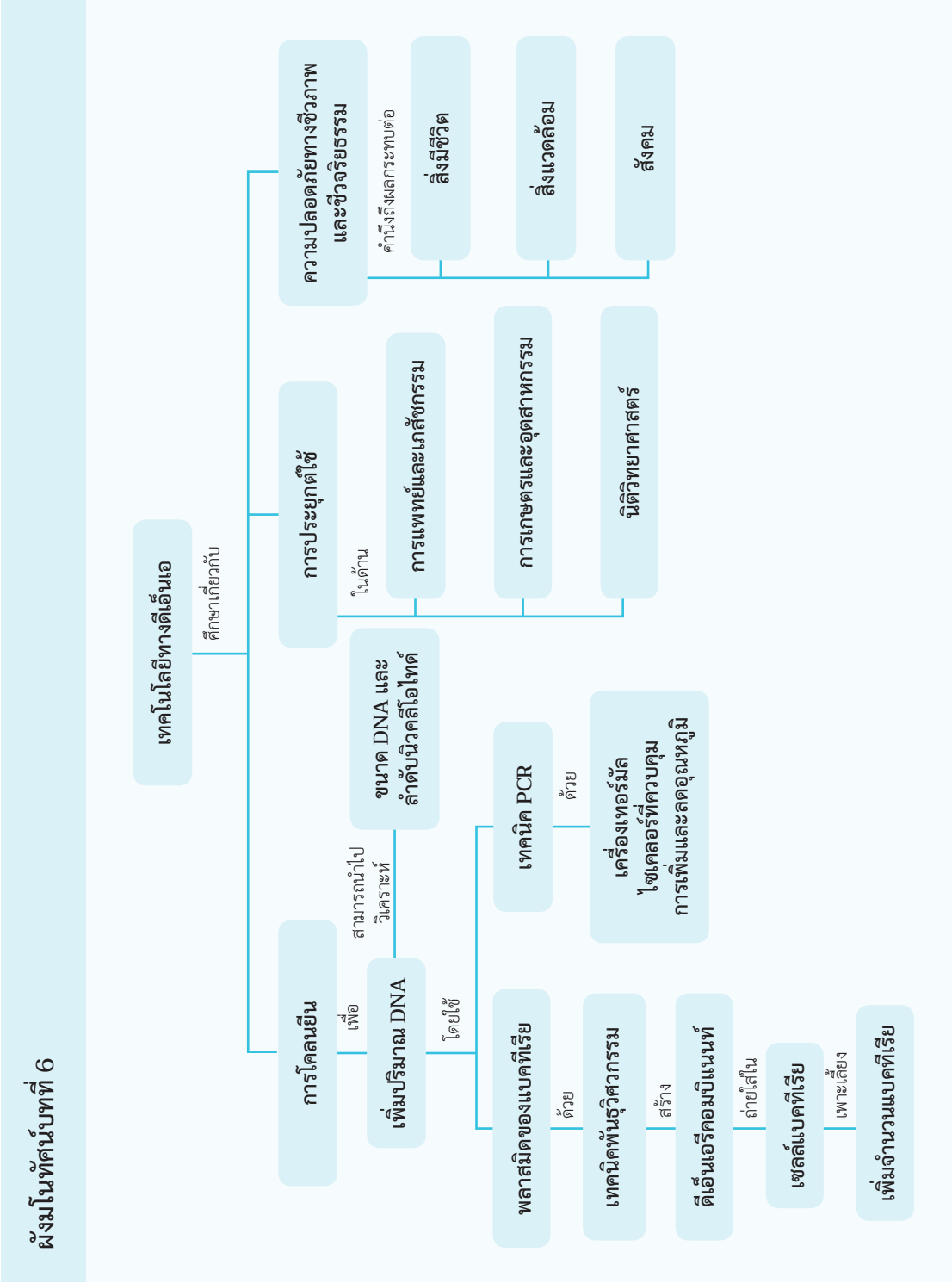
2. สืบค้นข้อมูล ยกตัวอย่าง และอภิปรายการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอไปประยุกต์ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม นิติวิทยาศาสตร์ การแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม และข้อควรคำนึงถึงด้านชีวจริยธรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล ยกตัวอย่าง และอธิบายการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ การวินิจฉัยหรือการตรวจกรองโรค และการรักษา
2. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอสำหรับการปรับปรุงพันธุ์สิ่งมีชีวิตเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร อุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อม

3. สืบค้นข้อมูลและอธิบายการวิเคราะห์ลายพิมพ์ดีเอ็นเอในการใช้ประโยชน์ด้านนิติวิทยาศาสตร์ และวิเคราะห์ STR
4. สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับความปลอดภัยทางชีวภาพ และชีวจริยธรรมในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความใจกว้าง 3. การยอมรับความเห็นต่าง 4. ความซื่อสัตย์ 5. ความรอบคอบ 6. เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ 7. การเห็นคุณค่าทาง วิทยาศาสตร์ 8. คุณธรรมและจริยธรรมที่ เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์



สาระสำคัญ

ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในด้านต่างๆ เช่น ใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมตัดต่อและถ่ายยีนที่ต้องการจากสิ่งมีชีวิตหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง ได้เป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม การสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมสามารถทำได้ทั้งในจุลินทรีย์ พืช และสัตว์

การเพิ่มจำนวนของ DNA ที่เหมือนๆ กันนั้นเรียกว่า การโคลนดีเอ็นเอและถ้า DNA บริเวณดังกล่าวเป็นยีนเรียกว่า การโคลนยีน การเพิ่มจำนวน DNA อาจทำได้โดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรียและเทคนิคพอลิเมอเรสเชนรีแอกชันหรือ PCR

การโคลนยีนโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรียเพื่อสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ อาจทำได้โดยใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะตัดสาย DNA ที่มียีนที่ต้องการและตัดพลาสมิดที่จุดตัดจำเพาะ เมื่อตัดสาย DNA ต่างโมเลกุลกันด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกัน ปลายสาย DNA จะมีลำดับเบสที่เข้าคู่กันได้ และเชื่อมต่อกันได้ด้วยเอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกสทำให้ได้เป็นดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ จากนั้นถ่ายดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์เข้าสู่เซลล์เจ้าบ้านเพื่อเพิ่มจำนวน การเพิ่มจำนวน DNA ด้วยเทคนิค PCR สามารถเพิ่มปริมาณของ DNA บริเวณที่ต้องการจากดีเอ็นเอแม่แบบที่มีปริมาณน้อยผ่านกระบวนการจำลองดีเอ็นเอซ้ำกันหลายๆ รอบในหลอดทดลอง

ผลิตภัณฑ์ DNA ที่ได้จาก PCR สามารถตรวจสอบผลการเพิ่มปริมาณ DNA และหาขนาดของโมเลกุล DNA ด้วยวิธีเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งเป็นเทคนิคการแยกโมเลกุล DNA ที่มีขนาดแตกต่างกันในสนามไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นวุ้นแล้วเปรียบเทียบกับผลการเคลื่อนที่ของโมเลกุลดีเอ็นเอมาตรฐานที่ทราบขนาด และสามารถวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเครื่องหาลำดับนิวคลีโอไทด์แบบอัตโนมัติ

เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแพทย์ในการวินิจฉัยโรค และใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม การประยุกต์ในการเกษตรในการสร้างพืชหรือสัตว์ที่มีสมบัติตามต้องการ รวมทั้งประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม ในด้านนิติวิทยาศาสตร์สามารถใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอในการพิสูจน์ตัวบุคคลและหาความสัมพันธ์ทางสายเลือด อย่างไรก็ตามการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอต้องคำนึงถึงความปลอดภัยทางชีวภาพและชีวจริยธรรม

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 12 ชั่วโมง

6.1	พันธุวิศวกรรมและการโคลนนิ่ง	5.0	ชั่วโมง
6.2	การหาขนาดของ DNA และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์	1.0	ชั่วโมง
6.3	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	4.0	ชั่วโมง
6.4	เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอกับความปลอดภัยทางชีวภาพ และชีวจริยธรรม	2.0	ชั่วโมง
รวม		12.0	ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1.  พอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายที่มาเข้าคู่กันใน DNA จะมีทิศทางตรงกันข้าม และมีลำดับเบสเป็นคู่สม
2.  การจำลองดีเอ็นเอจะใช้เอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสและ DNA แต่ละสายเป็นแม่แบบ
3.  การสร้าง DNA สายใหม่ จะสร้างจาก 5' ไป 3' โดยนิวคลีโอไทด์จะเติมที่ปลาย 3' ของสายใหม่เสมอ
4.  โครโมโซมของลูกมี 2 ชุด โดยได้รับโครโมโซม 1 ชุดจากพ่อและ 1 ชุดจากแม่ จึงสามารถหาความสัมพันธ์ของพ่อแม่ลูกได้
5.  สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเกิดจากมนุษย์นำยีนจากสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งใส่ให้กับสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะตามต้องการ
6.  สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมมีประโยชน์มากมาย การนำไปใช้จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม
7.  สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมต้องได้รับการควบคุมอย่างเข้มงวด จึงห้ามจำหน่ายสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมที่ยังมีชีวิตในทุกประเทศ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนศึกษาภาพนำบทแล้วถามนักเรียนว่า **ปลาม้าลายเรืองแสงได้อย่างไร และนักวิทยาศาสตร์สร้างปลาม้าลายเรืองแสงเพื่ออะไร** นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้ข้อมูลจากคำบรรยายได้ภาพเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า ปลาม้าลายเรืองแสงเกิดจากการใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมเคลื่อนย้ายยีนที่สร้างโปรตีนเรืองแสงจากแมงกะพรุนหรือดอกไม้ทะเลใส่ให้ปลาม้าลาย จุดประสงค์ของการทำวิจัยปลาเรืองแสงคือ เพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำโดยการตัดแปรพันธุกรรมปลาม้าลายให้สร้างโปรตีนเรืองแสงเมื่อถูกกระตุ้นด้วยสารพิษชนิดต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันมีปลาม้าลายที่เรืองแสงได้ตลอดเวลาและนำมาเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม

จากนั้นทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนเรื่องสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (GMOs) โดยใช้คำถามและภาพถ่ายของ GMOs ประกอบการอภิปราย ครูตั้งคำถามดังนี้

- ตัวอย่าง GMOs ที่นักเรียนรู้จักมีอะไรบ้าง และมีลักษณะต่างจากสิ่งมีชีวิตทั่วไปอย่างไร

นักเรียนตอบคำถามโดยใช้ความรู้เดิม เช่น

- พืชที่สร้างสารที่เป็นพิษต่อแมลงได้ เช่น ข้าวโพด BT และฝ้าย BT ที่สร้างโปรตีนที่เป็นพิษต่อแมลง เมื่อแมลงกินเข้าไปจะตาย
 - พืชที่ทนสารพิษได้ เช่น ถั่วเหลืองที่ทนต่อสารเคมีฆ่าวัชพืช
 - พืชที่เก็บได้นานขึ้น เช่น มะเขือเทศดัดแปรพันธุกรรมที่สุกช้า
 - สัตว์ที่เจริญเติบโตเร็ว เช่น ปลาแซลมอนดัดแปรพันธุกรรมที่เจริญเร็วกว่าแซลมอนปกติ
 - แบคทีเรียที่สร้างอินซูลิน สามารถนำอินซูลินมาใช้ลดระดับน้ำตาลในเลือดในผู้ป่วยโรคเบาหวาน
- นักเรียนทราบหรือไม่ว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันหลายชนิดมี GMOs เป็นส่วนประกอบ และทราบได้อย่างไร

นักเรียนอาจจะทราบหรือไม่ก็ได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นักเรียนอาจรู้จัก เช่น

- อาหารกระป๋องที่มี GMOs เป็นส่วนประกอบ โดยดูจากฉลากบนกระป๋อง ดังรูป 6.1 อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจมี GMOs เป็นส่วนประกอบแต่ไม่ได้แจ้งไว้ที่ฉลากของผลิตภัณฑ์
- วัคซีนป้องกันไวรัสตับอักเสบบชนิด B
- อินซูลินสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

Milk chocolate (sugar, chocolate, cocoa butter, skim milk, lactose, milkfat, soy lecithin, salt) peanut, cornstarch, corn syrup, dextrin
Allergy information: contains peanut, milk and soy, may contain tree nuts

Partially produced with genetic engineering

Ingredients: water, tomato puree (water, tomato paste), high fructose corn syrup, cheddar cheese, vegetable oil (corn, canola and/or soybean) skim milk, citric acid

Partially produced with genetic engineering

Salad dressing

Ingredients: water, vegetable oils (contains genetically modified soybean oil), sugar, vinegar, modified starch, wheat starch, salt, mustard, egg yolk, thickener, acids, preservatives, colors, antioxidant

รูป 6.1 ฉลากที่ระบุว่า มี GMOs เป็นส่วนประกอบ

จากนั้นเพื่อให้นักเรียนเข้าใจถึงเหตุผลของการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม ครูอาจนำรูปข้าวโพดหรือพืชอื่นๆ ที่เป็นพันธุ์ดั้งเดิมและพันธุ์ที่ปรับปรุงแล้วมาให้นักเรียนศึกษา แล้วถามนักเรียนว่าในเมื่อมีการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้ได้พันธุ์ที่ดีขึ้นแล้ว เพราะเหตุใดจึงมีการสร้างข้าวโพดดัดแปรพันธุกรรม

นักเรียนอาจตอบได้หลากหลายขึ้นกับความรู้เดิม ซึ่งครูควรชี้แจงเพิ่มเติมว่า การปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์โดยใช้วิธีคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่มีลักษณะที่ต้องการ เช่น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดจากพ่อแม่พันธุ์ที่มีลักษณะดังนี้

ต้นพ่อพันธุ์

ต้นสูง ผักใหญ่ หวานน้อย ทนแล้ง

ต้นแม่พันธุ์

ต้นเตี้ย ผักเล็ก หวานมาก ไม่ทนแล้ง

ในการปรับปรุงพันธุ์พืชนั้นต้องการให้ได้ **ต้นเดียว** เพื่อให้เก็บเกี่ยวง่าย **ฝักใหญ่** เพื่อให้ผลผลิตสูง **หวานมาก** ทำให้รสชาติขึ้นกว่าเดิม และ **ทนแล้ง** เพื่อปลูกในฤดูแล้งได้

เมื่อผสมพันธุ์กันแล้วจะได้ลูกที่มีลักษณะที่หลากหลาย เป็นไปตามกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระดังที่ได้เรียนมาแล้ว ซึ่งอาจจะได้ลูกที่มีลักษณะตามต้องการและลักษณะที่ไม่ต้องการอยู่ร่วมกัน การจะคัดเลือกลูกที่มีลักษณะตามต้องการได้ทั้งหมดนั้น ต้องใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากต้องมีการผสมกันหลายรุ่น เพื่อคัดเลือกลูกที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการไว้ นอกจากนี้การปรับปรุงพันธุ์พืชด้วยวิธีนี้ จะทำได้ก็ต่อเมื่อพ่อแม่พันธุ์เป็นสิ่งมีชีวิตสืบพันธุ์เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน เพื่อให้สามารถผสมพันธุ์กันได้ ไม่สามารถนำสิ่งมีชีวิตสืบพันธุ์อื่นที่มีลักษณะที่ต้องการมาผสมพันธุ์ด้วยได้

ในปัจจุบันที่เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมีการพัฒนาไปอย่างมาก สามารถคัดเลือกลูกที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการจากจุลินทรีย์ พืช สัตว์ และมนุษย์ แล้วนำยีนนั้นถ่ายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตที่ต้องการปรับแต่งยีนใหม่ให้มีลักษณะตามต้องการโดยการใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรม นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการศึกษายีนที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ และการใช้เครื่องหมายโมเลกุลมาช่วยในการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อลดระยะเวลาได้อีกด้วย ซึ่งจะได้ศึกษาในบทเรียนนี้

ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่เนื้อหา ดังนี้

- พันธุวิศวกรรมมีกระบวนการอย่างไร และสามารถนำมาใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง

นักเรียนอภิปรายร่วมกัน ซึ่งคำตอบขึ้นอยู่กับความรู้เดิมของนักเรียน ซึ่งอาจจะถูกหรือไม่ก็ตาม ครูยังไม่สรุปเพื่อให้นักเรียนได้ศึกษารายละเอียดจากหนังสือเรียนในหัวข้อพันธุวิศวกรรมและการโคลนนิ่ง และสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้อื่น ๆ

6.1 พันธุวิศวกรรมและการโคลนนิ่ง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายหลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมและการสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายการโคลนนิ่งโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรียและเทคนิค PCR

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำภาพของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมชนิดต่าง ๆ และแหล่งของยีนที่นำมาใส่ในสิ่งมีชีวิตนั้นมาให้นักเรียนศึกษา เช่น แบคทีเรียที่สร้างอินซูลินที่ยีนควบคุมการสร้างอินซูลินได้มาจากมนุษย์ ข้าวโพด BT ที่ยีนควบคุมการสร้างสารพิษได้มาจากแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* หนูเรืองแสงที่ยีนสร้างโปรตีนเรืองแสงได้มาจากแมงกะพรุน แล้วร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปว่า การสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมสามารถทำได้ทั้งในจุลินทรีย์ พืช และสัตว์ และแหล่งของยีนที่นำมาใช้ก็สามารถได้มาจากทั้งจุลินทรีย์ พืช สัตว์ และมนุษย์

ครูชี้แจงเพิ่มเติมว่า การสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมมีหลายวิธี ในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ แล้วนำไปใส่ในแบคทีเรียที่เป็นเซลล์เจ้าบ้านเพื่อให้เพิ่มจำนวน เรียกว่า การโคลนนิ่งโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรีย และนอกจากจะโคลนนิ่งในสิ่งมีชีวิตแล้วยังสามารถโคลนนิ่งในหลอดทดลองได้อีกด้วย

6.1.1 การโคลนนิ่งโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรีย

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยสอบถามความรู้เดิมเกี่ยวกับเซลล์แบคทีเรียที่มีโครโมโซมและพลาสมิดเป็นสารพันธุกรรมภายในเซลล์ และภาพพลาสมิดที่มียีนต้านยาปฏิชีวนะและบริเวณที่เป็นตำแหน่งตัดของเอนไซม์ตัดจำเพาะ จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายโดยใช้คำถามดังนี้

- การโคลนนิ่งโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรียคืออะไรและมีขั้นตอนอย่างไร
- เพราะเหตุใดจึงใช้พลาสมิดที่มียีนต้านยาปฏิชีวนะในการสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์
- เพราะเหตุใดพลาสมิดจึงต้องมีบริเวณที่เป็นตำแหน่งตัดของเอนไซม์ตัดจำเพาะ

ครูอาจให้นักเรียนดูวิดีโอเกี่ยวกับการโคลนนิ่งโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรีย และให้นักเรียนสืบค้นจากหนังสือเรียนเพื่อร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า การโคลนนิ่งโดยใช้

พลาสมิดของแบคทีเรีย เป็นการเพิ่ม DNA ที่ต้องการโดยอาศัยพลาสมิดเป็นดีเอ็นเอพาหะนำยีนเข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย และนำแบคทีเรียไปเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวน พลาสมิดที่มียีนที่ต้องการจะเพิ่มจำนวนด้วย

ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้กับนักเรียนว่า พลาสมิดที่ใช้เป็นเวกเตอร์ มีสมบัติดังนี้

1. มีจุดเริ่มต้นของการจำลองดีเอ็นเอเพื่อให้สามารถเพิ่มจำนวนได้ด้วยตัวเอง
2. มียีนสำหรับคัดเลือกในเซลล์เจ้าบ้าน เช่น ยีนต้านทานยาปฏิชีวนะ
3. มีบริเวณที่เป็นตำแหน่งตัดของเอนไซม์ตัดจำเพาะหลายชนิดสำหรับแทรก DNA หรือยีนที่ต้องการ

การใช้พลาสมิดที่มียีนต้านทานยาปฏิชีวนะในการสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์นั้น เพื่อใช้เป็นเครื่องหมายในการคัดเลือกเซลล์ เมื่อนำเซลล์แบคทีเรียไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มียาปฏิชีวนะ เซลล์แบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดเท่านั้นที่จะเจริญได้ ส่วนเซลล์ที่ไม่มีพลาสมิดจะตายไป ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมว่า เซลล์แบคทีเรียที่นิยมใช้ในการโคลน คือ *Escherichia coli* เนื่องจากเพาะเลี้ยงง่าย เพิ่มจำนวนได้รวดเร็วภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง เป็นแบคทีเรียที่มีการศึกษามานานและมีการพัฒนาสายพันธุ์ให้เหมาะสมในการที่จะรับเวกเตอร์เข้ามาในเซลล์

การโคลนยีนโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรียมี 3 ขั้นตอน คือ การตัดสาย DNA ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ การเชื่อมสาย DNA ต่างโมเลกุลด้วยเอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกส และการถ่ายดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์เข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย

ครูให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับเอนไซม์ตัดจำเพาะในตาราง 6.1 จากหนังสือเรียนหรือแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ โดยมีประเด็นการอภิปรายดังนี้

- เอนไซม์ตัดจำเพาะได้มาจากสิ่งมีชีวิตพวกใด
- เอนไซม์ตัดจำเพาะมีความจำเพาะในการตัดสาย DNA อย่างไร และเอนไซม์แต่ละชนิดแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ตำแหน่งการตัดของเอนไซม์ตัดจำเพาะที่ทำให้เกิดปลายหูกและปลายเหนียวแตกต่างกันอย่างไร
- เอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกัน สามารถตัดสาย DNA ได้ทั้งปลายเหนียวและปลายหูกหรือไม่

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า เอนไซม์ตัดจำเพาะได้มาจากแบคทีเรีย ทำหน้าที่ตัดสาย DNA ตรงลำดับเบสจำเพาะ ส่วนใหญ่เอนไซม์ตัดจำเพาะที่นิยมนำมาใช้ในการโคลน ดีเอ็นเอจะมีลำดับเบสที่เป็นบริเวณจดจำสั้น ๆ และมีจุดตัดจำเพาะอยู่ในลำดับเบสเหล่านี้ ดังนั้น เอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดจะมีลำดับเบสที่เป็นบริเวณจดจำและจุดตัดจำเพาะที่แตกต่างกัน

เช่น *EcoRI* มีลำดับเบสที่เป็นบริเวณจดจำ 6 คู่เบส และมีจุดตัดจำเพาะเป็น G↓AATTC คือ จุดตัดระหว่าง G และ A ส่วน *HaeIII* มีลำดับเบสที่เป็นบริเวณจดจำ 4 คู่เบส และมีจุดตัดจำเพาะเป็น GG↓CC คือ จุดตัดระหว่าง G และ C อย่างไรก็ตามมีเอนไซม์ตัดจำเพาะบางชนิดที่มีบริเวณจดจำและจุดตัดจำเพาะเหมือนกัน เช่น *XmaI* และ *XcyI*

เมื่อเอนไซม์ตัดจำเพาะตัดสาย DNA สายคู่ จะทำให้เกิดปลายสายที่แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของเอนไซม์ ถ้าตัดสาย DNA แล้วทำให้เกิดปลายสายเดี่ยวที่มีนิวคลีโอไทด์ยื่นออกมา เรียกว่า ปลายเหนียว ถ้าเอนไซม์ตัดจำเพาะมีจุดตัดอยู่ตรงกันทั้งสองสายของ DNA จะทำให้เกิดปลายทุ่

ครูขยายความรู้ให้กับนักเรียนว่า เอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกันจะตัดสาย DNA ที่จุดตัดจำเพาะที่มีลำดับเบสที่เป็นบริเวณจดจำเดียวกัน จึงสามารถใช้ตัดสาย DNA จากสิ่งมีชีวิตทั้งจุลินทรีย์ พืช สัตว์ หรือ DNA ที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์ PCR

คำถามในหนังสือเรียนมีแนวการตอบคำถามดังนี้



บริเวณจดจำของเอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดมีจำนวนเบสเท่ากันหรือไม่ อย่างไร



เอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดอาจมีจำนวนลำดับเบสที่เป็นบริเวณจดจำเท่ากัน เช่น *EcoRI* และ *PstI* หรือไม่เท่ากันก็ได้ เช่น *EcoRI* และ *HaeIII*



การเรียงลำดับเบสของ DNA แต่ละสายในบริเวณจดจำของเอนไซม์ตัดจำเพาะมีลักษณะร่วมกันอย่างไร



การเรียงลำดับเบสในแต่ละสายจากปลาย 5' ไปปลาย 3' พบว่าจะเหมือนกันทั้งสองสาย เช่น

```

5'... G A A T T C ...3'
3'... C T T A A G ...5'

```

ครูให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับการเชื่อมสาย DNA ด้วยเอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกสจากหนังสือเรียนหรือแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ โดยมีประเด็นการอภิปรายดังนี้

- เอนไซม์ตัดจำเพาะที่ตัดสาย DNA ที่มียื่นที่ต้องการจากสิ่งมีชีวิต และเอนไซม์ตัดจำเพาะที่ใช้ตัดพลาสติกควรเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ อย่างไร
- ปลาย DNA ที่ถูกตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะสามารถเชื่อมต่อกันได้อย่างไร



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การเรียกชื่อเอนไซม์ตัดจำเพาะใช้ระบบอักษร 3 ตัว พิมพ์ตัวเอน ตัวอักษรตัวแรกของเอนไซม์ คือ อักษรตัวแรกของจีโนมแบคทีเรียที่แยกเอนไซม์นั้นออกมาใช้อักษรตัวใหญ่ตามด้วยอักษร 2 ตัวแรกของชื่อที่ระบุสปีชีส์ (specific epithet) ของแบคทีเรียใช้อักษรตัวเล็กต่อไปเป็นสายพันธุ์ของแบคทีเรีย ตัวสุดท้ายเป็นเลขโรมันแสดงลำดับของเอนไซม์ที่แยกได้จากแบคทีเรียดังกล่าวซึ่งจะพิมพ์ตัวตรง เช่น

EcoRI (อ่านว่า อีโคอาร์วัน) ที่ได้จาก *Escherichia coli* RY13

E มาจาก *Escherichia*

co มาจาก *coli*

R มาจากสายพันธุ์ RY13

I มาจากลำดับของเอนไซม์ตัดจำเพาะที่แยกได้จากแบคทีเรียสายพันธุ์นี้

PstI (อ่านว่า พีเอสทีวัน) ที่ได้จาก *Providencia stuartii*

P มาจาก *Providencia*

st มาจาก *stuartii*

I มาจากลำดับของเอนไซม์ตัดจำเพาะที่แยกได้จากแบคทีเรียสายพันธุ์นี้

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ถ้าตัดสาย DNA ที่ต้องการโคลนและพลาสมิดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกันที่ให้ปลายเหนียวจะทำให้มีปลายสายเดียวที่มีเบสคู่สมกันพอดี และสามารถนำมาเชื่อมต่อกันได้ด้วยเอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกสที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการสร้างพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ระหว่าง DNA 2 โมเลกุลให้เชื่อมต่อกันทำให้ได้เป็นดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์

ครูควรเน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงได้ว่า การสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์เป็นเทคนิคการตัดและเชื่อมต่อ DNA ต่างโมเลกุลเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นเทคนิคพันธุวิศวกรรม แต่ยังไม่สามารถนำดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ไปใช้ประโยชน์ได้ จะต้องมียุทธวิธีที่จะทำให้ดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์คงอยู่และเพิ่มจำนวนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ครูให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับการถ่ายดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์เข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย และคัดเลือกโคลนที่ต้องการจากหนังสือเรียนหรือแหล่งเรียนรู้ต่างๆ โดยมีประเด็นการอภิปรายดังนี้

- การเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ทำได้อย่างไร

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ที่มียีนที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์จะต้องมีจำนวนมากและเหมือนกัน ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ได้โดยการถ่ายโอนดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์เข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียแบ่งเซลล์ พลาสมิดจะจำลองตัวเองและถ่ายทอดไปยังเซลล์ลูกทั้งสองเซลล์ได้ ดังนั้นเมื่อนำแบคทีเรียที่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ไปเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวน พลาสมิดที่มีดีเอ็นเอที่ต้องการแทรกอยู่ก็จะเพิ่มจำนวนด้วย และเขียนแผนภาพได้ดังรูป 6.3 การโคลนยีนโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรีย

ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 6.1 การสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ เพื่อให้เข้าใจหลักการและขั้นตอนการโคลนยีนโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรียมากขึ้น



กิจกรรม 6.1 การสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์

จุดประสงค์

1. อธิบายหลักการตัด DNA ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะและการสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์
2. อธิบายความแตกต่างของเซลล์แบคทีเรียที่ได้รับและไม่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. กระดาษสีเหลืองและสีฟ้า (หรือกระดาษที่มีสีต่างกัน)
2. ปากกา
3. เทปใสติดกระดาษ
4. กรรไกร
5. ถุงทึบ
6. ภาชนะกระดาษ

การเตรียมล่วงหน้า

1. ตัดกระดาษสีเหลืองให้มีขนาดกว้าง 3 cm และยาว 30 cm จำนวน 10 ชิ้น
2. ตัดกระดาษสีฟ้าให้มีขนาดกว้าง 3 cm และยาว 20 cm จำนวน 10 ชิ้น หรือ download ใบกิจกรรมของพลาสมิดและ DNA ที่มีลำดับเบสได้จาก QR code ประจำบทเรียน
3. พับกระดาษเป็นรูปสามเหลี่ยม จำนวน 5 ภาชนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. ในวิธีการทำกิจกรรมข้อ 4 เมื่อตัดตามรอยประสีแดงแล้วจะได้กระดาษ 3 ชิ้น นำเฉพาะกระดาษส่วนที่มียีนเท่านั้นไปทำกิจกรรมข้อต่อไป อีก 2 ชิ้นไม่นำมาใช้เนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่มียีนที่ต้องการ
2. เมื่อนักเรียนนำกระดาษที่เป็นพลาสติกและชิ้น DNA จำนวนทั้งหมด 20 ชิ้นใส่ลงในถุงทึบแล้ว เขย่าถุงให้กระดาษกระจายทั่วถุง หลังจากนั้นหยิบกระดาษพร้อมกัน 2 ชิ้นออกจากถุง และการหยิบกระดาษจะต้องเป็นแบบสุ่ม

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

เมื่อสุ่มหยิบกระดาษ 1 ชิ้น แล้วนำไปวางลงในถาดกระดาษที่สมมติให้เป็นเซลล์แบคทีเรียทำงานครบ 5 ครั้ง เมื่อพิจารณาพลาสติกและชิ้น DNA ที่สุ่มหยิบมาวางในถาดกระดาษจะได้เป็น 3 กรณี คือ กระดาษชิ้นสีฟ้าต่อกับสีเหลืองเป็นวง กระดาษชิ้นสีฟ้า 2 ชิ้นต่อเป็นวง และกระดาษสีเหลืองต่อเป็นวง อย่างไรก็ตามบางกลุ่มอาจจะสุ่มหยิบได้ไม่ครบทั้ง 3 กรณี

ครูและนักเรียนร่วมกับอภิปรายเกี่ยวกับกรณีที่แตกต่างกัน 3 แบบนี้ ส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน และผลต่อการสร้างสารของแบคทีเรียอย่างไร ซึ่งสามารถอภิปรายได้ดังนี้

- กระดาษชิ้นสีฟ้าต่อกับสีเหลืองเป็นวง แสดงว่า เซลล์แบคทีเรียได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ ถ้านำไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน จะเจริญเติบโตได้เนื่องจากบนพลาสติกมียีนต้านยาปฏิชีวนะ และเซลล์แบคทีเรียสร้างสารที่ต้องการได้เพราะได้รับชิ้นดีเอ็นเอที่มียีนนั้น



- กระดาษสีฟ้า 2 ชิ้นต่อเป็นวง ซึ่งแสดงว่า เซลล์แบคทีเรียได้รับเฉพาะ DNA แต่ไม่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ ถ้านำไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้เนื่องจากไม่มีพลาสมิดที่มียีนต้านยาปฏิชีวนะ เซลล์แบคทีเรียจะตาย



- กระดาษสีเหลืองต่อเป็นวง ซึ่งแสดงว่า เซลล์แบคทีเรียได้รับพลาสมิด แต่ไม่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ ถ้านำไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน จะเจริญเติบโตได้เนื่องจากบนพลาสมิดมียีนต้านยาปฏิชีวนะ แต่เซลล์แบคทีเรียไม่สามารถสร้างสารที่ต้องการได้เพราะไม่ได้รับชิ้นดีเอ็นเอที่มียีนนั้น



นักเรียนอาจบันทึกผลการทำกิจกรรมได้ดังนี้

ภาพ		การเจริญเติบโต	การสร้างสาร
	ดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์	เจริญ	สร้างสาร
	DNA	ไม่เจริญ	ไม่สร้างสาร
	พลาสมิด	เจริญ	ไม่สร้างสาร

อภิปรายและสรุปผล

การโคลนยีนโดยใช้พลาสมิดนั้น เซลล์แบคทีเรียมีทั้งที่ได้รับและไม่ได้รับพลาสมิด เมื่อนำเซลล์แบคทีเรียไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มียาปฏิชีวนะ เซลล์แบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดเท่านั้นจะเจริญได้ เนื่องจากพลาสมิดที่ได้รับนั้นมียีนที่ต้านยาปฏิชีวนะ แต่เซลล์แบคทีเรียที่ไม่ได้รับพลาสมิดจะตายไป อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้นั้นมีทั้งเซลล์ที่ได้รับเฉพาะพลาสมิดและได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ซึ่งเป็นพลาสมิดที่มียีนแทรกอยู่ แต่เฉพาะเซลล์ที่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์เท่านั้นที่สร้างสารที่ต้องการ

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? ถ้านำเซลล์แบคทีเรียจำนวน 5 เซลล์ที่ได้จากการทำกิจกรรมไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน จะมีเซลล์จำนวนเท่าใดที่เจริญได้

 จำนวนเซลล์ที่เจริญได้ขึ้นกับการทำกิจกรรมว่าแบคทีเรียได้รับพลาสมิดทั้งที่ไม่มียีนแทรก (กระดาศสีเหลืองต่อเป็นวง) และมียีนแทรก (กระดาศสีฟ้ากับสีเหลืองต่อเป็นวง) มีจำนวนเท่าใด

? เพราะเหตุใดแบคทีเรียบางเซลล์จึงไม่สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะ

 เพราะไม่ได้รับพลาสมิดที่มียีนต้านยาปฏิชีวนะ

? เซลล์ที่เจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินนั้นจะมีเซลล์จำนวนเท่าใดที่สามารถสร้างสารที่ต้องการได้ เพราะเหตุใด

 จำนวนเซลล์ที่เจริญได้ขึ้นกับการทำกิจกรรมว่า มีแบคทีเรียได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ (กระดาศสีฟ้ากับสีเหลืองมาต่อกันเป็นวง) จำนวนเท่าใด และเซลล์สร้างสารที่ต้องการได้ เพราะเซลล์เหล่านั้นได้รับพลาสมิดที่มียีนที่ต้องการแทรกอยู่

? ถ้าไม่มีเอนไซม์ *EcoRI* จะสามารถใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดใดได้ในการสร้างดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ เพราะเหตุใด

 สามารถใช้เอนไซม์ *PstI* แทนได้เนื่องจากลำดับเบสของพลาสมิดและสาย DNA มีลำดับจดจำและตำแหน่งตัดของเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดนี้ (5' CTGCAG 3')



กรณีศึกษา



บทความ

จากข้อมูลที่ได้ นักเรียนสามารถตอบได้ดังนี้

ตัดพลาสมิดด้วยเอนไซม์		ใส่ชิ้น DNA ที่ตัดด้วยเอนไซม์	การเจริญของแบคทีเรียที่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแอมพิซิลลิน	สีของโคโลนีแบคทีเรียที่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์
ก.	<i>ScaI</i>	<i>ScaI</i>	ไม่เจริญ	-
ข.	<i>PvuII</i>	<i>PvuII</i>	เจริญ	สีฟ้า
ค.	<i>BamHI</i>	<i>BamHI</i>	เจริญ	สีขาว
ง.	<i>ScaI</i>	-	เจริญ	สีฟ้า

แนวการคิด

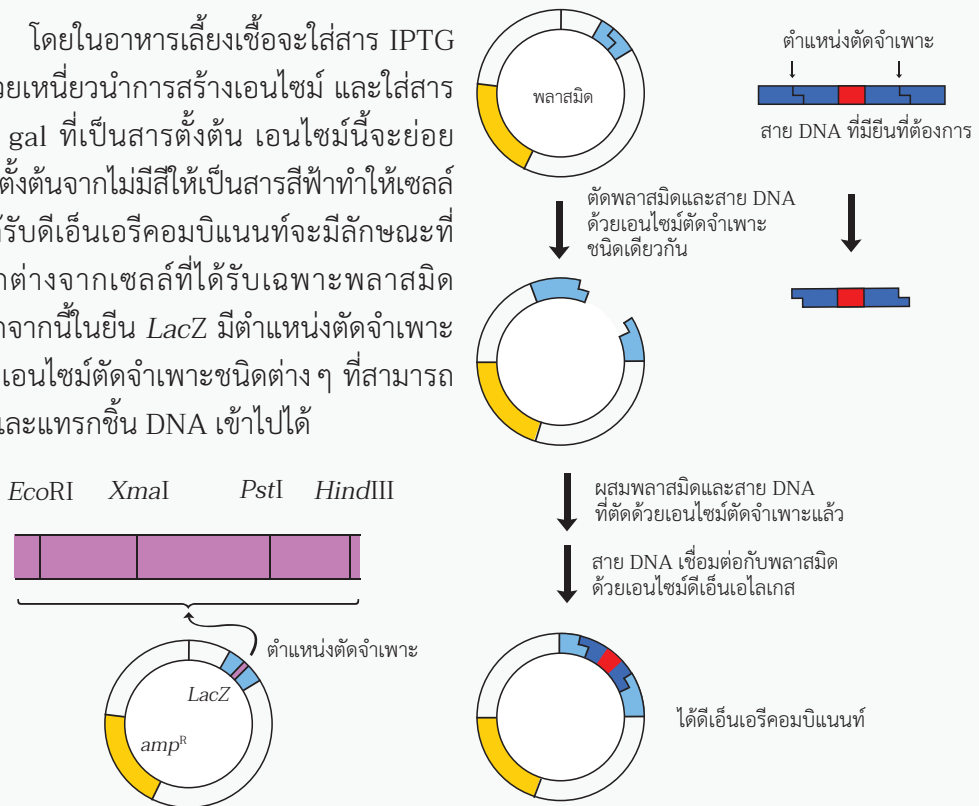
- ชิ้น DNA แทรกอยู่ในยีนที่ต้านยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน ทำให้ยีนไม่ทำงาน แบคทีเรียไม่สามารถต้านยาปฏิชีวนะได้ จึงไม่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแอมพิซิลลิน
- ชิ้น DNA แทรกอยู่ในพลาสมิดแต่ไม่ใช่ตำแหน่งที่เป็นยีน ยีนที่ต้านยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินจึงทำงานได้ แบคทีเรียเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแอมพิซิลลิน ยีนที่สร้างเอนไซม์ทำงานได้ จึงย่อยสารตั้งต้นได้เป็นสีฟ้า สีของโคโลนีแบคทีเรียจึงเป็นสีฟ้า
- ชิ้น DNA แทรกอยู่ในพลาสมิดในตำแหน่งของยีนที่สร้างเอนไซม์ ยีนที่ต้านยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินยังทำงานได้ แบคทีเรียเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแอมพิซิลลิน ยีนที่สร้างเอนไซม์ไม่ทำงาน จึงไม่สามารถย่อยสารตั้งต้นได้เป็นสีฟ้า สีของโคโลนีแบคทีเรียจึงเป็นสีขาว
- ไม่มีชิ้น DNA แทรกอยู่ในพลาสมิด ยีนที่ต้านยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินจึงทำงานได้ แบคทีเรียเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแอมพิซิลลิน ยีนที่สร้างเอนไซม์ทำงานได้ จึงย่อยสารตั้งต้นได้เป็นสีฟ้า สีของโคโลนีแบคทีเรียจึงเป็นสีฟ้า



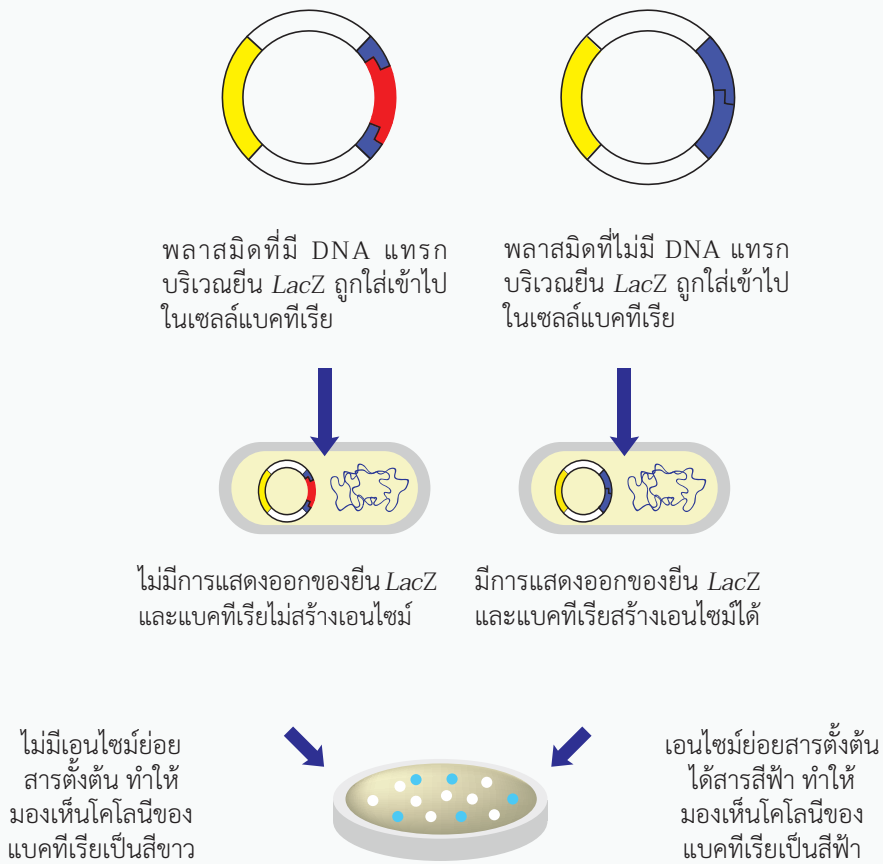
ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ในปัจจุบันมีการสร้างพลาสมิดที่มีส่วนของยีนที่ต้านยาปฏิชีวนะ เช่น ยีนต้านยาแอมพิซิลลิน (amp^R) เพื่อใช้เป็นเครื่องหมายในการคัดเลือก (selectable marker) เซลล์แบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดจะเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน อย่างไรก็ตามเซลล์แบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดทุกเซลล์จะเจริญได้แม้ว่าพลาสมิดที่อยู่ในเซลล์นั้นจะไม่มีชิ้น DNA ที่ต้องการแทรกอยู่จึงไม่สามารถบอกได้ว่า แบคทีเรียที่เจริญนั้นมีดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์หรือไม่ ดังนั้นในพลาสมิดจึงใส่ยีน *LacZ* ที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ beta-galactosidase เพื่อใช้เป็นยีนรายงานผล (reporter gene) ว่าพลาสมิดในเซลล์แบคทีเรียนั้นมี DNA แทรกอยู่หรือไม่

โดยในอาหารเลี้ยงเชื้อจะใส่สาร IPTG ที่ช่วยเหนี่ยวนำการสร้างเอนไซม์ และใส่สาร X-gal ที่เป็นสารตั้งต้น เอนไซม์นี้จะย่อยสารตั้งต้นจากไม่มีสีให้เป็นสารสีฟ้าทำให้เซลล์ที่ได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์จะมีลักษณะที่แตกต่างจากเซลล์ที่ได้รับเฉพาะพลาสมิด นอกจากนี้ในยีน *LacZ* มีตำแหน่งตัดจำเพาะของเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดต่างๆ ที่สามารถตัดและแทรกชิ้น DNA เข้าไปได้



เมื่อมี DNA แทรกในยีน *LacZ* บนพลาสมิด ยีนนั้นไม่สามารถสร้างเอนไซม์ที่ทำงานได้ จึงไม่ย่อยสารตั้งต้นให้สารสีฟ้า โคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อจึงเป็นสีขาว แต่ถ้าไม่มี DNA แทรก ยีนจะทำงานได้ สร้างเอนไซม์ย่อยสารตั้งต้นได้สารสีฟ้า โคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อจึงเป็นสีฟ้า ดังนั้นสีของโคโลนีจึงบอกได้ว่าเซลล์แบคทีเรียได้รับดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์หรือไม่ เรียกวิธีการคัดเลือกนี้ว่า blue white screening



6.1.2 การเพิ่มจำนวน DNA ด้วยเทคนิค PCR

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยให้นักเรียนศึกษารูป 6.4 ในหนังสือเรียนที่แสดงการเข้าคู่กันของไพรเมอร์มีลำดับเบสที่เป็นเบสคู่สมกับลำดับเบสบนสายดีเอ็นเอแม่แบบ และรูป 6.5 การเพิ่มปริมาณ DNA โดยเทคนิค PCR แล้วร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายเพื่อนำไปสู่การสืบค้นโดยมีประเด็นอภิปรายดังนี้

- ลำดับเบสของไพรเมอร์มีความสำคัญอย่างไรต่อตำแหน่งการเพิ่ม DNA
- เทคนิค PCR มีขั้นตอนอย่างไร
- การเพิ่มอุณหภูมิให้สูง ทำให้ DNA สายคู่ แยกออกจากกันได้อย่างไร
- การเพิ่มจำนวน DNA ที่ต้องการจำนวนมากโดยเทคนิค PCR นำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านใดบ้าง

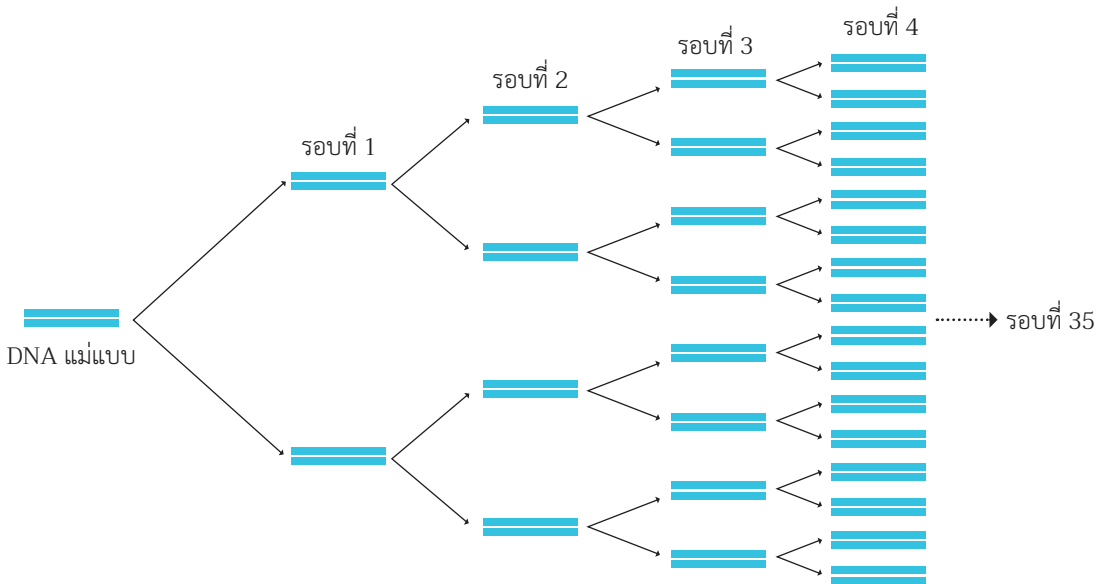
จากการสืบค้น การวิเคราะห์ และอภิปราย นักเรียนควรได้ข้อสรุปว่า เทคนิค PCR เป็นการเพิ่มจำนวน DNA ในหลอดทดลองเพื่อให้ได้โมเลกุลของ DNA ที่เหมือนกันในปริมาณมาก โดยใช้เครื่องเทอร์มอลไซเคิลอร์ โดยทั่วไปในการทำปฏิกิริยา PCR เป็นการเพิ่มจำนวน DNA บางบริเวณ ไม่ได้ครอบคลุมทั้งสายของ DNA ต้นแบบ ถ้าต้องการเพิ่มจำนวน DNA ที่บริเวณใดให้เลือกไพรเมอร์ที่มีลำดับเบสเป็นเบสคู่สมกับดีเอ็นเอแม่แบบที่จุดเริ่มต้นของแต่ละสายซึ่งครอบคลุมบริเวณนั้นของสายดีเอ็นเอแม่แบบซึ่งมีลำดับเบสเป็นเบสคู่สมกับไพรเมอร์

กระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ ทำได้โดยใช้ดีเอ็นเอแม่แบบ ไพรเมอร์ นิวคลีโอไทด์ 4 ชนิด คือนิวคลีโอไทด์ที่มีเบส A T G และ C และเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสในหลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาใน 1 รอบ มีลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. เพิ่มอุณหภูมิให้สูง ทำให้ดีเอ็นเอแม่แบบสายคู่แยกออกเป็นสายเดี่ยว เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายถูกทำลาย
2. ลดอุณหภูมิลง ทำให้ไพรเมอร์จับกับสายดีเอ็นเอแม่แบบด้วยพันธะไฮโดรเจน
3. ปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส ซึ่งจะนำนิวคลีโอไทด์อิสระมาต่อที่ปลาย 3' ของไพรเมอร์ไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดการจำลองสาย DNA จากสายดีเอ็นเอแม่แบบ
4. เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ทำให้สาย DNA สายคู่ที่เกิดจากปฏิกิริยารอบที่ 1 แยกออกจากกัน และเกิดปฏิกิริยาในรอบต่อไป

ปฏิกิริยา PCR จะเกิดขึ้นซ้ำๆ ประมาณ 25 - 40 รอบ โดยสาย DNA ที่เกิดขึ้นแต่ละรอบจะถูกใช้เป็นแม่แบบในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ในรอบต่อไปจนสิ้นสุดปฏิกิริยา ดังรูป 6.2 ถ้าทำปฏิกิริยา 30 รอบ จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงในการเพิ่มปริมาณ DNA พันล้านเท่าของปริมาณเริ่มต้น

ไพรเมอร์ที่ใช้ในการทำ PCR เป็นดีเอ็นเอไพรเมอร์ ส่วนการจำลองดีเอ็นเอในสิ่งมีชีวิตเป็นอาร์เอ็นเอไพรเมอร์



รูป 6.2 การเพิ่มจำนวนสาย DNA ในแต่ละรอบของการทำปฏิกิริยา

จาก DNA แม่แบบ 1 โมเลกุล เมื่อผ่านไป 1 รอบ จะได้ 2 โมเลกุล ผ่านไป 2 รอบ ได้ 4 โมเลกุล ผ่านไป 3 รอบ ได้ 8 โมเลกุล ดังนั้นโมเลกุล DNA ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2^n เมื่อ n = จำนวนรอบ จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

- ?** จำนวนรอบของ PCR และจำนวนโมเลกุล DNA ที่ได้ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร และถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยาจาก DNA 1 โมเลกุล เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยารอบที่ 10 จะได้ DNA กี่โมเลกุล
-  2^{10} หรือ 1,024 โมเลกุล

การโคลนนิ่งโดยเทคนิค PCR มีข้อดี คือ สามารถเพิ่มปริมาณส่วนของ DNA ที่ต้องการได้ปริมาณมากในเวลาอันรวดเร็ว แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถเพิ่มปริมาณส่วนของ DNA ที่มีขนาดใหญ่ได้ และต้องทราบลำดับเบสของส่วนปลายของ DNA ที่ต้องการให้ไพรเมอร์เข้าจับ

6.2 การหาขนาดของ DNA และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและอธิบายการหาขนาด DNA โดยใช้เทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส

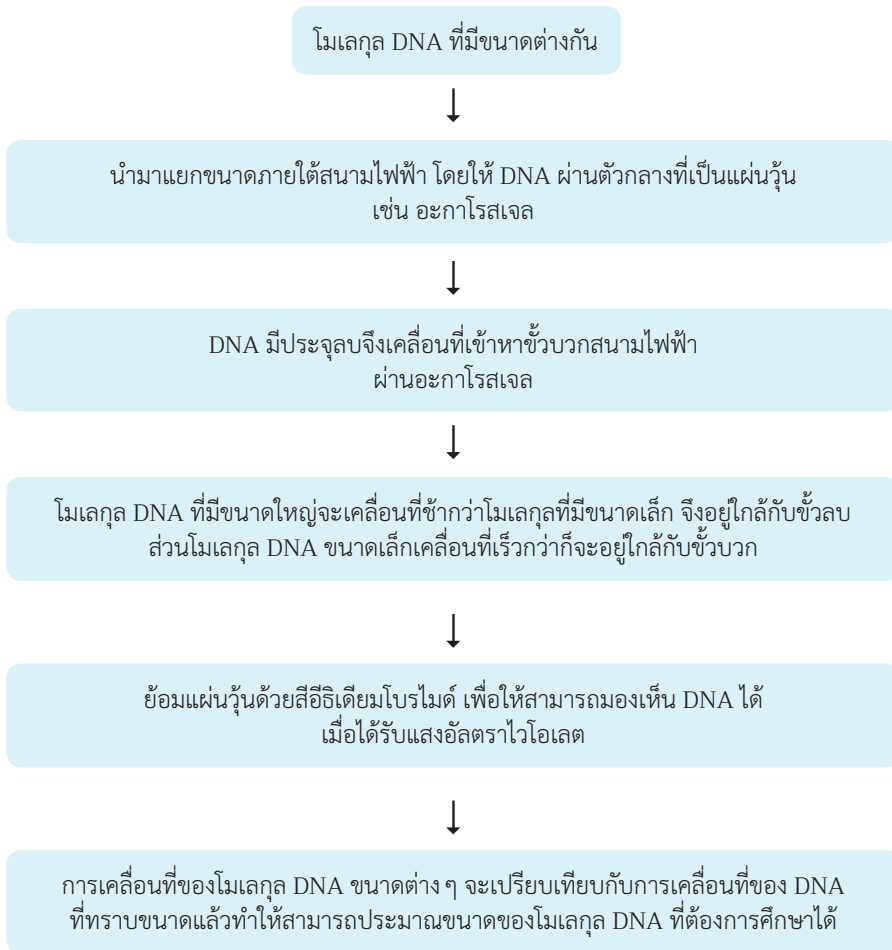
แนวการจัดการเรียนรู้

6.2.1 การหาขนาด DNA ด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส

ครูใช้คำถามนำ เพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปราย โดยมีแนวคำถามดังนี้

- เมื่อเพิ่มจำนวน DNA ด้วยวิธี PCR แล้ว จะทราบได้อย่างไรว่ามีผลิตภัณฑ์ DNA เพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ DNA นั้น มีขนาดเท่าใด

จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรจะตอบได้ว่า สามารถแยกขนาดของ DNA ได้ในสนามไฟฟ้า และหาขนาดได้โดยนำไปเปรียบเทียบกับโมเลกุล DNA ที่ทราบขนาด ซึ่ง DNA ที่โคลนได้นั้นมีจำนวนมากและอาจมีขนาดเท่ากันหรือแตกต่างกันได้ซึ่งดูได้จากแถบที่มองเห็นบนแผ่นเจล การแยกขนาด DNA โดยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยมีหลักการโดยสรุป ดังนี้



ครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ตัวอย่างในแถวที่ 2 มีแถบโมเลกุล DNA กี่แถบ และแต่ละแถบมีขนาดประมาณเท่าใด



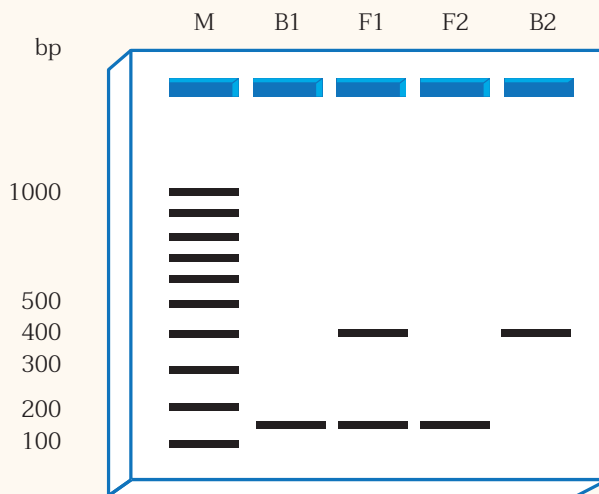
แถวที่ 2 มี 2 แถบ มีขนาด 500 และ 1,000 คู่เบส

เมื่อทราบขนาด DNA จากขั้นตอนนี้แล้ว สามารถนำผลิตภัณฑ์ DNA ที่เพิ่มขึ้นไปหาลำดับนิวคลีโอไทด์เพื่อวิเคราะห์ต่อไปว่าเป็นช่วง DNA หรือยีนที่ต้องการหรือไม่ และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป



กรณีศึกษา

แถบ DNA จากผลิตภัณฑ์ PCR ที่ได้จากแต่ละตัวอย่างเป็นดังนี้



แนวความคิด การทำปฏิกิริยา PCR นั้นไพรเมอร์จะจับกับดีเอ็นเอแม่แบบในตำแหน่งที่จำเพาะ ซึ่งอาจได้ผลิตภัณฑ์เป็นชิ้น DNA ขนาดแตกต่างกัน ในการตรวจหาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอาหาร เป็นดังนี้

- B1 เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ไม่ก่อโรค จะได้ชิ้น DNA จำนวน 1 ขนาด คือ 150 คู่เบส
- F1 ที่มีแบคทีเรียสายพันธุ์ไม่ก่อโรคและที่ก่อโรค จะได้ชิ้น DNA จำนวน 2 ขนาด คือ 150 และ 400 คู่เบส
- F2 ที่มีแบคทีเรียสายพันธุ์ไม่ก่อโรคจะได้ชิ้น DNA จำนวน 1 ขนาด คือ 150 คู่เบส
- B2 เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ก่อโรค จะได้ชิ้น DNA จำนวน 1 ขนาด คือ 400 คู่เบส

6.2.2 การหาลำดับนิวคลีโอไทด์

ครูใช้คำถามนำเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายดังนี้ โดยมีแนวคำถามดังนี้

- การหาลำดับนิวคลีโอไทด์นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรจะตอบได้ว่า การหาลำดับนิวคลีโอไทด์สามารถทำได้โดยใช้เครื่องหาลำดับนิวคลีโอไทด์แบบอัตโนมัติ ซึ่งเมื่อทราบลำดับนิวคลีโอไทด์ของโมเลกุล DNA แล้วจะสามารถบอกได้ว่า DNA นั้นเป็นยีนใดโดยนำไปเทียบกับฐานข้อมูลที่มีการศึกษาแล้ว นอกจากนี้ ลำดับนิวคลีโอไทด์ยังสามารถใช้วิเคราะห์การเกิดมิวเทชันได้อีกด้วย รวมทั้งนำลำดับนิวคลีโอไทด์ไปแปลเป็นลำดับกรดแอมิโนเพื่อใช้ในการทำนายโครงสร้างและการทำงานของโปรตีนได้

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- หลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมโดยใช้ดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์ จากการทำกิจกรรมการอภิปรายร่วมกัน การทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบ
- การโคลนนิ่งโดยใช้พลาสมิดของแบคทีเรียและเทคนิค PCR
- การหาขนาด DNA โดยใช้เทคนิคเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส

ด้านทักษะ

- การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูลจากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน
- การสื่อสารสารสนเทศและการเท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำจากการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณญาณ ความอยากรู้อยากเห็น ความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม และการอภิปรายร่วมกัน

6.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล ยกตัวอย่าง และอธิบายการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ การวินิจฉัยหรือการตรวจกรองโรค และการรักษา
2. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอสำหรับการปรับปรุงพันธุ์สิ่งมีชีวิตเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร อุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อม
3. สืบค้นข้อมูลและอธิบายการวิเคราะห์ลายพิมพ์ดีเอ็นเอในการใช้ประโยชน์ด้านนิติวิทยาศาสตร์ และวิเคราะห์ STR

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำนักเรียนเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนการทำงานของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนซึ่งนำไปสู่ฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิต และตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่การอภิปราย ดังนี้

- ถ้ายีนเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิตอย่างไร
- ถ้านักเรียนต้องการทราบหน้าที่ของยีนใดยีนหนึ่ง จะทำได้อย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ถ้ายีนเปลี่ยนแปลงไปและมีผลให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ได้ ถ้าทราบว่าลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงที่โปรตีนใด ยีนใด จะทำให้ทราบถึงหน้าที่ของยีนนั้นๆ ได้ ดังนั้นถ้านักเรียนต้องการทราบหน้าที่ของยีนใด อาจทำได้โดยทำให้เกิดมิวเทชันที่ยีนนั้นแล้วศึกษาจากฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่างการศึกษาพันธุศาสตร์ซึ่งนำไปสู่การค้นพบยีนที่ทำหน้าที่ต่างๆ จากรูป 6.10 ถึง 6.12 ในหนังสือเรียน และร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า บนโครโมโซมแท่งที่ 8 ของข้าวมียีนที่ทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการที่สังเคราะห์สาร GABA จากการศึกษาพบว่าข้าวหอมในธรรมชาติจะมีแอลลีลด้อยของยีนนี้ ทำให้ไม่มีการสร้างเอนไซม์ดังกล่าวสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์สาร GABA จึงถูกเปลี่ยนเป็นสาร 2AP และได้ข้าวที่มีความหอม โดยครูอาจถามนักเรียนว่าแอลลีลด้อยดังกล่าวเกิดจากมิวเทชันแบบใด ซึ่งคำตอบควรเป็นมิวเทชัน

แบบใดก็ได้ที่ทำให้เกิดรหัสหยุดก่อนรหัสหยุดเดิม ดังนั้นถ้ายับยั้งการแสดงออกของยีนหรือทำให้ไม่มีการสร้างโปรตีนจากยีนดังกล่าวได้จะทำให้สามารถพัฒนาพันธุ์ข้าวที่มีความหอมได้ และถ้าสามารถตรวจหายีนดังกล่าวได้จะทำให้ตรวจสอบสายพันธุ์ข้าวที่มีความหอมได้

นอกจากนี้ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้นักเรียนโดยการอภิปรายร่วมกับนักเรียนถึงการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ จากความรู้เกี่ยวกับข้อมูลยีนที่ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะที่สนใจ รวมทั้งหน้าที่ของยีนและโปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น ทำให้สามารถควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิตได้ สามารถตรวจสอบลักษณะที่สนใจก่อนที่ลักษณะนั้นจะปรากฏในสิ่งมีชีวิต เป็นต้น

จากนั้นครูอาจนำข่าวตัวอย่างประโยชน์จากการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่าเป็นการใช้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมบัติของสารพันธุกรรมในเรื่องใดบ้าง และใช้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอที่นักเรียนได้เรียนมาแล้วในด้านใดบ้าง โดยคำตอบอาจมีได้หลากหลาย เช่น

- ข่าวการสร้างสิ่งมีชีวิต GMO เป็นการใช้ความรู้เกี่ยวกับหน้าที่ของสารพันธุกรรมในการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม โดยมียีนที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนซึ่งนำไปสู่ฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิต และใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการระบุยีนที่ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการ ใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมในการโคลนยีน การตัดต่อ และการถ่ายยีน
- ข่าวการตรวจสอบ DNA ช้างบ้านซึ่งขึ้นทะเบียนถูกต้องตามกฎหมายเพื่อป้องกันการนำช้างป่ามาแอบอ้างว่าเป็นช้างบ้าน เป็นการใช้ความรู้เกี่ยวกับการที่สิ่งมีชีวิตแต่ละสิ่งมีชีวิตมีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้ในการระบุตัวตนได้

โดยครูอาจช่วยสรุปข้อมูลให้นักเรียนเกี่ยวกับการนำความรู้พื้นฐานเรื่องสมบัติของสารพันธุกรรมและเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ

6.3.1 ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า จากความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอที่นักเรียนได้ศึกษามา สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมได้อย่างไร ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในหัวข้อนี้



การสร้างผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์และเภสัชกรรม

ครูให้นักเรียนศึกษาขั้นตอนการสร้างแบคทีเรียดัดแปรพันธุกรรมที่มียีนที่ควบคุมการผลิตอินซูลินของมนุษย์จากรูป 6.13 ในหนังสือเรียน นอกจากนี้ครูอาจให้ข้อมูลเพิ่มเติมแก่นักเรียนว่า พันธุวิศวกรรมยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตวัคซีนบางชนิด ซึ่งวัคซีนใช้เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรค

ที่เกิดจากการติดเชื้อ เช่น ไวรัส โดยทั่วไปใช้ไวรัสที่อ่อนกำลังลงเพราะได้รับสารเคมีหรือผ่านวิธีการกายภาพบางอย่าง หรือเป็นไวรัสในสายพันธุ์ที่ไม่ก่อโรคมะเร็งให้กับมนุษย์เพื่อกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ในบางกรณีวัคซีนที่ใช้ป้องกันโรคบางชนิดอาจก่อให้เกิดผลข้างเคียง จึงสามารถใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมในการตัดต่อเฉพาะยีนที่ทำหน้าที่สร้างโปรตีนจากเชื้อนั้น แล้วใช้โปรตีนดังกล่าวเป็นแอนติเจนในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันแทนการใช้ไวรัสซึ่งทำให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น เช่น วัคซีนป้องกันโรคไวรัสตับอักเสบบี วัคซีนป้องกันโรคมะเร็งปากมดลูกที่เกิดจากไวรัส HPV

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พันธุวิศวกรรมเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์อื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ฮอร์โมน ผลิตภัณฑ์วัคซีน ผลิตภัณฑ์ยารักษาโรค แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจุดประสงค์ของการใช้พันธุวิศวกรรมเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่าเป็นการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมโดยถ่ายยีนเข้าสู่สิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรีย เพื่อผลิตโปรตีนที่นำมาใช้ประกอบการรักษา ซึ่งทำให้สามารถผลิตสารซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ได้ปริมาณมาก สะดวก รวดเร็ว และทำให้การรักษามีความปลอดภัยต่อผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น



การวินิจฉัยโรค

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการวินิจฉัยโรคจากหนังสือเรียน โดยครูอาจอธิบายการทำ PCR เพื่อตรวจคัดโรคทาลัสซีเมียชนิดหนึ่งโดยใช้รูป 6.14 จากหนังสือเรียน และยกกรณีตัวอย่างจากสื่ออื่น ๆ ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอสามารถใช้วินิจฉัยโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคทางพันธุกรรมซึ่งรวมถึงการเป็นพาหะที่อาจไม่แสดงอาการของโรคโรคที่เกิดจากการทำงานของยีนที่ผิดปกติก่อนมีอาการของโรค โรคที่เกิดจากไวรัส เป็นต้น

นอกจากนี้ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้นักเรียน ดังนี้

- ภาวะแทรกซ้อนจากการรับยา - ยาบางประเภทจะก่อให้เกิดอาการแพ้ในผู้ป่วยที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์บางรูปแบบ เช่น ยา carbamazepine ซึ่งใช้รักษาผู้ป่วยซึ่งมีอาการลมชัก ยา allopurinol ซึ่งใช้รักษาโรคเกาต์ ในปัจจุบันผู้ป่วยที่ต้องใช้ยาเหล่านี้เพื่อรักษาจะได้รับการแนะนำให้ตรวจสอบลำดับนิวคลีโอไทด์ซึ่งตอบสนองต่อการแพ้ยาเหล่านั้นก่อน ซึ่งหากตรวจพบแพทย์จะวางแผนแนวทางในการรักษาและเปลี่ยนชนิดยาที่จะใช้ในการรักษา
- การตรวจแอลลีลก่อโรค - ผู้ป่วยโรคมะเร็งที่มีสาเหตุจากการกลายของยีนมีเพียง 5-10% ของผู้ป่วยโรคมะเร็งทั้งหมดเท่านั้น และการตรวจพบแอลลีลที่เกิดจากการกลายของยีน *BRCA* หมายถึงมีโอกาสหรือมีความเสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็งเต้านมหรือมะเร็งรังไข่ไม่ได้หมายความว่าผู้ที่มีแอลลีลดังกล่าวจะต้องเป็นโรค ซึ่งเมื่อปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์ในการรับการตรวจที่ละเอียดมากขึ้นและถี่มากขึ้น ในกรณีที่ผู้เข้ารับการตรวจเป็นโรคมะเร็งจะทำให้สามารถตรวจพบโรคได้เร็วขึ้น และส่งผลให้ง่ายต่อการรักษา

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายข้อดีของการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการวินิจฉัยโรค ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า ทำให้สามารถตรวจพบได้รวดเร็ว มีความจำเพาะ และสามารถตรวจพบได้แม้ผู้ป่วยจะเป็นพาหะหรือยังไม่แสดงอาการของโรค ซึ่งทำให้การรักษาเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และสามารถวางแผนการรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

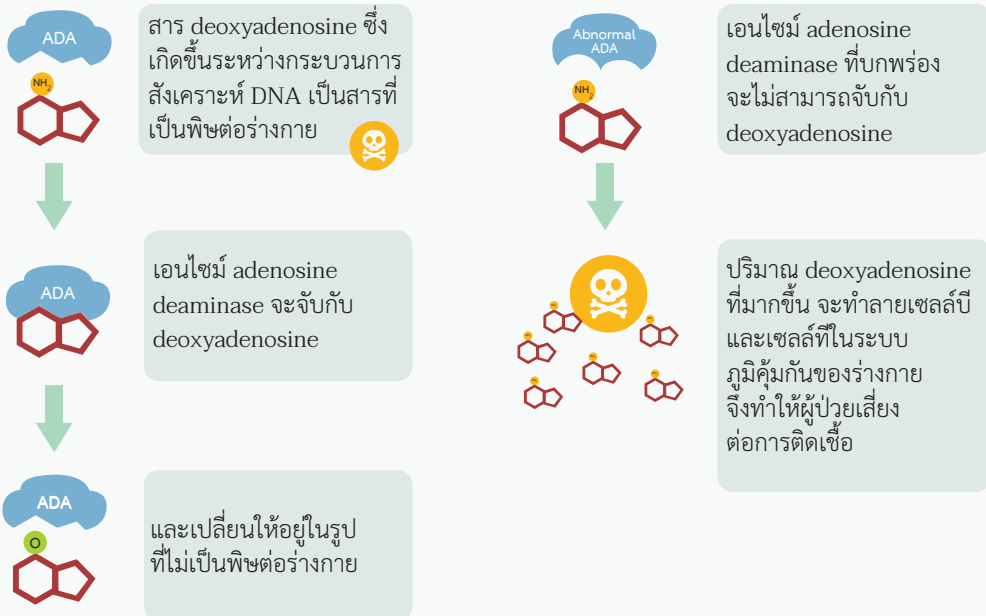
การบำบัดด้วยยีน

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ ในการรักษาโรคด้วยเทคนิคการบำบัดด้วยยีนและตัวอย่างขั้นตอนการใช้การบำบัดด้วยยีนในการรักษาโรคจากหนังสือเรียนและสื่ออื่นๆ โดยครูอาจอธิบายโดยใช้รูป 6.15 จากหนังสือเรียน



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู การเกิดโรคภูมิคุ้มกันบกพร่องรุนแรงชนิด ADA (adenosine deaminase deficiency) เนื่องจากขาดเอนไซม์ adenosine deaminase



ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า **การรักษาโรคโดยการบำบัดด้วยยีนจะใช้ได้กับโรคที่มีลักษณะอย่างไร** จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการรักษาโดยเทคนิคการบำบัดด้วยยีน ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า เป็นการรักษาโรคทางพันธุกรรมรวมถึงอาการผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากยีน โดยการถ่ายแอลลีลที่ปกติเข้าสู่เซลล์หรือเนื้อเยื่อที่แสดงอาการผิดปกติ เพื่อให้ยีนนั้นแทรกเข้าสู่จีโนมของมนุษย์และควบคุมให้มีการแสดงออกและสร้างโปรตีนที่ปกติ

นอกจากนี้ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้นักเรียน โดยยกตัวอย่างเทคโนโลยีอื่นๆ ที่พัฒนาขึ้นปัจจุบัน เช่น

- การใช้พันธุวิศวกรรม มีการทดลองใช้รักษาทารก 2 คน ที่ป่วยเป็นโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดหนึ่งซึ่งการรักษาด้วยเคมีบำบัด (chemotherapy) ไม่ประสบความสำเร็จและจะรับการถ่ายเซลล์เม็ดเลือดขาวจากผู้บริจาค ดังนั้น เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบภูมิคุ้มกันของผู้ป่วยเกิดการต่อต้านเซลล์ของผู้บริจาค จึงใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมมาปรับแต่งเซลล์เม็ดเลือดขาวของผู้บริจาคให้เข้ากับทารกทั้งสอง ก่อนจะถ่ายเข้าสู่ร่างกายของทารก ซึ่งพบว่าผลการรักษาประสบความสำเร็จและยังมีการติดตามผลอย่างต่อเนื่อง
- การรักษาโรคด้วยการตรวจแก้ไขจีโนม ซึ่งมีทั้งเพิ่มระดับการแสดงออกของยีน ยับยั้งการแสดงออกของยีน การนำยีนที่มีอยู่เดิมออก และการใส่ยีนใหม่ที่ต้องการลงไปในจีโนมของสิ่งมีชีวิต โดยหนึ่งในเทคนิคที่มีการศึกษาอยู่ คือ CRISPR-Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats - Cas9 protein) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถระบุบริเวณในจีโนมที่ต้องการปรับแต่งยีนได้ โดยเทคนิคดังกล่าวถูกนำมาใช้รักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับผลการรักษา (3 ก.พ. 2560) แต่ก็ถือได้ว่าเป็นพัฒนาการด้านหนึ่งของการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมาประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคในมนุษย์

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามชวนคิดในหนังสือเรียน



ชวนคิด

? ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวหน้าที่มีการโฆษณาว่ามีส่วนประกอบของชิ้นส่วน DNA ซึ่งมีขนาดเล็ก สามารถซึมเข้าสู่เซลล์ และทำให้เซลล์สามารถซ่อมแซม DNA ได้อย่างรวดเร็ว นักเรียนคิดว่าข้อความในโฆษณาดังกล่าวมีความเป็นไปได้เพียงใด



จากเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในปัจจุบันยังไม่น่าเป็นไปได้ เนื่องจาก

1. DNA เป็นสารโมเลกุลใหญ่ และมีสมบัติเป็นสารมีขั้ว ไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อเข้าสู่นิวเคลียส และไปยังโครโมโซมได้
2. ถึงแม้ DNA ที่ถูกใส่เข้าไปอาจจะผ่านเข้าสู่เซลล์ได้ แต่เซลล์มีกลไกในการทำลาย DNA แปลกปลอม
3. ถึงแม้ DNA ที่ถูกใส่เข้าไปจะไม่ถูกทำลายโดยกลไกภายในเซลล์ แต่เฉพาะ DNA ไม่สามารถที่จะซ่อมแซม DNA ของเซลล์ได้
4. ถึงแม้ DNA ที่ถูกใส่เข้าไปจะสามารถซ่อมแซม DNA ของเซลล์ได้ แต่ก็ไม่สามารถกำหนดจุดหรือบริเวณจำเพาะในการซ่อมแซมได้

การจะนำชิ้นส่วนของ DNA เข้าสู่เซลล์และเข้าสู่นิวเคลียสจนถึงการซ่อมแซม DNA ดังเดิมภายในเซลล์ได้นั้นจึงต้องอาศัยวิธีการหรือตัวพาที่จำเพาะ เช่น การใช้ไวรัส การใช้กระแสไฟฟ้า ดังนั้นความเป็นไปได้ที่ DNA ที่ผสมอยู่ในครีมจะสามารถทำได้ตามที่กล่าวอ้างนั้นจึงต่ำมาก

6.3.2 ด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยอาจยกตัวอย่างการปรับปรุงพันธุ์ข้าวแบบดั้งเดิม ซึ่งต้องใช้การผสมระหว่างพันธุ์ปลูกเพื่อการค้ากับพันธุ์ที่มีลักษณะที่ต้องการหลาย ๆ รุ่น และใช้เวลาในการตรวจสอบลักษณะในแต่ละรุ่นนานเนื่องจากต้องรอให้ต้นข้าวแสดงลักษณะที่ต้องการตรวจสอบก่อน เช่น ความเหนียวของเมล็ดข้าวหุงสุก ความหอมของเมล็ดข้าว ปริมาณผลผลิต ความสูงของต้น การต้านทานโรค การทนเค็ม

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล โดยอาจศึกษาจากตัวอย่างการปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอมมะลิเพื่อให้มีลักษณะทนเค็มจากรูป 6.16 ในหนังสือเรียน และการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมโดยอาจศึกษาจากตัวอย่างการสร้างต้นกุหลาบดอกสีน้ำเงินจากรูป 6.17 ในหนังสือเรียน จากนั้นครูและนักเรียน

ร่วมกันสรุปความแตกต่างระหว่างการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม การปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมที่ใช้เครื่องหมายโมเลกุลในการคัดเลือก การใช้มิวทาเจน และการสร้าง GMO ซึ่งควรได้ข้อสรุปดังตาราง

	การปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม	การปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม + การใช้เครื่องหมายโมเลกุล	การใช้มิวทาเจน + การใช้เครื่องหมายโมเลกุล	การสร้าง GMO + การใช้เครื่องหมายโมเลกุล
ระยะเวลา	ใช้ระยะเวลานานเนื่องจาก - ต้องรอให้สิ่งมีชีวิตแต่ละรุ่นเจริญเติบโตและแสดงลักษณะที่ต้องการก่อนจะนำไปผสมรุ่นต่อไป - ต้องผ่านการผสมหลายชั่วรุ่นจึงจะได้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะตามที่ต้องการทั้งลักษณะเดิมของพันธุ์ที่ปลูกเพื่อการค้าและลักษณะที่ต้องการปรับปรุง	ใช้ระยะเวลาน้อยลงเนื่องจากสามารถตรวจสอบได้จาก DNA โดยตรง ไม่ต้องตรวจสอบลักษณะที่ต้องการในทุกรุ่น แต่ยังคงต้องผ่านการผสมหลายชั่วรุ่นเพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะตามที่ต้องการทั้งลักษณะเดิมของพันธุ์ที่ปลูกเพื่อการค้าและลักษณะที่ต้องการปรับปรุง	ใช้เวลาน้อย สามารถได้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ต้องการภายใน 2-3 รุ่น	ใช้เวลาน้อย สามารถได้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ต้องการภายใน 2-3 รุ่น
ลักษณะที่ต้องการ	ต้องเป็นลักษณะที่พบในสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกัน นั่นคือสามารถผสมกับสิ่งมีชีวิตที่ต้องการได้	ต้องเป็นลักษณะที่พบในสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกัน นั่นคือสามารถผสมกับสิ่งมีชีวิตที่ต้องการได้	มักเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม	เป็นลักษณะที่พบในสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันหรือต่างสปีชีส์ก็ได้

ครูยกตัวอย่างการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเพื่อการใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม เช่น การใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเนยแข็งหรือชีส จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อยกตัวอย่างการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมในอุตสาหกรรม และสรุปร่วมกันว่าการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมได้เช่นเดียวกัน โดยอาจเป็นการสร้างสารที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต จากนั้นครูอาจยกตัวอย่างเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แบคทีเรียดัดแปรพันธุกรรมเพื่อย่อยน้ำมันที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ย่อยขยะที่เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก การใช้ยีสต์ดัดแปรพันธุกรรมเพื่อเปลี่ยนโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำหรือดินให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งยังอยู่ในขั้นตอนการศึกษา

6.3.3 ด้านนิติวิทยาศาสตร์

ครูนำภาพข่าวการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอหรือการใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอเป็นหลักฐานประกอบการพิจารณาคดี เช่น การพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือด การพิสูจน์ผู้ต้องสงสัยในคดีฆาตกรรม หรือ การตรวจพิสูจน์เพื่อระบุตัวตนผู้เสียชีวิตจากภัยพิบัติ

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการนำองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้ประโยชน์ในเชิงกฎหมาย โดยเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอเป็นอีกหนึ่งในองค์ความรู้ที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัตถุพยานทางชีววิทยา เช่น การตรวจเส้นผม คราบอสุจิ คราบเลือด ซึ่งในการพิสูจน์บางอย่างอาจไม่สามารถใช้เพียงข้อมูลทาง DNA พิสูจน์ได้โดยสิ้นเชิง อาจต้องใช้หลักฐานอื่นๆ ประกอบด้วย จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อตอบคำถามชวนคิดในหนังสือเรียน



บทความ



บทความ



ชวนคิด



น้ำลาย อสุจิ เส้นผม เส้นขน และเล็บสามารถนำมาเป็นวัตถุพยานทางชีววิทยา เพื่อใช้ในการระบุบุคคลได้หรือไม่



ได้ทั้งหมด โดยในน้ำลายมีเซลล์ที่หลุดออกมาจากเนื้อเยื่อในบริเวณช่องปากซึ่งสามารถนำมาสกัดหา DNA ได้ ในส่วนของอสุจินั้นสามารถสกัด DNA ได้จากนิวเคลียส ในส่วนของเส้นผมและเส้นขนนั้นสามารถตรวจหา DNA ได้จากเซลล์ราก นอกจากนี้ในส่วนของเส้นผมหรือเส้นขนที่ไม่มีเซลล์รากก็สามารถสกัด DNA ได้เช่นกัน แต่ DNA ในบริเวณดังกล่าวจะมีปริมาณน้อย และแตกหักไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกับในส่วนของเล็บ

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล STR ซึ่งครูอาจอธิบายเพิ่มโดยใช้รูป 6.19 ในหนังสือเรียน และตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

? ระบุลำดับเบสในแต่ละซ้ำของ STR และจำนวนซ้ำของ STR ในบุคคลหนึ่งจากข้อมูลต่อไปนี้ลงในตารางด้านล่าง



โครโมโซม	ลำดับเบสในแต่ละซ้ำของ STR	จำนวนซ้ำของ STR	
		แอลลีลที่ 1	แอลลีลที่ 2
คู่ที่ 1	GGA	6	11
คู่ที่ 2	ACGCT	6	6

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการวิเคราะห์ STR จากในหนังสือเรียน โดยครูอาจอธิบายเพิ่มโดยใช้รูป 6.20 ในหนังสือเรียน เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า STR คือบริเวณที่มีการซ้ำกันของลำดับเบสสั้น ๆ ต่อเนื่องกัน พบกระจายทั่วไปในจีโนมของสิ่งมีชีวิต การวิเคราะห์ STR คือการตรวจหาจำนวนซ้ำของ STR ในแต่ละตำแหน่ง ซึ่ง STR ในตำแหน่งเดียวกันจะมีความยาวต่างกันในแต่ละแอลลีล เมื่อทำ PCR เพื่อตรวจสอบ STR ในหลาย ๆ ตำแหน่งจะทำให้เกิดเป็นรูปแบบเฉพาะบุคคล เรียกว่า ลายพิมพ์ดีเอ็นเอ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้ แล้วให้นักเรียนศึกษาตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากหนังสือเรียน โดยครูอาจให้นักเรียนอภิปรายถึงเหตุผลหรือความจำเป็นของการใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอตามตัวอย่างในหนังสือเรียน ซึ่งควรได้ข้อสรุปดังนี้

- **ใช้ระบุตัวบุคคล** เนื่องจากแต่ละบุคคลจะมีรูปแบบของลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการระบุตัวตนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุที่ยากต่อการระบุตัวตนด้วยวิธีอื่น เช่น เครื่องบินตกหรือไฟไหม้ หรือการระบุผู้กระทำความผิดในคดีฆาตกรรมโดยอาศัยการตรวจวัดอุทยานทางชีววิทยา เช่น เส้นผม คราบอสุจิ คราบเลือด การใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอจะทำให้ระบุตัวบุคคลได้ถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น
- **ใช้ระบุตัวตนของสิ่งมีชีวิต** เนื่องจากสัตว์แต่ละตัวจะมีรูปแบบของลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่แตกต่างกันออกไปเช่นเดียวกับมนุษย์ ดังนั้นในการระบุตัวสัตว์ที่แต่เดิมใช้การดูจากลักษณะภายนอกหรือตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงและยากต่อการสังเกต การใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอจะทำให้สามารถระบุตัวสัตว์ได้อย่างถูกต้อง จึงใช้ในการขึ้นทะเบียนสัตว์เพื่อป้องกันการสวมสิทธิ์โดยสัตว์ชนิดเดียวกันจากแหล่งอื่น ๆ ที่ไม่ถูกกฎหมายได้ เช่น ป้องกันการนำช้างป่าหรือช้างที่นำมาจากแหล่งอื่นมาสวมสิทธิ์ว่าเป็นช้างบ้านซึ่งขึ้นทะเบียนถูกต้องตามกฎหมาย

- **ใช้ตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือด** เนื่องจากมนุษย์ได้รับ DNA มาจากพ่อและแม่อย่างละครึ่งผ่านการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ จึงมีรูปแบบของลายพิมพ์ดีเอ็นเอ ครึ่งหนึ่งเหมือนพ่อ และอีกครึ่งหนึ่งเหมือนแม่ ดังนั้นในการตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือดของพ่อแม่กับลูก รวมทั้งความสัมพันธ์ในหมู่เครือญาติซึ่งยากต่อการหาหลักฐาน การใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอจะช่วยให้การพิจารณารวมถึงช่วยยืนยันความสัมพันธ์ดังกล่าวได้
- **ใช้จำแนกสิ่งมีชีวิตในระดับประชากร** เนื่องจากประชากรคือสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน อยู่ในบริเวณเดียวกันในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง สามารถผสมพันธุ์กันได้ ในแต่ละประชากรจึงอาจมีรูปแบบของลายพิมพ์ดีเอ็นเอ หรือแอลลีลที่เป็นลักษณะเฉพาะ ดังนั้นในการระบุเชื้อชาติของมนุษย์จากชิ้นส่วนร่างกายซึ่งไม่ทราบที่มาหรือจากวัตถุพยานทางชีววิทยา หรือการระบุถิ่นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตจากชิ้นส่วนของสิ่งมีชีวิต เช่น ไข่ การใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอจะทำให้สามารถคาดเดาเชื้อชาติจากวัตถุพยานทางชีววิทยาเพื่อใช้ในการตัดสินใจคดี หรือคาดเดาถิ่นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตเพื่อป้องกันการลักลอบนำเข้าชิ้นส่วนสิ่งมีชีวิตอย่างผิดกฎหมายได้
- **ใช้ในการระบุสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิต** เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีลักษณะที่จำเพาะซึ่งเกิดจากลำดับนิวคลีโอไทด์ที่จำเพาะต่อลักษณะนั้น จึงมีรูปแบบของลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่เป็นลักษณะเฉพาะของสิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์ด้วย ทำให้ระบุได้ว่าหลักฐานชิ้นเนื้อเยื่อหรือชิ้นส่วนที่พบเป็นของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของอาหารว่ามีส่วนประกอบหรือมีการปนเปื้อนของสิ่งมีชีวิตในอาหารที่ขัดกับหลักความเชื่อทางศาสนาหรือไม่ เช่น เนื้อหมูในอาหารฮาลาล หรือการปนเปื้อนของสิ่งมีชีวิตที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เช่น เนื้อปลาปักเป้าในลูกชิ้นปลา ซึ่งยากต่อการตรวจสอบจากลักษณะของอาหาร

จากนั้นครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้นักเรียนว่าในการตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือดสามารถใช้ DNA ในไมโทคอนเดรียหาความสัมพันธ์ของพี่น้องร่วมมารดา หรือญาติที่ร่วมสายมารดา เนื่องจากในการปฏิสนธิ ลูกจะได้รับเฉพาะนิวเคลียสจากสเปิร์ม แต่จะได้ทั้งนิวเคลียสและไซโทพลาซึมจากเซลล์ไข่ ลูกจึงได้รับสารพันธุกรรมในไมโทคอนเดรียซึ่งอยู่ในไซโทพลาซึมจากเซลล์ไข่ของแม่ด้วย จึงสามารถใช้การตรวจสอบ DNA ในไมโทคอนเดรียเพื่อหาความสัมพันธ์ของพี่น้องร่วมมารดา หรือญาติที่ร่วมสายมารดาได้

นอกจากนี้ ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลหรือยกตัวอย่างกรณีคดีที่เคยได้ยินมาซึ่งนักเรียนคิดว่าสามารถใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์ STR ได้ พร้อมทั้งบอกแนวทางในการใช้ประโยชน์ เช่น

- คดีฆ่าหั่นศพใตู่แข่งซึ่งจากการตรวจสอบทาง DNA เบื้องต้นสามารถระบุได้ว่าเป็นชายชาวยุโรป
- คดีพิสูจน์ที่มาของงาช้างหรือซากลูกเสือ หรือการระบุชิ้นส่วนสัตว์ที่นำมาขายว่าเป็นสัตว์สงวนหรือไม่
- คดีพิสูจน์ความเป็นพ่อแม่ลูก

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะในหนังสือเรียนเรื่อง การตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือดด้วยการวิเคราะห์ STR



กิจกรรมเสนอแนะ การตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือดด้วยการวิเคราะห์ STR

จุดประสงค์

1. อธิบายหลักการวิเคราะห์ STR
2. วิเคราะห์ลายพิมพ์ดีเอ็นเอในการพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือด

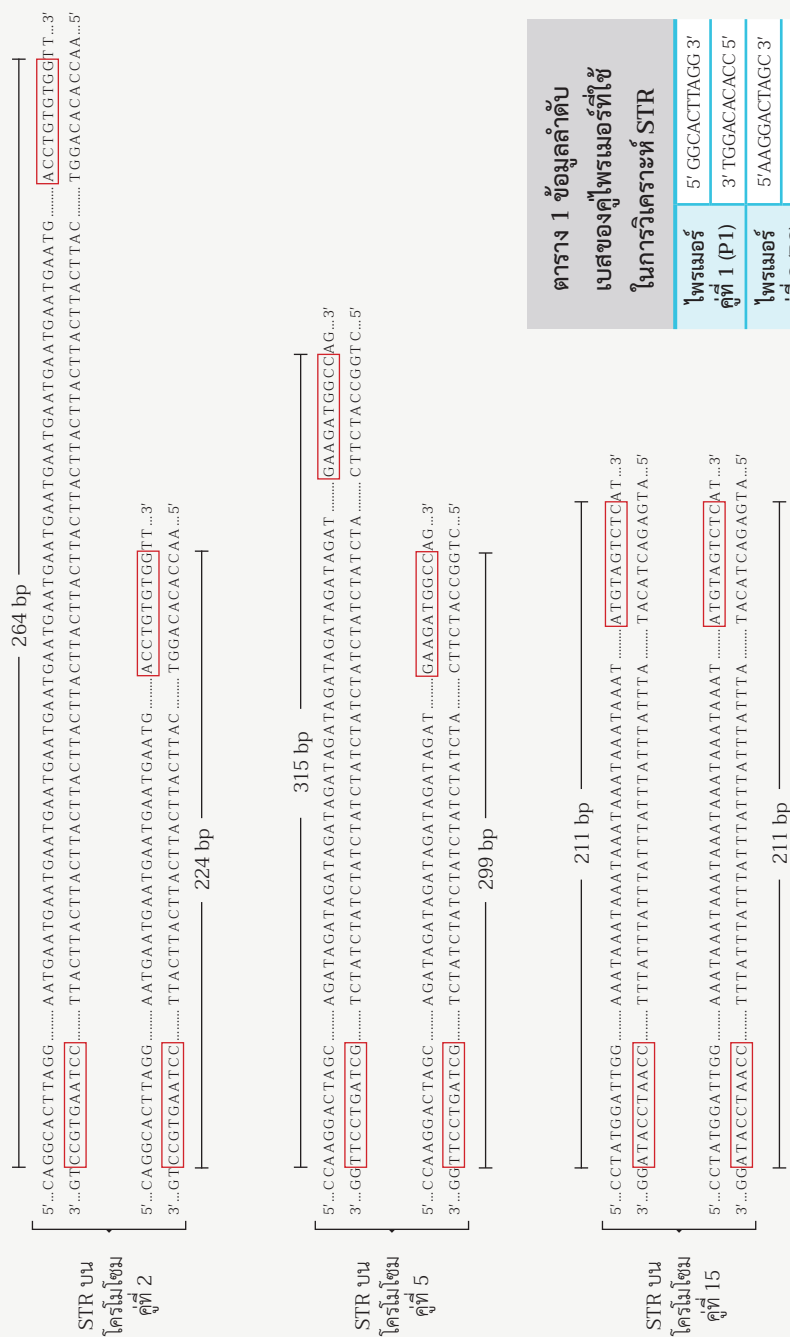
เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

60 นาที

ตอนที่ 1

แนวการจัดกิจกรรม

1. ให้นักเรียนศึกษาข้อมูลลำดับเบสบนโครโมโซม 3 คู่ ของเด็กคนหนึ่ง ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ STR ในรูป 1 และข้อมูลลำดับเบสของคู่ไพรเมอร์ 3 คู่ที่นำมาใช้ทำ PCR เพื่อวิเคราะห์ STR ในตาราง 1 จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม โดย
 1. ววงรอบบริเวณลำดับเบสในตำแหน่งที่ไพรเมอร์มาจับบน DNA สายเดี่ยวแต่ละสายบนแท่งโครโมโซม
 2. หาลำดับเบสในแต่ละซ้ำของ STR จำนวนซ้ำของ STR และขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำ PCR โดยใช้ไพรเมอร์แต่ละคู่ และบันทึกผลในใบบันทึกผล



รูป 1 ข้อมูลลำดับเบสบนโครโมโซม 3 คู่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ STR ของเด็กคนหนึ่ง

ตาราง 1 ข้อมูลลำดับเบสของคู่ไพรเมอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ STR

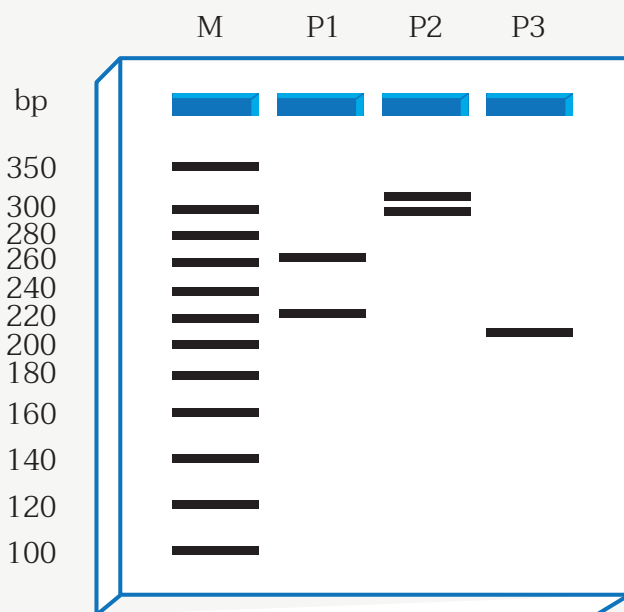
ไพรเมอร์ คู่ที่ 1 (P1)	5' GGCACTTAGG 3' 3' TCGACACACC 5'
ไพรเมอร์ คู่ที่ 2 (P2)	5' AAGGACTAGC 3' 3' CTCTTACCG 5'
ไพรเมอร์ คู่ที่ 3 (P3)	5' TATGATTGG 3' 3' TACATCAGAG 5'

ใบบันทึกผล

ตารางบันทึกลำดับเบสในแต่ละซ้ำของ STR จำนวนซ้ำของ STR และขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำ PCR โดยใช้ไพรเมอร์แต่ละคู่

คู่ไพรเมอร์	ลำดับเบสในแต่ละซ้ำของ STR	จำนวนซ้ำของ STR		ขนาดของผลิตภัณฑ์ (bp)	
		แอลลีลที่ 1	แอลลีลที่ 2	แอลลีลที่ 1	แอลลีลที่ 2
P1	AATG	16	6	264	224
P2	AGAT	10	6	315	299
P3	AAAT	7	7	211	211

2. ให้นักเรียนนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาทำแผนภาพลายพิมพ์ดีเอ็นเอในใบบันทึกผลซึ่งจะได้คำตอบ ดังนี้



ลายพิมพ์ดีเอ็นเอจากการวิเคราะห์ STR

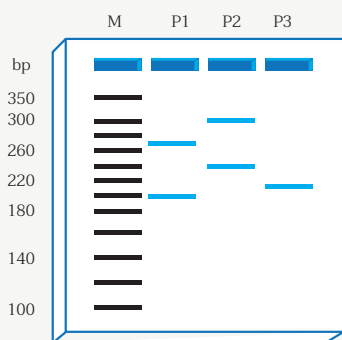
ตอนที่ 2

แนวการจัดกิจกรรม

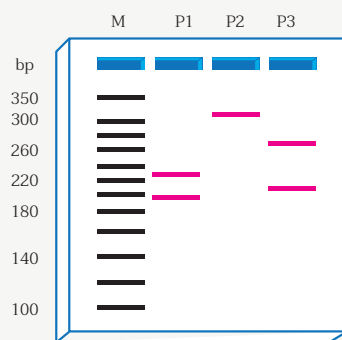
ให้นักเรียนเปรียบเทียบผลลายพิมพ์ดีเอ็นเอของบุคคลที่กล่าวอ้างเป็นพ่อแม่ของเด็กกับลายพิมพ์ดีเอ็นเอของเด็กที่นักเรียนได้จากการทำกิจกรรมตอนที่ 1 เพื่อหาพ่อและแม่ที่แท้จริง และตอบคำถามท้ายกิจกรรม

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? จากการวิเคราะห์บุคคล 4 คน บุคคลใดบ้างที่มีโอกาสเป็นพ่อแม่ของเด็ก เพราะเหตุใด
✎ มีเพียงบุคคลที่ 1 และบุคคลที่ 3 ที่เป็นพ่อและแม่ของเด็ก เนื่องจากทารกมีข้อมูลลายพิมพ์ดีเอ็นเอ ครึ่งหนึ่งเหมือนกับบุคคลที่ 1 และอีกครึ่งหนึ่งเหมือนกับบุคคลที่ 3 ดังภาพด้านล่าง



บุคคลที่ 1



บุคคลที่ 3



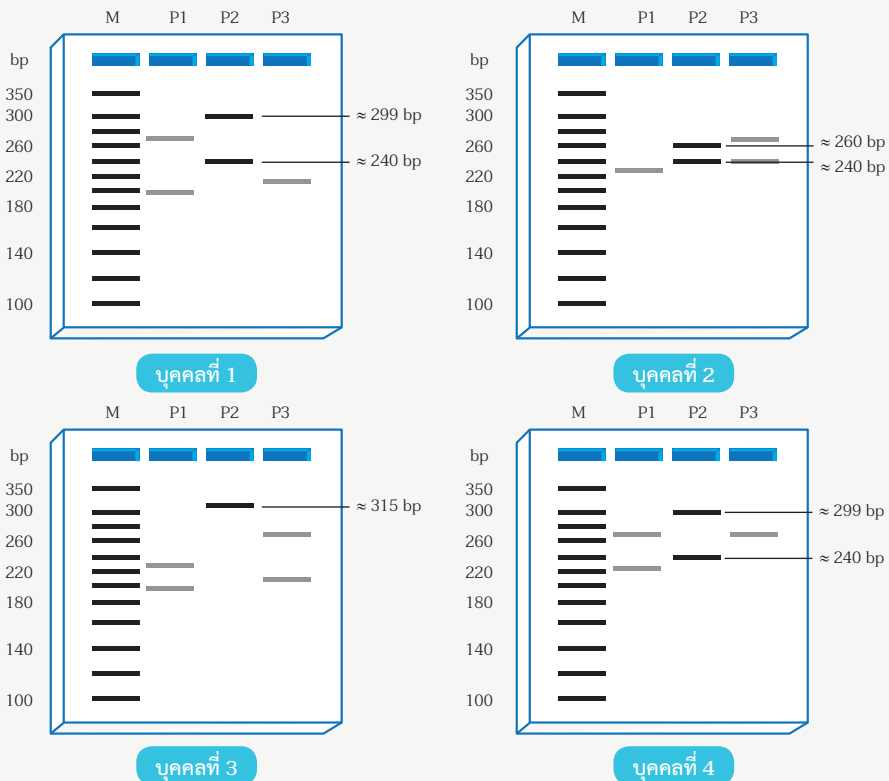
เด็กจากตอนที่ 1

รูปแสดงผลการเปรียบเทียบลายพิมพ์ดีเอ็นเอของบุคคลที่ 1 และบุคคลที่ 3 กับเด็ก

? จากการวิเคราะห์บุคคล 4 คน ตำแหน่ง STR ซึ่งวิเคราะห์โดยไพรเมอร์คู่ที่ 2 มีจำนวนแอลลีลทั้งหมดเท่าใด

✎ ไพรเมอร์คู่ที่ 2 ใช้วิเคราะห์ STR มีจำนวนแอลลีล 4 แอลลีล

แนวความคิด เมื่อพิจารณาลายพิมพ์ดีเอ็นเอในรูป 2 จากกิจกรรมในหนังสือเรียนจะพบว่า ผลจากการใช้ไพรเมอร์คู่ที่ 2 ของบุคคลทั้ง 4 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดต่างกัน 4 ขนาด ดังรูปด้านล่าง



รูปแสดงผลิตภัณฑ์ขนาดต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ STR โดยไพรเมอร์คู่ที่ 2 ของบุคคลที่ 1-4

ส่วนไพรเมอร์คู่ที่ 1 และ 3 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดต่างกัน 3 ขนาด

- ?** ถ้าวิเคราะห์ STR โดยใช้ไพรเมอร์คู่ที่ 1 และ 2 ข้อมูลที่ได้จะสามารถระบุบุคคลที่เป็นพ่อและแม่ของเด็กได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
-  ไม่ได้ เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากข้อมูลของไพรเมอร์คู่ที่ 1 และ 2 จะพบว่ามีบุคคล 3 คน ที่มีโอกาสเป็นพ่อและแม่ของเด็ก คือ บุคคลที่ 1 บุคคลที่ 3 และบุคคลที่ 4

นอกจากนี้ครูอาจขยายความรู้ให้นักเรียนโดยตั้งคำถามว่า **เพราะเหตุใดประเทศไทยใช้การวิเคราะห์ STR 16 ตำแหน่ง และสหรัฐอเมริกาใช้การวิเคราะห์ STR 20 ตำแหน่ง** ซึ่งนักเรียนควรตอบได้ว่าเนื่องจากจำนวนประชากรที่แตกต่างกัน โดยประเทศสหรัฐอเมริกามีประชากรมากกว่าประเทศไทย (จากข้อมูลปี พ.ศ. 2559 ประเทศสหรัฐอเมริกามีประชากรประมาณ 324 ล้านคน ประเทศไทยมีประชากรประมาณ 66 ล้านคน) ซึ่งในประชากรกลุ่มใหญ่จะมีโอกาสในการพบรูปแบบลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่เหมือนกัน จึงต้องใช้การวิเคราะห์ที่มีตำแหน่งมากขึ้นเพื่อให้เกิดรูปแบบที่มีความจำเพาะต่อบุคคลมากขึ้น และมีโอกาสที่จะมีความซ้ำซ้อนกันระหว่างบุคคลน้อยลง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมาใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการแพทย์ การเกษตรและอุตสาหกรรม และด้านนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์มากมาย อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอยังถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่และมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จึงควรมีการศึกษาข้อมูลความก้าวหน้า ข้อจำกัดและข้อควรระวัง รวมถึงผลกระทบในด้านต่าง ๆ จากการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอด้วยเช่นกัน

6.4 เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอกับความปลอดภัยทางชีวภาพและชีวจริยธรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับความปลอดภัยทางชีวภาพ และชีวจริยธรรมในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำนักเรียนเข้าสู่บทเรียนโดยใช้ภาพข่าวหรือภาพยนตร์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความกังวลของคนในสังคมต่อการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ เช่น ภาพยนตร์ที่กล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการพยากรณ์ลักษณะหรือความเสี่ยงของการเกิดโรคต่าง ๆ จากจีโนมของแต่ละบุคคล เพื่อนำมาตัดสินชนชั้นและโอกาสในการทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความกังวลเกี่ยวกับความเหลื่อมล้ำของมนุษย์จากการแบ่งชนชั้นโดยใช้ข้อมูล DNA ข่าวการบุกทำลายแปลงทดลองมะละกอตัดแปรพันธุกรรม

ครูชี้แจงนักเรียนเกี่ยวกับความปลอดภัยทางชีวภาพ ชีวจริยธรรม และมุมมองทางสังคมซึ่งนักเรียนควรตระหนักถึงจากการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ โดยอาจยกตัวอย่างข้อควรคำนึงเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในการสร้าง GMO รวมทั้งแนวทางในการป้องกันและแก้ไขผลกระทบด้านต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากหนังสือเรียน จากนั้นครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอในหนังสือเรียน



กิจกรรมเสนอแนะ ประโยชน์และข้อควรคำนึงถึงในการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอภิปรายแนวทางในการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมาใช้ประโยชน์ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยทางชีวภาพ ชีวจริยธรรม และผลกระทบต่อสังคม
2. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอธิบายความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูล

แนวการจัดกิจกรรม

ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มและเลือกตัวอย่างเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอที่ถูกนำมาใช้จริงเพื่อสืบค้นข้อมูลและอภิปรายในด้านต่าง ๆ ทั้งในแง่ของประโยชน์ ความปลอดภัยทางชีวภาพ ชีวจริยธรรม และผลกระทบต่อสังคม รวมทั้งแนวทางป้องกันและแก้ไขเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นตามข้อกังวลเหล่านั้น และให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้นและอภิปรายของแต่ละกลุ่มในรูปแบบต่าง ๆ เช่น นำเสนอหน้าชั้นเรียน จัดทำแผ่นพับ เขียนบทความลง blog ในอินเทอร์เน็ต

ตัวอย่างประเด็นข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

- อาจมีการรั่วไหลของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมในระบบนิเวศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในระบบนิเวศ หรือทำให้สิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในธรรมชาติสูญพันธุ์และถูกแทนที่โดยสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
- อาจมีการถ่ายยีนจากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้วัชพืชหรือพืชอื่น ๆ ในธรรมชาติมียืนต้านทานโรคหรือยืนต้านทานยาปราบศัตรูพืช หรือทำให้สิ่งมีชีวิตในธรรมชาติมีความเร็วในการเติบโตหรือใช้อาหารมากกว่าเดิม หรือเกิดเชื้อโรคสายพันธุ์ใหม่ ๆ ที่ดื้อยาปฏิชีวนะ เนื่องจากการใช้ยีนต้านทานยาปฏิชีวนะเป็นเครื่องหมายในการคัดเลือกในการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
- อาจเกิดการเปิดเผยหรือรั่วไหลของข้อมูลทางพันธุกรรมซึ่งเป็นความลับส่วนบุคคล และอาจทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำและการละเมิดสิทธิส่วนบุคคลของเจ้าของข้อมูล เช่น สิทธิในการทำประกันสุขภาพ สิทธิในการเข้าทำงาน จากการใช้ข้อมูลทางพันธุกรรมเป็นเงื่อนไขในการเข้าถึงสิทธิดังกล่าว
- อาจเกิดการกระทำที่ไม่ถูกต้องตามหลักจริยธรรมในการคัดเลือกตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิต

- อาจทำให้ผู้เป็นมารดาเกิดความวิตกกังวลจนส่งผลต่อสุขภาพในกรณีที่ตรวจพบว่าตัวอ่อนในครรภ์เป็นโรคทางพันธุกรรม นอกจากนี้ยังอาจส่งผลต่อการตัดสินใจยุติการตั้งครรภ์ ซึ่งอาจขัดต่อจริยธรรมและผิดกฎหมายในบางประเทศ

ตัวอย่างแนวทางในการป้องกันและแก้ไขข้อกังวล เช่น

- การจัดทำระบบป้องกันอันตรายทางชีวภาพ ที่มีการระบุถึงข้อพึงปฏิบัติและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในขณะที่ปฏิบัติงาน
- การจัดทำระบบป้องกันสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมไม่ให้มีการรั่วไหลหรือปนเปื้อนสู่ระบบนิเวศ ทั้งจากการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ การเกษตร รวมถึงการนำมาใช้ในด้านอื่นๆ
- เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองหรือการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมจะต้องถูกทำลายให้สูญเสียความสามารถในการดำรงชีวิตและสืบพันธุ์ด้วยวิธีที่เหมาะสม
- การจำหน่ายสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเพื่อเป็นอาหารและการใช้ในกระบวนการผลิตต้องมีฉลากระบุข้อมูลชัดเจนและเพียงพอต่อผู้บริโภค
- จัดทำระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลทางพันธุกรรม การปกปิดข้อมูลทางพันธุกรรมซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุตัวตนของผู้ที่เป็นเจ้าของข้อมูล รวมถึงการจำกัดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลทางพันธุกรรมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเข้าถึงหรือการใช้ประโยชน์ของข้อมูลจากผู้ที่ไม่ใช่เจ้าของข้อมูลหรือผู้ที่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของข้อมูล
- จัดทำระบบป้องกันการกระทำที่ไม่ถูกต้องตามหลักจริยธรรมในการทำการทดลองกับสิ่งมีชีวิต รวมถึงขั้นตอนปฏิบัติในการทดลองกับสิ่งมีชีวิตหรือตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิต

จากการสืบค้นและการอภิปราย ครูควรบันทึกสรุปผลการอภิปรายและแยกประเด็น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสำคัญและภาพรวมของหัวข้อนี้ ซึ่งการสรุปผลและการอภิปรายของนักเรียนอาจมีความคิดเห็นที่หลากหลาย ครูควรให้อิสระแก่นักเรียนในการแสดงความคิดเห็น โดยเน้นย้ำให้นักเรียนหาข้อมูลหรือหลักฐานทางวิชาการมาสนับสนุนข้อคิดเห็นของตนอย่างมีเหตุผล และตอบคำถามท้ายกิจกรรม

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? นักเรียนคิดว่าเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมีประโยชน์และความจำเป็นต่อมนุษย์หรือไม่ เพราะเหตุใด

 คำตอบอาจมีได้หลากหลาย นักเรียนอาจตอบว่ามีประโยชน์หรือไม่มีประโยชน์ก็ได้ มีความจำเป็นหรือไม่จำเป็นก็ได้ ให้พิจารณาจากเหตุผลที่นักเรียนใช้ประกอบคำอธิบาย รวมทั้งข้อมูลหรือหลักฐานทางวิชาการที่ใช้สนับสนุนข้อคิดเห็นของตนอย่างมีเหตุผล

? ยกตัวอย่างแนวทางป้องกันและแก้ไขเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอที่นักเรียนคิดว่าน่าสนใจและเป็นประโยชน์

 คำตอบมีได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และผลการสืบค้นของนักเรียน ให้พิจารณาจากเหตุผลที่นักเรียนใช้ประกอบคำอธิบาย รวมทั้งข้อมูลหรือหลักฐานทางวิชาการที่ใช้สนับสนุนข้อคิดเห็นของตนอย่างมีเหตุผล

ครูตั้งคำถามเพื่อให้ นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า จากภาพข่าวหรือภาพยนตร์ที่ครูนำมาใช้ในชั้นนำนักเรียนคิดว่าข้อกังวลดังกล่าวสามารถเป็นจริงได้หรือไม่ ข้อมูลที่สื่อเหล่านั้นนำเสนอ น่าเชื่อถือเพียงใด และมีแนวทางในการป้องกันหรือแก้ไขข้อกังวลเหล่านั้นอย่างไร ซึ่งคำตอบอาจมีได้หลากหลายขึ้นอยู่กับความรู้ที่นักเรียนได้จากการสืบค้นข้อมูลในกิจกรรมเสนอแนะ รวมถึงมุมมองของนักเรียน เช่น น่าเชื่อถือเนื่องจากน่าจะมีนักวิทยาศาสตร์ช่วยเป็นที่ปรึกษา หรือไม่น่าเชื่อถือเนื่องจากสื่อภาพยนตร์มักจะมีการเสริมสร้างสถานการณ์ให้เกินจริงเพื่อความสนุกของภาพยนตร์

ครูควรชี้แจงให้นักเรียนตระหนักถึงความสำคัญของการหาข้อมูลหรือหลักฐานทางวิชาการในการใช้ประกอบข้อคิดเห็นต่าง ๆ โดยแสดงให้เห็นให้นักเรียนเห็นว่าข้อมูลที่นักเรียนได้จากการสืบค้นนั้น อาจมีทั้งข้อมูลที่เป็นจริง ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจากความจริง และข้อมูลที่เกินความจริง รวมทั้งความน่าเชื่อถือของแหล่งที่มาของข้อมูล โดยครูอาจยกตัวอย่างข้อมูลให้นักเรียนพิจารณาว่ามาจากแหล่งที่มาที่น่าเชื่อถือหรือไม่ เพื่อเน้นย้ำให้เห็นถึงความสำคัญในการหาและคัดกรองข้อมูลที่จะใช้สนับสนุนหรือคัดค้านข้อคิดเห็นต่าง ๆ

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอกับความปลอดภัยทางชีวภาพ และมุมมองทางสังคมและชีวจริยธรรม เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องตลอดเวลา สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ซึ่งควรจะเป็นไปโดยระมัดระวัง คำนึงถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในด้านต่าง ๆ และชีวจริยธรรม เช่น ความปลอดภัยต่อชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ การป้องกันการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ การปฏิบัติต่อสิ่งมีชีวิตอย่างมีคุณธรรม โดยไม่ทำร้ายหรือทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ครูเน้นย้ำให้นักเรียนตระหนักถึงความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชีวิตของตัวนักเรียนเอง และความสำคัญในการพิจารณาข้อมูลข่าวสารจากทั้งฝ่ายสนับสนุนและฝ่ายคัดค้าน ซึ่งอาจมีทั้งข้อมูลที่เป็นจริง ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจากความจริง และข้อมูลที่เกินความจริง นอกจากนี้ยังมีทั้งข้อมูลที่มาจากแหล่งที่น่าเชื่อถือและไม่น่าเชื่อถือ ทั้งนี้ทุกคนควรรู้ถึงความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และมีสิทธิ์ในการตัดสินใจที่จะสนับสนุนหรือคัดค้าน รวมถึงสิทธิ์ในการใช้หรือไม่ใช้เทคโนโลยีหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากเทคโนโลยีดังกล่าว ซึ่งควรสืบค้นข้อมูลให้รอบด้านและอาศัยข้อมูลที่น่าเชื่อถือในการตัดสินใจสนับสนุนหรือคัดค้านไม่ว่าจะเป็นฝ่ายใดก็ตาม นอกจากนี้ทุกคนมีสิทธิ์ที่จะตัดสินใจ จึงควรรับฟังและยอมรับในความเห็นของทุกฝ่าย แม้ว่าจะเป็นความคิดเห็นที่แตกต่างจากตนเองก็ตาม

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- การนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอไปประยุกต์ทั้งในด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม และนิติวิทยาศาสตร์ และข้อควรคำนึงถึงด้านชีวจริยธรรม จากการตอบคำถาม ตรวจสอบความเข้าใจ การอภิปราย และการทำแบบฝึกหัด

ด้านทักษะ

- การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูล จากการตอบคำถาม และการอภิปราย
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสืบค้นข้อมูล การตอบคำถาม และการอภิปราย

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

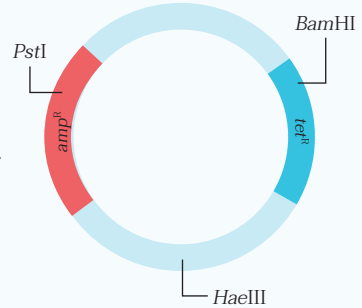
- การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง การยอมรับความเห็นต่าง ความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ และคุณธรรมและจริยธรรม ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ จากการสืบค้นข้อมูล การตอบคำถาม การอภิปราย และการมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน โดยประเมินตามสภาพจริงระหว่างเรียน



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6

1. จงใส่เครื่องหมายถูก(✓)หน้าข้อความที่ถูกต้องใส่เครื่องหมายผิด(×)หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง
 -✓ 1.1 เอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดตัดสาย DNA ได้เป็นปลายหูกหรือปลายเหนียว อย่างใดอย่างหนึ่ง
 -✓ 1.2 เมื่อตัดสาย DNA ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดหนึ่งได้ปลายหูก และตัดพลาสมิดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะอีกชนิดหนึ่งได้ปลายหูก จะสามารถต่อขึ้น DNA กับพลาสมิดได้ถึงแม้ถูกตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะต่างชนิดกัน
 -✓ 1.3 ถ้าใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะ *XmaI* ตัดสาย DNA และใช้ *XcyI* ตัดพลาสมิด จะสามารถต่อขึ้น DNA กับพลาสมิดได้
 -× 1.4 โมเลกุล DNA มีประจุรวมเป็นบวก
แก้ไขเป็น ลบ
แนวความคิด DNA มีประจุรวมเป็นลบเนื่องจากหมู่ฟอสเฟตในโครงสร้างของนิวคลีโอไทด์
 -✓ 1.5 เมื่ออยู่ในอะกาโรสเจลเดียวกัน โมเลกุล DNA สายตรงขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าได้เร็วกว่าโมเลกุล DNA สายตรงขนาดใหญ่
 -✓ 1.6 อะกาโรสเจลที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะทำให้ขนาดช่องว่างภายในอะกาโรสเจลเล็กลง จึงมีผลต่อการเคลื่อนที่ของชิ้น DNA
 -× 1.7 ชิ้น DNA ขนาดเท่ากันจะเคลื่อนที่ในอะกาโรสเจลที่มีความเข้มข้นสูงได้เร็วกว่าในอะกาโรสเจลที่มีความเข้มข้นต่ำ
แก้ไขเป็น ช้ากว่า

2. จากภาพแสดงพลาสมิดที่มียีนต้านยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน (amp^R) และยีนต้านยาปฏิชีวนะเตตราไซคลิน (tet^R) โดยที่ภายในยีน amp^R มีตำแหน่งตัดจำเพาะของเอนไซม์ $PstI$ และภายในยีน tet^R มีตำแหน่งตัดจำเพาะของเอนไซม์ $BamHI$ ถ้ามีชิ้น DNA แทรกภายในยีนต้านยาปฏิชีวนะใดๆ ตรงตำแหน่งที่เอนไซม์ตัด จะทำให้ยีนนั้นไม่ทำงาน



จงใส่เครื่องหมายถูก (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

- ✓ 2.1 ถ้าตัดพลาสมิดด้วยเอนไซม์ $PstI$ แล้วใส่ DNA ที่ตัดด้วยเอนไซม์ชนิดเดียวกัน แบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดนี้จะเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่เตตราไซคลิน แต่เจริญไม่ได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่แอมพิซิลลิน

แนวความคิด เนื่องจากเอนไซม์ $PstI$ มีตำแหน่งตัดจำเพาะอยู่ภายในยีน amp^R ดังนั้น DNA ที่ถูกตัดด้วยเอนไซม์ $PstI$ จะมีปลายที่เข้ากันได้กับพลาสมิดที่ถูกตัดด้วยเอนไซม์ $PstI$ เหมือนกัน จึงทำให้ชิ้น DNA นั้นสามารถเข้าไปแทรกภายในยีน amp^R ได้ ส่งผลให้ยีน amp^R ไม่ทำงาน แบคทีเรียจึงไม่สามารถต้านทานต่อยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินได้

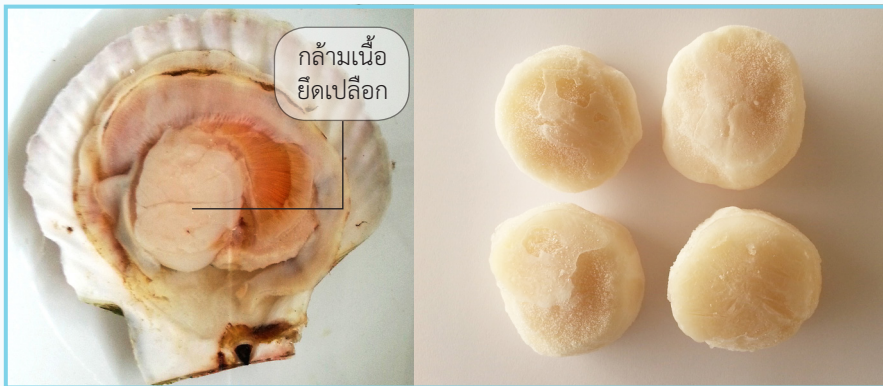
- ✗ 2.2 ถ้าตัดพลาสมิดด้วยเอนไซม์ $HaeIII$ แล้วใส่ DNA ที่ตัดด้วยเอนไซม์ชนิดเดียวกัน แบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดนี้จะเจริญไม่ได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะเตตราไซคลิน

แก้ไขเป็น เจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะเตตราไซคลินและยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน

แนวความคิด ถ้าตัดพลาสมิดด้วยเอนไซม์ $HaeIII$ แล้วใส่ DNA ที่ตัดด้วยเอนไซม์ชนิดเดียวกัน แบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิดนี้จะเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ยาปฏิชีวนะเตตราไซคลินและยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินได้ เนื่องจากเอนไซม์ $HaeIII$ มีตำแหน่งตัดจำเพาะอยู่ภายนอกยีน tet^R และยีน amp^R จึงไม่ส่งผลยับยั้งยาปฏิชีวนะ

.x. 2.3 ถ้าตัดพลาสมิดด้วยเอนไซม์ *HaeIII* และ *PstI* พร้อมกันจะได้ DNA 3 ชิ้น
แก้ไขเป็น 2 ชิ้น

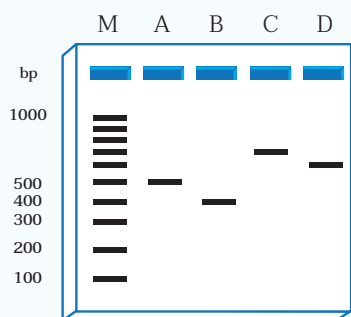
3. หอยเชลล์แช่แข็งส่วนมากที่วางขายตัดมาเฉพาะส่วนกล้ามเนื้อยึดเปลือก



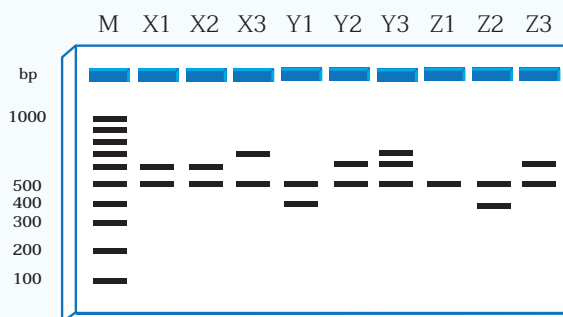
หอยเชลล์แบบมีเปลือก

กล้ามเนื้อยึดเปลือกของหอยเชลล์

หอยเชลล์สปีชีส์ A B C และ D มีกล้ามเนื้อยึดเปลือกที่คล้ายกันมากจนไม่สามารถแยกได้จากลักษณะภายนอก ทำให้บางครั้งมีการนำสปีชีส์ B C และ D ซึ่งราคาถูกกว่ามาขายปนกับสปีชีส์ A ที่มีราคาแพง บริษัทที่ทำธุรกิจนำเข้าและส่งออกอาหารทะเลจึงมีการสุ่มตรวจหอยเชลล์แช่แข็งที่วางขายและติดป้ายบอกว่าเป็นสปีชีส์ A ซึ่งผลิตจาก 3 โรงงาน คือ X Y และ Z โรงงานละ 3 ถุงจากร้านค้าต่างๆ แล้วนำไปวิเคราะห์ DNA โดยใช้เครื่องหมายพันธุกรรมว่ามีการปลอมปนหอยเชลล์หรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับ DNA ที่ทราบขนาด (M) ผลการตรวจหอยเชลล์สปีชีส์ A B C และ D ได้ผลดังแผนภาพที่ 1 และผลการตรวจหอยเชลล์จากโรงงาน X Y และ Z ได้ผลดังแผนภาพที่ 2



แผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 2

3.1 โรงงานใดมีการปลอมปนหอยเชลล์มากสปีชีส์ที่สุด และมีหอยเชลล์ที่ไม่ใช่สปีชีส์ A กี่ชนิด อะไรบ้าง และทราบได้อย่างไร

✎ โรงงาน Y มีการปลอมปนหอยเชลล์มากสปีชีส์ที่สุด และมีหอยเชลล์ที่ไม่ใช่สปีชีส์ A 3 ชนิด คือ สปีชีส์ B C และ D ทราบได้จากขนาดของแถบ DNA ที่ปรากฏซึ่งมีขนาดเท่ากับตัวอย่างของทั้งสปีชีส์ B C และ D ในแผนภาพที่ 1

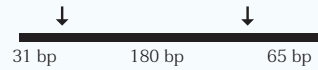
3.2 ถ้านักเรียนทำงานอยู่บริษัทนำเข้าและส่งออกอาหารทะเลและต้องการหาซื้อหอยเชลล์สปีชีส์ A เพื่อส่งขายทั่วโลก จะซื้อหอยเชลล์จากโรงงาน X Y และ Z หรือไม่ เพราะเหตุใด

✎ ไม่ซื้อ เพราะมีการปลอมปนหอยเชลล์แข่งที่ติดฉลากว่าเป็นสปีชีส์ A ด้วยหอยเชลล์สปีชีส์อื่น ๆ ถ้าประเทศที่ส่งไปขายตรวจพบว่าการปลอมปน ก็จะส่งสินค้ากลับและไม่ได้รับความเชื่อถือ

4. โรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ซึ่งเป็นโรคที่ควบคุมโดยแอลลีลด้อยบนออโตโซม เกิดจากลำดับเบส GAG ตำแหน่งหนึ่งในยีน β globin เปลี่ยนเป็น GTG โดย DNA ที่มีลำดับเบส GAG ถูกตัดได้ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ DdeI แต่ DNA ที่ลำดับเบส GTG จะไม่สามารถถูกตัดได้ และการศึกษาการถ่ายทอดโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ของครอบครัวหนึ่งที่มีลูก 3 คน โดยลูกคนที่ 1 เป็นโรค ส่วนลูกคนที่ 2 และ 3 ไม่แสดงอาการของโรค ดังแสดงในพันธุประวัติ และเมื่อใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะ DdeI ตัดชิ้นยีนและนำไปตรวจสอบด้วยเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสได้ผลดังภาพ

กำหนดให้ (↓) เป็นตำแหน่งตัดจำเพาะด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *DdeI*

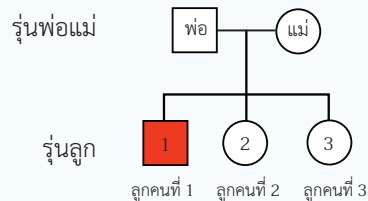
แอลลีลปกติ



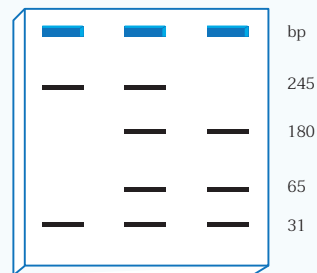
แอลลีलग่อกโรค



พันธุประวัติ



ภาพแสดงผลเจลอิล็กโทรโฟรีซิส



4.1 จากผลการตรวจ DNA ข้างต้น ลูกคนที่ 2 และ 3 มีแอลลีलग่อกโรคหรือไม่

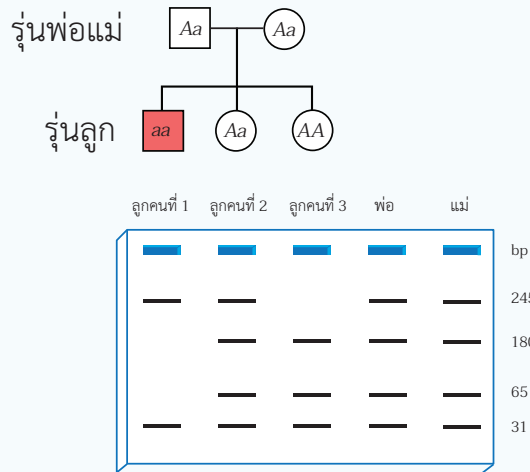
ลูกคนที่ 2 มีทั้งแอลลีลปกติและแอลลีलग่อกโรค จึงเป็นพาหะ
ลูกคนที่ 3 มีเฉพาะแอลลีลปกติ

4.2 พ่อและแม่ไม่เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ ถ้าตรวจ DNA ในยีน *β globin* ของพ่อและแม่ ผลการทำเจลอิล็กโทรโฟรีซิสเป็นอย่างไร จงเขียนแถบ DNA ลงในภาพ และเขียนแอลลีลลงในพันธุประวัติ

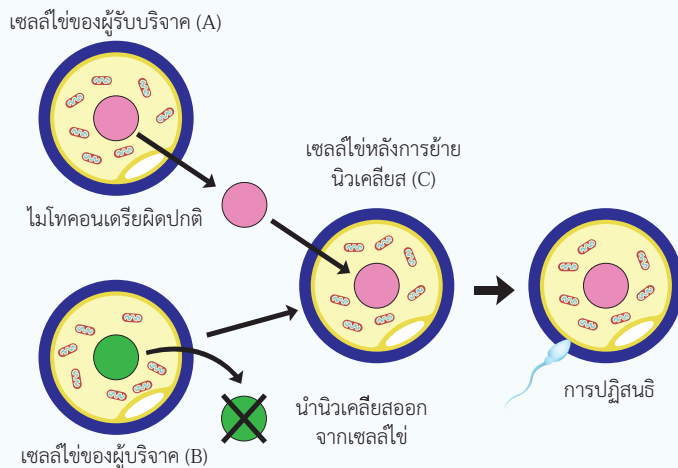
โดยกำหนดให้

- แอลลีล A เป็นแอลลีลปกติ
- แอลลีล a เป็นแอลลีलग่โรค

เมื่อนำ DNA ไปทำเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสได้ขึ้น DNA มีขนาดดังนี้

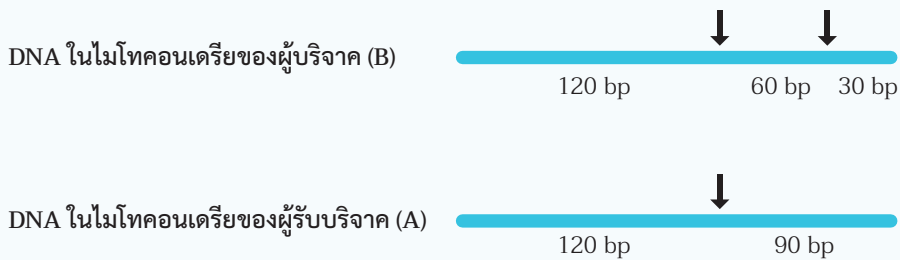


5. การเกิดมิวเทชันในไมโทคอนเดรียเป็นสาเหตุของการเกิดโรคได้ จึงมีการคิดวิธีที่จะทำเด็กหลอดแก้ว สำหรับแม่ที่มีไมโทคอนเดรียผิดปกติ โดยใช้เซลล์ไข่ที่ได้รับจากผู้บริจาคที่มีไมโทคอนเดรียปกติโดยวิธีนี้มีการนำเอานิวเคลียสของเซลล์ไข่จากแม่ที่มีไมโทคอนเดรียผิดปกติออกมาใส่ในเซลล์ไข่ของผู้บริจาคซึ่งได้นำนิวเคลียสออกแล้ว หลังจากนั้นจึงนำอสุจิจากพ่อมาผสม ดังภาพ

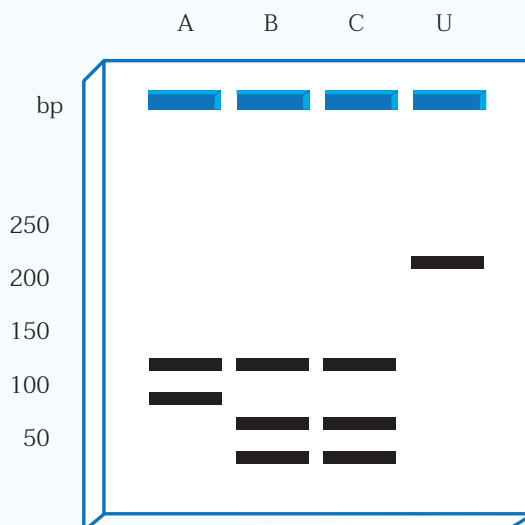


เมื่อนำผลิตภัณฑ์จาก PCR ของยีนไมโทคอนเดรียของเซลล์จากผู้รับบริจาค (A) และเซลล์จากผู้บริจาค (B) มาตัดด้วยเอนไซม์ *Hae*III

กำหนดให้ (↓) เป็นตำแหน่งตัดจำเพาะด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Hae*III



แถบ DNA ของยีนบนไมโทคอนเดรียที่ตรวจสอบได้จากการตัดด้วยเอนไซม์ *Hae*III ของเซลล์ของผู้รับบริจาค (A) เซลล์ของผู้บริจาค (B) เซลล์หลังการย้ายนิวเคลียส (C) และ DNA ของยีนบนไมโทคอนเดรียที่ไม่ได้ตัดด้วยเอนไซม์ *Hae*III (U) ควรเป็นอย่างไร ให้เขียนแถบ DNA ลงในแผนภาพ



แนวความคิด

เมื่อทำ PCR ของ ยีนไมโทคอนเดรียในเซลล์ต่าง ๆ แล้วตัดด้วยเอนไซม์ *HaeIII* นำไปแยกขนาดด้วยเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส

เซลล์ผู้บริจาค (A) จะมี DNA 2 ขนาด คือ 120 และ 90 bp

เซลล์ผู้บริจาค (B) จะมี DNA 3 ขนาด คือ 120 60 และ 30 bp

เซลล์ไข่หลังการย้ายนิวเคลียสเป็นผลสำเร็จ (C) ควรมี DNA 3 ขนาดเช่นเดียวกับเซลล์ผู้บริจาค (B) คือ 120 60 และ 30 bp

บทที่ 7 | วิวัฒนาการ

ipst.me/7697

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับหลักฐานที่สนับสนุนและข้อมูลที่ใช้อธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
2. อธิบายและเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของของ ลามาร์กและทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของชาลส์ ดาร์วิน
3. ระบุสาระสำคัญและอธิบายเงื่อนไขของภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร พร้อมทั้งคำนวณหาความถี่ของแอลลีลและจีโนไทป์ของประชากรโดยใช้หลักของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
4. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกระบวนการเกิดสปีชีส์ใหม่ของสิ่งมีชีวิต

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับหลักฐานที่สนับสนุนและข้อมูลที่ใช้อธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย วิเคราะห์ และสรุปหลักฐานต่างๆ ที่สนับสนุน และข้อมูลที่ใช้อธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. การใช้วิจารณญาณ 3. ความสนใจในวิทยาศาสตร์ 4. การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์

ผลการเรียนรู้

2. อธิบายและเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของของ ลามาร์กและทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของชาลส์ ดาร์วิน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล และอธิบายเกี่ยวกับกฎการใช้และไม่ใช้ และกฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นใหม่ของลามาร์ก
2. สืบค้นข้อมูล และอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน และยกตัวอย่างวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตซึ่งผ่านการคัดเลือกโดยธรรมชาติ
3. อภิปรายและเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วิน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. การใช้วิจารณ์ญาณ

ผลการเรียนรู้

3. ระบุสาระสำคัญและอธิบายเงื่อนไขของภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร พร้อมทั้งคำนวณหาความถี่ของแอลลีลและจีโนไทป์ของประชากรโดยใช้หลักของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายหลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และระบุเงื่อนไขของสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
2. คำนวณหาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ของประชากรโดยใช้หลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
3. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรที่ส่งผลต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การใช้จำนวน 3. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การคิดอย่างมีวิจารณ์ญาณและการแก้ปัญหา	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. การใช้วิจารณ์ญาณ 3. ความใจกว้าง 4. ความรอบคอบ

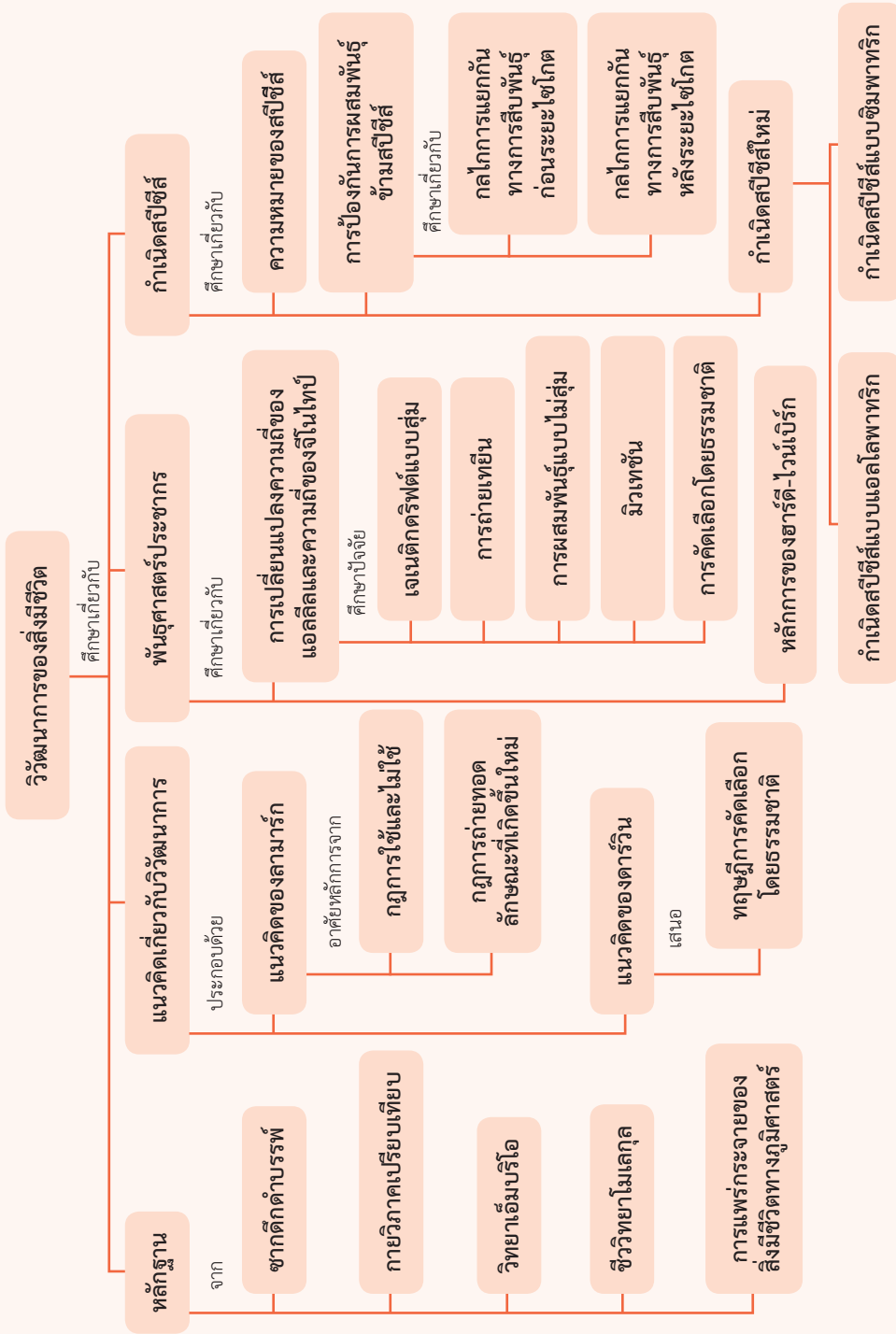
ผลการเรียนรู้

4. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกระบวนการเกิดสปีชีส์ใหม่ของสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบาย และยกตัวอย่างแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของสปีชีส์ด้านต่าง ๆ
2. อธิบาย และยกตัวอย่างการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกำเนิดสปีชีส์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. การใช้วิจารณญาณ 3. ความใจกว้าง 4. ความรอบคอบ



สาระสำคัญ

สิ่งมีชีวิตในปัจจุบันเป็นลูกหลานที่มีลักษณะที่แตกต่างจากบรรพบุรุษในอดีต โดยผ่านการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมทีละเล็กละน้อย มีการสะสมลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในขณะนั้น ๆ เป็นเวลานานหลายชั่วรุ่น การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เรียกว่า วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

หลักฐานที่บ่งบอกว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการศึกษาได้จาก ซากดึกดำบรรพ์ ภายวิภาคเปรียบเทียบ วิทยาเอ็มบริโอ ชีววิทยาโมเลกุล และการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตทางภูมิศาสตร์ เป็นต้น

แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่สำคัญ ได้แก่ แนวคิดของชอง ลามาร์ก และ ชาลส์ ดาร์วิน โดยลามาร์กเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการโดยอาศัยกฎการใช้และไม่ใช้ และกฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่ ส่วนดาร์วินเสนอแนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ใช้ความรู้ทางพันธุศาสตร์ประชากรในการอธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีลในประชากร ได้แก่ เจเนติกดริฟท์ แบบสุ่ม การถ่ายเทยีน การผสมแบบไม่สุ่ม มิวเทชัน และการคัดเลือกโดยธรรมชาติโดยปัจจัยดังกล่าวทำให้ยีนพูลในประชากรเปลี่ยนแปลงหรือเกิดวิวัฒนาการและทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่ขึ้น สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันจะมีกลไกในการป้องกันการผสมพันธุ์ต่างสปีชีส์ สิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่เป็นผลมาจากการแยกกันทางการสืบพันธุ์ ซึ่งมี 2 แนวทาง คือ กำเนิดสปีชีส์แบบแอลโลพาทริก และกำเนิดสปีชีส์แบบซิมพาทริก

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 14 ชั่วโมง

7.1	หลักฐานและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	2.0	ชั่วโมง
7.2	แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	3.0	ชั่วโมง
7.3	พันธุศาสตร์ประชากร	4.0	ชั่วโมง
7.4	ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล	2.0	ชั่วโมง
7.5	กำเนิดสปีชีส์	3.0	ชั่วโมง
รวม		14.0	ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



1. สิ่งมีชีวิตมีการถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมจากรุ่นสู่รุ่นผ่านสารพันธุกรรม



2. ความแปรผันทางพันธุกรรมเป็นผลมาจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสและไมโทซิส



3. สิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันจะมีข้อมูลทางพันธุกรรมเหมือนกัน แต่จะแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตสปีชีส์อื่น



4. พี่น้องร่วมพ่อแม่มีความหลากหลายแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และการรวมกันของเซลล์สืบพันธุ์



5. ประชากร คือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ร่วมกันในแหล่งที่อยู่เดียวกันในช่วงเวลาเดียวกัน



6. การเกิดมิวเทชันทำให้เกิดลักษณะทางพันธุกรรมใหม่ และลูกที่ได้จะเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากพ่อแม่

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนดูภาพซากดึกดำบรรพ์ต่างๆ เช่น โครงกระดูกไดโนเสาร์ หรืออาจใช้ข่าวหรือคลิปวิดีโอเกี่ยวกับการขุดค้นพบซากดึกดำบรรพ์ หรืออาจนำนักเรียนไปยังแหล่งเรียนรู้เกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ในท้องถิ่น เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัยและอยากเรียนรู้ต่อไป โดยอาจใช้ตัวอย่างคำถามเพื่อให้นักเรียนอภิปราย ดังนี้

- ซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตที่นักเรียนเห็นมีลักษณะอย่างไร และมีโครงสร้างใดคล้ายกับสิ่งมีชีวิตในปัจจุบัน เป็นไปได้หรือไม่ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

หรือครูอาจใช้รูปซากดึกดำบรรพ์ของอาร์คีออปเทอริกซ์ (*Archaeopteryx*) จากภาพนำบทในหนังสือเรียน โดยอาจใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่การอภิปราย ดังนี้

- ซากดึกดำบรรพ์ของอาร์คีออปเทอริกซ์นี้มีโครงสร้างใดคล้ายกับสิ่งมีชีวิตใดในปัจจุบัน
 - ✎ - มีร่องรอยที่ชัดเจนของการมีขนแบบขนนก (feather) ที่บริเวณปีกและหางซึ่งคล้ายกับสัตว์ปีกในปัจจุบัน
 - มีร่องรอยของกระดูกหางยาว พื่นขนาดเล็ก ขามีเกล็ดซึ่งคล้ายกับสัตว์เลื้อยคลานในปัจจุบัน
- จากหลักฐานซากดึกดำบรรพ์ของอาร์คีออปเทอริกซ์นี้เป็นไปได้หรือไม่ว่าสัตว์เลื้อยคลานและนกในปัจจุบันจะมีบรรพบุรุษร่วมกัน เพราะเหตุใด
 - ✎ อาจเป็นไปได้ว่าสัตว์เลื้อยคลานและนกมีบรรพบุรุษร่วมกัน เนื่องจากอาร์คีออปเทอริกซ์มีลักษณะบางอย่างคล้ายนก เช่น การมีขนแบบขนนกที่บริเวณปีกและหาง ในขณะเดียวกันก็มีลักษณะบางอย่างคล้ายสัตว์เลื้อยคลาน เช่น ขามีเกล็ด พื่นขนาดเล็ก กระดูกหางยาว แต่ทั้งคู่ต่างมีวิวัฒนาการของตนเอง จนกระทั่งปัจจุบันมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้ความรู้จากประสบการณ์เดิม ครูรวบรวมคำตอบของนักเรียนไว้ก่อนเพื่อให้นักเรียนได้ศึกษารายละเอียดของเนื้อหาในหนังสือเรียน หลังจากนั้นจึงให้นักเรียนกลับมาตรวจสอบว่าคำตอบของนักเรียนถูกต้องหรือไม่

ครูอธิบายเพิ่มเติมจากภาพนำทว่าทั้งนกและสัตว์เลื้อยคลานในปัจจุบันซึ่งเชื่อว่ามีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกันนั้น ต่างก็มีวิวัฒนาการของตนเองจนมีลักษณะที่แตกต่างกันไป โดยกว่านกและสัตว์เลื้อยคลานจะมีลักษณะเหล่านี้ได้ จะต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่ละเล็กละน้อยเมื่อผ่านไปเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะค่อย ๆ ถูกสะสมจนในที่สุดจึงมีลักษณะที่แตกต่างไปจากบรรพบุรุษ ซึ่งกระบวนการที่กล่าวมานี้ เรียกว่า วิวัฒนาการ

7.1 หลักฐานและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล อภิปราย วิเคราะห์ และสรุปหลักฐานต่าง ๆ ที่สนับสนุน และข้อมูลที่ใช้อธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยตั้งประเด็นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า **ทราบได้อย่างไรว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ** หรือครูใช้คำถามนำในหนังสือเรียนถามนักเรียนว่า **หลักฐานและข้อมูลใดบ้างที่บ่งบอกถึงการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต** ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระจากนั้นให้นักเรียนตรวจสอบความคิดของนักเรียนจากการศึกษาในหัวข้อต่อไป

7.1.1 ซากดึกดำบรรพ์

ครูนำข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ให้นักเรียนศึกษา ซึ่งสามารถหาได้จากเว็บไซต์ของกรมทรัพยากรธรณีที่ได้มีการเผยแพร่เอกสารและรายงานด้านซากดึกดำบรรพ์ต่าง ๆ เช่น

- ซากดึกดำบรรพ์หมาหมี (*Maemohcyon potisati*)
- ซากดึกดำบรรพ์เอปโคราช (*Khoratpithecus piriya*) ซึ่งเป็นสกุลและชนิดใหม่ของโลก และอาจเป็นบรรพบุรุษของอุรังอุตัง
- ซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหินจังหวัดตาก
- ซากดึกดำบรรพ์หอยขมดึกดำบรรพ์อายุ 13 ล้านปี
- ซากดึกดำบรรพ์รอยตีนไดโนเสาร์ท่าอุเทน

หรือครูนำข่าวหรือบทความในหนังสือพิมพ์หรืออินเทอร์เน็ตให้นักเรียนศึกษาโดยตัวอย่างข่าวอาจเป็นดังนี้

ซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์

เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2553 ที่ห้องประชุม พิพิธภัณฑ์สิรินธร ภูเก้าขาว อ.สหัสขันธ์ จ.กาฬสินธุ์ ได้มีการเปิดโครงการครูวิจัย ซากดึกดำบรรพ์ รุ่นที่ 5 โดย ดร.วรารุณ สุธีธร ผู้เชี่ยวชาญด้านซากดึกดำบรรพ์ กรมทรัพยากรธรณี แถลงผลการขุดค้น ซากดึกดำบรรพ์ที่ภูเก้าขาว อ.คำม่วง ว่าก่อนหน้านี้ได้ขุดค้นซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์ที่ภูเก้าขาว ได้ 64 ชิ้น โดยเฉพาะกระดูกสะโพกที่มีความยาว 150 เซนติเมตร กว้าง 50 เซนติเมตร ทำให้เชื่อว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ขนาดความยาวกว่า 25 เมตร ทั้งนี้ผลการขุดค้นก้าวหน้ามาก นักวิจัยรวบรวมซากดึกดำบรรพ์ได้มากกว่า 200 ชิ้น เมื่อนำมาวิจัยพบว่า ในหลุมขุดค้นเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่มีมากกว่า 2 ตัว มีลักษณะนอนทับถมคล้ายที่ภูเก้าขาว แต่สิ่งที่นับว่าพิเศษสุดคือ ชิ้นส่วนของหัวกะโหลก ขนาดความยาวเกือบ 50 เซนติเมตร กับฟันจำนวน 3-4 ซี่ ซึ่งยังไม่พบว่าตรงกับสายพันธุ์กินพืชใดในโลก จึงยืนยันได้ว่า ซากดึกดำบรรพ์ที่พบบริเวณภูเก้าขาวมีอายุเก่าแก่มากกว่า 150 ล้านปี หรือในยุคจูราสสิกตอนปลาย

นายอดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์ อธิบดีกรมทรัพยากรธรณีกล่าวว่ามั่นใจว่าซากดึกดำบรรพ์ที่พบบริเวณภูเก้าขาว จะเป็นสายพันธุ์กินพืชขนาดใหญ่ที่เป็นสกุลใหม่และยังไม่พบที่ใดในโลก

จากนี้จะมีการจัดสร้างอาคารคลุมหลุม ไดโนเสาร์ และร่วมพัฒนาให้เป็นแหล่งศึกษา และวิจัยค้นคว้างานทางด้านการวิจัยด้านบรรพชีวิน นายเลิศบุศย์ กองทอง นายอำเภอคำม่วงกล่าวว่า อำเภอและท้องถิ่นจะร่วมกันผลักดันเข้าแผนพัฒนาจังหวัดกาฬสินธุ์ พัฒนาแหล่งขุดค้นให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว หากประสบความสำเร็จจังหวัดกาฬสินธุ์จะเป็นแหล่งศึกษาวิจัยและการท่องเที่ยวด้านบรรพชีวินที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก

ที่มา : ผู้จัดการออนไลน์ 6 เมษายน 2553

<http://www.manager.co.th/Local/ViewNews.aspx?NewsID=9530000047718>

ซีลาแคนธ

ชาวประมงอินโดนีเซียจับ "ซีลาแคนธ" ปลา ดึกดำบรรพ์ที่เชื่อว่าสูญพันธุ์ไปแล้วตั้งแต่ยุค ไดโนเสาร์ คาดอาจเป็นบรรพบุรุษสัตว์มีกระดูกสันหลัง แต่น่าฉงนใจที่ปลาน้ำลึกสามารถอยู่ได้นานบนผิวน้ำหลังถูกจับได้ถึง 17 ชั่วโมง ยูสตินุส ลาฮามา (Yustinus Lahama) ชาวประมงอินโดนีเซียพร้อมลูกชายจับปลา หน้าตาประหลาดยาว 131 เซนติเมตรหนัก 51 กิโลกรัม ได้เมื่อวันที่ 19 พ.ค. ที่ผ่านมา ขณะที่พวกเขาออกหาปลาแถวเกาะสุลาเวสี ใกล้อุทยานทางทะเลของบูนาเคน (Bunaken National Marine Park) ซึ่งเป็นเขตที่มีความหลากหลายทางชีวภาพทางน้ำสูงสุดแห่งหนึ่ง

ในโลก หลังจาก 2 พ่อลูกนำปลายักษ์ที่เหมือนหินไปให้เพื่อนบ้านดูและเก็บไว้ที่บ้านประมาณ 1 ชั่วโมง พวกเขาก็นำปลาดังกล่าวกลับไปไว้ที่บ่ออนุบาล แต่น่าเสียดายที่ปลาลักษณะคล้ายซากดึกดำบรรพ์โบราณตายลงในอีก 17 ชั่วโมงถัดมา โดยผู้เชี่ยวชาญระบุว่า เป็นเพราะอยู่ในสภาพที่ยากแก่การดำรงชีวิต "ที่จริงปลาดตัวนี้น่าจะตายตั้งแต่ 2 ชั่วโมงแรกที่ถูกจับขึ้นมาได้ เพราะปลาสายพันธุ์นี้อาศัยอยู่แต่ในน้ำลึก (ประมาณ 200 ฟุต) และสภาพอากาศหนาวเย็น" ศ.เกรโว กิริง (Grevo Gerung) คณะประมงมหาวิทยาลัยแซมราตูลังกี (Sam Ratulangi University) อินโดนีเซียเผย พร้อมทั้งตั้งข้อสังเกตว่าเหตุใดปลาดตัวนี้กลับอยู่ได้นานถึง 17 ชั่วโมง ปลาโบราณที่พ่อลูกคู่นี้จับได้คือ "ซีลาแคนท์" (coelacanth) ซึ่งมีซากดึกดำบรรพ์เก่าแก่อายุ 60 ล้านปีปรากฏอยู่ในพิพิธภัณฑ์ปลาออสเตรเลีย และนักบรรพชีวินวิทยาเชื่อว่าสูญพันธุ์ไปแล้วประมาณ 60 ล้านปีก่อนพร้อม ๆ กับ

ยุคไดโนเสาร์ เพราะไม่พบซากดึกดำบรรพ์อายุน้อยกว่านั้น ทว่ากลับมีการค้นพบซีลาแคนท์ตัวเป็น ๆ ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2382 ในแถบชายฝั่งแอฟริกาสร้างความสนใจไปทั่วโลก จากนั้นก็มีรายงานการพบปลาดังกล่าวเรื่อย ๆ แม้กระทั่งในแถบสุลาเวสีเองก็เคยพบมาแล้วเมื่อ 7 ปีก่อน ที่น่าสนใจคือ ซีลาแคนท์มีรูปร่างของครีบละม้ายคล้ายคลึงกับกระดูกแขนและขาของสัตว์บกมาก มีระบบการสืบพันธุ์ไม่เหมือนปลาชนิดอื่น คือเมื่อซีลาแคนท์ได้รับการผสมพันธุ์ก็จะฟักตัวเป็นลูกปลาและยังอาศัยอยู่ในท้องของแม่จนกระทั่งคลอดออกมา และไข่ปลาซีลาแคนท์เป็นไข่ปลาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 9 เซนติเมตร ด้วยลักษณะดังกล่าวทำให้นักชีววิทยาหลายคนมีความคิดว่าซีลาแคนท์คือบรรพบุรุษของสัตว์โลกที่มีกระดูกสันหลังทุกชนิด

ที่มา : ผู้จัดการออนไลน์ 22 พฤษภาคม 2550
<http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9500000058495>

จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นต่าง ๆ โดยอาจใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- ซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบบอกอะไรได้บ้าง

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบเป็นหลักฐานที่สนับสนุนว่าในอดีตเคยมีสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ แต่ในปัจจุบันอาจสูญพันธุ์ไปหรืออาจมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป

จากนั้นให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดซากดึกดำบรรพ์ และให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- ซากดึกดำบรรพ์เกิดขึ้นได้อย่างไร
- ตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ที่พบปรากฏอยู่ในลักษณะใดบ้าง

จากการสืบค้นและอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรสรุปได้ว่าซากดึกดำบรรพ์คือซากหรือร่องรอยของสิ่งมีชีวิตที่ตายไปแล้วอาจจมอยู่ในน้ำและมีโคลนหรือตะกอนทับถมอย่างรวดเร็ว ทำให้แร่ธาตุในน้ำซึมเข้าสู่กระดูกและฟันหรือเนื้อเยื่อ และเกิดการตกผลึกภายในเนื้อเยื่อเมื่อผ่านไปเป็นเวลานาน ตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ที่เกิดจากกระบวนการนี้ที่พบในประเทศไทย เช่น โครงกระดูกไดโนเสาร์ที่ขุดพบในจังหวัดขอนแก่น ไม่กลายเป็นหินที่จังหวัดนครราชสีมา สู่สานหอย 45 ล้านปีที่จังหวัดกระบี่ นอกจากนี้ซากดึกดำบรรพ์ยังอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุอื่น เช่น สิ่งมีชีวิตที่ถูกรักษาสภาพไว้ในยางสน (อำพัน) รอยพิมพ์ของใบไม้ รอยเท้าไดโนเสาร์ เป็นต้น จากนั้นครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนเกี่ยวกับกระบวนการเกิดซากดึกดำบรรพ์ในลักษณะต่าง ๆ



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การเกิดซากดึกดำบรรพ์

ซากดึกดำบรรพ์ คือ ซากหรือร่องรอยของสิ่งมีชีวิตที่ตายไปแล้วเป็นเวลานานและถูกรักษาสภาพไว้ ซึ่งอาจเกิดได้ในหลายลักษณะ เช่น

- จมอยู่ในน้ำ และมีโคลนหรือตะกอนทับถมอย่างรวดเร็ว ทำให้แร่ธาตุในน้ำซึมเข้าสู่กระดูกและฟัน หรือเนื้อเยื่อ และเกิดการตกผลึกทำให้ส่วนนั้น ๆ แข็งขึ้น
- เกิดเป็นรอยประทับอยู่บนชั้นตะกอน เช่น รอยประทับของเปลือกหอย
- ถูกเก็บรักษาสภาพไว้ในยางไม้ เช่น ซากแมลงในอำพัน

นอกจากนี้ซากดึกดำบรรพ์อาจเป็นร่องรอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต เช่น รอยเท้าที่อยู่ในชั้นตะกอน มูลสัตว์หรือเศษอาหารที่อยู่ในกระเพาะ

ครูให้ความรู้แก่นักเรียนเพิ่มเติมว่า สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่พบมาตั้งแต่อดีตและยังคงมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับปัจจุบันทั้งสัตว์และพืช เช่น ปลาซีลาแคนซ์ แมงดาทะเล หวายทะเล หย้าถอดปล้อง และแปะก๊วย เป็นสิ่งมีชีวิตที่จัดว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่มีชีวิตหรือสิ่งมีชีวิตคงสภาพดึกดำบรรพ์ โดยครูอาจใช้คำถามเพิ่มเติมดังนี้

- สิ่งมีชีวิตคงสภาพดึกดำบรรพ์เป็นสิ่งมีชีวิตที่พบได้ในปัจจุบันหรือไม่
- ✎ สิ่งมีชีวิตคงสภาพดึกดำบรรพ์เป็นสิ่งมีชีวิตที่พบได้ในปัจจุบัน
- สิ่งมีชีวิตคงสภาพดึกดำบรรพ์เป็นสปีชีส์เดียวกับซากดึกดำบรรพ์ที่มีลักษณะคล้ายกันหรือไม่
- ✎ สิ่งมีชีวิตคงสภาพดึกดำบรรพ์เป็นสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กับซากดึกดำบรรพ์ที่มีลักษณะคล้ายกัน

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาภาพซากดึกดำบรรพ์ในหินชั้นต่าง ๆ จากรูป 7.3 ในหนังสือเรียน โดยครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนว่า ซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุมากกว่าจะอยู่ในหินชั้นล่างที่มีอายุน้อยกว่า และซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุน้อยกว่าจะพบอยู่ในหินชั้นบนที่มีอายุน้อยกว่า นอกจากนี้ ซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุน้อยกว่าจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีลักษณะใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตในปัจจุบันมากกว่าซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุมาก ดังนั้นซากดึกดำบรรพ์นอกจากจะเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นลำดับการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตแล้วยังเป็นหลักฐานที่บ่งชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตจากอดีตจนถึงปัจจุบันอีกด้วย

จากนั้นให้นักเรียนศึกษารูป 7.4 ในหนังสือเรียน ซึ่งแสดงลำดับวิวัฒนาการของม้าจากอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยใช้หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ของม้าที่พบในช่วงเวลาต่าง ๆ และตอบคำถามซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

- ❓ จากภาพแสดงวิวัฒนาการของม้าในสมัยไมโอซีนจนมาถึงสมัยพาลีโอซีน มีลักษณะใดบ้างที่เปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นใช้เวลานานเท่าใด
- ✎ ม้าในสมัยไมโอซีนยังคงมีนิ้วเท้าหลายนิ้ว ส่วนม้าในสมัยพาลีโอซีนมีนิ้วเท้าลดจำนวนลงเหลือเพียงนิ้วกลางที่มีขนาดใหญ่โตขึ้น และปลายนิ้วพัฒนาเป็นกีบ มีขายาวขึ้น และสูงมากกว่าม้าในสมัยไมโอซีน นอกจากนี้ยังมีฟันกรามใหญ่และรอยหยักเพิ่มขึ้นด้วย โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 18 ล้านปี

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า เมื่อพิจารณาจากหลักฐานพบว่าม้าในอดีตนั้นมีขนาดตัวเล็ก มีฟันที่เหมาะสมสำหรับการกินใบไม้ตามพุ่มไม้ และมีลักษณะนิ้วเท้าที่มีหลายนิ้วซึ่งเหมาะสำหรับการเดินบนพื้นดินที่อ่อนนุ่มในป่า ขณะที่ม้าในปัจจุบันมีขนาดตัวใหญ่ มีฟันที่เหมาะสมกับการกินหญ้าที่เหนียวกว่าใบไม้ และมีลักษณะนิ้วเท้าเพียงกีบเดียวซึ่งเหมาะแก่การวิ่งได้อย่างรวดเร็วในทุกหญ้า

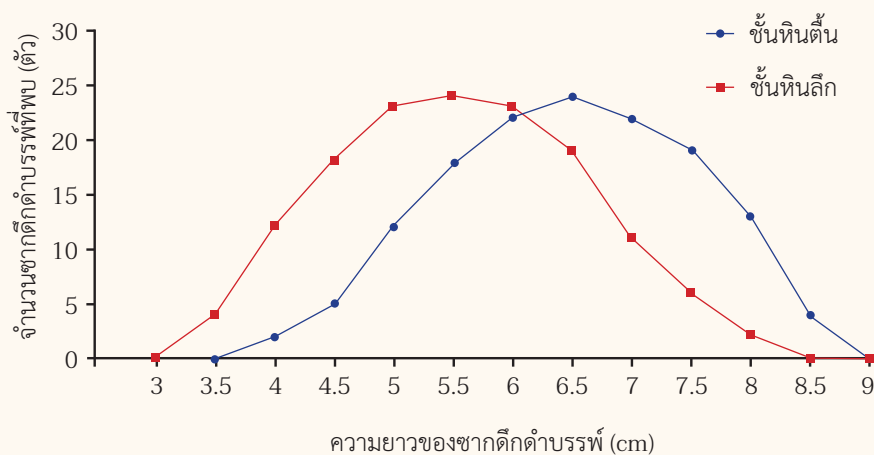
ครูควรให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนด้วยว่าในการคาดคะเนลักษณะของสิ่งมีชีวิตในอดีตนั้น นักวิทยาศาสตร์ต้องใช้ข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ เช่น ร่องรอย สภาพแวดล้อมของโลกในยุคนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับหน้าที่ และความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมกับสิ่งมีชีวิต เป็นต้น มาประกอบกับข้อมูลของซากดึกดำบรรพ์จึงสามารถคาดคะเนลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นได้

สำหรับแนวคำตอบของคำถามวิเคราะห์ข้อมูลในหนังสือเรียนเป็นดังนี้



กรณีศึกษา

? นำข้อมูลด้านบนมาเขียนเป็นกราฟ



? จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการได้อย่างไร



ซากดึกดำบรรพ์ที่พบในชั้นหินลึกจะมีอายุมากกว่าซากดึกดำบรรพ์ที่พบในชั้นหินต้น ดังนั้น จากกราฟจึงแสดงให้เห็นวิวัฒนาการของไทรโลไบต์ว่ามีแนวโน้มที่มีความยาวเพิ่มมากขึ้น

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะเพื่อสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ของ สิ่งมีชีวิตที่ค้นพบทั้งในประเทศไทย หรือต่างประเทศ



กิจกรรมเสนอแนะ ชากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบทั้งในประเทศไทยหรือในต่างประเทศ
2. อภิปราย และสรุปความสำคัญเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ที่นำมาเป็นหลักฐานสนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
3. นำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ในชั้นเรียน

แนวการจัดกิจกรรม

1. ในการทำกิจกรรมเสนอแนะครูอาจให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มในการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ โดยซากดึกดำบรรพ์นั้นควรมีความหลากหลายและมาจากแหล่งค้นพบต่างๆ ตามความสนใจของนักเรียนแต่ไม่ควรซ้ำกัน และให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายในประเด็นต่างๆ ดังนี้
 - ?** ซากดึกดำบรรพ์ที่ศึกษามีลักษณะใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตกลุ่มใด เพราะเหตุใดจึงจัดอยู่ในกลุ่มของสิ่งมีชีวิตดังกล่าว
 - ?** ซากดึกดำบรรพ์นี้มีลักษณะแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตในกลุ่มที่กล่าวข้างต้นอย่างไร
 - ?** ซากดึกดำบรรพ์นี้สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการได้อย่างไร
2. หลังจากการอภิปรายควรให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมมานำเสนอในชั้นเรียนเพื่ออภิปรายแลกเปลี่ยนความรู้กัน หรือจัดทำเป็นป้ายนิเทศ

หมายเหตุ ครูอาจแนะนำแหล่งเรียนรู้ที่นักเรียนสามารถไปสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ โดยอาจค้นหาข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น พิพิธภัณฑ์ไดโนเสาร์ภูเวียง อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดขอนแก่น พิพิธภัณฑ์สิรินธร (พิพิธภัณฑ์ไดโนเสาร์ภูผาขาว) อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ และพิพิธภัณฑ์ธรณีวิทยา กรุงเทพมหานคร เป็นต้น

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมให้นักเรียนอภิปรายเพื่อนำไปสู่หัวข้อถัดไปดังนี้

- การศึกษาซากดึกดำบรรพ์เพียงอย่างเดียว สามารถสนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ✎ ได้ เนื่องจากซากดึกดำบรรพ์แสดงให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตในอดีตมีลักษณะแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตในปัจจุบัน น่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างต่าง ๆ โดยใช้ระยะเวลาที่ยาวนาน

ซึ่งก็คือการเกิดวิวัฒนาการนั่นเอง แต่หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์เพียงอย่างเดียว อาจไม่เพียงพอที่จะให้ข้อมูล เพราะซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบมักไม่ครบสมบูรณ์ อาจเกิดจากการถูกทำลายจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ หรือยังไม่ถูกค้นพบ และมีสิ่งมีชีวิตอีกหลายชนิดที่ไม่มีโอกาสเกิดซากดึกดำบรรพ์ได้

ครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องมีหลักฐานจากประจักษ์พยานอื่น ๆ อีกที่สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

7.1.2 กายวิภาคเปรียบเทียบ

ครูอาจให้นักเรียนพิจารณาหลักฐานกายวิภาคเปรียบเทียบจากรูป 7.5 ในหนังสือเรียน โดยแนะนำให้นักเรียนเปรียบเทียบกระดูกซี่โครงซี่คู่หน้า แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามดังนี้

- โครงสร้างของกระดูกซี่หน้าของสัตว์เหล่านี้มีความคล้ายกันอย่างไร
- ความคล้ายกันของกระดูกซี่จะบอกถึงความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการหรือไม่ อย่างไร

จากการศึกษาและอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรจะสรุปได้ว่า โครงสร้างของกระดูกซี่หน้าของสัตว์ต่าง ๆ นี้มีองค์ประกอบของกระดูกแต่ละส่วนคล้ายกัน แต่อาจเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด และจำนวน เพื่อให้สัมพันธ์กับการทำหน้าที่และการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงเป็นหลักฐานสนับสนุนว่าสัตว์มีกระดูกสันหลังเหล่านี้มีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน จากนั้นครูสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างกำเนิดเดียวกันและอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างกำเนิดต่างกัน โดยสิ่งมีชีวิตที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการจะมีโครงสร้างต่างๆ ที่เป็นโครงสร้างกำเนิดเดียวกัน

7.1.3 วิทยาเอ็มบริโอ

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาภาพแสดงพัฒนาการของเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังบางชนิดจากรูป 7.7 ในหนังสือเรียน โดยแนะนำให้นักเรียนพิจารณาเปรียบเทียบถุงคอกหอยและหางในระยะพัฒนาช่วงต่างๆ จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยอาจใช้คำถามดังนี้

- พัฒนาการของเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังดังภาพ มีลักษณะที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
- การเจริญเติบโตในระยะใดที่มีความคล้ายกัน
- รูปร่างของเอ็มบริโอของมนุษย์ระยะปลายคล้ายกับสัตว์ชนิดใดมากที่สุด

จากการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่าเอ็มบริโอในระยะต้นของสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดในภาพมีลักษณะคล้ายกัน แต่ในระยะกลางและระยะปลายจะเริ่มมีความแตกต่างกันมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของเอ็มบริโอในระยะปลาย จะเห็นว่ามนุษย์และวัวยังคงมีความคล้ายกันมากกว่าสัตว์ชนิดอื่น จึงอาจสันนิษฐานได้ว่ามนุษย์และวัวน่าจะมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการมากกว่าสัตว์ชนิดอื่น

7.1.4 ชีววิทยาโมเลกุล

ครูอาจทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนโดยใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- สารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตคือสารใด
- ✎ DNA เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ ยกเว้นไวรัสบางชนิดมี RNA เป็นสารพันธุกรรม
- สิ่งมีชีวิตมีกลไกการสังเคราะห์ DNA RNA และโปรตีนเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร
- ✎ สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีกลไกการสังเคราะห์ DNA RNA และโปรตีนแบบเดียวกัน โดยใช้รหัสพันธุกรรม (codon) เหมือนกันในการสังเคราะห์โปรตีน

จากนั้นให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายหลักฐานทางชีววิทยาโมเลกุลที่ใช้ในการสนับสนุนความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการ โดยใช้ตัวอย่างการเปรียบเทียบร้อยละของลำดับกรดแอมิโนที่เหมือนกันในสายฮีโมโกลบินระหว่างมนุษย์ ลิงริชัส หนู ไก่ กบ และปลาปากกลม ในตาราง 7.1 ในหนังสือเรียน และให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้ประเด็นคำถามนำในหนังสือเรียนดังนี้

- ❓ จากตารางนักเรียนจะอธิบายความใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ กับมนุษย์ได้อย่างไร
- ✎ มนุษย์มีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการกับลิงริชัสมากกว่าหนู ไก่ กบ และปลาปากกลมเนื่องจากมีร้อยละของลำดับกรดแอมิโนในฮีโมโกลบินที่เหมือนกันมากกว่าสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น

ครูสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเปรียบเทียบลำดับของกรดแอมิโนของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้อธิบายความใกล้ชิดทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้จากความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู และอาจนำไปเป็นตัวอย่างให้นักเรียนศึกษาเพิ่มเติมและร่วมกันอภิปรายเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักฐานทางชีววิทยาโมเลกุลมากยิ่งขึ้น



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การเปรียบเทียบลำดับกรดแอมิโนของโปรตีน hemoglobin alpha chain ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ

	10	20	30	40	50	60	70													
1	MVLS	PADK	TNVKAAW	GKGA	HAGEY	GAEL	ERMF	LSF	PTTK	TYFP	HFDL	SHG	SAQV	KGHG	KKVAD	ALTNA				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
1	AVA	VDD	MPNAL	SAL	SDL	HA	KL	RVDP	VNFK	LLSH	CLLV	TAA	HLPA	EFT	PAV	HAS	LDF	KLAS	VSTV	LTSKYR
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				

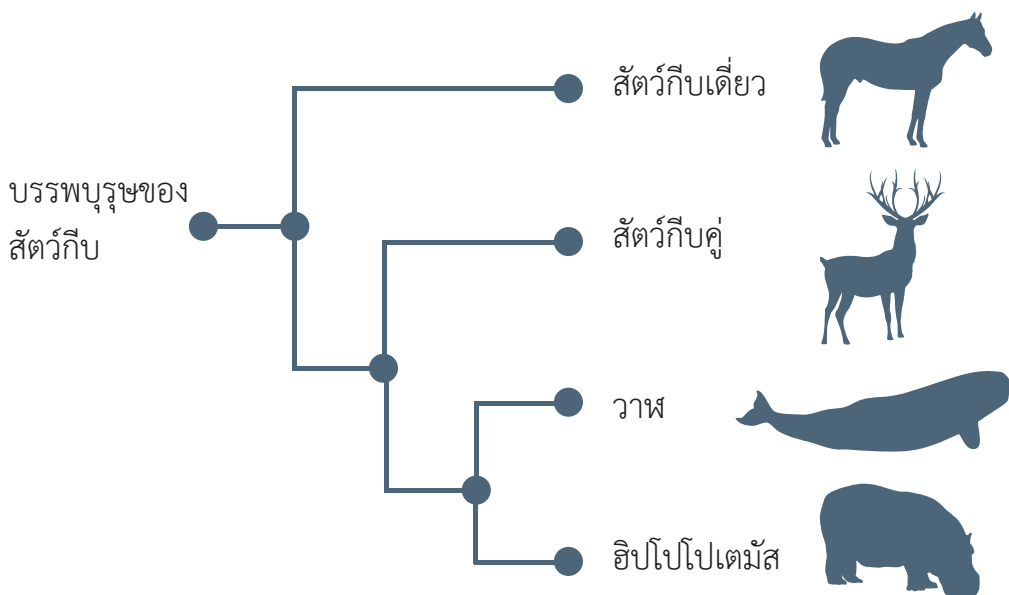
1. มนุษย์	4. ลิงบาบูนชนิดหนึ่ง	7. ไค้
2. ชิมแปนซี	5. หนูบ้าน	8. วัว
3. อีแร้งดั่ง	6. หนูนอร์เวย์	9. ม้า

การเปรียบเทียบลำดับกรดแอมิโนจำนวน 142 กรดแอมิโน ของโปรตีน hemoglobin alpha chain ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแต่ละตัวแทนกรดแอมิโน 1 ชนิด ลำดับกรดแอมิโนของมนุษย์จะอยู่ด้านบนสุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนเปรียบเทียบกับกรดแอมิโนที่มาจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ กรดแอมิโนที่มีลำดับเหมือนกันกับกรดแอมิโนของมนุษย์จะเป็นเส้นประ ส่วนกรดแอมิโนที่แตกต่างกันจะเขียนเป็นตัวอักษรแสดงกรดแอมิโนที่ต่างไปจากกรดแอมิโนของมนุษย์ โดยยังมีลำดับกรดแอมิโนเหมือนกันมาก ยิ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางสายวิวัฒนาการมาก

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	จำนวนของกรดแอมิโนที่แตกต่างกันจากลำดับกรดแอมิโนของโปรตีนที่เรียกว่า hemoglobin alpha chain ของมนุษย์
1. มนุษย์	0
2. ชิมแปนซี	0
3. อรุ้งอุ๋ง	0
4. ลิงบาบูนชนิดหนึ่ง	11
5. หนูบ้าน	19
6. หนูนอร์เวย์	30
7. ไก่	42
8. วัว	17
9. ปลา	18

หลังจากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า จากข้อเท็จจริงที่ว่าสิ่งมีชีวิตมี DNA เป็นสารพันธุกรรม และใช้รหัสพันธุกรรมเหมือนกันในการสังเคราะห์โปรตีน จึงนำไปสู่ข้อสันนิษฐานว่า สิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน ดังนั้นหลักฐานทางด้านชีววิทยาโมเลกุลจึงเป็นหลักฐานที่น่าเชื่อถือได้มากและเป็นหลักฐานสำคัญที่ใช้สนับสนุนหลักฐานทางด้านอื่น ๆ ครูอาจใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปราย โดยมีคำถามและแนวคำตอบดังนี้

- การศึกษาวิวัฒนาการจากหลักฐานชีววิทยาโมเลกุลมีข้อได้เปรียบกว่าการศึกษาจากหลักฐานอื่น ๆ อย่างไร
- ✎ มีข้อได้เปรียบคือ การใช้หลักฐานด้านอื่นอาจไม่ชัดเจน และไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการระหว่างกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ต่างกันได้ดี แต่หลักฐานชีววิทยาโมเลกุลซึ่งใช้ความแตกต่างของลำดับเบส หรือลำดับกรดอะมิโนที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นได้ เช่น วาฬซึ่งไม่มีนิ้วที่เห็นได้ชัดเจนน่าจะจัดอยู่คนละอันดับกับฮิปโปโปแตมัส แต่การศึกษาทางชีววิทยาโมเลกุลชี้ให้เห็นว่าวาฬและฮิปโปโปแตมัสมีบรรพบุรุษร่วมกันที่มีวิวัฒนาการแยกออกจากบรรพบุรุษของสัตว์กบอื่น ๆ ดังรูป



7.1.5 การแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตทางภูมิศาสตร์

ครูใช้รูป 7.8 แสดงการแพร่กระจายของอูฐในแอฟริกาและเอเชีย และลามานในอเมริกาใต้ แล้วให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม และอภิปรายร่วมกันว่า เพราะเหตุใดอูฐและลามานที่แพร่กระจายอยู่ในบริเวณที่อยู่ห่างไกลกันในปัจจุบัน จึงมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันทางสายวิวัฒนาการ

จากการอภิปรายในกรณีการแพร่กระจายของอูฐและลามานนั้น นักเรียนควรสรุปได้ว่าลักษณะของการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตทางภูมิศาสตร์ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการตั้งข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้ โดยเมื่อประกอบกับหลักฐานซากดึกดำบรรพ์ และหลักฐานทางธรณีวิทยาอื่น ๆ เช่น การที่เคยมีบริเวณที่เชื่อมต่อกันในอดีต หรือการแยกจากกันของทวีป จะทำให้เข้าใจถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตนั้นได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อเรียนจบหัวข้อนี้แล้วครูอาจให้นักเรียนสรุปประเด็นสำคัญที่ได้จากเนื้อหาเพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับการใช้หลักฐานต่าง ๆ ในการศึกษาวิวัฒนาการ ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาซากดึกดำบรรพ์จะช่วยให้ทราบถึงช่วงเวลาโดยประมาณที่สิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ปรากฏขึ้นในโลก ได้เห็นรูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ในอดีต และยังทำให้ทราบได้ว่าสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงมาอย่างไรจนถึงปัจจุบัน แต่อาจมีข้อจำกัดในแง่ของความสมบูรณ์ของซากดึกดำบรรพ์ที่ปรากฏ จึงต้องอาศัยหลักฐานทางด้านอื่น ๆ ประกอบ
2. การเปรียบเทียบความคล้ายกันของโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต ทำให้เห็นความสัมพันธ์ทางสายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้
3. สัตว์ที่มีความใกล้ชิดกันทางสายวิวัฒนาการ จะมีพัฒนาการของเอ็มบริโอคล้ายกัน
4. การศึกษาชีววิทยาโมเลกุลเป็นหลักฐานสำคัญที่ใช้สนับสนุนหลักฐานทางด้านอื่น ๆ เพื่อบอกถึงความสัมพันธ์ของสายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
5. สิ่งมีชีวิตที่มีความใกล้ชิดกันทางสายวิวัฒนาการ อาจพบได้ในบริเวณที่อยู่ห่างไกลกัน มีสภาพแวดล้อมต่างกัน จึงมีวิวัฒนาการปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่

สรุปได้ว่าหลักฐานต่าง ๆ เหล่านี้ สนับสนุนว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ และใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต จากนั้นครูถามนำเข้าสู่หัวข้อต่อไปซึ่งอาจมีแนวคำถามดังนี้ นักวิทยาศาสตร์ในอดีต และในปัจจุบันมีแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการอย่างไร

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- หลักฐานที่สนับสนุนและข้อมูลที่ใช้อธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตจากการสืบค้นข้อมูล ตอบคำถาม อภิปราย และการทำแบบฝึกหัด

ด้านทักษะ

- การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูลจากการนำเสนอและการอภิปรายร่วมกัน
- การสื่อสารสารสนเทศ และความรู้เท่าทันสื่อจากการสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอข้อมูล

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความสนใจในวิทยาศาสตร์ และการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปรายร่วมกัน และการมีส่วนร่วมในการเรียนการสอนโดยประเมินตามสภาพจริงระหว่างเรียน

7.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล และอธิบายเกี่ยวกับกฎการใช้และไม่ใช้ และกฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่ของลามาร์ก
2. สืบค้นข้อมูล และอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน และยกตัวอย่างวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตซึ่งผ่านการคัดเลือกโดยธรรมชาติ
3. อภิปรายและเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วิน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยพูดคุยกับนักเรียนว่าประจักษ์พยานจากหลักฐานต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้ทราบว่าสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดวิวัฒนาการ ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ตั้งคำถามที่นักเรียนอยากทราบเกี่ยวกับวิวัฒนาการ ซึ่งคำถามอาจเป็นดังนี้

- สิ่งมีชีวิตในอดีตมีการเปลี่ยนแปลงมาจนเป็นสิ่งมีชีวิตปัจจุบันหรือเกิดวิวัฒนาการได้อย่างไร

ครูชี้แจงเพิ่มเติมว่าคำถามของนักเรียนได้มีนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจมานานแล้ว และมีแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการที่น่าสนใจ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในหัวข้อต่อไป

7.2.1 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์ก

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กจากหนังสือเรียน เพื่อร่วมกันอภิปรายว่าแนวคิดของลามาร์กมีความน่าเชื่อถือมากน้อยแค่ไหน เพราะเหตุใด โดยอาจยกกรณีของยีราฟที่มีคอยาวโดยใช้คำถามดังนี้

- ลามาร์กเชื่อว่าอะไรเป็นแรงผลักดันที่ทำให้สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลง
- ✎ สภาพแวดล้อมเป็นแรงผลักดันทำให้สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลง
- นักเรียนจะใช้แนวคิดของลามาร์กในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยีราฟที่มีลักษณะคอยาวขึ้นได้อย่างไร
- ✎ ในอดีตยีราฟอาจมีลักษณะคอสั้น เมื่ออาหารบริเวณพื้นดินมีไม่เพียงพอเนื่องจากการแก่งแย่งแข่งขันกันสูง ทำให้ยีราฟพยายามยืดคอเพื่อกินใบไม้บนต้นไม้สูง ๆ อยู่เสมอ ทำให้มีคอยาวขึ้น ลักษณะดังกล่าวนี้มีการถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปทำให้ยีราฟในปัจจุบันมีลักษณะคอยาว
- นักเรียนคิดว่าถ้าโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการใช้งานมากหรือน้อย ลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นจะถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ✎ ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้งานมากหรือน้อย อาจไม่สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นกับเซลล์ร่างกาย และไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ระดับพันธุกรรม จากข้อเท็จจริงนี้ทำให้กฎทั้งสองตามแนวคิดของลามาร์กไม่เป็นที่ยอมรับ

คำถามในหนังสือเรียนมีแนวคำตอบ ดังนี้

-  ยกตัวอย่างกรณีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ไม่เป็นไปตามแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์ก พร้อมให้เหตุผล
-  ตัวอย่างเช่น นกกีฟาเพาะกายมีการบริหารกล้ามเนื้อจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อใช้ในการแข่งขันหรือช่างไม้ที่ทำงานหนักทำให้ผิวหนังบริเวณฝ่ามือหนาและหยาบขึ้น จากกรณีทั้ง 2 นี้ ลักษณะที่เปลี่ยนไปนี้ส่งผลต่อเซลล์ของร่างกายส่วนนั้นๆ เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ หรือเซลล์ผิวหนังบริเวณฝ่ามือ ไม่ได้เกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์และไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ระดับพันธุกรรม ลักษณะที่เปลี่ยนไปนี้จึงไม่สามารถถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่งได้

จากการอภิปรายและตอบคำถาม นักเรียนควรสรุปได้ว่าไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการใช้และไม่ใช้นั้นสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้

7.2.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของดาร์วิน

ครูอาจให้นักเรียนไปสืบค้นข้อมูลการศึกษาค้นคว้าของดาร์วินจากหนังสือเรียน และร่วมกันอภิปรายโดยมีแนวคำถามดังนี้

- หนังสือของชาลส์ โลเอลล์มีอิทธิพลต่อแนวคิดของชาลส์ ดาร์วินอย่างไร
-  หนังสือของชาลส์ โลเอลล์ทำให้ดาร์วินได้แนวคิดที่ว่า เปลือกโลกยังมีการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตก็น่าจะมีการเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน
- การศึกษาหนังสือ An Essay on the Principle of Population ของโทมัส มัลทัส ส่งผลต่อแนวคิดวิวัฒนาการของชาลส์ ดาร์วินอย่างไร
-  หนังสือของมัลทัสซึ่งกล่าวว่าการเติบโตของประชากรมนุษย์ถูกจำกัดเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น การขาดแคลนอาหาร ภัยธรรมชาติ สงคราม โรคภัยไข้เจ็บ ทำให้ดาร์วินได้แนวคิดที่ว่า ในธรรมชาติก็มีปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลให้สมาชิกของประชากรสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมอยู่รอดและสืบพันธุ์ให้ลูกหลานได้มากกว่า ในขณะที่สมาชิกที่มีลักษณะไม่เหมาะสมก็จะค่อยๆ ลดลงและอาจหายไปได้ในที่สุด

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารูป 7.13 ในหนังสือเรียนที่แสดงลักษณะจะงอยปากของนกฟินช์ที่พบในหมู่เกาะกาลาปากอสแล้วอภิปรายเกี่ยวกับความหลากหลายของนกฟินช์บนหมู่เกาะกาลาปากอส โดยมีแนวคำถามดังนี้

- เพราะเหตุใดนกฟินช์ในหมู่เกาะกาลาปากอสจึงมีลักษณะคล้ายคลึงกับนกฟินช์ที่อาศัยบนทวีปอเมริกาใต้
- ✎ อาจเป็นไปได้ว่าบรรพบุรุษของนกฟินช์ในหมู่เกาะกาลาปากอสเป็นนกฟินช์ที่อพยพมาจากทวีปอเมริกาใต้ และได้แพร่กระจายดำรงชีวิตอยู่บนเกาะต่าง ๆ จนกระทั่งมีวิวัฒนาการเป็นนกฟินช์หลากหลายสปีชีส์ ดังเช่นที่พบในปัจจุบัน
- นักเรียนจะอธิบายเกี่ยวกับการเกิดนกฟินช์หลายสปีชีส์บนหมู่เกาะกาลาปากอส โดยใช้ทฤษฎีของดาร์วินได้อย่างไร
- ✎ นกฟินช์ที่อพยพมาจากแผ่นดินใหญ่ไปอาศัยอยู่ตามเกาะต่าง ๆ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันทั้งภายในเกาะเดียวกันและระหว่างเกาะ จึงมีการกินอาหารที่แตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม ทำให้นกฟินช์ที่มีจะงอยปากเหมาะสมกับอาหารในสภาพแวดล้อมนั้นมีโอกาสอยู่รอดได้ดีกว่า และมีโอกาสถ่ายทอดลักษณะดังกล่าวไปยังรุ่นต่อไป ทำให้นกฟินช์ในแต่ละเกาะมีลักษณะของจะงอยปากแตกต่างกันมากขึ้น และเมื่อลักษณะอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมด้วย ในที่สุดก็เกิดเป็นนกฟินช์หลาย ๆ สปีชีส์ในปัจจุบัน

จากการศึกษาของดาร์วิน วิวัฒนาการเป็นการคัดเลือกสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของลักษณะต่าง ๆ ตามสภาพแวดล้อมอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งต้องใช้เวลานานหลายชั่วรุ่น โดยหนึ่งในหลักฐานที่ดาร์วินใช้อ้างอิงและสนับสนุนแนวความคิดเกี่ยวกับการคัดเลือกโดยธรรมชาติ คือ การที่มนุษย์สามารถคัดเลือกสิ่งมีชีวิตเพื่อให้มีลักษณะตามความต้องการ ซึ่งครูอาจจะใช้กรณีการปรับปรุงพันธุ์ของกะหล่ำป้า และการปรับปรุงสายพันธุ์สุนัขในความรู้เพิ่มเติมในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น โดยใช้คำถามเพิ่มเติม ดังนี้

- กะหล่ำพันธุ์ใหม่ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากกะหล่ำป่าหรือไม่อย่างไร
- ✎ มีการเปลี่ยนแปลงไป คือ จะมีลักษณะ ขนาดลำต้น ใบและดอก แตกต่างจากกะหล่ำป่า ตัวอย่างกะหล่ำพันธุ์ใหม่ที่ได้ เช่น กะหล่ำดอก คะน้า กะหล่ำปลี บรอกคอลลี กะหล่ำปม และ บรัสเซลสเปราร์ท เป็นต้น
- การคัดเลือกพันธุ์โดยมนุษย์เหมือนหรือแตกต่างจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติอย่างไร
- ✎ แตกต่างกันคือ การคัดเลือกพันธุ์โดยมนุษย์จะได้ลักษณะของสิ่งมีชีวิตตามความต้องการของมนุษย์ และทำให้สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงในเวลาไม่กี่ชั่วรุ่น แต่การคัดเลือกโดยธรรมชาติเป็นการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในเวลาหลายชั่วรุ่น
- การที่สุนัขถูกคัดเลือกพันธุ์โดยมนุษย์ ทำให้เกิดสุนัขพันธุ์ต่าง ๆ นั้น คิดว่ามีผลดีหรือผลเสียอย่างไร
- ✎ มีผลดีคือ ได้สุนัขที่มีลักษณะและนิสัยตรงความต้องการของมนุษย์ เช่น พุดเดิ้ลและชิวาว่า เป็นสุนัขพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก นิยมเลี้ยงไว้เพื่อเป็นเพื่อนคลายเหงา ขณะที่ไซบีเรียนฮัสกี้ที่มีขนาดใหญ่ แข็งแรง สามารถนำมาฝึกให้ลากเลื่อน ส่วนผลเสียคือ ลักษณะบางลักษณะของสุนัขที่ไม่ตรงกับความต้องการของมนุษย์ก็จะหายไป ทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมของสุนัขลดลง

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนยกตัวอย่างเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคัดเลือกพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตอื่นในห้องเรียนของนักเรียน เช่น การคัดเลือกพันธุ์ข้าว ข้าวโพด การคัดเลือกพันธุ์ไก่ และการคัดเลือกพันธุ์ปลาตะบิม เป็นต้น พร้อมทั้งอภิปรายว่า **ลักษณะใดที่มนุษย์คัดเลือกไว้** หรือในการปรับปรุงพันธุ์



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเทียน พันธุ์สุโขทัย 1

ข้าวโพดเทียนเป็นข้าวโพดฝักสดที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมากชนิดหนึ่ง พันธุ์ที่เกษตรกรปลูกเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรเก็บเมล็ดพันธุ์เอง และใช้ปลูกต่อเนื่องมาเป็นเวลานานทำให้ลักษณะต่างๆ มีความแปรปรวนสูง ผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ จึงได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเทียนให้มีลักษณะทางการเกษตรดี ผลผลิตสูงและคุณภาพดี

ข้าวโพดเทียนพันธุ์สุโขทัย 1 ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเทียนพันธุ์ T-033 ซึ่งรวบรวมจากจังหวัดเชียงใหม่ ในปี 2526 เริ่มดำเนินการปรับปรุงพันธุ์ในฤดูฝน ปี 2531 ที่สถานีทดลองพืชไร่ ศรีลำไย จังหวัดสุโขทัย โดยปลูกและคัดเลือกต้นที่มีลักษณะดี ทำการผสมตัวเอง 1 ครั้ง นำฝักที่ได้มาปลูกผสมข้ามกันอย่างอิสระ และทำการคัดเลือกหมู่ประยุกต์ เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของลักษณะต่างๆ เช่น ความสูงต้น ความสูงของตำแหน่งฝัก ขนาดฝักและฝักที่มีเมล็ดสีขาว

ลักษณะเด่นของข้าวโพดเทียนพันธุ์สุโขทัย 1 คือให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมือง น้ำหนักฝักทั้งเปลือกของฝักทั้งหมดสูงกว่าพันธุ์พื้นเมือง มีคุณภาพในการบริโภคดีกว่าพันธุ์พื้นเมือง คือ มีรสชาติหวานเล็กน้อย ความนุ่มเหนียวดี ไม่ติดฟัน และมีกลิ่นหอมชวนรับประทาน สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ มีการปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมต่างๆ และให้ผลผลิตสูง มีรสชาติดีกว่าพันธุ์พื้นเมือง

ที่มา : เดลินิวส์ 5 มกราคม 2558

<https://www.dailynews.co.th/agriculture/291586>

โดยมนุษย์นั้นมีข้อดีข้อเสียอย่างไร

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันสรุปทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ และตอบคำถามในหนังสือเรียนโดยมีแนวทางคำตอบดังนี้



จากคำกล่าวที่ว่า “แมลงที่ได้รับสารฆ่าแมลงทำให้เกิดความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงมากยิ่งขึ้น” นักเรียนเห็นด้วยกับคำกล่าวนี้หรือไม่ ให้เหตุผลประกอบ



ไม่เห็นด้วย เนื่องจากสารฆ่าแมลงไม่ได้ทำให้แมลงมีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงเกิดขึ้น แต่อาจมีแมลงบางตัวที่มียีนต้านทานต่อสารฆ่าแมลงจะถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติให้มีโอกาสอยู่รอด และให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นต่อไป ทำให้ยีนต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในประชากร

เพิ่มมากขึ้น



เพราะเหตุใดการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของสิ่งมีชีวิตจึงมีความสำคัญต่อการคัดเลือกโดยธรรมชาติ



การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเกิดจากการรวมกันของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย ทำให้เกิดการรวมกันใหม่ของยีนในรูปแบบต่าง ๆ เกิดความแปรผันทางพันธุกรรมซึ่งธรรมชาติจะเป็นตัวคัดเลือกลักษณะทางพันธุกรรมที่เหมาะสมไว้ในประชากร

ครูอาจใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วินที่ได้เรียนมา ดังนี้

- นักเรียนคิดว่าแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วินเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร
- ✎ แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วินเหมือนกันคือสภาพแวดล้อมเป็นแรงผลักดันที่ทำให้สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ โดยลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะอยู่รอด แต่มีข้อแตกต่างคือ แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นผลมาจากการใช้หรือไม่ใช้โครงสร้าง และสามารถถ่ายทอดลักษณะนั้นไปยังรุ่นต่อไปได้ ในขณะที่แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของดาร์วิน กล่าวคือลักษณะของสิ่งมีชีวิตมีความแตกต่างที่เรียกว่าความแปรผันของลักษณะ ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ดำรงชีวิตอยู่ จะมีโอกาสอยู่รอดและสืบพันธุ์ต่อไปได้

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีวิวัฒนาการสังเคราะห์ในการอธิบายกลไกการเกิดวิวัฒนาการโดยให้นักเรียนอภิปรายสรุปร่วมกัน โดยใช้คำถามเพิ่มเติมซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้

- ขั้นตอนใดของกลไกการเกิดวิวัฒนาการที่ดาร์วินไม่สามารถอธิบายได้
- ✎ ดาร์วินไม่สามารถอธิบายได้ว่าความแปรผันทางพันธุกรรมของประชากรเกิดขึ้นได้อย่างไร
- วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเกิดกับสิ่งมีชีวิตแต่ละตัวหรือกับประชากรของสิ่งมีชีวิต จงอธิบาย
- ✎ วิวัฒนาการจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติให้ความสำคัญกับประชากรซึ่งเป็นหน่วยของวิวัฒนาการ โดยสิ่งมีชีวิตแต่ละตัวในประชากรเดียวกันมีความแปรผันแตกต่างกัน ลักษณะทางพันธุกรรมใดที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมก็จะถูกคัดเลือกและประสบความสำเร็จใน

การสืบพันธุ์ และถ่ายทอดลักษณะดังกล่าวไปยังรุ่นต่อไป ทำให้เกิดวิวัฒนาการขึ้น จากนั้นให้นักเรียนได้ศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ประชากรว่าเกี่ยวข้องกับกลไกการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอย่างไร

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของของ ลามาร์กและทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของชาลส์ ดาร์วิน จากการสืบค้นข้อมูล อภิปราย นำเสนอข้อมูล และการทำแบบฝึกหัด

ด้านทักษะ

- การสังเกต และการลงความเห็นข้อมูลจากการตอบคำถามและการอภิปรายร่วมกัน
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อจากการสืบค้นข้อมูล

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น และการใช้วิจารณ์ญาณจากการสังเกตพฤติกรรมในการตอบคำถาม และการอภิปรายร่วมกัน

7.3 พันธุศาสตร์ประชากร

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายหลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และระบุเงื่อนไขของสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
2. คำนวณหาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ของประชากรโดยใช้หลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับความหมายของประชากร จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาทางพันธุศาสตร์ประชากรและอภิปรายร่วมกัน ซึ่งควรสรุปได้ว่าพันธุศาสตร์ประชากรเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลและการเปลี่ยนแปลงความถี่ของจีโนไทป์ของประชากร รวมทั้งปัจจัยที่ทำให้ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์เปลี่ยนแปลงทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดวิวัฒนาการ

ครูให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าวิวัฒนาการเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระดับประชากร ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสมาชิกแต่ละตัวในประชากรนั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ได้ลักษณะใหม่เกิดขึ้นในประชากรจนทำให้เกิดวิวัฒนาการได้นั้นต้องเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร

7.3.1 ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์

ครูให้นักเรียนศึกษาการหาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรจากหนังสือเรียน ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมโดยอาศัยตัวอย่างของประชากรไม้ดอกในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนสรุป ซึ่งอาจมีแนวทางในการสรุปได้ดังนี้

ความถี่ของแอลลีล คือ จำนวนของแอลลีลใดแอลลีลหนึ่งของยีนที่ต้องการศึกษาในยีนพูลต่อจำนวนแอลลีลทั้งหมดของยีนที่ต้องการศึกษาในยีนพูล เช่น ในการศึกษาลักษณะสีดอกของประชากรไม้ดอกที่ถูกควบคุมโดยยีน 2 แอลลีล คือ R ควบคุมลักษณะดอกสีแดง และ r ควบคุมลักษณะดอกสีขาว ในประชากรไม้ดอก 1,000 ต้น มีจีโนไทป์ดังนี้

$$RR = 640 \text{ ต้น}$$

$$Rr = 320 \text{ ต้น}$$

$$rr = 40 \text{ ต้น}$$

สามารถคำนวณหาจำนวนแอลลีล R และ r ได้ดังนี้

$$\text{จำนวนแอลลีลทั้งหมด} = 1,000 \times 2 = 2,000 \text{ แอลลีล}$$

$$\text{จีโนไทป์ } RR \text{ จำนวน } 640 \text{ ต้น จะมีแอลลีล } R = 640 + 640 = 1,280 \text{ แอลลีล}$$

$$\text{จีโนไทป์ } Rr \text{ จำนวน } 320 \text{ ต้น จะมีแอลลีล } R = 320 \text{ แอลลีล และแอลลีล } r = 320 \text{ แอลลีล}$$

$$\text{จีโนไทป์ } rr \text{ จำนวน } 40 \text{ ต้น จะมีแอลลีล } r = 40 + 40 = 80 \text{ แอลลีล}$$

ความถี่ของแอลลีลสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความถี่ของแอลลีล } R = \frac{\text{จำนวนแอลลีล } R}{\text{จำนวนแอลลีลทั้งหมด}} = \frac{1,280 + 320}{2,000} = \frac{1,600}{2,000} = 0.8$$

$$\text{ความถี่ของแอลลีล } r = \frac{\text{จำนวนแอลลีล } r}{\text{จำนวนแอลลีลทั้งหมด}} = \frac{320 + 80}{2,000} = \frac{400}{2,000} = 0.2$$

ความถี่ของจีโนไทป์ คือ จำนวนสมาชิกที่มีจีโนไทป์แต่ละแบบของยีนที่ต้องการศึกษาเมื่อคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละต่อจำนวนสมาชิกทั้งหมดในประชากรนั้น จากตัวอย่างของประชากรไม้ดอกที่กล่าวข้างต้น

ความถี่ของจีโนไทป์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } RR = \frac{\text{จำนวนสมาชิกที่มีจีโนไทป์ } RR}{\text{จำนวนสมาชิกทั้งหมด}} = \frac{640}{1,000} = 0.64$$

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } Rr = \frac{\text{จำนวนสมาชิกที่มีจีโนไทป์ } Rr}{\text{จำนวนสมาชิกทั้งหมด}} = \frac{320}{1,000} = 0.32$$

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } rr = \frac{\text{จำนวนสมาชิกที่มีจีโนไทป์ } rr}{\text{จำนวนสมาชิกทั้งหมด}} = \frac{40}{1,000} = 0.04$$

ครูอาจให้นักเรียนคิดวิเคราะห์ต่อไปว่า ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรนี้จะมีค่าเท่าเดิมหรือไม่ในช่วงต่อไป ๆ ไป หรือจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเกิดจากสาเหตุใดได้บ้าง จากนั้นให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับหลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ในหัวข้อ 7.3.2



บทความ

7.3.2 หลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อศึกษาเกี่ยวกับหลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กจากหนังสือเรียน และจากตัวอย่างของประชากรไม้ดอกในหนังสือเรียน และอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า ถ้าประชากรใดมีลักษณะเป็นไปตามเงื่อนไขของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรจะมีค่าคงที่ในทุก ๆ ช่วง

ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามเพิ่มเติม ดังนี้

- ถ้าพิจารณาประชากรของสัตว์ชนิดหนึ่งที่อาศัยอยู่บนเกาะแห่งหนึ่ง ประชากรของสัตว์บนเกาะแห่งนี้มีแนวโน้มที่ความถี่ของแอลลีลของยีนใดยีนหนึ่งในประชากรจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ✎ คำตอบอาจมีได้หลากหลาย เช่น ประชากรของสัตว์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่มาก ซึ่งถ้าหากไม่มีมิวเทชัน ไม่มีการถ่ายเทยีนระหว่างประชากร สัตว์ทุกตัวมีโอกาสผสมพันธุ์ได้เท่ากัน ไม่เกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ความถี่ของแอลลีลในประชากรนี้จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่หากมีการอพยพเข้าของประชากรสัตว์ชนิดเดียวกันจากที่อื่นก็อาจทำให้ความถี่ของแอลลีลเปลี่ยนแปลงได้

ครูให้นักเรียนศึกษาการนำหลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กมาใช้ในการหาจำนวนประชากรที่เป็นพาหะของโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์จากตัวอย่างโจทย์ในหนังสือเรียน แล้วตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



เฉลยตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ถ้าประชากรนี้อยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ความถี่ของแอลลีลด้อยในประชากรมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างไรต่อไปในอีก 50 ชั่วโมง
✎ มีแนวโน้มคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- ? เพราะเหตุใดในธรรมชาติ ประชากรส่วนใหญ่จึงไม่อยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
✎ เนื่องจากในธรรมชาติมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ประชากรส่วนใหญ่จึงไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ทำให้ประชากรอยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก เช่น มีการเกิดมิวเทชัน หรือเกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติอยู่ตลอดเวลา

จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 7.1



กิจกรรม 7.1 การใช้หลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

จุดประสงค์

คำนวณหาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์โดยใช้หลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

20 นาที

แนวการตอบกิจกรรม

- ในพื้นที่แห่งหนึ่งมีประชากรจำนวน 400 คน ถ้าประชากรนี้มีความถี่ของแอลลีล $A = 0.6$ และแอลลีล $a = 0.4$ และอยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก จงหาจำนวนคนที่มีจีโนไทป์แบบต่างๆ

 ประชากรที่มีจีโนไทป์ AA หรือ p^2	$= 0.6 \times 0.6$	$= 0.36$
ดังนั้นมีจำนวนประชากรที่มีจีโนไทป์ AA	$= 0.36 \times 400$	$= 144$ คน
ประชากรที่มีจีโนไทป์ Aa หรือ $2pq$	$= 2 \times 0.6 \times 0.4$	$= 0.48$
ดังนั้นมีจำนวนประชากรที่มีจีโนไทป์ Aa	$= 0.48 \times 400$	$= 192$ คน
ประชากรที่มีจีโนไทป์ aa หรือ q^2	$= 0.4 \times 0.4$	$= 0.16$
ดังนั้นมีจำนวนประชากรที่มีจีโนไทป์ aa	$= 0.16 \times 400$	$= 64$ คน
- ลักษณะหมู่เลือด Rh เป็นลักษณะที่ควบคุมโดยยีน 1 โกล์ส บนออโตโซมมี 2 แอลลีล มีการแสดงออกแบบเด่นสมบูรณ์ ลักษณะเลือดหมู่ Rh^- เป็นลักษณะด้อย (dd) ในประชากรกลุ่มหนึ่งพบว่า มีประชากรเลือดหมู่ Rh^- อยู่ 16% เมื่อประชากรนี้อยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก จงคำนวณหาความถี่ของแอลลีลในประชากร

 เลือดหมู่ Rh^- เป็นลักษณะด้อยจึงมีความถี่ของจีโนไทป์ dd เท่ากับ $q^2 = \frac{16}{100} = 0.16$
ดังนั้นความถี่ของแอลลีล d ในประชากรเท่ากับ 0.4
ขณะที่ความถี่ของแอลลีล D ในประชากรเท่ากับ $1 - 0.4 = 0.6$
- ประชากรของหนู ณ หุ่น้าแห่งหนึ่ง อยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก พบว่าประชากรหนุร้อยละ 36 มีขนสีเทาซึ่งเป็นฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ (bb) ส่วนหนูที่เหลือมีขนสีดำซึ่งเป็นลักษณะเด่น

3.1 ความถี่ของแอลลีล b ในยีนพูลของประชากรเป็นเท่าใด

 ความถี่ของแอลลีล b ในยีนพูลของประชากรเท่ากับ 0.6

3.2 จำนวนร้อยละของประชากรหนูที่มีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสเป็นเท่าใด

 ประชากรหนูขนสีเทาที่เป็นลักษณะด้อยมีความถี่ของจีโนไทป์เท่ากับ

$$q^2 = \frac{36}{100} = 0.36$$

ดังนั้นความถี่ของแอลลีล b (q) ในประชากรเท่ากับ 0.6

ขณะที่ความถี่ของแอลลีล B (p) ในประชากรเท่ากับ $1 - 0.6 = 0.4$

ดังนั้นสามารถหาความถี่ของจีโนไทป์ของประชากรที่มีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสได้จากค่า $2pq$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2 \times 0.4 \times 0.6 = 0.48$ หรือคิดเป็นร้อยละ 48 ของประชากรหนูทั้งหมด

3.3 ถ้าประชากรหนูมีจำนวน 500 ตัว จะมีหนูที่มีลักษณะขนสีดำที่มีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสกี่ตัว

 ประชากรหนูที่มีลักษณะขนสีดำที่มีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสสามารถหาได้จากค่า p^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.4 \times 0.4 = 0.16$ ถ้าประชากรหนูมีจำนวน 500 ตัว จะมีหนูที่มีลักษณะขนสีดำที่มีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสเท่ากับ $0.16 \times 500 = 80$ ตัว



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

กรณีที่ลักษณะควบคุมโดยมัลติเปิลแอลลีลก็สามารถใช้แนวคิดของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กได้ เช่น ระบบหมู่เลือด ABO ควบคุมโดย 3 แอลลีล คือ I^A I^B และ i ซึ่งมีความถี่ของแอลลีลเท่ากับ p q และ r ตามลำดับ โดย

$$p + q + r = 1$$

และมีความถี่ของจีโนไทป์เท่ากับ

$$(p + q + r)^2 = p^2 + 2pq + 2qr + r^2 + 2pr + q^2 = 1$$

ตัวอย่าง	ถ้าความถี่ของแอลลีล $I^A = 0.27$
	ความถี่ของแอลลีล $I^B = 0.06$
	ความถี่ของแอลลีล $i = 0.67$

ถ้าประชากรนี้อยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ในประชากร 100,000 คน จะมีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสสำหรับหมู่เลือด A จำนวนกี่คน

ความถี่ของเลือดหมู่ A ($I^A i$) คือ $2pr$	$= 2 \times 0.27 \times 0.67$
	$= 0.3618$

แสดงว่าในประชากรนี้ มีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสสำหรับเลือดหมู่ A จำนวน $0.3618 \times 100,000 = 36,180$ คน

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- หลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก เงื่อนไขของสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และการหาความถี่ของแอลลีลและจีโนไทป์ของประชากรโดยใช้หลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก จากการตอบคำถาม การอภิปราย และการทำกิจกรรม

ด้านทักษะ

- การสังเกต การใช้จำนวน และการลงความเห็นจากข้อมูลจากการตอบคำถาม การอภิปราย และการทำกิจกรรม
- การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาจากการตอบคำถาม และการอภิปราย

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง และความรอบคอบจากการสืบค้นข้อมูล การตอบคำถาม การอภิปราย และการมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน โดยประเมินตามสภาพจริงระหว่างเรียน

7.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายและสรุปปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรที่ส่งผลต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนหลักการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ว่าเกิดขึ้นได้ต้องมีเงื่อนไขใดบ้าง ขณะเดียวกัน ในธรรมชาติเงื่อนไขดังกล่าวเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นความถี่ของแอลลีลของประชากรสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทำให้ประชากรไม่อยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรทำให้โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรเปลี่ยนแปลง นั่นคือประชากรเกิดวิวัฒนาการขึ้น จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับวิวัฒนาการจุลภาคและวิวัฒนาการมหภาค และอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปว่าวิวัฒนาการจุลภาคสามารถศึกษาได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร

จากนั้นครูอธิบายและยกตัวอย่างวิวัฒนาการจุลภาค เช่น การดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรีย การดื้อสารฆ่าแมลงของแมลงบางชนิด พร้อมทั้งอธิบายและยกตัวอย่างวิวัฒนาการมหภาค เช่น นกฟินช์สปีชีส์ต่าง ๆ บนหมู่เกาะกาลาปากอส

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า มีปัจจัยใดบ้างที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร โดยให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากในหนังสือเรียน ซึ่งจากการสืบค้นนักเรียนควรจะบอกได้ว่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ประชากรเกิดวิวัฒนาการได้ คือ

1. เจเนติกดริฟต์แบบสุ่ม
2. การถ่ายเทยีน
3. การผสมพันธุ์แบบไม่สุ่ม
4. มิวเทชัน
5. การคัดเลือกโดยธรรมชาติ

ครูอาจใช้คำถามนำในหนังสือเรียนเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ประชากรเกิดวิวัฒนาการได้อย่างไร



บทความ

- เจเนติกดริฟต์แบบสุ่ม

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 7.16 ในหนังสือเรียนซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลซึ่งเกิดขึ้นอย่างไม่เจาะจงของประชากรไม้ดอก เพื่อทำความเข้าใจการเปลี่ยนทางพันธุกรรมอย่างไม่เจาะจง และเน้นให้เห็นว่าประชากรขนาดเล็กมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนทางพันธุกรรมอย่างไม่เจาะจงมากกว่าประชากรขนาดใหญ่ เช่น เมื่อเปรียบเทียบประชากรไม้ดอกในบริเวณหนึ่งซึ่งมีจำนวน 10,000 ต้น กับประชากรไม้ดอกชนิดเดียวกันในอีกบริเวณหนึ่งที่มีจำนวน 10 ต้น หากแอลลีลใดแอลลีลหนึ่งในประชากรทั้งสองนี้มีความถี่เท่ากับ 0.1 เท่ากัน ซึ่งเมื่อคำนวณโดยใช้สมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กจะพบว่าประชากรที่มีขนาด 10,000 ต้น จะมีต้นที่มีแอลลีลนี้อยู่ 1,900 ต้น (ต้นที่มีจีโนไทป์ Rr จำนวน 1,800 ต้น และจีโนไทป์ rr จำนวน 100 ต้น) ในขณะที่ประชากรที่มีจำนวน 10 ต้นจะมีต้นที่มีแอลลีลนี้เพียง 2 ต้น (ต้นที่มีจีโนไทป์ Rr จำนวน 2 ต้น) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าประชากรที่มี 10 ต้น มีโอกาสที่แอลลีลนี้จะหายไปจากยีนพูลของประชากรสูงกว่าประชากรที่มี 10,000 ต้น และให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



มีสาเหตุใดบ้างที่ทำให้ความถี่ของแอลลีลในแต่ละชั่วรุ่นของประชากรไม้ดอกในรูปมีการเปลี่ยนแปลง



คำตอบอาจมีได้หลากหลายขึ้นอยู่กับความรู้เดิมและประสบการณ์ของนักเรียน เช่น ไม้ดอกบางต้นถูกสัตว์ขนาดใหญ่ทำลายโดยการเหยียบหรือถูกกิน ไม่มีโอกาสได้ผสมพันธุ์จึงไม่มีลูก

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม โดยใช้สถานการณ์ที่ทำให้เกิดเจเนติกดริฟต์แบบสุ่มที่พบในธรรมชาติ 2 สถานการณ์คือ ปรากฏการณ์คอขวดและปรากฏการณ์ผู้ก่อตั้ง เพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดการเปลี่ยนทางพันธุกรรมอย่างไม่เจาะจงได้ดียิ่งขึ้น

- การถ่ายเทยีน

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 7.18 ในหนังสือเรียนเกี่ยวกับการถ่ายเทยีน แล้วตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



เฉลยตรวจสอบความเข้าใจ

- ?** จากตัวอย่างประชากรไม้ดอกทั้ง 2 กลุ่ม ความถี่ของแอลลีลในประชากรมีแนวโน้มที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
-  ประชากรมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลทั้งทางฝั่งด้าน A และ B โดยฝั่ง A ความถี่ของแอลลีล r มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ฝั่ง B ความถี่ของแอลลีล r มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การถ่ายเทยีนระหว่าง 2 ประชากรหากเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ อาจทำให้ความถี่ของแอลลีลในประชากรทั้ง 2 เท่ากัน
- ?** การอพยพเข้าและออกของประชากร จะทำให้ความถี่ของแอลลีลในประชากรมีการเปลี่ยนแปลงเสมอไปหรือไม่ เพราะเหตุใด
-  ไม่เสมอไป เนื่องจากถ้าแอลลีลที่มีการเคลื่อนย้ายเข้าสู่ประชากรเท่ากับแอลลีลที่มีการเคลื่อนย้ายออกจากประชากร จะทำให้สัดส่วนหรือความถี่ของแอลลีลแต่ละชนิดของประชากรไม่มีการเปลี่ยนแปลง

และตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

- ?** ปัจจุบันคนไทยแต่งงานกับชาวต่างชาติมากขึ้น อาจทำให้ความถี่ของแอลลีลในประชากรในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เพราะเหตุใด
-  ทำให้มีการแพร่กระจายของแอลลีลใหม่ในยีนพูลของประชากรท้องถิ่น มีความแปรผันทางพันธุกรรมในหมู่ประชากรท้องถิ่นเพิ่มมากขึ้น และถ้าเหตุการณ์ดังกล่าวดำเนินไปเรื่อยๆ อาจทำให้ความแตกต่างของยีนพูลระหว่างกลุ่มประชากรเชื้อชาติต่างๆ ลดลง

ครูอาจยกตัวอย่างเพิ่มเติมเกี่ยวกับการถ่ายเทยีนของยูงรำคาญชนิดหนึ่งที่มีถิ่นอาศัยตามสวนสาธารณะแห่งหนึ่ง สมาชิกที่มีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง เมื่อย้ายออกไปสู่ประชากรกลุ่มใหม่และผสมพันธุ์กับสมาชิกในประชากรกลุ่มใหม่ จะทำให้มีการถ่ายเทแอลลีลต้านทานสารฆ่าแมลงสู่ประชากรกลุ่มใหม่ที่อาศัยในภูมิประเทศอื่นๆ

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล ดังนี้

- การผสมพันธุ์แบบไม่สุ่ม
- มิวเทชัน
- การคัดเลือกโดยธรรมชาติ

แล้วให้นักเรียนทำกิจกรรม 7.2



กิจกรรม 7.2 การคัดเลือกโดยธรรมชาติ

จุดประสงค์

สรุปการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลที่เกิดขึ้นจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

20 นาที

แนวการตอบกิจกรรม

- ?** การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรผีเสื้อในเมือง A และเมือง B เป็นอย่างไร
- ✎** ในเมือง A ความถี่ของแอลลีลที่ควบคุมลักษณะสีเทาของผีเสื้อจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนประชากรผีเสื้อสีเทามากกว่าสีดำ แต่ในเมือง B ความถี่ของแอลลีลที่ควบคุมลักษณะสีดำของผีเสื้อจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนประชากรผีเสื้อสีดำมากกว่าสีเทา
- ?** ธรรมชาติมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลที่ทำให้เกิดการคัดเลือกลักษณะในประชากรผีเสื้อปีชี้นี้อย่างไร
- ✎** ในธรรมชาติผีเสื้อชนิดนี้เป็นเหยื่อของนก นกทำหน้าที่เสมือนเป็นผู้คัดเลือกผีเสื้อที่มีลักษณะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมให้อยู่รอด ทั้งนี้สภาพแวดล้อมมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลของผีเสื้อ คือ ผีเสื้อที่มีสีปีกที่กลมกลืนกับสภาพแวดล้อมในเมืองจะมีโอกาสอยู่รอดมากกว่า ทำให้ผีเสื้อเหล่านั้นถูกคัดเลือกและสามารถอยู่รอดได้ต่อไป และทำให้ความถี่ของแอลลีลที่ควบคุมลักษณะที่เหมาะสมนั้นมากตามไปด้วย

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนจากรูป 7.19 ซึ่งมีแนวในการตอบคำถาม ดังนี้

-  เพราะเหตุใดตั๊กแตนใบไม้จึงมีสีวิตรอดได้ดีในสภาพแวดล้อมนี้ และสิ่งที่เป็นตัวคัดเลือกในธรรมชาติคืออะไร
-  เนื่องจากตั๊กแตนใบไม้ มีลักษณะรูปร่างและสีที่กลมกลืนกับใบไม้ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย จึงมีสีวิตรอดได้ดีในสภาพแวดล้อมนี้เนื่องจากไม่ถูกล่าเป็นอาหาร ดังนั้นผู้ล่าจึงเป็นตัวคัดเลือกที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ
-  ถ้าสภาพแวดล้อมที่ตั๊กแตนใบไม้อาศัยอยู่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โอกาสในการอยู่รอดของประชากรตั๊กแตนใบไม้จะยังคงเหมือนเดิมหรือไม่ เพราะเหตุใด
-  โอกาสในการอยู่รอดของประชากรตั๊กแตนใบไม้จะไม่เหมือนเดิม เนื่องจากถ้าสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้รูปร่างและสีของตั๊กแตนไม่กลมกลืนไปกับสภาพแวดล้อมแบบใหม่ ทำให้ถูกผู้ล่าเห็นได้ง่ายกว่าในสภาพแวดล้อมแบบเก่า จึงอาจส่งผลให้ประชากรของตั๊กแตนถูกผู้ล่าจับกินได้ง่าย โอกาสในการอยู่รอดของประชากรตั๊กแตนใบไม้จึงลดลง

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ



เฉลยตรวจสอบความเข้าใจ

-  การแปรผันทางพันธุกรรม มิวเทชัน และการคัดเลือกโดยธรรมชาติทำให้เกิดวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิตได้อย่างไร
-  มิวเทชัน เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดแอลลีลใหม่ๆ ที่สะสมไว้ในยีนพูลของประชากร ที่ทำให้เกิดความแปรผันทางพันธุกรรมของประชากร ในประชากรที่มีความแปรผันทางพันธุกรรมนั้น สิ่งมีชีวิตใดที่มีลักษณะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ในขณะนั้นก็จะถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติ ทำให้เกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากร ที่ส่งผลต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต จากการตอบคำถาม การอภิปราย และการทำกิจกรรม

ด้านทักษะ

- การสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูลจากการตอบคำถาม การอภิปราย และการทำกิจกรรม
- การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาจากการตอบคำถาม และการทำกิจกรรม

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ และความรอบคอบจากการสืบค้นข้อมูล การตอบคำถาม การทำกิจกรรม และการมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน โดยประเมินตามสภาพจริงระหว่างเรียน

7.5 กำเนิดสปีชีส์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบาย และยกตัวอย่างแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของสปีชีส์ด้านต่างๆ
2. อธิบาย และยกตัวอย่างการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกำเนิดสปีชีส์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากร เรียกว่า วิวัฒนาการระดับจุลภาค ซึ่งเมื่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีมากพอ อาจนำไปสู่การเกิดสปีชีส์ใหม่ เรียกว่า วิวัฒนาการระดับมหภาค และใช้คำถามนำในหนังสือเรียนว่า **สปีชีส์มีความหมายอย่างไร** เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาต่อในหัวข้อ 7.5.1

7.5.1 ความหมายของสปีชีส์

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 7.20 ในหนังสือเรียนแล้วถามคำถามในหนังสือเรียนว่า **นกในรูปมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก บอกได้หรือไม่ว่าเป็นสปีชีส์เดียวกันหรือต่างสปีชีส์ เพราะเหตุใด**

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายโดยใช้ความรู้เดิมที่มีอยู่ ซึ่งนักเรียนอาจจะตอบได้ว่า ไม่สามารถบอกได้จากลักษณะภายนอก อาจศึกษาจากข้อมูลทางพันธุกรรม หรืออาจให้นัก 2 ตัวนี้ผสมพันธุ์กัน หากสามารถผสมพันธุ์กันและให้ลูกหลานสืบทอดต่อไปได้แสดงว่าเป็นนกสปีชีส์เดียวกัน แต่ถ้าให้ลูกที่เป็นหมันหรือลูกที่ค่อย ๆ อ่อนแอลงเรื่อย ๆ ในแต่ละชั่วรุ่น หรือนก 2 ตัวนี้ไม่สามารถผสมพันธุ์และให้กำเนิดลูกได้ แสดงว่าต่างสปีชีส์กัน ซึ่งการใช้เกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นเป็นการใช้เกณฑ์ตามความหมายของสปีชีส์ทางด้านชีววิทยา จากนั้นครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า มีแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของสปีชีส์ทางด้านอื่น ๆ เช่น

1. สปีชีส์ทางด้านสัตววิทยา
2. สปีชีส์ทางด้านสายวิวัฒนาการ

จากนั้นครูให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า การจัดสปีชีส์โดยอาศัยความหมายของสปีชีส์ในด้านใดด้านหนึ่งนั้นอาจไม่สามารถใช้ได้ในทุกสถานการณ์หรือไม่สามารถใช้กับสิ่งมีชีวิตได้ทุกชนิด และให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน

 การศึกษาเพื่อจำแนกสปีชีส์ของซากดึกดำบรรพ์ควรใช้ความหมายของสปีชีส์ตามแนวคิดใด เพราะเหตุใด

 การจำแนกสปีชีส์ของซากดึกดำบรรพ์น่าจะใช้หลักฐานทางด้านสัณฐานและโครงสร้างทางกายภาพ ซึ่งเป็นการจัดสปีชีส์โดยใช้ความหมายทางด้านสัณฐานวิทยา เนื่องจากซากดึกดำบรรพ์สูญพันธุ์ไปแล้วจึงไม่สามารถใช้การจัดสปีชีส์โดยใช้ความหมายทางด้านชีววิทยาซึ่งอาศัยหลักฐานด้านการผสมพันธุ์และให้กำเนิดลูกหลานได้

ครูอาจใช้คำถามในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่การสืบค้นข้อมูลในหัวข้อ 7.5.2 ว่า ในธรรมชาติ มีสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์อยู่รวมกันจำนวนมาก สิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีกลไกป้องกันการผสมพันธุ์ข้ามสปีชีส์ได้อย่างไร

7.5.2 การแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการป้องกันการผสมพันธุ์ข้ามสปีชีส์หรือการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์ พร้อมทั้งยกตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตในท้องถิ่นเพิ่มเติมเพื่อประกอบการอภิปราย

จากการสืบค้นข้อมูลและอภิปรายร่วมกัน นักเรียนควรสรุปได้ว่าสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันมีการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์อยู่ 2 ระดับ คือ การแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์ก่อนระยะไซโกต และการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์หลังระยะไซโกต

การแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์ก่อนระยะไซโกต ได้แก่ สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันอาจมีแหล่งที่อยู่ต่างกัน มีพฤติกรรมต่างกัน มีช่วงเวลาในการผสมพันธุ์ต่างกัน มีโครงสร้างของอวัยวะสืบพันธุ์แตกต่างกัน หรือมีสรีรวิทยาของเซลล์สืบพันธุ์แตกต่างกัน ทำให้เซลล์สืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้

การแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์หลังระยะไซโกต ทำให้ลูกผสมที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยหรือสืบพันธุ์ต่อไปได้ ได้แก่ ลูกผสมตายก่อนถึงวัยเจริญพันธุ์ ลูกผสมเป็นหมัน และลูกผสมล้มเหลว

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

-  ม้ามีโครโมโซมจำนวน 64 โครโมโซม ส่วนลามีจำนวนโครโมโซม 62 โครโมโซม ล่อควรมีจำนวนโครโมโซมเท่าใด และเพราะเหตุใดล่อจึงเป็นหมัน
-  ล่อเกิดจากเซลล์สืบพันธุ์ของม้าที่มีจำนวน 32 โครโมโซม และเซลล์สืบพันธุ์ของลาที่มีจำนวน 31 โครโมโซม ดังนั้นล่อจะมีโครโมโซมจำนวน 63 โครโมโซม ล่อเป็นหมันเพราะในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โครโมโซมของม้ากับลาจะไม่มาเข้าคู่กัน ทำให้ได้เซลล์สืบพันธุ์ที่ผิดปกติ
-  นอกจากล่อแล้วมีลูกผสมที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์ชนิดใดอีกบ้าง
-  ลูกผสมที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์ เช่น ไทกอน (tigon) เกิดจากเสือเพศผู้ผสมกับสิงโตเพศเมีย และไลเกอร์ (liger) เกิดจากสิงโตเพศผู้ผสมกับเสือเพศเมีย

7.5.3 กำเนิดสปีชีส์ใหม่

ครูทบทวนว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของยีนพูลในประชากร ทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดวิวัฒนาการเป็นสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่ และตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การค้นคว้าและการอภิปรายว่า สปีชีส์ใหม่เกิดได้อย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนได้ศึกษารูป 7.25 กำเนิดสปีชีส์แบบแอลโลพาทริก และรูป 7.27 กำเนิดสปีชีส์แบบซิมพาทริก โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- เพราะเหตุใดการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์จึงทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่
- ✎ เนื่องจากอุปสรรคที่มาขวางกั้นทำให้ประชากรที่เคยอาศัยอยู่ในพื้นที่เดียวกันถูกแบ่งแยกออกจากกันเป็นประชากรย่อย ๆ ซึ่งไม่สามารถถ่ายเทยีนระหว่างประชากรย่อยได้ ทำให้ลักษณะต่าง ๆ รวมทั้งโครงสร้างทางพันธุกรรมของแต่ละประชากรย่อยมีการปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่จนกระทั่งเกิดวิวัฒนาการเป็นสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กัน
- การเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกันเกิดขึ้นได้อย่างไร
- ✎ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของสมาชิกบางกลุ่มในประชากร เช่น การเกิดพอลิพลอยดีในพืช หรือเกิดจากพฤติกรรมการเลือกแหล่งที่อยู่ของสัตว์ ทำให้ไม่สามารถผสมพันธุ์กับสมาชิกประชากรดั้งเดิมแล้วให้กำเนิดลูกหลานได้ จึงไม่เกิดการถ่ายเทยีน ทำให้เกิดวิวัฒนาการเป็นสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่



เฉลยตรวจสอบความเข้าใจ



เพราะเหตุใดประชากรของสิ่งมีชีวิตที่แยกออกจากกันในลักษณะนี้ เมื่อกลับมาอยู่ร่วมกันอีกครั้งจึงไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้อีก



เนื่องจากสภาพแวดล้อมของประชากรที่แยกออกจากกันนี้อาจแตกต่างกัน เป็นเหตุให้แต่ละประชากรต่างก็มีวิวัฒนาการให้มีลักษณะหรือพฤติกรรมเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ตนอาศัยอยู่ เมื่อผ่านไปเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ประชากรทั้งสองจะแตกต่างกันมากจนถ้ากลับมาอยู่ร่วมกันจะไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้อีก

ส่วนคำถามในหนังสือเรียนมีแนวการตอบดังนี้



กลไกใดที่ทำให้สมาชิกของประชากรเดียวกันและอาศัยอยู่ในพื้นที่เดียวกันไม่สามารถเกิดการถ่ายเทยีนระหว่างกันได้



เกิดจากการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์ (reproductive isolation)



ปัจจัยใดบ้างที่ทำให้เกิดแทนสปีชีส์ใหม่ขึ้นในบริเวณเดียวกัน



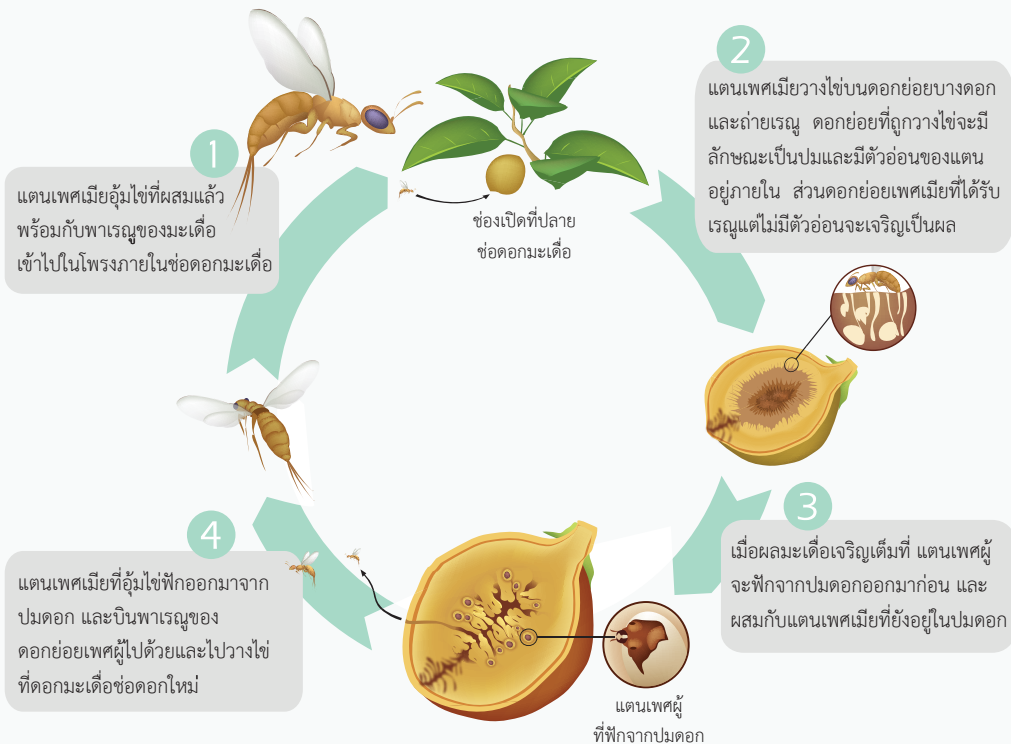
เนื่องจากการนำต้นมะเดื่อสปีชีส์ใหม่เข้ามาปลูกในบริเวณดังกล่าว และมีการเปลี่ยนแปลงยีนบางยีนในต้นบางตัว ทำให้ต้นที่มียีนที่เปลี่ยนแปลงไปเลือกที่จะกินและอาศัยอยู่ในต้นมะเดื่อสปีชีส์ใหม่ จึงเกิดการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์เนื่องจากแหล่งที่อยู่ต่างกัน ทำให้เมื่อระยะเวลาผ่านไปโครงสร้างทางพันธุกรรมของต้นทั้งสองกลุ่มจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปจนแตกต่างกัน และเกิดเป็นสปีชีส์ใหม่



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แทนเป็นแมลงที่ช่วยในการถ่ายเรณูของมะเดื่อ ช่อดอกของมะเดื่อมีลักษณะแบบไฮแพนโทเดียม (hypanthodium) ซึ่งเกิดจากฐานช่อดอกเจริญและโค้งเข้าหากันจนมีลักษณะคล้ายรูปถ้วยที่มีโพรงอยู่ภายในและมีช่องเปิดเล็กๆ อยู่ทีปลายด้านบน ทำให้แมลงสามารถเข้าไปในโพรงได้ ผังด้านในของโพรงมีดอกย่อยแยกเพศจำนวนมาก โดยดอกย่อยเพศเมียจะบานและพร้อมผสมพันธุ์ก่อนดอกย่อยเพศผู้ ในขณะที่ช่อดอกของมะเดื่อยังเจริญไม่เต็มที่ที่แทนเพศเมียที่อ้วนไข่มดจะบินเข้าสู่โพรงภายในช่อดอกของมะเดื่อพร้อมทั้งนำเรณูของ

มะเดื่อจากช่อดอกอื่นมาด้วย ขณะที่แตนเพศเมียวางไข่บนดอกย่อยจะเกิดการถ่ายเรณูที่ติดมาให้กับดอกย่อยเพศเมียอื่น ๆ ในช่อดอกนั้น ต่อมารังไข่ของดอกย่อยที่ถูกวางไข่จะมีลักษณะเป็นปมดอกและมีตัวอ่อนของแตนอยู่ภายใน ส่วนดอกย่อยที่ได้รับเรณูแต่ไม่มีตัวอ่อนของแตนจะเจริญเป็นผลย่อย เมื่อเวลาผ่านไปตัวอ่อนของแตนเพศผู้จะฟักออกมาจากปมดอกก่อนและผสมพันธุ์กับแตนเพศเมียที่ยังอยู่ในปมดอก ต่อมาแตนเพศเมียที่ได้รับการผสมพันธุ์แล้วจะอ้วนไข่และฟักออกจากปมดอกซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ดอกย่อยเพศผู้เจริญเต็มที่ แตนเพศเมียจะอ้วนไข่และบินออกจากผลมะเดื่อโดยมีเรณูของมะเดื่อติดออกมาด้วย และไปยังดอกมะเดื่อดอกใหม่เพื่อวางไข่ ดังรูป



จะเห็นได้ว่าแตนมมีส่วนช่วยในการถ่ายเรณูของมะเดื่อซึ่งดอกย่อยเพศผู้และเพศเมียเจริญไม่พร้อมกัน และวงชีวิตของแตนมทำให้แตนมเพศเมียไม่มีโอกาสเจอและผสมกับแตนมเพศผู้ที่ฟักจากต่างช่อดอก เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนซึ่งทำให้แตนมที่มียีนที่เปลี่ยนแปลงไปเลือกไปวางไข่และอาศัยอยู่ในมะเดื่อสปีชีส์ใหม่ แตนมกลุ่มที่มียีนที่เปลี่ยนแปลงไปจึงไม่มีโอกาสพบและผสมพันธุ์กับแตนมกลุ่มที่ยังคงวางไข่และอาศัยอยู่ในช่อดอกของมะเดื่อสปีชีส์เดิม จึงไม่มีการถ่ายเทยีนระหว่างแตนมทั้งสองกลุ่ม เมื่อเวลาผ่านไป แตนมทั้งสองกลุ่มจึงต่างค่อย ๆ มีวิวัฒนาการของตนเองจนแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อย ๆ และเกิดเป็นสปีชีส์ใหม่ที่แตกต่างกันในที่สุด



กิจกรรมเสนอแนะ : การปรับปรุงพันธุ์พืชแบบพอลิพลอยดี

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และสรุปการใช้เทคโนโลยีทางการเกษตรในการปรับปรุงพันธุ์พืชแบบพอลิพลอยดี
2. นำเสนอข้อมูลในชั้นเรียนหรือจัดทำเป็นป้ายนิเทศ

แนวการจัดกิจกรรม

ครูอาจให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มในการสืบค้นข้อมูล อภิปราย และนำเสนอการปรับปรุงพันธุ์พืชแบบพอลิพลอยดีในประเด็นต่อไปนี้

1. ตัวอย่างพืช
2. ขั้นตอนการทำพอลิพลอยดี
3. ประโยชน์

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเกิดสปีชีส์ใหม่เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปว่า ความหมายของสปีชีส์มีหลายความหมาย โดยความหมายของสปีชีส์ทางด้านชีววิทยาจะพิจารณาความสามารถในการผสมพันธุ์และให้กำเนิดลูกหลานที่ไม่เป็นหมัน สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันจะมีกลไกในการป้องกันการผสมพันธุ์ต่างสปีชีส์ สิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันเมื่อไม่มีการถ่ายเทยีนระหว่างประชากรในรุ่นบรรพบุรุษ จะทำให้ประชากรทั้งสองมีโครงสร้างทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันและมีวิวัฒนาการเกิดเป็นสปีชีส์ใหม่ขึ้นได้

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปว่า ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตเกิดจากกระบวนการวิวัฒนาการที่ค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรทีละน้อยเป็นเวลาหลายชั่วรุ่นผ่านกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติซึ่งเป็นการคัดเลือกสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และเกิดเป็นสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่ขึ้น กลไกเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตหลายสปีชีส์ เป็นความหลากหลายทางชีวภาพที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- แนวคิดเกี่ยวกับความหมายของสปีชีส์ด้านต่าง ๆ การแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์ และกำเนิดสปีชีส์จากการตอบคำถาม และการอภิปราย

ด้านทักษะ

- การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูลจากการตอบคำถาม การอภิปราย และการทำกิจกรรม
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ และการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาจากการตอบคำถาม และการทำกิจกรรม

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

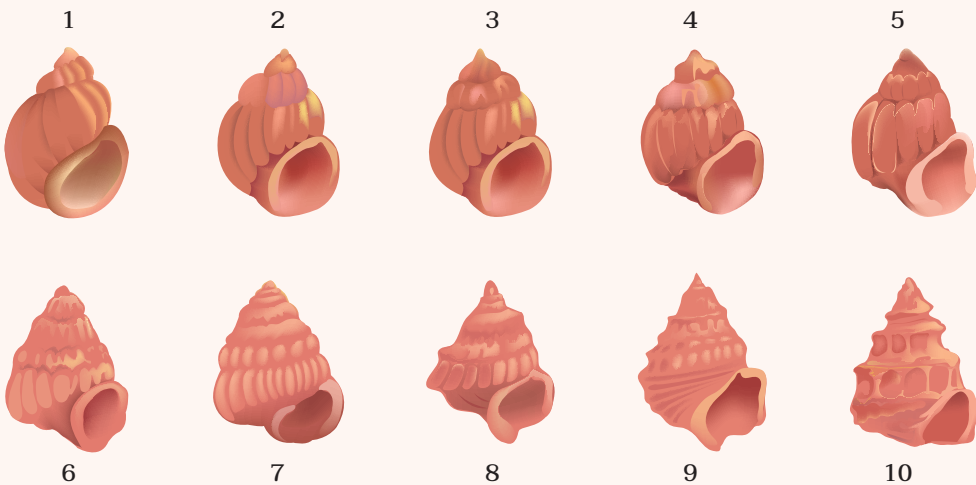
- ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง และความรอบคอบจากการตอบคำถาม การอภิปราย การทำกิจกรรม และการมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน โดยประเมินตามสภาพจริงระหว่างเรียน



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7

1. จงศึกษาภาพและข้อความข้างล่างนี้ แล้วตอบคำถาม

ภาพข้างล่างนี้เป็นซากดึกดำบรรพ์ของหอยโข่ง พบว่าซากดึกดำบรรพ์หอยหมายเลข 1 มีอายุมากที่สุด คือ 10 ล้านปีมาแล้ว และซากดึกดำบรรพ์หอยที่มีอายุน้อยที่สุด คือ หอยหมายเลข 10 ซึ่งมีอายุประมาณ 3 ล้านปีมาแล้ว



จงตอบคำถามต่อไปนี้

1.1 หอยเหล่านี้มีความเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

✏ คำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลายแบบ ลักษณะที่เหมือนกันคือ เปลือกหอยมีลักษณะขดเป็นวงซ้อนกันในรูปแบบบันไดเวียนขวา โดยปลายสุดของเปลือกจะยกสูงขึ้น ผิวของเปลือกมีลักษณะนูนเป็นซี่ๆ และมีช่องเปิดของเปลือกเหมือนกัน ลักษณะที่ต่างกันคือ จำนวนเกลียวที่ขดซ้อนกันเป็นวงจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 10 และผิวของเปลือกหอยเปลี่ยนจากลักษณะโค้งมนมาเป็นมีรอยหยักเป็นสัน ขณะที่รูปทรงของเปลือกหอยเปลี่ยนจากรูปกรวยทรงกลมมาเป็นรูปกรวยทรงสามเหลี่ยม

1.2 จากข้อมูลภาพข้างบนนี้แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการอย่างไร

✏ จากข้อมูลภาพข้างบนนี้แสดงให้เห็นลำดับการเกิดวิวัฒนาการของหอยอย่างค่อยเป็นค่อยไป จากเปลือกหอยหมายเลข 1 จนกระทั่งปรากฏเป็นเปลือกหอยหมายเลข 10 ซึ่งเกิดขึ้นในระยะเวลานับล้านปี

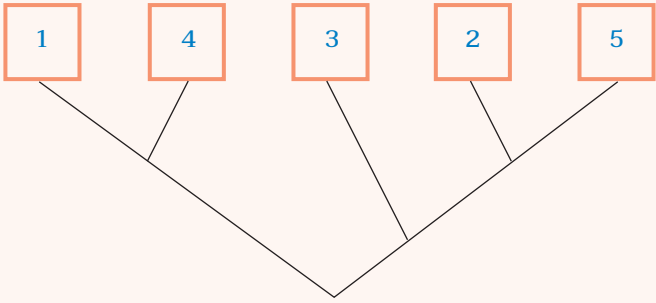
1.3 ถ้าซากดึกดำบรรพ์ในตัวอย่างหมายเลข 3 4 5 และ 6 ขาดหายไป จากซากดึกดำบรรพ์ที่เหลือนักเรียนจะสรุปว่าอย่างไร

 ถ้าซากดึกดำบรรพ์หมายเลข 3 4 5 และ 6 ขาดหายไป ซากดึกดำบรรพ์ของหอยหมายเลข 1 และ 2 อาจมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการ ขณะที่ซากดึกดำบรรพ์หอยหมายเลข 7 8 9 และ 10 อาจมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่แตกต่างจากฟอสซิลหมายเลข 1 และ 2

2. จากลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน M ในหอย 5 สปีชีส์มีดังนี้

สปีชีส์	ลำดับนิวคลีโอไทด์
1	...TACTGGTTTA AGTTTGTTAA TTCGTGCTGA GTTAGGGCAA CCTGGTGCTT TATTAGGTGA...
2	...GGTCAACAAA TCATAAAGAC ATCGGGACGT TGTATATTTT ATTTGGAATA TGATCAGGGT...
3	...GGTCAACAAA TCATAAAGAC ATTGGAACAC TATACATTTT ATTTGGTATA TGATCCGGTC...
4	...TACAGCTTTA AGTTTATTAA TTCGAGCTGA ATTAGGGCAA CCTGGAGCAC TGCTGGGTGA...
5	...GGTCAACAAA TCATAAAGAT ATCGGGACAT TGTAGATTCT ATTTGGAATA TGATCGGGAC...

จงเขียนตัวเลขสปีชีส์ของหอยลงในช่องว่างตามความใกล้ชิดกันทางสายวิวัฒนาการ และอธิบายหลักการในการเรียงลำดับวิวัฒนาการของหอย 5 สปีชีส์นี้



บรรพบุรุษร่วม

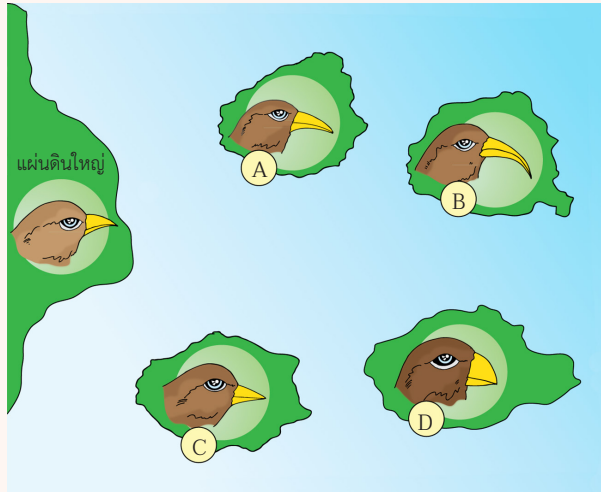
หมายเหตุ: สปีชีส์ที่ 1 กับ 4 สลับตำแหน่งกันได้
สปีชีส์ที่ 2 กับ 5 สลับตำแหน่งกันได้

แนวความคิด

เมื่อเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์พบว่าสปีชีส์ที่ 1 และ 4 มีความแตกต่างจากสปีชีส์ที่ 2 3 และ 5 มากจึงน่าจะมีวิวัฒนาการแยกจากกันมากกว่า ส่วนสปีชีส์ที่ 2 และ 5 น่าจะมีวิวัฒนาการที่ใกล้ชิดกันมากกว่าสปีชีส์ที่ 3 เนื่องจากมีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เหมือนกันมากกว่าสปีชีส์ที่ 3 โดยแต่ละคู่มีลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันดังนี้

สปีชีส์	ลำดับนิวคลีโอไทด์
สปีชีส์ที่ 1 และ 4 มีลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันจำนวน 11 ตำแหน่ง	
1	...TACTGGTTTA AGTTTGTAA TTCGTGCTGA GTTAGGGCAA CCTGGTGCTT TATTAGGTGA...
4	...A.C... AGTTTATTA TTCGAGCTGA ATTAGGGCAA CCTGGAGCAC TGCTGGGTGA...
สปีชีส์ที่ 2 และ 3 มีลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันจำนวน 10 ตำแหน่ง	
2	...GGTCAACAAA TCATAAGAC ATCGGGACGT TGTATATTTT ATTTGGAATA TGATCAGGGT...
3	...GGTCAACAAA TCATAAGAC ATTGGAACAC TATACATTTT ATTTGGTATA TGATCCGGTC...
สปีชีส์ที่ 3 และ 5 มีลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันจำนวน 10 ตำแหน่ง	
3	...GGTCAACAAA TCATAAGAC ATTGGAACAC TATACATTTT ATTTGGTATA TGATCCGGTC...
5	...GGTCAACAAA TCATAAGAT ATCGGGACAT TGTAGATTCT ATTTGGAATA TGATCGGGAC...
สปีชีส์ที่ 2 และ 5 มีลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันจำนวน 7 ตำแหน่ง	
2	...GGTCAACAAA TCATAAGAC ATCGGGACGT TGTATATTTT ATTTGGAATA TGATCAGGGT...
5	...GGTCAACAAA TCATAAGAT ATCGGGACAT TGTAGATTCT ATTTGGAATA TGATCGGGAC...

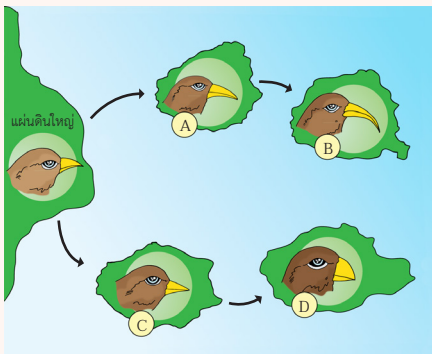
3. พิจารณาแผนภาพแสดงลักษณะของจิ้งจอกปากของนกชนิดหนึ่งที่แผ่นดินใหญ่ (mainland) และที่เกาะขนาดเล็ก 4 เกาะ (เกาะ A-D) ในแผนภาพต่อไปนี้



- 3.1 ให้ลากเส้นลงในแผนภาพเพื่อแสดงเส้นทางการเกิดวิวัฒนาการจิ้งจอกปากของนกจากแผ่นดินใหญ่ไปยังเกาะต่างๆ พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ

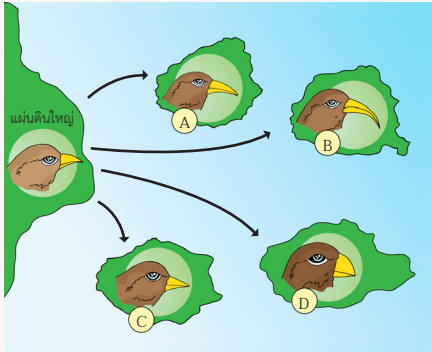
 สามารถตอบเส้นทางการวิวัฒนาการจิ้งจอกปากของนกได้หลายแบบ โดยพิจารณาจากเหตุผลประกอบคำอธิบาย

ตัวอย่างที่ 1



ขนาดและรูปร่างของจิ้งจอกปากของนกอาจแยกออกเป็น 2 ลักษณะที่ชัดเจน นกที่อาศัยอยู่บนเกาะทางด้านบน (A และ B) จะมีจิ้งจอกปากลักษณะแหลมยาวขึ้นเรื่อยๆ ส่วนนกที่อาศัยอยู่บนเกาะทางด้านล่าง (C และ D) จะมีจิ้งจอกปากลักษณะทุ่และสั้นลง ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่านกจากแผ่นดินใหญ่อาจมีการแพร่กระจายพันธุ์ไปยังเกาะ A และ C ก่อน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป นกจากเกาะ A มีการแพร่กระจายพันธุ์ต่อไปยังเกาะ B ในทำนองเดียวกันนกจากเกาะ C มีการแพร่กระจายพันธุ์ต่อไปยังเกาะ D

ตัวอย่างที่ 2

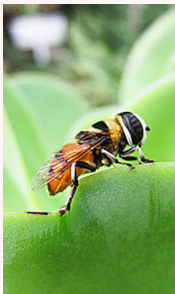


ขนาดและรูปร่างของจะงอยปากของนกอาจแยกออกเป็น 4 ลักษณะที่ต่างกัน นกที่อาศัยอยู่บนเกาะ A จะมีจะงอยปากลักษณะแหลมยาว และนกที่อาศัยอยู่บนเกาะ B จะมีจะงอยปากลักษณะแหลมยาวและโค้งลง ส่วนนกที่อาศัยบนเกาะ C จะมีจะงอยปากลักษณะสั้นและแหลม ในขณะที่นกที่อาศัยอยู่บนเกาะ D จะมีจะงอยปากลักษณะทู่ สั้น และหนา ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่านกจากแผ่นดินใหญ่อาจมีการแพร่กระจายพันธุ์ไปยังเกาะทั้ง 4 เกาะ แล้วมีวิวัฒนาการจนมีลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของเกาะนั้นๆ

3.2 จงจับคู่อาหารกับลักษณะจะงอยปากของนกชนิดนี้ที่อาศัยอยู่บนเกาะ A-D ให้ความสัมพันธ์กัน



ก.



ข.



ค.



ง.



- ก. เกาะ B
- ข. เกาะ A
- ค. เกาะ C
- ง. เกาะ D

4. ในประชากรหนึ่ง ถ้าพบว่ามีสัดส่วนของผู้ที่เป็นโรคทาลัสซีเมีย ซึ่งถูกควบคุมด้วย แอลลีลด้อยบนออโตโซม (aa) เท่ากับ 10 ใน 25,000 คน กำหนดให้ประชากรนี้อยู่ในสมดุล ฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และมีขนาดของประชากรเท่ากับ 500,000 คน อยากทราบว่า

4.1 ความถี่ของแอลลีลที่ทำให้เป็นโรคทาลัสซีเมียเป็นเท่าใด

 ความถี่ของแอลลีล a ที่ทำให้เกิดโรคทาลัสซีเมีย คือ 0.02

แนวความคิด

จากโจทย์ระบุให้ประชากรอยู่ในสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก หมายความว่าความถี่ของ แอลลีลในประชากรจะคงที่เสมอ และสัดส่วนของจีโนไทป์ aa เท่ากับ $\frac{10}{25,000}$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ของจีโนไทป์ } aa &= q^2 = \frac{10}{25,000} = 0.0004 \\ \text{ความถี่ของแอลลีล } a &= q = \sqrt{0.0004} = 0.02 \end{aligned}$$

4.2 ประชากรที่เป็นพาหะของโรคทาลัสซีเมียมีจำนวนเท่าใด

 มีประชากรที่เป็นพาหะของโรคทาลัสซีเมียประมาณ 19,600 คน

แนวความคิด

จากโจทย์ระบุให้ประชากรอยู่ในสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และสัดส่วนของจีโนไทป์ aa เท่ากับ $\frac{10}{25,000}$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ของจีโนไทป์ } aa &= q^2 = \frac{10}{25,000} = 0.0004 \\ \text{ความถี่ของแอลลีล } a &= q = \sqrt{0.0004} = 0.02 \\ \text{ความถี่ของแอลลีล } A &= p = (1 - q) = 0.98 \\ \text{ความถี่ของจีโนไทป์ } Aa &= 2pq = 2 \times 0.98 \times 0.02 = 0.0392 \end{aligned}$$

ดังนั้นในประชากร 500,000 คน จะมีจำนวนประชากรที่มีจีโนไทป์ Aa ซึ่งเป็นพาหะของ โรคทาลัสซีเมีย ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนประชากรที่มีจีโนไทป์ } Aa &= 0.0392 \times 500,000 = 19,600 \text{ คน} \end{aligned}$$

5. การศึกษาพีโนไทป์ของหมู่เลือดระบบ MN ในประชากรแห่งหนึ่งจำนวน 1,000 คน พบว่ามีเลือดหมู่ M 280 คน เลือดหมู่ MN 490 คน และเลือดหมู่ N 230 คน จงหาความถี่ของจีโนไทป์ MM MN และ NN และความถี่ของแอลลีล M และ N



เลือดหมู่	M	MN	N
จีโนไทป์	MM	MN	NN
จำนวนประชากร (คน)	280	490	230
ความถี่ของจีโนไทป์	$\frac{280}{1,000}$ $= 0.28$	$\frac{490}{1,000}$ $= 0.49$	$\frac{230}{1,000}$ $= 0.23$

ยีนทุกตำแหน่งมี 2 แอลลีล

จำนวนแอลลีล	$280 \times 2 = 560$ M	490 $M + 490$ N	$230 \times 2 = 460$ N
$(1,000 \times 2 = 2,000)$			
ความถี่ของแอลลีล	$\frac{(560 + 490)}{2,000}$ $= 0.525$ M		$\frac{(490 + 460)}{2,000}$ $= 0.475$ N

ดังนั้นความถี่ของจีโนไทป์ MM MN และ NN คือ 0.28 0.49 และ 0.23 ตามลำดับ
ความถี่ของแอลลีล M และ N คือ 0.525 และ 0.475 ตามลำดับ

6. จากการศึกษาสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดหนึ่ง ลักษณะการมีเขาถูกควบคุมด้วยยีนตำแหน่งเดียว และเป็นลักษณะที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบเด่นไม่สมบูรณ์ ในบริเวณหนึ่งซึ่งมีลักษณะเป็นทุ่งหญ้าและมีพุ่มไม้เตี้ยๆ กระจายอยู่โดยรอบ โดยในกลุ่มประชากรเริ่มต้นมีจำนวน 100,000 ตัว มีลักษณะเขายาวและแตกแขนง (AA) 64,000 ตัว เขาสั้น (Aa) 32,000 ตัว และไม่มีเขา (aa) 4,000 ตัว ต่อมาผู้ล่าซึ่งกินสัตว์ชนิดนี้เป็นอาหารย้ายเข้าสู่บริเวณดังกล่าว ส่งผลให้ประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ในรุ่นต่อๆ มา มีจำนวนเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อผ่านไป 10ชั่วรุ่น พบว่ามีลักษณะเขายาวและแตกแขนง 200 ตัว เขาสั้น 1,200 ตัว และไม่มีเขา 600 ตัว

6.1 ประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ในกลุ่มเริ่มต้น มีความถี่ของแอลลีล A และ a และความถี่ของจีโนไทป์แต่ละแบบ อย่างละเท่าใด

 ประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ในกลุ่มเริ่มต้น มีความถี่ของแอลลีล A เป็น 0.8 และความถี่ของแอลลีล a เป็น 0.2

แนวความคิด

ในประชากรกลุ่มเริ่มต้น

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ของแอลลีล } A &= \frac{\text{จำนวนแอลลีล } A}{\text{จำนวนแอลลีลทั้งหมด}} \\ &= \frac{(2 \times \text{จำนวนของ } AA) + \text{จำนวนของ } Aa}{2 \times (\text{จำนวน } AA + Aa + aa)} \\ &= \frac{(2 \times 64,000) + 32,000}{200,000} \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ของแอลลีล } a &= \frac{\text{จำนวนแอลลีล } a}{\text{จำนวนแอลลีลทั้งหมด}} \\ &= \frac{(2 \times \text{จำนวนของ } aa) + \text{จำนวนของ } Aa}{2 \times (\text{จำนวน } AA + Aa + aa)} \\ &= \frac{(2 \times 4,000) + 32,000}{200,000} \\ &= 0.2 \end{aligned}$$

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } AA = \frac{64,000}{100,000} = 0.64$$

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } Aa = \frac{32,000}{100,000} = 0.32$$

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } aa = \frac{4,000}{100,000} = 0.04$$

- 6.2 ประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ที่เหลื่อเมื่อผ่านไป 10 ชั่วโมง มีความถี่ของแอลลีล A และ a และความถี่ของจีโนไทป์แต่ละแบบ อย่างละเท่าใด
-  ประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ที่เหลื่อเมื่อผ่านไป 10 ชั่วโมง มีความถี่ของแอลลีล A เป็น 0.4 และความถี่ของแอลลีล a เป็น 0.6

แนวความคิด

ในประชากรที่เหลื่อเมื่อผ่านไป 10 ชั่วโมง

$$\begin{aligned}\text{ความถี่ของแอลลีล } A &= \frac{\text{จำนวนแอลลีล } A}{\text{จำนวนแอลลีลทั้งหมด}} \\ &= \frac{(2 \times 200) + 1,200}{4,000} \\ &= 0.4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความถี่ของแอลลีล } a &= \frac{\text{จำนวนแอลลีล } a}{\text{จำนวนแอลลีลทั้งหมด}} \\ &= \frac{(2 \times 600) + 1,200}{4,000} \\ &= 0.6\end{aligned}$$

- 6.3 ประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้มีการเกิดวิวัฒนาการขึ้นหรือไม่พิจารณาจากข้อมูลใด
-  มีวิวัฒนาการเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ที่เหลื่อเมื่อผ่านไป 10 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล หรือความถี่ของจีโนไทป์ไปจากประชากรในกลุ่มเริ่มต้น

6.4 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับความถี่ของแอลลีลในกลุ่มประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ในบริเวณดังกล่าวโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการระดับจุลภาคได้อย่างไร



เกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติขึ้นกับประชากรของสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ในบริเวณดังกล่าว ซึ่งอาจเกิดจากการถูกล่าโดยผู้ล่าซึ่งกินสัตว์ชนิดนี้เป็นอาหาร ในสภาพแวดล้อมที่เป็นทุ่งหญ้าและมีพุ่มไม้เตี้ยๆ สัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ที่มีลักษณะเขายาวและแตกแขนงอาจไม่สามารถซ่อนตัวจากผู้ล่าได้ ทำให้ถูกล่าจนมีจำนวนลดลง ส่งผลให้ความถี่ของแอลลีล A ในประชากรรุ่นต่อ ๆ มาลดลง ในขณะที่สัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดนี้ที่มีลักษณะเขาสั้นและไม่มีเขาสามารถหลบรอดจากการล่าได้ดีกว่า ความถี่ของแอลลีล a ในประชากรรุ่นต่อๆ มาจึงเพิ่มขึ้น

7. Ellis-Van Creveld syndrome เป็นภาวะผิดปกติทางพันธุกรรมที่เกิดจากแอลลีลด้อยบนโครโมโซมคู่ที่ 4 ของมนุษย์ มีลักษณะนิ้วเกิน แคระ แขนขาสั้น มีฟันผิดปกติแต่กำเนิด มีโครงหน้าผิดปกติ และเป็นโรคหัวใจ พบผู้เป็นโรคประมาณ 1 คนต่อประชากร 60,000 คน แต่ในกลุ่ม Old Order Amish ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบความถี่ของโรคนี้สูงถึงประมาณ 1 ใน 2,000 คน บรรพบุรุษของกลุ่ม Amish ย้ายมาจากทวีปยุโรปและเริ่มมาตั้งถิ่นฐานในศตวรรษที่ 18 โดยประชากรเริ่มต้น 1 ใน 30 คนเป็นโรคดังกล่าว กลุ่ม Amish มีความเคร่งด้านศาสนาและมีการแต่งงานภายในกลุ่มเท่านั้น

7.1 ความถี่ของแอลลีลที่ทำให้เกิดโรค Ellis-Van Creveld syndrome ในกลุ่ม Old Order Amish อยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กหรือไม่ เพราะเหตุใด



ไม่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก เพราะในกลุ่มประชากรนี้ สมาชิกมีการเลือกคู่อย่างเจาะจง (การเลือกคู่ไม่เป็นแบบสุ่ม) ผู้ที่แสดงอาการของโรคมีโอกาสดังที่แต่งงานน้อยกว่าผู้ที่ไม่แสดงอาการ และมีโอกาสส่งต่อแอลลีล ที่ทำให้เกิดโรคไปยังรุ่นลูกหลานได้น้อยลงความถี่ของแอลลีลในรุ่นต่อๆ ไปจึงมีการเปลี่ยนแปลง

7.2 สามารถใช้ความรู้เกี่ยวกับพันธุศาสตร์ประชากรอธิบายถึงความถี่ของผู้เป็นโรค Ellis-Van Creveld syndrome ในกลุ่ม Amish นี้ได้อย่างไร

 การที่ความถี่ของผู้เป็นโรค Ellis-Van Creveld syndrome ในกลุ่ม Amish สูงกว่าประชากรทั่วไปมากนั้น น่าจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนความถี่ยีนจาก founder effect เพราะในประชากรเริ่มต้นที่อพยพมาจากยุโรปนั้นมีขนาดเล็ก ความถี่ของแอลลีลที่เป็นโรคเริ่มต้นจึงสูง และการที่ชาว Amish มีการแต่งงานภายในกลุ่มเป็นส่วนใหญ่ยิ่งทำให้ผู้เป็นโรคนี้นี้มีสัดส่วนที่สูงกว่าประชากรโดยรวม

7.3 ตามประเพณีของชาว Amish เมื่อมีอายุ 16 ปี จะออกจากกลุ่มไปใช้ชีวิตภายนอกได้ ก่อนที่จะตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมศาสนาและกลับมาอยู่ในกลุ่มหรือไม่เมื่อบุคคลมีอายุ 18-21 ปี และสามารถแต่งงานมีครอบครัวได้ ผู้ที่เลือกไม่เข้าร่วมศาสนาจะต้องย้ายออกจากกลุ่มและไม่สามารถแต่งงานกับบุคคลใดในกลุ่ม Amish ได้ แต่พบว่าลูกหลานชาว Amish ส่วนใหญ่จะเลือกเข้าร่วมศาสนาและอยู่กับกลุ่มต่อไป การที่บุคคลเลือกที่จะออกจากกลุ่มหลังอายุ 16 ปี จะส่งผลถึงยีนพูลของกลุ่มประชากร Amish น้อย่างไร และของกลุ่มประชากรในสหรัฐอเมริกาอย่างไร

 การออกนอกกลุ่มมีโอกาที่จะทำให้ความถี่ของแอลลีลในยีนพูลของประชากรนี้เปลี่ยนแปลงไป แต่พบว่าลูกหลานชาว Amish ส่วนใหญ่จะเลือกเข้าร่วมศาสนาและอยู่กับกลุ่มต่อไป จำนวนผู้ที่ออกจากกลุ่มจึงมีปริมาณน้อย ความถี่ของแอลลีลในยีนพูลของประชากร Amish จึงเปลี่ยนแปลงในปริมาณน้อยซึ่งอาจไม่ทำให้ความถี่ของแอลลีลเปลี่ยนแปลง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของยีนพูลของประชากรในสหรัฐอเมริกาจากการย้ายเข้าของผู้ที่ออกจากกลุ่ม Amish ก็เช่นเดียวกัน จะมีในสัดส่วนที่น้อยมาก ซึ่งไม่ควรจะส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อยีนพูลของประชากรในสหรัฐอเมริกา

8. เมื่อ 20 ปีที่แล้ว นกชนิดหนึ่งซึ่งพบเฉพาะในหมู่เกาะแห่งหนึ่งมีปริมาณลดลงมากเหลือเพียง 6 ตัว โดยนกเพศผู้และเพศเมียเพียง 1 คู่เท่านั้นที่สามารถสืบพันธุ์ได้ จึงมีความพยายามที่จะปกป้องสายพันธุ์นี้ไว้โดยวิธีต่างๆ ในปัจจุบันพบว่าประชากรของนกชนิดนี้เพิ่มเป็น 300 ตัว แต่เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทางพันธุกรรมนกชนิดนี้ยังคงถูกจัดว่าเป็นสปีชีส์ที่มีความเสี่ยงของการสูญพันธุ์สูงมากอยู่ จึงให้เหตุผลว่าเป็นเพราะเหตุใด

 ถึงแม้ประชากรนกในปัจจุบันจะมีจำนวนมากพอ แต่นกทั้งหมดนั้นมีบรรพบุรุษเดียวกัน คือนกเพศผู้และเพศเมีย 1 คู่ เมื่อ 20 ปีที่ผ่านมา ซึ่งทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรนกนี้มีน้อย ในขณะที่มีวิวัฒนาการหรือการถ่ายเทยีนซึ่งจะทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมเพิ่มขึ้นนั้นเกิดในอัตราที่ต่ำ ความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรนี้จึงยังคงมีน้อย เป็นผลให้ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมมีจำกัดจึงมีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์สูง

9. จงเติมข้อความเกี่ยวกับการแยกเหตุการณ์สืบพันธุ์ที่กำหนดให้ ลงในที่ว่างหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน (ตอบซ้ำได้)

แหล่งที่อยู่	ช่วงเวลาในการผสมพันธุ์	โครงสร้างของอวัยวะสืบพันธุ์
สรีรวิทยาของเซลล์สืบพันธุ์	พฤติกรรม	

ช่วงเวลาในการผสมพันธุ์ 9.1) กบ *Rana sylvatica* ผสมพันธุ์ในช่วงกลางเดือนมีนาคม ขณะที่ กบ *R. pipiens* ผสมพันธุ์ช่วงต้นเดือนเมษายน

โครงสร้างของอวัยวะสืบพันธุ์ 9.2) ลักษณะการวนของเปลือกหอยทาก 2 ชนิด ในสกุล *Bradybaena* มีการวนต่างทิศกัน ทำให้ช่องเปิดอวัยวะสืบพันธุ์ไม่ตรงกัน

สรีรวิทยาของเซลล์สืบพันธุ์ 9.3) การที่เม่นทะเล 2 สายพันธุ์ คือ red urchin และ purple urchin ปลอຍสเปิร์มและไข่ออกไปในน้ำทะเล แต่ไม่สามารถปฏิสนธิเป็น zygote ได้ เพราะโปรตีนบนผิวของสเปิร์มและไข่ยึดติดกันไม่ได้

แหล่งที่อยู่ 9.4) งู 2 ชนิด ในสกุล *Thamnophis* อยู่ในพื้นที่เดียวกันแต่พบว่าชนิดหนึ่งอยู่ในน้ำเป็นหลัก ขณะที่อีกชนิดอยู่บนบกเป็นส่วนใหญ่

ช่วงเวลาในการผสมพันธุ์ 9.5) สกังก์ (skunk) 2 ชนิด ในทวีปอเมริกาเหนือ อาศัยอยู่ในเขตภูมิศาสตร์ซ้อนทับกัน แต่พบว่าชนิด *Spilogale putoris* ผสมพันธุ์ปลายฤดูหนาว ขณะที่ชนิด *S. gracilis* ผสมพันธุ์ปลายฤดูร้อน

พฤติกรรม

9.6) นก blue-footed booby เพศผู้เต้นรำเพื่อดึงดูดให้เพศเมียเข้าร่วมเต้นด้วย

10. จงอธิบายว่าเหตุใดสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก จึงไม่สามารถผสมพันธุ์กันและให้กำเนิดลูกได้

 สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายกันมาก แต่ไม่สามารถผสมพันธุ์กันและให้กำเนิดลูกได้ เพราะสิ่งมีชีวิตดังกล่าวเป็นสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันมียีนพูลต่างกัน จึงไม่สามารถถ่ายเทยีนระหว่างประชากรได้

ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล

แบบทดสอบ

การประเมินผลด้วยแบบทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนโดยเฉพาะด้านความรู้และความสามารถทางสติปัญญา ครูควรมีความเข้าใจในลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการสร้างหรือเลือกใช้แบบทดสอบให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด โดยลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

1) แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก

แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก ได้แก่ แบบทดสอบแบบเลือกตอบ แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด และแบบทดสอบแบบจับคู่ รายละเอียดของแบบทดสอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

1.1) แบบทดสอบแบบเลือกตอบ

เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดตัวเลือกให้หลายตัวเลือก โดยมีตัวเลือกที่ถูกเพียงหนึ่งตัวเลือก องค์ประกอบหลักของแบบทดสอบแบบเลือกตอบมี 2 ส่วน คือ คำถามและตัวเลือก แต่บางกรณีอาจมีส่วนของสถานการณ์เพิ่มขึ้นมาด้วย แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีหลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามเดียว แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามชุด แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถาม 2 ชั้น โครงสร้างดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่ไม่มีสถานการณ์

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่มีสถานการณ์

สถานการณ์.....

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเป็นชุด

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถาม 2 ชั้น

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2 ...(ถามเหตุผลของการตอบคำถามที่ 1).....

.....

.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีข้อดีคือ สามารถใช้วัดผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์ สามารถตรวจให้คะแนนและแปลผลคะแนนได้ตรงกัน แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกอย่างอิสระจึงไม่สามารถวัดความคิดระดับสูง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ ได้นอกจากนี้นักเรียนที่ไม่มีความรู้สามารถเดาคำตอบได้

1.2) แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

เป็นแบบทดสอบที่มีตัวเลือก ถูกและผิด เท่านั้น มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ คำสั่งและข้อความให้นักเรียนพิจารณาว่าถูกหรือผิด ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

คำสั่ง ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด แล้วใส่เครื่องหมาย √ หรือ × หน้าข้อความ

..... 1. ข้อความ.....

..... 2. ข้อความ.....

..... 3. ข้อความ.....

..... 4. ข้อความ.....

..... 5. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สามารถสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และครอบคลุมเนื้อหา สามารถตรวจได้รวดเร็ว และให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสเดาได้มาก และการสร้างข้อความให้เป็นจริงหรือเป็นเท็จ โดยสมบูรณ์ในบางเนื้อหาทำได้ยาก

1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความ 2 ชุด ที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบจับคู่

คำสั่ง ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำตอบมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำถาม

ชุดคำถาม	ชุดคำตอบ
..... 1.	ก.
..... 2.	ข.
..... 3.	ค.
	ง.

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่ายตรวจให้คะแนนได้ตรงกัน และเดาคำตอบได้ยากเหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคิดคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไปการเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้น และการเขียนตอบแบบอธิบาย รายละเอียดของแบบทดสอบที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่ง และข้อความที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถามจะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิดเพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจสอบให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนสร้างคำตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ให้อิสระแก่นักเรียนในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจให้คะแนนยาก และการตรวจให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน

แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปจะประเมิน 2 ส่วน คือ ประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

รายการที่ต้องสำรวจ	ผลการสำรวจ	
	มี (ระบุจำนวนครั้ง)	ไม่มี
การวางแผนการทดลอง		
การทดลองตามขั้นตอน		
การสังเกตการทดลอง		
การบันทึกผล		
การอธิบายผลการทดลอง ก่อนลงข้อสรุป		

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย

ทักษะปฏิบัติการทดลอง	คะแนน		
	3	2	1
การเลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลองได้ ถูกต้องเหมาะสมกับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลองได้ ถูกต้องแต่ไม่เหมาะสมกับ งาน	เลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลอง ไม่ถูกต้อง
การใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลอง	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือใน การทดลองได้อย่าง คล่องแคล่ว และถูกต้อง ตามหลักการปฏิบัติ	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือใน การทดลองได้ถูกต้องตาม หลักการปฏิบัติ แต่ไม่ คล่องแคล่ว	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือใน การทดลองไม่ถูกต้อง
การทดลองตามแผนที่ กำหนด	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่าง ถูกต้อง มีการปรับปรุง แก้ไขเป็นระยะ	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้ มีการ ปรับปรุงแก้ไขบ้าง	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือ ดำเนินการข้ามขั้นตอนที่ กำหนดไว้ ไม่มีการ ปรับปรุงแก้ไข

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบมาตราประมาณค่า

ทักษะที่ประเมิน	ผลการประเมิน		
	3	2	1
1. วางแผนการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน 2. ปฏิบัติการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้อง เหมาะสม และจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบ สะดวกต่อการใช้งาน 3. บันทึกผลการทดลองได้ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์	ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติได้ 3 ข้อ	ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติได้ 2 ข้อ	ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติได้ 1 ข้อ

ตัวอย่างแนวทางการให้คะแนนการเขียนรายงานการทดลอง

คะแนน		
3	2	1
เขียนรายงานตามลำดับขั้นตอน ผลการทดลองตรงตามสภาพจริง และสื่อความหมาย	เขียนรายงานการทดลอง ตามลำดับ แต่ไม่สื่อความหมาย	เขียนรายงานโดยลำดับขั้นตอน ไม่สอดคล้องกัน และไม่สื่อความหมาย

แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง โดยทั่วไปทำโดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติหรือพฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ และแปลผลไปถึงจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง จงทำเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ตรงกับคุณลักษณะที่นักเรียนแสดงออก โดยจำแนกระดับพฤติกรรมการแสดงออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

- มาก
- หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ
- ปานกลาง
- หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเป็นครั้งคราว
- น้อย
- หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นน้อยครั้ง
- ไม่มีการแสดงออก
- หมายถึง นักเรียนไม่แสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเลย

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความอยากรู้อยากเห็น				
1. นักเรียนสอบถามจากผู้รู้หรือไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเมื่อเกิดความสงสัยในเรื่องราววิทยาศาสตร์				
2. นักเรียนขอไปงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์				
3. นักเรียนนำการทดลองที่สนใจไปทดลองต่อที่บ้าน				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความซื่อสัตย์ 1. นักเรียนรายงานผลการทดลองตามที่ทดลองได้จริง 2. เมื่อทำการทดลองผิดพลาด นักเรียนจะลอกผลการทดลองของเพื่อนส่งครู 3. เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงานออกแบบสิ่งประดิษฐ์ นักเรียนจะประดิษฐ์ตามแบบที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ				
ด้านความใจกว้าง 1. แม้ว่านักเรียนจะไม่เห็นด้วยกับการสรุปผลการทดลองในกลุ่ม แต่ก็ยอมรับผลสรุปของสมาชิกส่วนใหญ่ 2. ถ้าเพื่อนแย้งวิธีการทดลองของนักเรียนและมีเหตุผลที่ดีกว่า นักเรียนพร้อมที่จะนำข้อเสนอแนะของเพื่อนไปปรับปรุงงานของตน 3. เมื่องานที่นักเรียนตั้งใจและทุ่มเททำถูกตำหนิหรือโต้แย้ง นักเรียนจะหมดกำลังใจ				
ด้านความรอบคอบ 1. นักเรียนสรุปผลการทดลองทันทีเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง 2. นักเรียนทำการทดลองซ้ำ ๆ ก่อนที่จะสรุปผลการทดลอง 3. นักเรียนตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง				
ด้านความมุ่งมั่นอดทน 1. ถึงแม้ว่างานค้นคว้าที่ทำอยู่มีโอกาสสำเร็จได้ยาก นักเรียนจะยังค้นคว้าต่อไป 2. นักเรียนล้มเลิกการทดลองทันที เมื่อผลการทดลองที่ได้ขัดจากที่เคยได้เรียนมา 3. เมื่อทราบว่าชุดการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน นักเรียนก็เปลี่ยนไปศึกษาชุดการทดลองที่ใช้เวลาน้อยกว่า				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ 1. นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ 2. นักเรียนชอบทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ 3. นักเรียนสนใจติดตามข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์				

วิธีการตรวจให้คะแนน

ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์โดยกำหนดน้ำหนักของตัวเลือกในช่องต่าง ๆ เป็น 4 3 2 1
ข้อความที่มีความหมายเป็นทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความดังนี้

ระดับพฤติกรรมการแสดงออก	คะแนน
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
ไม่มีการแสดงออก	1

ส่วนของข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบการกำหนดให้คะแนนในแต่ละข้อความจะมีลักษณะเป็นตรงกันข้าม

การประเมินการนำเสนอผลงาน

การประเมินผลและให้คะแนนการนำเสนอผลงานใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกับการประเมินภาระงานอื่น คือ การใช้คะแนนแบบภาพรวม และการให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อยดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) **การให้คะแนนในภาพรวม** เป็นการให้คะแนนที่ต้องการสรุปภาพรวมจึงประเมินเฉพาะประเด็นหลักที่สำคัญ ๆ เช่น การประเมินความถูกต้องของเนื้อหา ความรู้และการประเมินสมรรถภาพด้านการเขียนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบภาพรวม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาความรู้ (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เนื้อหาไม่ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่	ต้องปรับปรุง
เนื้อหาถูกต้องแต่ให้สาระสำคัญน้อยมาก และไม่ระบุแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญ แต่ยังไม่ครบถ้วน มีการระบุแหล่งที่มาของความรู้	ดี
เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญครบถ้วน และระบุแหล่งที่มาของความรู้ชัดเจน	ดีมาก

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เขียนสับสน ไม่เป็นระบบ ไม่บอกปัญหาและจุดประสงค์ ขาดการเชื่อมโยงเนื้อหาบางส่วน ไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ใช้ภาษาไม่เหมาะสม และสะกดคำไม่ถูกต้อง ไม่อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ต้องปรับปรุง
เขียนเป็นระบบแต่ไม่ชัดเจน บอกจุดประสงค์ไม่ชัดเจน เนื้อหาถูกต้องแต่มีรายละเอียดไม่เพียงพอ เนื้อหาบางตอนไม่สัมพันธ์กัน การเรียบเรียงเนื้อหาไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักไม่ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เนื้อหาบางตอนเรียบเรียงไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง มีการยกตัวอย่างรูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดี

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เรียบเรียงเนื้อหาได้ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง ชัดเจนเข้าใจง่าย มีการยกตัวอย่าง รูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดีมาก

2) การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย เป็นการประเมินเพื่อต้องการนำผลการประเมินไปใช้พัฒนางานให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์ และพัฒนาคุณภาพให้สูงขึ้นกว่าเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เกณฑ์ย่อย ๆ ในการประเมินเพื่อให้รู้ทั้งจุดเด่นที่ควรส่งเสริมและจุดด้อยที่ควรแก้ไขปรับปรุงการทำงานในส่วนนั้น ๆ เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย มีตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพ (แบบแยกองค์ประกอบย่อย)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
ด้านการวางแผน	
ไม่สามารถออกแบบได้ หรือออกแบบได้แต่ไม่ตรงกับประเด็นปัญหาที่ต้องการเรียนรู้	ต้องปรับปรุง
ออกแบบการได้ตามประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นบางส่วน	พอใช้
ออกแบบครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังไม่ชัดเจน	ดี
ออกแบบได้ครอบคลุมทุกประเด็นสำคัญของปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนที่ชัดเจนและตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ	ดีมาก

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
ด้านการดำเนินการ	
ดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	ต้องปรับปรุง
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	พอใช้
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบการสาธิตได้อย่างคล่องแคล่วและเสร็จทันเวลา ผลงานในบางขั้นตอนไม่เป็นไปตามจุดประสงค์	ดี
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบได้ถูกต้อง คล่องแคล่ว และเสร็จทันเวลา ผลงานทุกขั้นตอนเป็นไปตามจุดประสงค์	ดีมาก
ด้านการอธิบาย	
อธิบายไม่ถูกต้อง ขัดแย้งกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์	ต้องปรับปรุง
อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แต่การอธิบายเป็นแบบพรรณนาทั่วไปซึ่งไม่คำนึงถึงการเชื่อมโยงกับปัญหาทำให้เข้าใจยาก	พอใช้
อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาแต่ข้ามไปในบางขั้นตอน ใช้ภาษาได้ถูกต้อง	ดี
อธิบายตามแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาและจุดประสงค์ ใช้ภาษาได้ถูกต้องเข้าใจง่าย สื่อความหมายได้ชัดเจน	ดีมาก

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน. (2554). **พระบิดาแห่งการพัฒนาพลังงานไทย** (พิมพ์ครั้งที่ 3).

กรุงเทพฯ: สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). **ศัพทวิทยา ศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน** (พิมพ์ครั้งที่ 5 แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2560). **พจนานุกรมศัพท์พันธุศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

Appling, D. R., Anthony-Cahill, S. J., Mathews, C. K. (2016). **Biochemistry Concepts and Connections** (Global ed). London: Pearson Education Limited.

Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). **Biology: A global approach** (11th ed). New York: Pearson Education Limited.

Griffiths, A. J. F., Susan R. W., Sean B. C., & John D. (2012). **Introduction to genetic analysis** (10th ed). New York: W.H. Freeman and Company.

Hardin, J., Bertoni, G. (2016). **Becker's World Of The Cell** (9th Ed). Boston: Pearson Education, Inc.

Mader, S. S., Windelspecht, M. (2016). **Biology** (12th ed). New York: McGraw-Hill Education.

Marry K., Campbell and Shawn O. Farrell. (2008). **Biochemistry** (6th ed). Canada: Nelson Education Limited.

Moran, L. M., Horton, R. A., Scrimgeour, G., Perry, M. (2014). **Principles of Biochemistry** (5th ed). London: Pearson Education Limited.

Teresa Audesirk, Gerald Audesirk and Bruce E.Byers. (2008). **Biology : life on earth with physiology** (8th ed). New York: Pearson Education Limited.

คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 2
ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

- | | |
|------------------------|---|
| 1. ดร.พรพรรณ ไวทยางกูร | ผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. รศ.ดร.สัญญา มิตรเอม | รองผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะผู้จัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. ศ.ดร.ไพศาล ลิขิตกรกุล | ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์ | ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. รศ.ดร.วีระวรรณ ลิขิตกรกุล | ผู้เชี่ยวชาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิสัย | ผู้เชี่ยวชาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 7. ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา | ผู้ชำนาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 8. นายณรงค์ พ่วงศรี | ผู้ชำนาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

- | | |
|-------------------------------|--|
| 9. นายณัฐพงศ์ มนต์อ่อน | โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร |
| 10. ดร.สุนัดดา โยมญาติ | ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 11. ดร.นันทยา อัครอารีย์ | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 12. ดร.ขวัญชนก ศรีทาสู้ | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 13. นางสาวปณยาพร บริเวธานันท์ | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะผู้ร่วมพิจารณาคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ผศ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3. อ.ดร.กิตติคุณ วังกานนท์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 4. นายวีระเดช คำถาวร | โรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร |
| 5. นางณิมาภรณ์ ตั้งตรัยรัตนกุล | โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร |
| 6. นายสิปปัสส ขุผล | โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภช จ.นครปฐม |
| 7. นายธีระรัตน์ อุบลรัตน์ | โรงเรียนจอมสุรางค์อุปถัมภ์ จ.อยุธยา |
| 8. นางสาวศศิพินท์ นรเศรษฐพันธ์ | โรงเรียนสิรินธรราชวิทยาลัย จ.นครปฐม |
| 9. นางสาววิริญญา สุขมี | โรงเรียนพัทลุง จ.พัทลุง |
| 10. นายอนุรุทธิ์ หมีดเส้น | โรงเรียนจุฬาราชวิทยาลัย จ.นครศรีธรรมราช |
| 11. นางวรรณวิภา เบญจเลิศยานนท์ | โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ภูเก็ต จ.ภูเก็ต |
| 12. นายสุรเดช เอ่งฉ้วน | โรงเรียนอ่าวลึกประชาสรรค์ จ.กระบี่ |
| 13. ดร.อดิโรจน์ ปพัฒน์เปรมสิริ | โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา จ.สุราษฎร์ธานี |
| 14. นายนราธิป ประสมบุรณ์ | โรงเรียนนารีนุกูล จ.อุบลราชธานี |
| 15. นางราณี สืบโมรา | โรงเรียนพศภูมิวิทยา จ.มหาสารคาม |
| 16. นางสาวเยาวเรศ หมูดี | โรงเรียนประสาทวิทยา จ.สุรินทร์ |

17. นายกฤษฎา โสมดำ	โรงเรียนปทุมเทพ จ.หนองคาย
18. นายฉัตรชัย ชัยนนธ์	โรงเรียนสูงเม่นชนูปถัมภ์ จ.แพร่
19. นางสาวอังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน	โรงเรียนสามัคคีวิทยา จ.เชียงราย
20. นางจรัสรัตน์ ไชยเหล็ก	โรงเรียนแม่ใจวิทยาคม จ.พะเยา
21. นายอุดร ปงกาวงค์	โรงเรียนฝางชนูปถัมภ์ จ.เชียงใหม่
22. นายทวีศักดิ์ เปี่ยมทัพ	โรงเรียนจุฬารัตนาธิปัตย์ จ.พิษณุโลก
23. นายกิตติศักดิ์ ปราบพาล	โรงเรียนมาบตาพุดพันพิทยาคาร จ.ระยอง
24. นายมณฑิร ส่งเสริม	โรงเรียนชลราษฎรอำรุง จ.ชลบุรี
25. ดร.ปารวีร์ เล็กประเสริฐ	นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
26. นางสาววิลาศ รัตนานุกูล	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
27. ดร.ภณทิลา อุดร	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
28. นางสาวปาณิก เวียงชัย	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะบรรณาธิการ

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. ศ.ดร.ไพศาล ลิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. นายธีรพัฒน์ เวชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ