

คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา เล่ม ๔

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์



ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔-๖

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน

พุทธศักราช ๒๕๕๑

๑๘๙.-







คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม ๔
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ISBN 978-974-01-9743-0

พิมพ์ครั้งที่หนึ่ง ๓,๐๐๐ เล่ม

พ.ศ. ๒๕๕๔

องค์การค้ำของ สกสค. จัดพิมพ์จำหน่าย

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ





ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้จัดทำโครงสร้างหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมและจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม วิชาวิทยา เล่ม ๔ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔-๖ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๓ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

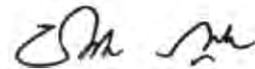
(นายชินภัทร ภูมิรัตน)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม ๔ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้จัดทำขึ้นขึ้นสำหรับให้ครูผู้สอนเลือกใช้ประกอบการเรียนการสอนควบคู่กับหนังสือเรียนตามโครงสร้างหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมที่ประกอบด้วยคำอธิบายรายวิชาที่มีทั้งผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม โดยให้พิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรของสถานศึกษา และเลือกใช้ประกอบการเรียนการสอนเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการวางแผนจัดการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล รวมทั้งข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนและแหล่งเรียนรู้ต่างๆ ในการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมเล่มนี้ได้รับความร่วมมือจากคณาจารย์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์จากสถาบันต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนเป็นอย่างดี

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้เพื่อประยุกต์ใช้พัฒนาการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(นายชินภัทร ภูมิรัตน)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

๒๓ ธันวาคม ๒๕๕๔

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการให้ดำเนินการจัดทำหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วยสาระหลัก 8 สาระคือ สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม สารและสมบัติของสาร แรงและการเคลื่อนที่ พลังงาน กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก ดาราศาสตร์และอวกาศ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สำหรับการศึกษาขั้นพื้นฐานรวมทั้งตัวชี้วัดชั้นปีและตัวชี้วัดช่วงชั้น ซึ่งเป็นเป้าหมายสำหรับผู้เรียนทุกคนที่จะได้รับการพัฒนาทั้งด้านความรู้ กระบวนการคิด กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา ความสามารถในการสื่อสาร การตัดสินใจ การนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนมีจิตวิทยาศาสตร์ คุณธรรมและค่านิยมที่ถูกต้องเหมาะสม โดยมุ่งเน้นความเป็นไทยควบคู่กับความเป็นสากล ตั้งแต่ปีการศึกษา 2553 เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 จึงจำเป็นต้องมีสื่อการเรียนการสอนที่ได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสมและเป็นไปตามเป้าหมายของหลักสูตรดังกล่าว

คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 นี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการวางแผนจัดการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล รวมทั้งข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน และแหล่งเรียนรู้ต่างๆ

ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ได้รับความร่วมมืออย่างดียิ่งจากคณาจารย์ ผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ นักวิชาการ และครูผู้สอนจากสถาบันต่างๆ จึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์แก่ครูผู้สอนและผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้นโปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จักขอบคุณยิ่ง



(นางพรพรรณ ไวย่างกูร)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ



คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา เล่ม 4
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์และวิวัฒนาการ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล กฎของความน่าจะเป็น กฎแห่งการแยก และกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ การผสมเพื่อทดสอบ ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล ศึกษาเกี่ยวกับยีนและโครโมโซม การถ่ายถอดยีนและโครโมโซม การค้นพบสารพันธุกรรม โครโมโซม องค์ประกอบทางเคมีของ DNA โครงสร้างของ DNA สมบัติของสารพันธุกรรม มิวเทชัน ศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทาง DNA พันธุวิศวกรรม การวิเคราะห์ DNA และการศึกษาจีโนม การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทาง DNA ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทาง DNA และมุมมองทางสังคมและจริยธรรม ศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการ หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต พันธุศาสตร์ประชากร ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล กำเนิดของสปีชีส์ และวิวัฒนาการของมนุษย์ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต การวิเคราะห์ การทดลอง การอภิปราย การอธิบาย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความคิด ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยม

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปการค้นพบกฎการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเมนเดล
2. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดลและความแปรผันทางพันธุกรรม
3. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอธิบายเกี่ยวกับโครโมโซม โครงสร้างและหน้าที่ของสารพันธุกรรม
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับสมบัติของสารพันธุกรรม
5. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับการเกิดมิวเทชัน และผลของการเกิดมิวเทชัน
6. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย และอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีทาง DNA และการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ
7. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับหลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ และแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการ
8. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ประชากรและการกำเนิดสปีชีส์
9. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับวิวัฒนาการของมนุษย์

สารบัญ

หน้า	
การจัดการเรียนการสอนวิชาชีววิทยา	1
วิสัยทัศน์การเรียนรู้วิชาชีววิทยา	1
แนวทางการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยา	2
การประเมินผล	4
การใช้ Homepage ของสาขาชีววิทยา	
ในการสื่อสารค้นคว้าหาความรู้	17
หน่วยที่ 4 พันธุศาสตร์ และวิวัฒนาการ	19
สาระสำคัญ	25
ผังมโนทัศน์	27
แนวทางการจัดการเรียนรู้	28



บทที่ 15

การถ่ายทอดทางพันธุกรรม

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	29
จุดประสงค์การเรียนรู้	29
สาระสำคัญ	29
ผังมโนทัศน์	31
แนวทางการจัดการเรียนรู้	32
15.1 การศึกษาพันธุศาสตร์	
ของเมนเดล	32
จุดประสงค์การเรียนรู้	32
แนวทางการจัดการเรียนรู้	32
15.2 กฎของความน่าจะเป็น	36
จุดประสงค์การเรียนรู้	36
แนวทางการจัดการเรียนรู้	36
15.3 กฎแห่งการแยกและ	
กฎแห่งการรวมกลุ่ม	
อย่างอิสระ	37
จุดประสงค์การเรียนรู้	37
15.3.1 กฎแห่งการแยก	38

15.3.2 กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	43
15.4 การผสมเพื่อทดสอบ	47
จุดประสงค์การเรียนรู้	47
แนวทางการจัดการเรียนรู้	47
15.5 ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยาย	
ของพันธุศาสตร์เมนเดล	53
จุดประสงค์การเรียนรู้	53
แนวทางการจัดการเรียนรู้	54
15.5.1 การข้ามไม่สมบูรณ์	54
15.5.2 การข้ามร่วมกัน	57
15.5.3 มัลติเปิลแอลลีล	58
15.5.4 พอลิยีน	63
15.5.5 ยีนบนโครโมโซมเพศ	66
15.5.6 ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน	76
15.5.7 ลักษณะที่อยู่ภายใต้อิทธิพล	
ของเพศ	77
15.5.8 ลักษณะที่ปรากฏจำเพาะเพศ	78
แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 15	79
แหล่งเรียนรู้	83



บทที่ 16

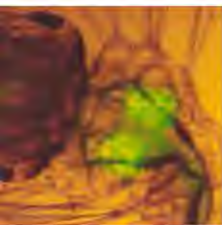
ยีนและโครโมโซม

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	85
จุดประสงค์การเรียนรู้	85
สาระสำคัญ	85
ผังมโนทัศน์	87
แนวทางการจัดการเรียนรู้	88
16.1 การถ่ายทอดยีนและโครโมโซม	88
จุดประสงค์การเรียนรู้	88
แนวทางการจัดการเรียนรู้	88

16.2 การค้นพบสารพันธุกรรม	89	เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	125
จุดประสงค์การเรียนรู้	89	จุดประสงค์การเรียนรู้	125
แนวทางการจัดการเรียนรู้	89	สาระสำคัญ	125
16.3 โครโมโซม	91	ผังมโนทัศน์	127
จุดประสงค์การเรียนรู้	91	แนวทางการจัดการเรียนรู้	128
แนวทางการจัดการเรียนรู้	91	17.1 พันธุวิศวกรรม	129
16.3.1 รูปร่าง ลักษณะและ		จุดประสงค์การเรียนรู้	129
จำนวนโครโมโซม	91	แนวทางการจัดการเรียนรู้	130
16.3.2 ส่วนประกอบของโครโมโซม	92	17.1.1 เอนไซม์ตัดจำเพาะ	130
16.4 องค์ประกอบทางเคมีของ DNA	93	17.1.2 การเชื่อมต่อสาย DNA ด้วย	
จุดประสงค์การเรียนรู้	93	เอนไซม์ DNA ไลเกส	132
แนวทางการจัดการเรียนรู้	93	17.1.3 การโคลนยีน	132
16.5 โครงสร้างของ DNA	96	17.2 การวิเคราะห์ DNA และการศึกษา	
จุดประสงค์การเรียนรู้	96	จีโนม	136
แนวทางการจัดการเรียนรู้	96	จุดประสงค์การเรียนรู้	136
16.6 สมบัติของสารพันธุกรรม	99	แนวทางการจัดการเรียนรู้	136
จุดประสงค์การเรียนรู้	99	17.2.1 การวิเคราะห์ DNA	136
แนวทางการจัดการเรียนรู้	99	17.2.2 การศึกษาจีโนม	139
16.6.1 การสังเคราะห์ DNA	99	17.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทาง	
16.6.2 การควบคุมลักษณะทาง		DNA	140
พันธุกรรมของ DNA	103	จุดประสงค์การเรียนรู้	140
16.6.3 DNA กับการสังเคราะห์		แนวทางการจัดการเรียนรู้	141
โปรตีน	104	17.3.1 การประยุกต์ใช้ในเชิง	
16.7 มิวเทชัน	114	การแพทย์และเภสัชกรรม	141
จุดประสงค์การเรียนรู้	114	17.3.2 การประยุกต์ใช้ในเชิง	
แนวทางการจัดการเรียนรู้	114	นิติวิทยาศาสตร์	143
แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 16	121	17.3.3 การประยุกต์ใช้ในเชิง	
แหล่งเรียนรู้	124	การเกษตร	145
		17.3.4 การใช้พันธุศาสตร์เพื่อศึกษา	
		ค้นคว้าหาชิ้นและหน้าที่ของยีน	148
		17.4 ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทาง	
		DNA และมุมมองทางสังคมและ	
		จริยธรรม	149
		จุดประสงค์การเรียนรู้	149

บทที่ 17

พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทาง DNA



แนวการจัดการเรียนรู้	149
แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 17	153
แหล่งเรียนรู้	160

บทที่ 18

วิวัฒนาการ

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	161
จุดประสงค์การเรียนรู้	161
สาระสำคัญ	162
ผังมโนทัศน์	164
แนวการจัดการเรียนรู้	165
18.1 หลักฐานที่บ่งบอกถึง	
วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	165
จุดประสงค์การเรียนรู้	165
แนวการจัดการเรียนรู้	166
18.1.1 หลักฐานจากซาก	
ดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต	166
18.1.2 หลักฐานจากกายวิภาค	
เปรียบเทียบ	178
18.1.3 หลักฐานจากวิทยา	
เอ็มบริโอเปรียบเทียบ	179
18.1.4 หลักฐานด้านชีววิทยา	
ระดับโมเลกุล	180
18.1.5 หลักฐานทางชีวภูมิศาสตร์	183
18.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการ	
ของสิ่งมีชีวิต	185
จุดประสงค์การเรียนรู้	185
แนวการจัดการเรียนรู้	185
18.2.1 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการ	
ของลามาร์ก	185

18.2.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการ	
ของดาร์วิน	187
18.3 พันธุศาสตร์ประชากร	191
จุดประสงค์การเรียนรู้	191
แนวการจัดการเรียนรู้	191
18.3.1 การหาความถี่ของแอลลีล	
ในประชากร	192
18.3.2 กฎของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก	193
18.3.3 การประยุกต์ใช้กฎของ	
ฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก	194
18.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง	
ความถี่ของแอลลีล	197
จุดประสงค์การเรียนรู้	197
แนวการจัดการเรียนรู้	197
18.5 กำเนิดของสปีชีส์	203
จุดประสงค์การเรียนรู้	203
แนวการจัดการเรียนรู้	203
18.5.1 ความหมายของสปีชีส์	203
18.5.2 การเกิดสปีชีส์ใหม่	205
18.6 วิวัฒนาการของมนุษย์	208
จุดประสงค์การเรียนรู้	208
แนวการจัดการเรียนรู้	208
แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 18	211
แหล่งเรียนรู้	216
คณะกรรมการปรับปรุงคู่มือครู	
รายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 4	217

การจัดการเรียนการสอนวิชาชีววิทยา

วิชาชีววิทยามีบทบาทสำคัญยิ่งสำหรับสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะชีววิทยาเกี่ยวข้องกับคน สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นพื้นฐานของเทคโนโลยีชีวภาพซึ่งเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงผลผลิตทางการเกษตรอุตสาหกรรมการสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะทำให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์ดีขึ้นกว่าที่เป็นอยู่

ในการเรียนการสอนวิชาชีววิทยามุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด เพื่อให้ได้ทั้งกระบวนการและความรู้จากวิธีการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลองแล้วนำผลที่ได้มาจัดระบบเป็นหลักการ แนวคิด และองค์ความรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนการสอนชีววิทยา

การจัดการเรียนการสอนวิชาชีววิทยาจึงมีเป้าหมายสำคัญ ดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานในวิชาชีววิทยา
2. เพื่อให้เข้าใจขอบเขตของธรรมชาติและข้อจำกัดของวิชาชีววิทยา
3. เพื่อให้มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางเทคโนโลยีชีวภาพ
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิชาชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ มวลมนุษย์ และสภาพแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อนำความรู้ความเข้าใจในวิชาชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม และการดำรงชีวิต
7. เพื่อให้เป็นคนมีจิตวิทยาศาสตร์มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ และเทคโนโลยีชีวภาพอย่างสร้างสรรค์

วิสัยทัศน์การเรียนรู้วิชาชีววิทยา มีดังนี้



การเรียนรู้วิชาชีววิทยาเป็นการพัฒนาผู้เรียนให้ได้รับทั้งความรู้กระบวนการและเจตคติ ผู้เรียนทุกคนควรได้รับการกระตุ้นส่งเสริมให้สนใจและกระตือรือร้นที่จะเรียนรู้มีความสงสัย เกิดคำถามในสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมรอบตัว มีความมุ่งมั่นและมีความสุขที่จะศึกษาค้นคว้า สืบเสาะหาความรู้เพื่อรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ผล นำไปสู่คำตอบของคำถาม สามารถตัดสินใจด้วยการใช้ข้อมูลอย่างมีเหตุผล สามารถสื่อสารคำถาม คำตอบ ข้อมูล และสิ่งที่ค้นพบจากการเรียนรู้ให้ผู้อื่นเข้าใจได้



การเรียนรู้วิชาชีววิทยาเป็นการเรียนรู้ตลอดชีวิต เนื่องจากความรู้วิทยาศาสตร์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว จำเป็นที่ทุกคนจะต้องเรียนรู้เพื่อนำผลการเรียนรู้ไปใช้ในชีวิตและการประกอบอาชีพ เมื่อผู้เรียนได้เรียนวิทยาศาสตร์โดยได้รับการกระตุ้นให้เกิดความตื่นตัว ทำทหายกับการเผชิญสถานการณ์หรือปัญหา มีการร่วมกันคิดลงมือปฏิบัติจริง ก็จะเข้าใจและเห็นความเชื่อมโยงของวิทยาศาสตร์กับวิชาอื่นๆ และชีวิต ทำให้สามารถอธิบาย ทำนายและคาดการณ์สิ่งต่างๆ ได้อย่างมีเหตุผล การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนจึงต้องสอดคล้องกับสภาพจริงในชีวิตโดยใช้แหล่งเรียนรู้หลากหลายในท้องถิ่นและคำนึงถึงผู้เรียนที่มีวิธีการเรียนรู้ ความสนใจ และความถนัดแตกต่างกัน

แนวการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยา



เน้นการเรียนรู้ที่ผ่านกระบวนการคิดและกระบวนการปฏิบัติเพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเอง สามารถนำความรู้ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีกระบวนการเรียนรู้ที่หลากหลายรูปแบบ เชื่อมโยงกับชีวิตจริงและสิ่งแวดล้อม ครูต้องปรับบทบาทจากผู้ป้อนข้อมูล (instructor) เป็นผู้ให้คำแนะนำ (coaching) และผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (facilitator) เนื่องจากมีวิธีการที่ผู้เรียนสามารถหาความรู้ซึ่งมีอยู่มากมายได้ด้วยตนเองโดยไม่จำกัดอยู่แค่เพียงความรู้ที่ครูถ่ายทอดให้เท่านั้น ในลักษณะนี้ครูจึงทำหน้าที่ในการชี้แนะสำหรับการแสวงหาหรือนำความรู้จากแหล่งต่างๆ มาใช้ประโยชน์ทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิธีการและแหล่งที่จะได้มาซึ่งข้อมูลในการชี้แนะให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองนั้น ครูควรใช้วิธีการจัดกิจกรรมหรือใช้สื่อประกอบ ให้ผู้เรียนเกิดความอยากรู้ในการแสวงหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ อย่างกว้างขวาง ฝึกให้คิดตั้งคำถามและแสวงหาคำตอบอย่างมีเหตุผล การจัดการเรียนรู้ดังกล่าวต้องผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (inquiry process) ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนค้นหาความรู้ใหม่ด้วยตนเอง โดยผ่านกระบวนการคิดและใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือ

จิตวิทยาที่เป็นพื้นฐานของการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์คือ

1. ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์นั้น ผู้เรียนจะเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น ต่อเมื่อผู้เรียนได้มีส่วนในการค้นหาความรู้ต่างๆ โดยตรงมากกว่าครูบอกให้ผู้เรียนรู้
2. การเรียนรู้จะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อสถานการณ์แวดล้อมในการเรียนรู้นั้นช่วยให้ผู้เรียนอยากเรียนไม่ใช่บังคับกับผู้เรียน และครูต้องจัดกิจกรรมที่จะนำไปสู่ความสำเร็จในการค้นคว้าและทดลอง
3. วิธีการนำเสนอของครูจะต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักคิด มีความคิดสร้างสรรค์ ให้โอกาสผู้เรียนได้ใช้ความคิดของตนเองได้มากที่สุด

ทั้งนี้กิจกรรมที่จะให้ผู้เรียนทำการสำรวจตรวจสอบ จะต้องเชื่อมโยงกับความรู้เดิมและผู้เรียนมีความรู้และทักษะเพียงพอที่จะแสวงหาความรู้ใหม่ โดยกิจกรรมที่จัดควรเป็นกิจกรรมนำไปสู่การสำรวจ ตรวจสอบ หรือแสวงหาความรู้ใหม่

การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ครูมีหน้าที่จัดกิจกรรมเพื่อสร้างความสนใจ กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็น กิจกรรมอาจจะเป็นการทดลอง การนำเสนอข้อมูล การสาธิตข่าว หรือสถานการณ์ เหตุการณ์ ฯลฯ ซึ่งก่อให้เกิดความคิดขัดแย้งจากสิ่งที่ผู้เรียนเคยรู้ กระตุ้นให้ผู้เรียนตั้งคำถาม กำหนดประเด็นปัญหาที่จะศึกษาซึ่ง นำไปสู่การสำรวจตรวจสอบ

เมื่อผู้เรียนได้กำหนดปัญหาที่จะสำรวจตรวจสอบ ครูจะต้องกระตุ้นให้ผู้เรียนตรวจสอบปัญหาและให้ผู้เรียนดำเนินการสำรวจตรวจสอบ สืบค้น และรวบรวมข้อมูล โดยการวางแผนการสำรวจ ตรวจสอบ ลงมือปฏิบัติ เช่น สังเกต วัด ทดลอง รวบรวมข้อมูลสนทน

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจตรวจสอบ สืบค้นข้อมูล ขั้นตอนนี้ครูมีหน้าที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนนำข้อมูลมาวิเคราะห์ จัดกระทำข้อมูลในรูปตาราง กราฟ แผนภาพ ฯลฯ ให้เห็นแนวโน้มหรือความสัมพันธ์ของข้อมูล สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง โดยอ้างอิงหลักการและวิชาการประกอบอย่างเป็นเหตุเป็นผล มีการอ้างอิงหลักฐานชัดเจน แล้วนำเสนอผลงาน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนได้สร้างความรู้ใหม่ ครูต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนอธิบายความคิดด้วยตัวของผู้เรียนเอง พร้อมทั้งแสดงหลักฐานและเหตุผลประกอบการอธิบาย และให้ผู้เรียนตรวจสอบผลการทดลองว่าสอดคล้องกับสมมติฐานหรือไม่ อย่างไร

เพื่อให้ความรู้ที่ผู้เรียนสร้างขึ้นเองจากการสำรวจตรวจสอบด้วยตนเองสมบูรณ์ ชัดเจน และลึกซึ้งยิ่งขึ้น ครูอาจจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ให้ผู้เรียนมีความรู้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ขยายกรอบความคิดได้กว้างขวางยิ่งขึ้น เชื่อมโยงความรู้เดิมสู่ความรู้ใหม่ นำไปสู่การศึกษาค้นคว้าทดลองเพิ่มขึ้น อาจจะทำได้โดยตั้งประเด็นเพื่อให้ผู้เรียนชี้แจง หรือร่วมอภิปรายแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ชักถามผู้เรียนให้เกิดความชัดเจนหรือกระจ่างในความรู้ เชื่อมโยงความรู้ที่ได้กับความรู้เดิม ให้ค้นคว้าเพิ่มเติมในประเด็นที่ผู้เรียนสนใจ

ขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการเรียนรู้ที่จำเป็นคือ การส่งเสริมให้ผู้เรียนนำความรู้ใหม่ที่ได้ไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่หรือนำไปประยุกต์ใช้ นอกจากนี้ควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนประเมินจุดเด่นและจุดด้อยในกระบวนการเสาะแสวงหาความรู้ เพื่อจะปรับปรุงในโอกาสต่อไป แล้วควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีโอกาสตรวจสอบซึ่งกันและกัน โดยการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการสำรวจตรวจสอบ



การประเมินผล



การวัดและการประเมินผลการเรียนรู้เป็นสิ่งที่ควบคู่กัน เป็นกระบวนการที่จะได้ข้อมูลสารสนเทศที่แสดงถึงพัฒนาการความก้าวหน้าและความสำเร็จของผู้เรียน รวมทั้งได้ข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาและเรียนรู้ตามศักยภาพ การประเมินผลเป็นกลไกหนึ่งในการประกันคุณภาพการศึกษาทั้งภายในและภายนอก

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 ได้ระบุถึงวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ไว้ว่า ให้สถานศึกษาจัดการประเมินผลผู้เรียน โดยพิจารณาจากพัฒนาการของผู้เรียน ความประพฤติ การสังเกต พฤติกรรมการเรียน การร่วมกิจกรรมและการทดสอบ ควบคู่ไปในกระบวนการเรียนการสอนตามความเหมาะสมของแต่ละระดับและรูปแบบการศึกษา

จากพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติดังกล่าวทำให้เห็นแนวทางการวัดผลและประเมินผลตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน ดังนี้

1. การวัดผลและประเมินผลเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้จะต้องดำเนินการควบคู่กันไปอย่างสอดคล้องและต่อเนื่อง
2. ในการจัดการเรียนรู้อุ้มนักพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านความรู้ ความคิด ทักษะ กระบวนการ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ การประเมินพัฒนาการของผู้เรียนจึงต้องประเมินให้ครอบคลุมทุกด้าน
3. เพื่อให้การประเมินครอบคลุมทุกด้านและได้ข้อมูลเพียงพอที่จะประเมินพัฒนาการความก้าวหน้าและความสำเร็จของผู้เรียน จะต้องใช้กระบวนการและวิธีการประเมินผลหลากหลายวิธีและต่อเนื่อง ทั้งการสังเกตพฤติกรรมการเรียนและการเข้าร่วมกิจกรรม ฯลฯ

การวัดผลและประเมินผลของการศึกษาขั้นพื้นฐาน เน้นการวัดและประเมินผลในสภาพจริงและที่ผู้เรียนแสดงออกขณะทำกิจกรรมเพื่อการเรียนรู้ ซึ่งสามารถสะท้อนถึงความรู้ ความคิด เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลและประเมินผลยังเป็นประโยชน์ต่อตัวผู้เรียนและตัวครู ที่จะได้รับทราบพัฒนาการความก้าวหน้าในการเรียนรู้ และความสำเร็จของผู้เรียนว่าอยู่ในระดับใด มีจุดเด่นใดที่ควรส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาเต็มศักยภาพ และมีจุดอ่อนใดที่ควรได้รับการแก้ไข รวมทั้งครูผู้สอนจะได้ข้อมูลที่เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และยังเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ปกครองที่จะได้ใช้ข้อมูลจากการวัดและประเมินผลส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนให้พัฒนาเต็มตามศักยภาพตามความถนัด และความสนใจของแต่ละบุคคล



การประเมินจากสภาพจริงคืออะไร

การประเมินจากสภาพจริง (authentic assessment) คือ การประเมินความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน จากการแสดงออก การกระทำหรือผลงานเพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเอง ในขณะที่ผู้เรียนแสดงออก ในการปฏิบัติกิจกรรมหรือสร้างชิ้นงาน ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการคิดระดับสูง กระบวนการทำงาน และความสามารถในการแก้ปัญหาหรือการแสวงหาความรู้

การประเมินจากสภาพจริงจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อมีการประเมินหลายๆ ด้าน โดยใช้วิธีประเมินหลากหลายวิธีในสถานการณ์ต่างๆ ที่สอดคล้องกับชีวิตจริง และต้องประเมินอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากพอที่จะสะท้อนถึงการพัฒนาและความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนได้

ลักษณะสำคัญของการประเมินจากสภาพจริง

1. การประเมินต้องผสมผสานไปกับการเรียนการสอนและต้องประเมินอย่างต่อเนื่อง โดยใช้วิธีประเมินหลายๆ วิธีที่ครอบคลุมพฤติกรรมหลายๆ ด้านในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน
2. สามารถประเมินกระบวนการคิดที่ซับซ้อน ความสามารถในการปฏิบัติงาน ศักยภาพของผู้เรียนในแง่ของผู้ผลิตและกระบวนการที่ได้ผลผลิตมากกว่าที่จะประเมินว่าผู้เรียนสามารถจดจำความรู้อะไรได้บ้าง
3. เป็นการประเมินที่มุ่งเน้นประเมินศักยภาพโดยรวมของผู้เรียนทั้งด้านความรู้พื้นฐาน ความคิดระดับสูง ความสามารถในการแก้ปัญหา การสื่อสาร เจตคติ ลักษณะนิสัย ทักษะในด้านต่างๆ และความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ฯลฯ
4. เป็นการประเมินที่ให้ความสำคัญต่อพัฒนาการของผู้เรียน ข้อมูลที่ได้จากการประเมินหลายๆ ด้านและหลากหลายวิธีสามารถนำมาใช้ในการวินิจฉัยจุดเด่นของผู้เรียน ที่ควรจะให้ส่งเสริมและวินิจฉัยจุดด้อยที่จะต้องให้ความช่วยเหลือหรือแก้ไข เพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาเต็มตามศักยภาพ ตามความสนใจ และความสามารถของแต่ละบุคคล
5. ข้อมูลที่ได้จากการประเมินจะสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการเรียนการสอน และการวางแผนการสอนของครูว่าเป็นไปตามจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนหรือไม่ ครูสามารถนำข้อมูลจากการประเมินมาปรับกระบวนการนำเสนอเนื้อหา กิจกรรมและตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสมในการเรียนการสอนต่อไป
6. เป็นการประเมินที่ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักตัวเอง เชื่อมั่นในตนเอง และสามารถพัฒนาตนเองได้
7. เป็นการประเมินที่ทำให้การเรียนการสอนมีความหมาย และเพิ่มความเชื่อมั่นได้ว่าผู้เรียนสามารถถ่ายโอนการเรียนรู้ไปสู่การดำรงชีวิตในสังคมได้



วิธีการและแหล่งข้อมูลที่ใช้

เพื่อให้การวัดและประเมินผลได้สะท้อนความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน ผลการประเมินอาจจะได้มาจากแหล่งข้อมูลและวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. สังเกตการแสดงออกเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่ม
 2. ชิ้นงาน ผลงาน รายงาน
 3. การสัมภาษณ์
 4. บันทึกของผู้เรียน
 5. การประชุมปรึกษาหารือร่วมกันระหว่างผู้เรียนและครู
 6. การวัดและประเมินผลภาคปฏิบัติ (practical assessment)
 7. การวัดและประเมินผลด้านความสามารถ (performance assessment)
 8. การวัดและประเมินผลการเรียนรู้โดยใช้แฟ้มผลงาน (portfolio assessment)
 9. การทดสอบ
- ฯลฯ

การวัดและการประเมินผลด้านความสามารถ (performance assessment)

ความสามารถของผู้เรียนประเมินได้จากการแสดงออกโดยตรงจากการทำงานต่างๆ จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ซึ่งเป็นของจริงหรือใกล้เคียงกับสภาพจริงและเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แก้ปัญหา หรือปฏิบัติงานได้จริง โดยประเมินจากกระบวนการทำงาน กระบวนการคิด โดยเฉพาะความคิดขั้นสูงและผลงานที่ได้

ลักษณะสำคัญของการประเมินความสามารถ คือ กำหนดวัตถุประสงค์ของงาน วิธีการทำงาน ผลสำเร็จของงาน มีคำสั่งควบคุมสถานการณ์ในการปฏิบัติงาน และมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจน การประเมินความสามารถที่แสดงออกของผู้เรียนทำได้หลายแนวทางต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สถานการณ์ และความสนใจของผู้เรียน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. **การมอบหมายงานให้ทำ** งานที่มอบให้ทำต้องมีความหมาย มีความสำคัญ มีความสัมพันธ์กับหลักสูตร เนื้อหาวิชา และชีวิตจริงของผู้เรียน ผู้เรียนต้องใช้ความรู้หลายด้านในการปฏิบัติงานที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการทำงาน และการใช้ความคิดอย่างลึกซึ้ง

ตัวอย่างงานที่มอบหมายให้ทำ เช่น

- บทความในเรื่องที่กำลังเป็นประเด็นที่น่าสนใจและมีความสำคัญอยู่ในขณะนั้น เช่น GMOs การโคลนสิ่งมีชีวิต
- รายงานสิ่งที่คุณสนใจโดยเฉพาะ เช่น การศึกษาวัฏจักรชีวิตแมลงวันทอง การสำรวจความหลากหลายของพืชในบริเวณโรงเรียน
- สิ่งประดิษฐ์ที่ได้จากการทำกิจกรรมที่สนใจ เช่น การสร้างระบบนิเวศจำลอง



2. การกำหนดชิ้นงาน หรืออุปกรณ์ หรือสิ่งประดิษฐ์ให้ผู้เรียนวิเคราะห์องค์ประกอบ และกระบวนการทำงาน และเสนอแนวทางเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ตัวอย่างจากการศึกษาการกลายน้ำตาลของยีสต์ผู้เรียนคนหนึ่งออกแบบการทดลอง ดังในภาพ



1. การทดลองนี้ถ้านำน้ำออกจากหลอดทดลองจะเกิดปฏิกิริยาในระยะเวลาหนึ่งแล้วจะหยุดชะงัก ทั่วๆ ที่น้ำตาลในผลไม้ยังมีพอเพียง เพราะเหตุใด

2. ถ้าผู้เรียนจะผลิตแอลกอฮอล์เป็นการค้า

2.1 ต้องดัดแปลงอุปกรณ์นี้อย่างไรบ้าง

2.2 ถ้าจะให้ผลผลิตสูงและต้นทุนที่ต่ำ ผู้เรียนจะต้องศึกษาในเรื่องใดบ้าง

2.3 ผู้เรียนจะตรวจสอบความคิดของผู้เรียนในข้อ 2.1 และ 2.2 ได้อย่างไร

2.4 ลงมือปฏิบัติตามข้อ 2.3 และรายงานผล

ลักษณะงานที่นำมาใช้ในการปฏิบัติการควรมีลักษณะดังนี้

1. เป็นงานที่มีความหมายต่อชีวิตจริงและการเรียนรู้ สามารถถ่ายโอนการเรียนรู้ ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

2. สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของหลักสูตรและการเรียนการสอน

3. ควรจะเน้นในด้านลึกมากกว่าเน้นด้านกว้างโดยอาศัยพื้นฐานจากประสบการณ์เดิม

4. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดอย่างอิสระ

5. กิจกรรมที่จัดให้ผู้เรียนควรจะมีหลากหลายทั้งรูปแบบของกิจกรรม เทคนิค วิธีการ และผู้เรียนจะต้องใช้ความสามารถหลายด้านในการปฏิบัติการ

การประเมินผลด้านความสามารถประเมินได้ทั้งการแสดงผลงาน กระบวนการทำงานและผลผลิตของงาน จะให้ความสำคัญต่อกระบวนการทำงาน กระบวนการคิด คุณภาพของงานมากกว่าผลสำเร็จของงาน

การมอบหมายชิ้นงานให้ผู้เรียน ควรจะประชุมปรึกษาหารือและทำความเข้าใจร่วมกันระหว่างครูและผู้เรียนในการวางแผนการปฏิบัติงานเพื่อสะดวกในการดำเนินกิจกรรมของผู้เรียน และการติดตามความก้าวหน้าของครู



3. การกำหนดตัวอย่างงานให้และให้ผู้เรียนศึกษางานแล้วปฏิบัติตามขั้นตอนให้เหมือนหรือดีกว่า เช่น การทำสไลด์ถาวรศึกษาเนื้อเยื่อพืช การทำเฮอร์บาเรียม การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นต้น

4. การสร้างสถานการณ์จำลองที่สัมพันธ์กับชีวิตจริงของผู้เรียน เมื่อกำหนดสถานการณ์ แล้วให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติ แก้ปัญหาหรือใช้ความคิดระดับสูงในการแก้ปัญหา

ตัวอย่างสถานการณ์ที่ 1

จงศึกษาสถานการณ์ที่กำหนดให้



มีลำไยซึ่งเก็บมาจากสวน 4 สวน ถ้าจะตรวจสอบว่าลำไยจากสวนใดมีความหวานมากที่สุด โดยใช้หลักการออสโมซิสจะตรวจสอบอย่างไร

จากสถานการณ์ให้ผู้เรียนปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. จงคิดวิธีการตรวจสอบหลายๆ วิธี และบอกขั้นตอนของวิธีการตรวจสอบของแต่ละวิธี
2. ระบุวิธีการเก็บข้อมูลของแต่ละวิธี
3. จงเลือกวิธีการในข้อ 1. มาหนึ่งวิธีและบอกเหตุผลที่เลือกใช้วิธีนั้นๆ
4. ดำเนินการตรวจสอบโดยใช้วิธีการที่เลือกไว้ในข้อ 3. แปลผลและสรุปผลการทดลอง

ตัวอย่างสถานการณ์ที่ 2

จงศึกษาสถานการณ์ข้างล่างนี้ แล้วตอบคำถาม



ในการตรวจสอบว่าความเข้มของแสงมีผลต่อการเจริญของต้นถั่วเขียว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด แต่ละชุดควบคุมทุกอย่างให้เหมือนกัน แต่ต่างกันที่ชุดที่ 1 มีความเข้มของแสงมากกว่าชุดที่ 2 ปัญหาที่พบคือความชื้นและอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 2 ชุดไม่สามารถจะควบคุมให้เท่ากันได้ ผู้เรียนจะแก้ปัญหานี้ ได้อย่างไร

5. การทดสอบโดยใช้แบบทดสอบข้อเขียน การประเมินตามสภาพจริงจะลดความสำคัญของการทดสอบเนื่องจากจะมีการใช้แบบทดสอบลดลง แต่อย่างไรก็ตามข้อสอบข้อเขียนก็ยังคงมีความจำเป็น เนื่องจากใช้วัดความสามารถทางด้านความรู้ความเข้าใจในหลักการต่างๆ ได้ ดังนั้นในกระบวนการประเมินจึงยังคงใช้แบบทดสอบข้อเขียนร่วมด้วยโดยจะลดบทบาทของแบบทดสอบที่วัดพฤติกรรม ด้านความรู้ ความจำ แต่จะมุ่งเน้นประเมินด้านความเข้าใจ การนำไปใช้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และกระบวนการคิดระดับสูง แบบทดสอบในลักษณะนี้จะต้องสร้างสถานการณ์ให้ผู้เรียนตอบ และสถานการณ์ที่นำมาใช้ควรสัมพันธ์กับชีวิตจริงของผู้เรียน

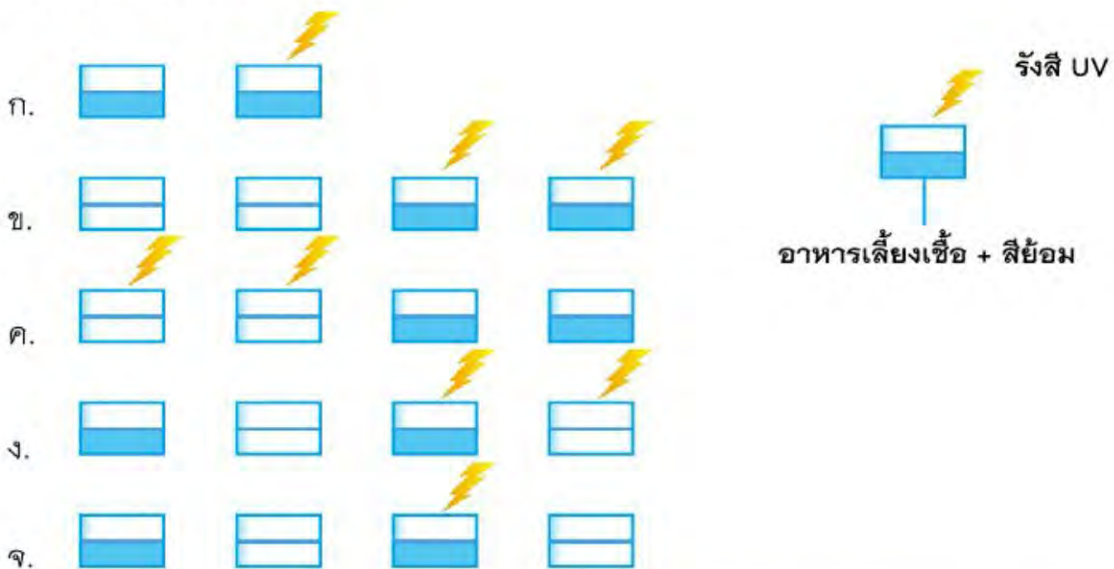
1. ตัวอย่างข้อสอบแบบเลือกตอบ

จงศึกษาสถานการณ์ข้างล่างนี้แล้วตอบคำถาม



ผู้เรียนคนหนึ่งศึกษาการเจริญของแบคทีเรียในจานเลี้ยงเชื้อ เขาได้ทำสีย้อมหมกบนจานเลี้ยงเชื้อ ต่อมาพบว่าแบคทีเรียในจานเลี้ยงเชื้ออื่นๆ เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะไม่เจริญ แต่แบคทีเรียในจานเลี้ยงเชื้อที่มีสีเจือปนอยู่เจริญเติบโตดีมาก เขาคิดว่าสีน่าจะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ได้

ผู้เรียนคิดว่าผู้เรียนคนนี้ควรเลือกการทดลองในข้อใดเพื่อตรวจสอบความคิดของเขา ข้อมูลที่ได้จึงจะน่าเชื่อถือ



สนใจเพาะเมล็ดพืชชนิดหนึ่งในกระถาง กระถางละ 12 ต้น โดยกระถางที่ 1 เต็มปุ๋ยไนโตรเจน กระถางที่ 2 เต็มปุ๋ยฟอสฟอรัส และรดน้ำในปริมาณเท่าๆ กัน ถ้าสนใจต้องการทดสอบผลของปุ๋ยแต่ละชนิดที่มีต่อการเจริญของต้นไม้ ผู้เรียนคิดว่าสมใจควรเพิ่มอะไรในการทดลองนี้

- ก. เพิ่มกระถางที่เติมปุ๋ยทั้งสองชนิด
- ค. เพิ่มกระถางที่เติมปุ๋ยฟอสฟอรัส

- ข. เพิ่มกระถางที่ไม่เติมปุ๋ยเลย
- ง. เพิ่มกระถางที่เติมปุ๋ยไนโตรเจน





การชันสูตรศพของผู้ที่เสียชีวิตอย่างกะทันหันโดยไม่ทราบสาเหตุแพทย์พบว่าในกระเพาะอาหารของผู้เสียชีวิตมีโมเลกุลเล็กๆ ของสารอาหาร A และบางส่วนของสารอาหาร A ที่ยังไม่ได้ย่อย และพบว่าบางส่วนของสารอาหาร B ถูกย่อย เกือบหมด แต่สารอาหาร C ยังไม่ได้ย่อยเลย อาหารที่ชายคนนี้รับประทาน คือ

ก. เนื้อตุ๋นยาจีน

ข. ข้าวขาหมู

ค. ส้มตำ ตับไก่ย่าง

ง. ก๋วยเตี๋ยว



ชายผู้นี้เสียชีวิตเมื่อเวลา 19.00 น. ผู้เรียนคิดว่าเขาจะรับประทานอาหารเช้าเมื่อเวลาประมาณเท่าใด

ก. 11.00 น.

ข. 12.00 น.

ค. 15.00 น.

ง. 17.00 น.



หญิงที่แต่งงานแล้วดื่มสุราเป็นประจำต้องการมีบุตรมาก แพทย์แนะนำว่าไม่ควรดื่มสุรา เพราะจะทำให้ไข่ไม่ตก แสดงว่าแอลกอฮอล์จะไปรบกวนในข้อใด

ก. การหลั่ง LH

ข. การหลั่งโปรเจสเทอโรน

ค. การหลั่งเอสโตรเจน

ง. การสร้างคอร์ปัสลูเทียม

2. ตัวอย่างข้อทดสอบแบบให้เขียนตอบ



ถ้าผู้เรียนไปทำงานเป็นผู้ช่วยคนดูแลสวนสัตว์แห่งหนึ่ง ผู้เรียนมีอาหารของนก เช่น เมล็ดพืช ผลไม้ ปลาตัวเล็ก แหน ปู และหอยตัวเล็กๆ ถ้าไปพบนกในสวนสัตว์ดังในภาพ ผู้เรียนจะให้อะไรเป็นอาหาร



จงระบุอาหารของนกเหล่านี้ลงในตารางข้างล่างนี้

ชนิดของนก	อาหาร
ก	
ข	
ค	
ง	
จ	



จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายทางกระจกในสารละลายที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ต่างกันในขณะที่มีแสงได้ข้อมูลดังนี้

การทดลองที่	ความเข้มข้นของ HCO_3^- (%)	ปริมาตรของ O_2 ที่สาหร่ายทางกระจกปล่อยออกมา (cm^3/s)
1	0.10	0.0
2	0.25	0.2
3	0.50	1.2
4	0.75	3.0
5	1.00	3.2
6	1.25	3.2
7	2.50	2.0

- จงนำข้อมูลจากผลการทดลองนี้มาเขียนกราฟ
- จากผลการทดลองนี้จะสรุปการทดลองได้อย่างไร

จงศึกษาสถานการณ์ข้างล่างนี้แล้วตอบคำถาม



ปัจจุบันนี้มีการนำการโคลน (cloning) มาใช้ในการขยายพันธุ์แกะ โดยการนำเอานิวเคลียสจากเซลล์เต้านมของแกะตัวหนึ่งมาใส่ในเซลล์ไข่ของแกะอีกตัวหนึ่งซึ่งนำนิวเคลียสออกแล้ว หลังจากนั้นนำไข่ไปถ่ายฝากตัวอ่อนในแกะตัวที่สาม เมื่อลูกแกะคลอดออกมา จะมีลักษณะเหมือนแกะตัวแรกที่ทำานิวเคลียสไปใส่ในไข่ทุกประการ



- เหตุใดแกะตัวใหม่ที่ได้จากการโคลนจึงมีลักษณะเหมือนแกะตัวแรกทุกประการ
- การโคลนถ้านำมาใช้กับมนุษย์ผู้เรียนคิดว่าจะมีผลดีหรือผลเสียอย่างไร จึงให้เหตุผล

จงศึกษาสถานการณ์ข้างล่างนี้แล้วตอบคำถาม



ผลไม้ชนิดหนึ่ง เป็นผลกลุ่มประกอบด้วยผลเล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมาก จากการสังเกตขณะที่ผลไม้ชนิดนี้เจริญเติบโตพบว่า ถ้าเมล็ดของผลที่ยอดหลุดไปขนาดของผลกลุ่มจะเล็กกว่าปกติและผลเล็กๆ ในบริเวณดังกล่าวจะไม่เจริญ ถ้าผลเล็กๆ ทุกผลเมล็ดหลุดไปหมด ผลกลุ่มจะหยุดการเจริญเติบโต ดังภาพ



ผลกลุ่มที่เจริญตามปกติ



ผลกลุ่มที่เมล็ดของผลที่ยอดหลุดไป



ผลกลุ่มที่เมล็ดหลุดไปหมด

จากสถานการณ์นี้ท่านคิดว่าปัญหาคืออะไร ถ้าท่านจะตรวจสอบปัญหานี้ท่านควรออกแบบการทดลองเพื่อแก้ปัญหอย่างไร

แนวการประเมินตามสภาพจริง

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการประเมินตามสภาพจริงให้ความสำคัญต่อการประเมินโดยใช้ข้อสอบแบบเขียนตอบน้อยมาก แต่จะให้ความสำคัญต่อการแสดงออกที่แท้จริงของผู้เรียนขณะทำกิจกรรม งานหรือกิจกรรมที่กำหนดให้ผู้เรียนทำ ซึ่งมีแนวทางไปสู่ความสำเร็จของงานและมีวิธีการหาคำตอบหลายแนวทาง คำตอบที่ได้อาจมิใช่แนวทางที่กำหนดไว้เสมอไป จึงทำให้การตรวจให้คะแนนไม่สามารถให้อย่างชัดเจนแน่นอนเหมือนการตรวจให้คะแนนแบบข้อสอบเลือกตอบ ดังนั้นการประเมินตามสภาพจริงจึงต้องมีการกำหนดแนวทางการให้คะแนนอย่างชัดเจน การกำหนดแนวทางอาจจัดทำโดยครู คณะครู หรือครูและผู้เรียนกำหนดร่วมกัน แนวทางการประเมินนั้นจะต้องมีมาตรวัดว่า ผู้เรียนทำอะไรได้สำเร็จ และระดับความสำเร็จอยู่ในระดับใด แนวทางการประเมินที่มีมาตรวัดนี้ เรียกว่า Rubric

การประเมินโดยอิง Rubric นี้โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ

1. การประเมินเป็นภาพรวม (holistic score)
2. การประเมินแบบแยกองค์ประกอบ (analytic score)

การประเมินเป็นภาพรวม

การประเมินแบบนี้เป็นการประเมินภาพรวมของงาน จะไม่เก็บเป็นคะแนนแม้ว่าจะใช้การให้คะแนนในการประเมินก็ต้องให้ความหมายของภาพรวมให้ได้

ตัวอย่างมาตรวัดการประเมินเป็นภาพรวมในการประเมินโครงการ

มาตรวัดในการประเมินโครงการ	ระดับคะแนน
- ไม่เข้าใจปัญหา การออกแบบและการทดลองใช้เทคนิคไม่ถูกต้อง ทำโครงการได้แต่ไม่สมบูรณ์ การเขียนรายงานต้องช่วยเหลืออย่างมาก	1
- เข้าใจปัญหาแต่ใช้เวลานานมาก ต้องอาศัยการแนะนำในการออกแบบ การทดลอง มีความยากลำบากในการปฏิบัติ ต้องได้รับคำแนะนำในการเขียนรายงาน	2
- แสดงถึงความเข้าใจปัญหาการออกแบบการทดลองและเทคนิควิธียังไม่ถูกต้อง งานประสบความสำเร็จบางส่วน การนำเสนอรายงานเป็นลำดับ	3
- แสดงถึงความเข้าใจปัญหา สามารถออกแบบการทดลองและเทคนิควิธีต่างๆ จนโครงการประสบความสำเร็จ การนำเสนอรายงานเป็นลำดับดี	4
- แสดงถึงความเข้าใจปัญหา มีความคิดริเริ่มในการออกแบบการทดลองและเทคนิควิธีต่างๆ จนโครงการประสบความสำเร็จ การนำเสนอรายงานเป็นลำดับดี	5

การกำหนดระดับคะแนนที่กล่าวข้างต้น เป็นการกำหนดระดับการยอมรับประกอบคำอธิบายว่าผู้เรียนทำอะไรได้บ้าง อย่างไร

การกำหนดระดับคะแนนอาจกำหนดตามระดับความผิดพลาด ตัวอย่างเช่น ถ้าการประเมินโครงการจะประเมิน 6 ประเด็นด้วยกัน คือ

1. การกำหนดปัญหาและสมมติฐานถูกต้อง
2. การออกแบบการทดลองถูกต้อง
3. การดำเนินการทดลองถูกต้อง
4. การจัดทำข้อมูลและการนำเสนอข้อมูลถูกต้อง
5. การสรุปผลการทดลองถูกต้อง
6. การนำเสนอโครงการถูกต้อง



การกำหนดระดับคะแนนอาจเป็นดังนี้

- ระดับคะแนน 1 ปฏิบัติถูกต้องเพียงประเด็นเดียว
- ระดับคะแนน 2 ปฏิบัติถูกต้อง 2-3 ประเด็น
- ระดับคะแนน 3 ปฏิบัติถูกต้อง 4-5 ประเด็น
- ระดับคะแนน 4 ปฏิบัติถูกต้องทุกประเด็น

การประเมินแบบแยกองค์ประกอบ

การประเมินแบบแยกองค์ประกอบจะมีการวิเคราะห์ว่าผลงานของผู้เรียนสามารถประเมินอะไรได้บ้าง แต่ละประเด็นผู้เรียนมีความสามารถอยู่ในระดับใด ดังตัวอย่างการประเมินโครงการและการประเมินการปฏิบัติการ

ระดับ คะแนน	เกณฑ์การประเมิน		
	การออกแบบการทดลอง	การดำเนินการทดลอง	การนำเสนอ
4	<ul style="list-style-type: none"> - เข้าใจปัญหาตั้งสมมติฐานได้สอดคล้องกับปัญหาและออกแบบการทดลองและใช้เทคนิควิธีถูกต้องแสดงถึงความคิดริเริ่ม 	<ul style="list-style-type: none"> - การดำเนินการทดลอง มีขั้นตอนครบถ้วนถูกต้องมีการทำซ้ำ และการเก็บข้อมูลได้ละเอียดรอบคอบครบถ้วนตามที่ต้องการวัด 	<ul style="list-style-type: none"> - ตรงเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล แสดงถึงความคิดสร้างสรรค์ในการนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลได้ครบถ้วนเหมาะสม การสรุปผลการทดลองถูกต้องมีการนำเหตุผล และความรู้มาอ้างอิง ประกอบการสรุปผลการทดลอง
3	<ul style="list-style-type: none"> - เข้าใจปัญหา ตั้งสมมติฐานได้ถูกต้อง ออกแบบการทดลองและใช้เทคนิควิธีถูกต้อง 	<ul style="list-style-type: none"> - การดำเนินการทดลอง มีขั้นตอนครบถ้วนถูกต้อง แต่ไม่มีการทำซ้ำ การเก็บข้อมูลครบถ้วนตามที่ต้องการวัด 	<ul style="list-style-type: none"> - การนำเสนอข้อมูลถูกต้องครบถ้วน วิเคราะห์ข้อมูลได้ครบถ้วน การสรุปการทดลองถูกต้อง มีการนำเหตุผลและความรู้มาอ้างอิงประกอบ

ตัวอย่างมาตรฐานวัดการประเมินการปฏิบัติการ

ประเด็นที่ประเมิน

ระดับคะแนน

1. วิธีดำเนินการทดลอง

- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการกำหนดวิธีการ ขั้นตอน และการใช้เครื่องมือ 1
- กำหนดวิธีการและขั้นตอนไม่ถูกต้อง ต้องให้ความช่วยเหลือ 2
- กำหนดวิธีการและขั้นตอนถูกต้อง การใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ยังไม่เหมาะสม 3
- กำหนดวิธีการขั้นตอนถูกต้อง เลือกใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองเหมาะสม 4

2. การปฏิบัติการทดลอง

- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการดำเนินการทดลองและการใช้อุปกรณ์ 1
- ต้องให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองและการใช้อุปกรณ์ 2
- ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอน และใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องถ้าให้คำแนะนำ 3
- ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอน และใช้อุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง 4

3. ความคล่องแคล่วในขณะปฏิบัติการ

- ทำการทดลองไม่ทันเวลาที่กำหนด และทำอุปกรณ์เครื่องใช้แตกหักเสียหาย 1
- ทำการทดลองไม่ทันเวลาที่กำหนด เนื่องจากขาดความคล่องแคล่วในการใช้อุปกรณ์และการดำเนินการทดลอง 2
- มีความคล่องแคล่วในการทำการทดลอง และการใช้อุปกรณ์ แต่ต้องชี้แนะเรื่องการใช้อุปกรณ์อย่างปลอดภัย 3
- มีความคล่องแคล่วในการดำเนินการทดลอง และใช้อุปกรณ์ดำเนินการทดลองได้อย่างปลอดภัย เสร็จทันเวลา 4

4. การนำเสนอ

- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการบันทึกผลการทดลอง สรุปผล และการนำเสนอ 1
- ต้องให้คำแนะนำในการบันทึกผลการทดลอง การสรุปผลการทดลอง และการนำเสนอจึงปฏิบัติได้ 2
- บันทึกผลการทดลองและสรุปผลการทดลองถูกต้อง แต่การนำเสนอยังไม่เป็นขั้นตอน 3
- บันทึกผลการทดลองและสรุปผลการทดลองถูกต้อง รัดกุม บันทึกการนำเสนอเป็นขั้นตอนชัดเจน 4



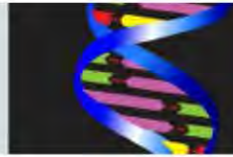
การใช้ Homepage ของสาขาชีววิทยาในการสื่อสารค้นคว้าหาความรู้



คำกล่าวที่ว่า “การเรียนรู้ไม่มีวันสิ้นสุด” ยังเป็นจริงถึงทุกวันนี้ ดังจะเห็นได้ว่าในโลกปัจจุบัน มีองค์ความรู้ใหม่ๆ เกิดขึ้นมากมาย โดยเฉพาะทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว สามารถเรียนรู้สิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัวได้จากการสังเกตด้วยตัวเอง คำบอกกล่าวของผู้อื่นหรือสื่ออื่นๆ เช่น หนังสือต่างๆ วิทยุ โทรทัศน์ หรือแม้กระทั่งทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถเรียนรู้ในเรื่องที่อยากรู้ได้อย่างรวดเร็ว ถ้าเป็นคนที่ไม่หยุดนิ่งต้องการแสวงหาความรู้ใหม่อยู่เสมอๆ สาขาชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงได้จัดทำเว็บไซต์เพื่อเผยแพร่ความรู้และสื่อต่างๆ ประกอบการเรียนการสอนชีววิทยา สามารถเข้าไปดูได้ที่ <http://www.ipst.ac.th/biology> ในเว็บไซต์นี้จะมีบทความทางวิชาการที่น่าสนใจอยู่หลายเรื่อง รวมทั้งวิดีโอคลิป ที่เกี่ยวกับการทดลองหรือปฏิบัติการต่างๆ รวมทั้งภาพและลิงค์แหล่งเรียนรู้ออนไลน์ที่เกี่ยวข้อง เว็บไซต์นี้จะมีประโยชน์ต่อครูผู้สอนมากในการเรียนการสอน ซึ่งครูสามารถจะให้ผู้เรียนมาหาความรู้เพิ่มเติมที่สัมพันธ์กับเรื่องที่เรียนได้



หน่วยที่ 4 พันธุศาสตร์และวิวัฒนาการ



หน่วยการเรียนรู้ 1.5 หน่วยกิต

บทที่ 15	การถ่ายทอดทางพันธุกรรม	16	ชั่วโมง
บทที่ 16	ยีนและโครโมโซม	20	ชั่วโมง
บทที่ 17	พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทาง DNA	10	ชั่วโมง
บทที่ 18	วิวัฒนาการ	14	ชั่วโมง
รวม		60	ชั่วโมง

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปการค้นพบกฎการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเมนเดล	<ol style="list-style-type: none"> 1. เมนเดลได้ศึกษาลักษณะต่างๆของถั่วลันเตา 7 ลักษณะทำให้พบว่าลักษณะต่างๆ เหล่านี้ต้องมีหน่วยควบคุมซึ่งอยู่เป็นคู่ โดยสามารถแสดงออกเป็นลักษณะเด่นหรือลักษณะด้อยก็ได้ และสามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อแม่ไปสู่รุ่นลูกหลานได้ 2. จากการทดลองของเมนเดลในการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาทำให้สามารถสรุปเป็นกฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมได้ 2 ข้อ คือ กฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ 3. กฎแห่งการแยก สรุปได้ว่ายีนที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกันในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะได้รับแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง 4. กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ สรุปได้ว่ายีนที่แยกออกจากยีนที่เป็นคู่กันจะจัดกลุ่มอย่างอิสระกับยีนอื่นที่แยกออกจากคู่กันเช่นกันในการเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์



ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
<p>2. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล และความแปรผันทางพันธุกรรม</p>	<p>5. การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมบางกรณีไม่เป็นไปตามที่เมนเดลได้ศึกษาไว้ เรียกลักษณะเหล่านี้ว่า ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล เช่น การข้ามไม่สมบูรณ์ การข้ามร่วมกัน มัลติเปิล แอลลีล พอลิยีน ยีนบนโครโมโซมเพศ ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน ลักษณะที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของเพศและลักษณะที่ปรากฏจำเพาะเพศ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดการแปรผันทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ</p>
<p>3. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอธิบาย เกี่ยวกับโครโมโซม โครงสร้าง และหน้าที่ของสารพันธุกรรม</p>	<p>6. โครโมโซมประกอบด้วย DNA และโปรตีน อยู่ในนิวเคลียสของเซลล์ยูคาริโอต</p> <p>7. ลักษณะของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมโดยยีน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ DNA และ DNA ทำหน้าที่เป็นสารพันธุกรรม</p> <p>8. DNA ประกอบด้วย น้ำตาลดีออกซีไรโบส หมู่ฟอสเฟต และเบส 4 ชนิดได้แก่ อะดีนีน กวานีน ไทมีน และไซโทซีน</p> <p>9. โครงสร้างของ DNA ประกอบด้วย พอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายเรียงสลับทิศกัน และพันบิดเป็นเกลียวคู่เวียนขวาตามเข็มนาฬิกา เบสในแต่ละสายของ DNA ที่เป็นเบสคู่สมยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน</p>



ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
<p>4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับสมบัติของสารพันธุกรรม</p>	<p>10. DNA สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้โดยใช้ DNA แม่แบบ มีทิศทางการสังเคราะห์จากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' ได้ DNA โมเลกุลใหม่ซึ่งประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์สายเดิมหนึ่งสายและสายใหม่อีกหนึ่งสายเรียกวินิธีการสังเคราะห์นี้ว่า แบบกึ่งอนุรักษ์</p> <p>11. ข้อมูลทางพันธุกรรมภายในสาย DNA ถูกใช้ในการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนโดยผ่าน mRNA ซึ่งสังเคราะห์ได้จากกระบวนการถอดรหัส และนำไปสังเคราะห์โปรตีนในกระบวนการแปลรหัส</p> <p>12. การสังเคราะห์โปรตีนถูกกำหนดด้วยรหัสพันธุกรรม เรียกว่า โคดอน ซึ่งเป็นรหัส 3 ตัว ประกอบด้วย 3 นิวคลีโอไทด์เรียงกันตามลำดับในสาย mRNA เป็น 1 รหัสที่กำหนดกรดอะมิโน 1 ชนิด</p>
<p>5. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับการเกิดมิวเทชัน และผลของการเกิดมิวเทชัน</p>	<p>13. มิวเทชันเป็นการเปลี่ยนแปลงลำดับและจำนวนเบสใน DNA และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับโครโซมซึ่งอาจมีผลทำให้ลักษณะของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนไปและสามารถถ่ายทอดลักษณะไปยังรุ่นต่อไปได้</p> <p>14. มิวเทชันอาจเกิดได้จากการแทนที่คู่เบส การเพิ่มขึ้นหรือขาดหายของนิวคลีโอไทด์ เรียกว่า มิวเทชันเฉพาอะจุด นอกจากนี้มิวเทชันอาจเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและจำนวนโครโมโซมอาจทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมได้</p>



ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
	<p>อย่างไรก็ดีการเกิดมิวเทชันอาจทำให้ได้สิ่งมีชีวิตลักษณะใหม่ขึ้นซึ่งเป็นผลดีโดยเฉพาะทางด้านการเกษตร</p>
<p>6. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย และอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีทาง DNA และการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ</p>	<p>15. เทคโนโลยีทาง DNA เป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้ในการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ การเพิ่มปริมาณ DNA การวิเคราะห์ DNA และการศึกษาจีโนม เป็นต้น</p> <p>16. การสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ เป็นวิธีการที่ใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะเพื่อตัดสาย DNA บริเวณที่มีลำดับเบสจำเพาะ และเชื่อมสาย DNA ที่ถูกตัดแล้วมาต่อกันด้วยเอนไซม์ DNA ไลเกส</p> <p>17. การเพิ่มปริมาณ DNA เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการโคลน DNA ทำได้โดยอาศัย DNA พาหะ เช่น พลาสมิดของแบคทีเรียหรือการโคลน DNA ในหลอดทดลองโดยเทคนิคพอลิเมอเรสเชนรีแอกชัน</p> <p>18. การวิเคราะห์ DNA ทำได้โดยการแยกขนาดและรูปร่างของโมเลกุลของ DNA โดยกระบวนการเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส ผลของการวิเคราะห์ DNA จะทำให้ได้แถบ DNA ขนาดต่างๆ</p> <p>19. การศึกษาจีโนมทำได้โดยการวิเคราะห์ความแตกต่างของรูปแบบของแถบ DNA ที่เกิดจากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องหมายพันธุกรรมได้</p>

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
	<p>20. ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีทาง DNA ทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น การแพทย์ และเภสัชกรรม นิติวิทยาศาสตร์ การเกษตร การใช้ พันธุศาสตร์เพื่อค้นคว้าหาถิ่นและหน้าที่ ของยีน ซึ่งต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และมุมมองทางสังคมและจริยธรรม</p>
<p>7. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับหลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ และแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการ</p>	<p>21. หลักฐานที่ค้นพบแสดงให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิต มีวิวัฒนาการ ศึกษาได้จากซากดึกดำบรรพ์ ของสิ่งมีชีวิต กายวิภาคเปรียบเทียบ วิทยาเอ็มบริโอเปรียบเทียบ ชีววิทยา ระดับโมเลกุล และชีวภูมิศาสตร์ เป็นต้น</p> <p>22. แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต มาจากนักวิทยาศาสตร์ 2 คนคือ ลามาร์ก และดาร์วิน โดยลามาร์กได้เสนอแนวคิด ที่เรียกว่า กฏการใช้และไม่ใช้ และกฏแห่ง การถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่ ส่วนดาร์วินได้ศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการ ของสิ่งมีชีวิตและเสนอเป็นแนวคิดที่เรียกว่า ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ</p>
<p>8. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุป เกี่ยวกับพันธุศาสตร์ประชากรและการ กำเนิดสปีชีส์</p>	<p>23. พันธุศาสตร์ประชากรเป็นการศึกษา เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ แอลลีลของยีนพูลในประชากร ซึ่ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้มี วิวัฒนาการและอาจเกิดสปีชีส์ใหม่</p>



ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
	<p>24. กฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก กล่าวว่าความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรจะมีค่าคงที่ในทุกๆรุ่น ถ้าไม่มีปัจจัยบางอย่างมาเกี่ยวข้อง เช่น มิวเทชัน การคัดเลือกโดยธรรมชาติ การอพยพ การเลือกคู่ผสมพันธุ์ การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจง และการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน เป็นต้น</p> <p>25. สปีชีส์ทางด้านชีววิทยาหมายถึงสิ่งมีชีวิตที่สามารถผสมพันธุ์กันได้ในธรรมชาติและให้กำเนิดลูกที่ไม่เป็นหมัน สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์ในธรรมชาติจะมีกลไกการป้องกันการผสมพันธุ์ข้ามสปีชีส์โดยกลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์ก่อนระยะไซโกต และกลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์หลังระยะไซโกต</p> <p>26. การเกิดสปีชีส์ใหม่เกิดได้ 2 แนวทางคือการเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ และการเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพ</p>
<p>9. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับวิวัฒนาการของมนุษย์</p>	<p>27. หลักฐานซากดึกดำบรรพ์และการเปรียบเทียบลำดับเบสบน DNA ของสิ่งมีชีวิตสามารถใช้ศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์ได้</p> <p>28. สายวิวัฒนาการของมนุษย์เริ่มจากออสตราโลพิเทคัส และโฮโม ซึ่งเริ่มจาก <i>Homo habilis</i> <i>Homo erectus</i> จนถึง <i>Homo sapiens</i></p>

สาระสำคัญ



สิ่งมีชีวิตมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นต่อไปได้ เมนเดล ได้ศึกษาลักษณะต่างๆ ของถั่วลันเตา 7 ลักษณะทำให้พบว่าลักษณะต่างๆ เหล่านี้ต้องมีหน่วยควบคุมซึ่งอยู่เป็นคู่ โดยสามารถแสดงออกเป็นลักษณะเด่นหรือลักษณะด้อยก็ได้ ซึ่งเมนเดล ได้ทำการทดลองทั้งการผสมพิจารณาลักษณะเดียว และการผสมพิจารณาของลักษณะ ทำให้สามารถสรุปเป็นกฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมได้ 2 ข้อ คือ กฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

นักวิทยาศาสตร์อีกหลายท่านได้ทำการทดลองต่อมาพบว่า ลักษณะทางพันธุกรรม บางลักษณะที่ถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปไม่เป็นไปตามอัตราส่วนที่ได้จากผลการทดลองของเมนเดล ที่ศึกษาไว้ ซึ่งพบว่าลักษณะทางพันธุกรรมบางอย่างมีการข่มไม่สมบูรณ์ เช่น สีดอกของ ต้นลิ้นมังกร มีการข่มร่วมกันหรือถูกควบคุมโดยอัลลีลเปิดแอลลีล เช่น หมูเลือดระบบ ABO พอลิยีน เช่น สีของเมล็ดข้าวสาลี ยีนบนโครโมโซมเพศ เช่น สีตาของแมลงหวี่ ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน เช่น ลักษณะปีกและสีตัวของแมลงหวี่ ลักษณะบางอย่างอยู่ภายใต้อิทธิพลของเพศ เช่น ศีรษะล้าน และลักษณะบางอย่างปรากฏจำเพาะเพศ เช่น ลักษณะขนหางของไก่ เป็นต้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นพันธุศาสตร์ที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล

ยีนเป็นส่วนหนึ่งของ DNA ซึ่ง DNA อยู่ยี่โครโมโซม โครโมโซมของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด จะมีจำนวนแตกต่างกัน โครโมโซมของยูคาริโอตประกอบด้วย DNA โปรตีนฮิสโตนและ นอนฮิสโตน ในโพรคาริโอตมีโครโมโซมที่มีลักษณะเป็นวงแหวน DNA ทั้งหมดในสิ่งมีชีวิต ชนิดหนึ่งๆ เรียกว่า จีโนม DNA เป็นกรดนิวคลีอิกประกอบด้วยหน่วยย่อย เรียกว่า นิวคลีโอไทด์ ซึ่งจะต่อกันเป็นสายยาว 2 สายพันกันบิดเป็นเกลียว DNA แต่ละสายแตกต่างกันที่จำนวน ของนิวคลีโอไทด์และลำดับของนิวคลีโอไทด์ DNA สามารถจำลองตัวเองได้ และควบคุม การสังเคราะห์โปรตีน

การเปลี่ยนแปลงลำดับและจำนวนของเบสใน DNA และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับ โครโมโซมซึ่งอาจจะมีผลทำให้ลักษณะหรือฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนไปและสามารถถ่ายทอดลักษณะไปยังรุ่นต่อไป เรียกว่า มิวเทชัน มิวเทชันอาจเกิดได้จากการแทนที่คู่เบส เช่น โรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ การเพิ่มขึ้นหรือขาดหายของนิวคลีโอไทด์ซึ่งอาจทำให้เกิด มิวเทชันที่เรียกว่า เฟรมชิฟท์มิวเทชัน ส่วนมิวเทชันที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและ จำนวนโครโมโซมอาจทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมต่างๆ เช่น กลุ่มอาการดริดูชาติ กลุ่มอาการดาวน์ เป็นต้น

ความรู้ทางพันธุศาสตร์พัฒนาไปสู่เทคโนโลยีทาง DNA เช่น การสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ ซึ่งอาศัยการทำงานของเอนไซม์ตัดจำเพาะตัดต่อยีนหรือ DNA ที่ต้องการของคน สัตว์หรือพืชใส่เข้าไปในพลาสมิดของแบคทีเรีย การใช้เทคนิคพีซีอาร์ การวิเคราะห์ DNA



โดยใช้วิธีเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสและการศึกษาจีโนม เป็นต้น เทคโนโลยีทาง DNA เหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตร ด้านการแพทย์ ด้านเภสัชกรรม ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านนิติวิทยาศาสตร์ ตลอดจนการใช้พันธุศาสตร์เพื่อหาถิ่นและหน้าที่ของยีนซึ่งต้องทำอย่างปลอดภัยโดยคำนึงถึงด้านสังคมและจริยธรรมด้วย

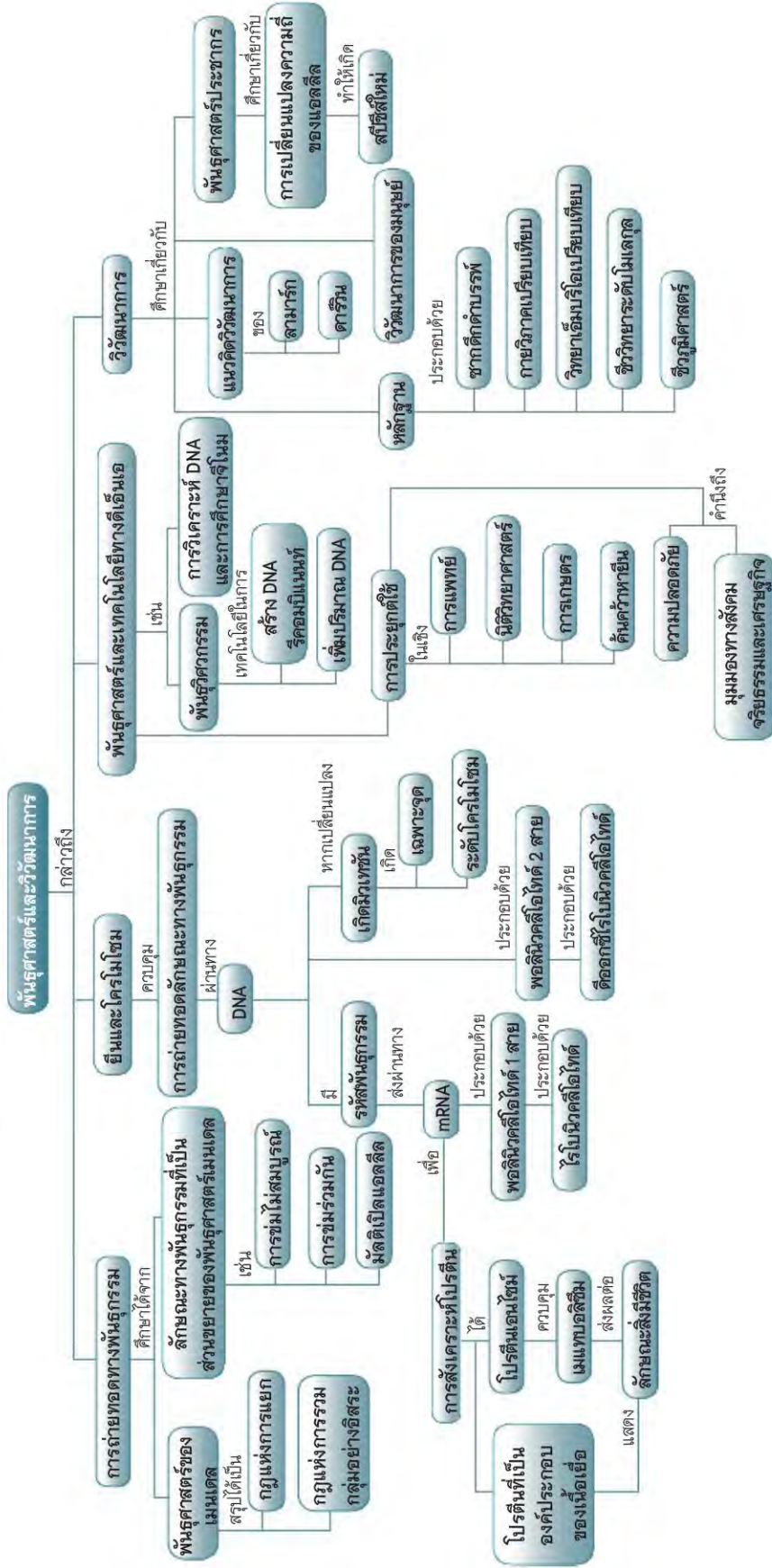
วิวัฒนาการคือ การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะแตกต่างไปจากบรรพบุรุษ โดยศึกษาได้จากหลักฐานการเปรียบเทียบซากดึกดำบรรพ์ กายวิภาคเปรียบเทียบ วิทยาเอ็มบริโอเปรียบเทียบ ชีววิทยาระดับโมเลกุล และชีวภูมิศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตในแต่ละช่วงเวลามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะจนทำให้มีลักษณะที่แตกต่างไปจากบรรพบุรุษ และถูกคัดเลือกให้มีชีวิตรอดในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันในระยะเวลายาวนาน แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมาจากนักวิทยาศาสตร์ 2 คนคือ ลามาร์กและดาร์วิน ลามาร์กเสนอกฎการใช้และไม่ใช้ และกฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่ ดาร์วินได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

พันธุศาสตร์ประชากรเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีน หรือการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล ที่เป็นองค์ประกอบทางพันธุกรรมของประชากร และปัจจัยที่ทำให้ความถี่ของแอลลีลเปลี่ยนแปลงตามภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรจะคงที่ถ้าไม่มีปัจจัยต่างๆ มาเกี่ยวข้อง ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรที่เปลี่ยนแปลงไปเพราะปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่และมีวิวัฒนาการเกิดขึ้นทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพ

มนุษย์มีวิวัฒนาการมายาวนานกว่า 4.5 ล้านปี การศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์ศึกษาได้จากหลักฐานซากดึกดำบรรพ์และการเปรียบเทียบลำดับเบสบน DNA ทำให้ทราบว่าสายวิวัฒนาการของมนุษย์เริ่มจาก ออสตราโลพิเทคัส และโฮโม ซึ่งเริ่มจาก *Homo habilis* *Homo erectus* จนถึง *Homo sapiens*



ผังมโนทัศน์ หน่วยที่ 4 พันธุศาสตร์และวิวัฒนาการ



แนวการจัดการเรียนรู้



เนื้อหาในเล่มนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์และวิวัฒนาการ ซึ่งครูอาจต้องเชื่อมโยงความรู้ทั้ง 2 ส่วนนี้เข้าด้วยกันในการจัดการเรียนการสอน โดยอาจใช้ภาพนำบทของเล่มนี้มาตั้งเป็นคำถามถามนักเรียน และใช้ข้อความที่บรรยายประกอบภาพมาสรุปหรืออธิบายเพื่อให้นักเรียนเกิดจินตนาการ หรืออาจใช้ผังมโนทัศน์ในการอธิบายความเชื่อมโยงของเนื้อหาทั้งหน่วย



บทที่ 15

การถ่ายทอดทางพันธุกรรม



เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

15.1 การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล	2	ชั่วโมง
15.2 ความน่าจะเป็น	1	ชั่วโมง
15.3 กฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	4	ชั่วโมง
15.4 การผสมเพื่อทดสอบ	1	ชั่วโมง
15.5 ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล	8	ชั่วโมง
รวม	16	ชั่วโมง



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอภิปรายกฎของความน่าจะเป็น
3. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และนำกฎของเมนเดลไปใช้ในการหาอัตราส่วนของจีโนไทป์ และฟีโนไทป์ในรุ่น F_1 และ F_2 จากการผสมพิจารณาลักษณะเดียวและการผสมพิจารณาสองลักษณะ
5. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายความสำคัญของการผสมเพื่อทดสอบ
6. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย และอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม บางลักษณะ ที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบลักษณะพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่องและการแปรผันไม่ต่อเนื่อง
8. นำความรู้เรื่องการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปอธิบายหรือประยุกต์ใช้ใน ชีวิตประจำวัน



สาระสำคัญ

เมนเดลศึกษาลักษณะ 7 ประการในการผสมพันธุ์ถั่วลิสงเตา ทำให้พบหลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยเมนเดลใช้กฎของความน่าจะเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองเพื่ออธิบายอัตราส่วนของลักษณะที่ปรากฏในรุ่นลูก



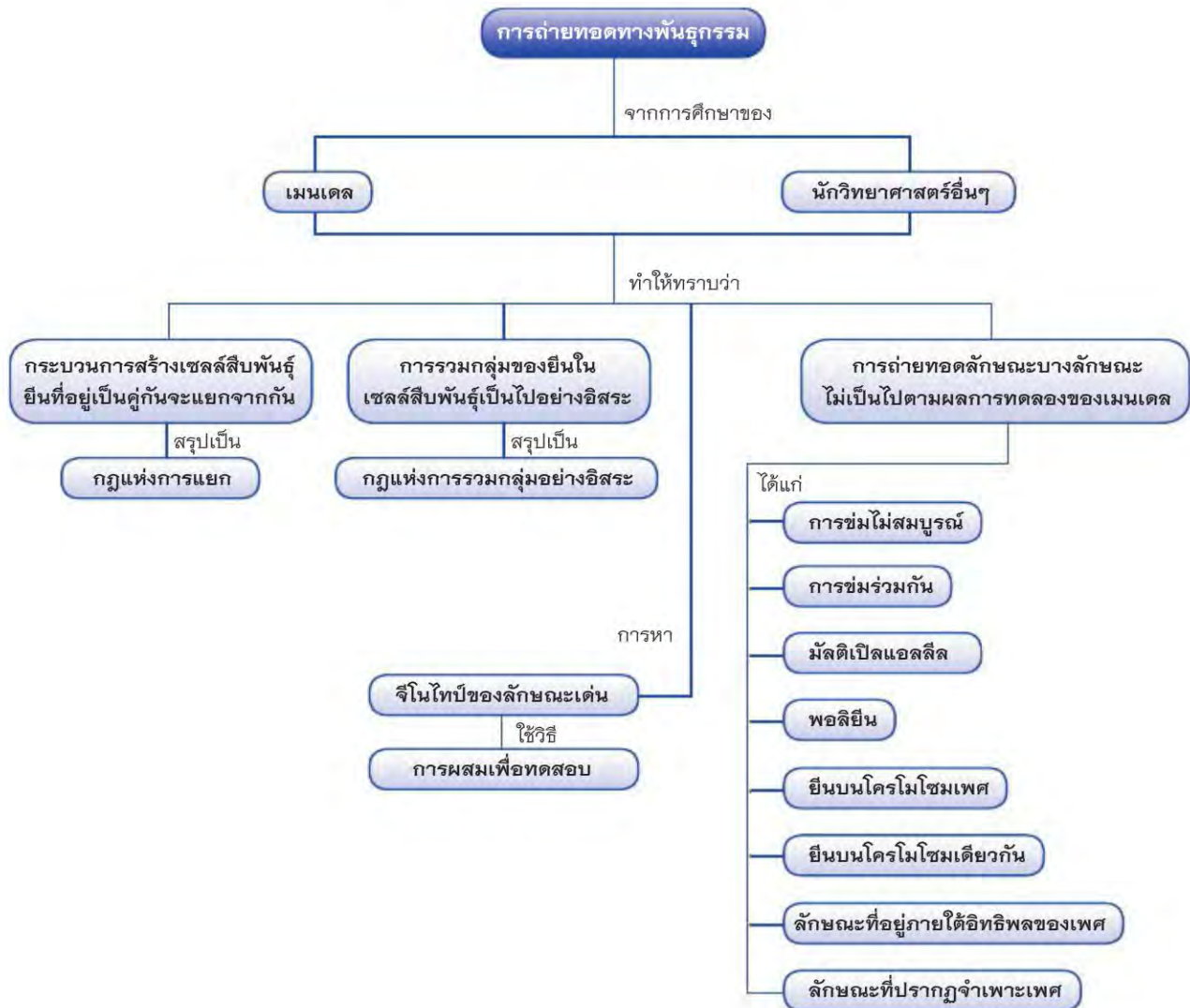
ยีนเป็นหน่วยควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม มีทั้งยีนเด่นและยีนด้อย แต่ละลักษณะจะมียีนควบคุมเป็นคู่ ยีนที่เหมือนกันเข้าคู่กัน เรียกแบบของคู่ยีนว่า ฮอมอไซกัสจีโนไทป์ ส่วนยีนที่ต่างกันเข้าคู่กันเรียกแบบของคู่ยีนนี้ว่า เฮเทอโรไซกัสจีโนไทป์ จีโนไทป์ที่เป็นลักษณะเด่นสามารถตรวจสอบได้ว่ามีสภาพฮอมอไซกัสหรือเฮเทอโรไซกัสโดยวิธีการผสมเพื่อทดสอบ

เมนเดลสามารถสรุปผลการศึกษาดอกเป็นกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ โดยกฎแห่งการแยกมีใจความสรุปได้ว่า ยีนที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกันในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะได้รับเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง และกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ มีใจความสรุปได้ว่า ยีนที่แยกออกจากยีนที่เป็นคู่กัน จะจัดกลุ่มอย่างอิสระกับยีนอื่นที่แยกออกจากคู่กันเช่นกันในการเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์

กฎของเมนเดลสามารถอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้อย่างกว้างขวาง แต่การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดล เช่น การขมไม่สมบูรณ์ การขมร่วมกัน มัลติเปิลแอลลีล พอลิยีน ยีนบนโครโมโซมเพศ ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน ลักษณะที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของเพศ และลักษณะที่ปรากฏจำเพาะเพศ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นลักษณะที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล



ผังมโนทัศน์ บทที่ 15 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม



แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยให้นักเรียนศึกษาภาพนำบทและให้นักเรียนตั้งคำถามที่นักเรียนอยากทราบ คำถามอาจเป็นดังนี้

- ลักษณะเฉพาะของค้างแวนถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกได้อย่างไร
- กระบวนการถ่ายทอดลักษณะเป็นอย่างไร
- สารใดเป็นสารที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม

หรือครูใช้คำถามในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนว่า ลักษณะที่ส่งผ่านจากพ่อแม่ไปยังลูกได้นั้นมีกระบวนการอย่างไรและลักษณะที่ส่งไปยังลูกถูกส่งไปทุกลักษณะหรือไม่ จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ครูชี้แจงว่านักเรียนจะทราบว่าความคิดของนักเรียนถูกต้องหรือไม่ โดยการศึกษาและสืบค้นในหัวข้อต่อไป

15.1

การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. อธิบายความหมายและยกตัวอย่าง ลักษณะเด่น ลักษณะด้อย ยีนเด่น ยีนด้อย แอลลีล โลคัส ฮอมอโลกัสโครโมโซม พีโนไทป์ จีโนไทป์ ฮอมอไซกัสจีโนไทป์ เฮเทอโรไซกัสจีโนไทป์ ฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ และฮอมอไซกัสรีเซสซีฟ

แนวการจัดการเรียนรู้

การนำเข้าสู่บทเรียนในหัวข้อนี้ ครูอาจทบทวนลักษณะของสิ่งมีชีวิตจากที่ได้เรียนมาแล้วในหนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานชีววิทยาว่า ลักษณะที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต คือ สามารถสืบพันธุ์เพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ได้โดยการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง จากนั้นให้นักเรียนยกตัวอย่างลักษณะของนักเรียนว่ามีลักษณะใดที่คล้ายพ่อหรือแม่ หรือครูอาจใช้ภาพสัตว์ที่ลูกมีลักษณะเหมือนพ่อและแม่มาให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อแสดงให้เห็นว่าลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตสามารถถ่ายทอดได้

จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายว่า **เมนเดลมีวิธีการอย่างไรจึงทำให้ค้นพบหลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม**



จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปประเด็นสำคัญที่ทำให้เมนเดลค้นพบหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ได้ดังนี้

1. การเลือกพืชที่มีความเหมาะสมมาใช้ในการทดลองผสมพันธุ์คือ ถั่วลันเตา ซึ่งมีอายุสั้น ปรากฏผลการทดลองได้ในเวลาสั้น และโครงสร้างของดอกที่ทำให้ควบคุมการผสมได้
2. การเลือกลักษณะของถั่วลันเตาที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนมาผสมกัน โดยเลือกมา 7 ลักษณะ แต่ละลักษณะมีความแตกต่างกัน 2 แบบ เช่น ลักษณะความสูงของต้นถั่ว มีถั่วต้นสูงและต้นเตี้ย เป็นต้น
3. การเลือกวิธีการผสมพันธุ์ โดยพิจารณาลักษณะของต้นพ่อและต้นแม่ที่เป็นพันธุ์แท้ให้ผสมกันที่ละลักษณะเพื่อให้วิเคราะห์ผลการทดลองได้ง่าย
4. การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักคณิตศาสตร์เรื่องความน่าจะเป็น

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



นักเรียนคิดว่ามีเหตุผลอะไรบ้างที่ทำให้เมนเดลเลือกถั่วลันเตาเป็นพืชทดลอง



เหตุผลที่เมนเดลเลือกถั่วลันเตาเป็นพืชทดลองเนื่องจาก

- เป็นพืชฤดูเดียว อายุสั้น ปรากฏผลการทดลองได้ในระยะเวลาไม่นาน
- ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ให้ลูกหลานจำนวนมากในแต่ละครั้ง ทำให้ข้อมูลจากผลการทดลองน่าเชื่อถือมากขึ้น
- มีหลายลักษณะในพันธุ์เดียวกัน แต่ละลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจน
- เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ผสมในดอกเดียวกัน มีกลีบดอกปิดกลุ่มเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมีย ป้องกันไม่ให้เรณูจากดอกอื่นเข้าผสมกับเซลล์ไข่ จึงควบคุมการผสมข้าม (cross-pollination) ได้ง่าย

ครูอาจให้นักเรียนตั้งคำถามที่นักเรียนอยากรู้เกี่ยวกับลักษณะของถั่วลันเตาและวิธีการทดลองของเมนเดล คำถามอาจเป็นดังนี้

- เมนเดลเลือกลักษณะของถั่วลันเตาอย่างไรมาผสมกัน เพราะเหตุใด
- ลักษณะของถั่วลันเตาที่เมนเดลเลือกมาศึกษามีอะไรบ้าง
- เมนเดลมีวิธีการผสมถั่วลันเตาอย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากหนังสือเรียน ร่วมกันอภิปรายและตอบคำถามได้ว่าเมนเดลเลือกถั่วลันเตาที่มีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจนมาผสมพันธุ์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลที่ปรากฏในรุ่นลูกและรุ่นหลาน ลักษณะที่เมนเดลเลือกมี 7 ลักษณะ ได้แก่



ความสูงของลำต้น รูปร่างของฝัก รูปร่างของเมล็ด สีของเมล็ด ตำแหน่งของดอก สีของดอก และสีของฝัก โดยผสมในดอกเดียวกันหลายๆ ชั่วรุ่นจนได้พันธุ์แท้ นำลักษณะพันธุ์แท้ของพ่อและแม่มาผสมกันที่ละลักษณะ แล้วสังเกตลักษณะที่ปรากฏในรุ่นลูกเปรียบเทียบกับลักษณะที่ปรากฏในรุ่นพ่อแม่

ครูให้นักเรียนสืบค้นการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาจากภาพที่ 15-3 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ในประเด็น ดังนี้

- รุ่น F_1 ที่เกิดจากพ่อฝักสีเขียวและแม่ฝักสีเหลืองจะได้ฝักสีเขียว ถ้าสลับลักษณะสีฝักของต้นพ่อและต้นแม่ ลักษณะของรุ่น F_1 จะเป็นอย่างไร
- เหตุใดลักษณะฝักสีเหลืองจึงไม่ปรากฏในรุ่น F_1
- ถ้าลักษณะของพ่อและแม่ไม่เป็นพันธุ์แท้ ลักษณะสีฝักของรุ่นลูกจะเป็นดังภาพนี้หรือไม่ อย่างไร

จากการสืบค้นและการวิเคราะห์ นักเรียนควรสรุปได้ว่า รุ่น F_1 มีฝักสีเขียว แม้ว่าจะสลับลักษณะของต้นพ่อและต้นแม่ก็ตาม ลักษณะฝักสีเหลืองจะไม่ปรากฏในรุ่น F_1 เพราะว่า ลักษณะฝักสีเหลืองเป็นลักษณะด้อย แต่ถ้าลักษณะฝักสีเขียวของพ่อหรือแม่ไม่เป็นพันธุ์แท้ ลูกจะมีทั้งลักษณะฝักสีเขียวและฝักสีเหลือง

จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาผลงานและข้อมูลส่วนหนึ่งที่ได้จากการทดลองของเมนเดล ตามตารางที่ 15.1 ร่วมกันอภิปราย จากนั้นตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? ลักษณะที่ปรากฏในรุ่น F_2 แตกต่างจากลักษณะที่ปรากฏในรุ่น F_1 อย่างไร ?

✎ ลักษณะที่ปรากฏในรุ่น F_1 จะปรากฏลักษณะของรุ่นพ่อแม่เพียงลักษณะเดียว เช่น พ่อแม่ลักษณะต้นสูงผสมกับลักษณะต้นเตี้ย ในรุ่น F_1 จะปรากฏลักษณะต้นสูงเพียงลักษณะเดียวแต่ในรุ่น F_2 จะปรากฏลักษณะทั้งต้นสูงและต้นเตี้ย

? จากข้อมูลในตารางที่ 15.1 นักเรียนจะสรุปการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละลักษณะได้อย่างไร ?

✎ ถ้าพ่อแม่เป็นพันธุ์แท้ลักษณะที่ถ่ายทอดไปยังรุ่น F_1 จะแสดงออกเฉพาะลักษณะของพ่อหรือแม่ ส่วนลักษณะที่ถ่ายทอดไปยังรุ่น F_2 จะแสดงออกทั้งลักษณะของพ่อและแม่ ในอัตราส่วนลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย ประมาณ 3 : 1


จากนั้นครูตั้งคำถามและใช้คำถามในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนสืบค้นและนำไปสู่การอภิปรายดังนี้ **หน่วยควบคุมลักษณะเด่นและลักษณะด้อยนี้ เมนเดลเรียกว่าอะไร และปัจจุบันคำนี้คืออะไร**

จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรสรุปได้ว่า หน่วยควบคุมลักษณะเด่นและลักษณะด้อย เมนเดลเรียกว่าแฟกเตอร์ ปัจจุบันใช้คำว่ายีนแทนแฟกเตอร์ ครูให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเขียนสัญลักษณ์แทนยีน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้นว่า นิยมใช้ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แทนยีนเด่นและตัวพิมพ์เล็กแทนยีนด้อย หรืออาจใช้สัญลักษณ์อื่นๆ ได้อีก เช่น การใช้เครื่องหมายบวกและลบ เป็นต้น จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



จากตารางที่ 15.1 นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่า ลักษณะใดของถั่วลันเตาเป็นลักษณะเด่น และลักษณะใดเป็นลักษณะด้อย




 บอกได้คือ ลักษณะที่ปรากฏในรุ่น F_1 ที่ได้จากการผสมถั่วลันเตาพันธุ์แท้ ลักษณะฝักสีเขียวกับฝักสีเหลือง รุ่น F_1 จะมีฝักสีเขียวทั้งหมด แม้ว่าจะมีแฟกเตอร์ควบคุมลักษณะฝักสีเหลืองจากรุ่นพ่อแม่อยู่ในรุ่น F_1 ด้วย แต่ก็ไม่สามารถแสดงออกได้ ลักษณะที่ปรากฏออกมาจึงเป็นลักษณะเด่น ได้แก่ ลักษณะต้นสูง ฝักอวบ เมล็ดกลม เมล็ดสีเหลือง ออกดอกที่กิ่ง ดอกสีม่วงและฝักสีเขียว ส่วนลักษณะที่ไม่ปรากฏในรุ่น F_1 แต่ปรากฏออกมาในรุ่น F_2 เรียกว่า ลักษณะด้อย ได้แก่ ต้นเตี้ย ฝักแฟบ เมล็ดขรุขระ เมล็ดสีเขียว ออกดอกที่ยอด ดอกสีขาวและฝักสีเหลือง



แฟกเตอร์ที่ควบคุมลักษณะฝักสีเหลืองในรุ่น F_1 หายไปจริงหรือไม่ เพราะเหตุใด



 ไม่ได้หายไป เพราะในรุ่น F_1 แสดงลักษณะฝักสีเขียว ส่วนลักษณะฝักสีเหลืองจะไม่แสดงออก ดังนั้นแฟกเตอร์ที่ควบคุมลักษณะฝักสีเขียวจะซ่มแฟกเตอร์ที่ควบคุมลักษณะฝักสีเหลือง ลักษณะฝักสีเหลืองที่แฝงอยู่ในรุ่น F_1 ก็จะมีปรากฏในรุ่น F_2 ต่อไป

ครูควรชี้แนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับคำต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในทางพันธุศาสตร์ โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปความหมายของคำต่างๆ ได้แก่

- ยีนเด่น (dominant gene) คือยีนที่แสดงลักษณะออกมาให้เห็นได้ในสภาพเฮเทอโรไซกัส แม้ว่าจะมียีนเด่นเพียงยีนเดียว เรียกลักษณะที่ปรากฏนี้ว่า ลักษณะเด่น (dominant trait)
- ยีนด้อย (recessive gene) คือยีนที่แสดงลักษณะออกมาให้เห็นได้น้อยกว่าอีกยีนในสภาพที่เป็นเฮเทอโรไซกัส และจะแสดงลักษณะด้อยได้ต้องมียีนด้อย 2 ยีนในสภาพที่เป็นโฮมอไซกัสรีเซสซีฟ เรียกลักษณะที่ปรากฏนี้ว่า ลักษณะด้อย (recessive trait)
- แอลลีล (allele) คือยีนที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกันบนโฮมอโลกัสโครโมโซม
- โลคัส (locus) คือตำแหน่งของยีนที่เป็นแอลลีลกัน และอยู่ตรงกันบนโฮมอโลกัสโครโมโซม



- สอมอไลกัสโครโมโซม (homologous chromosome) คือโครโมโซมที่มีลักษณะเหมือนกัน ขนาดเท่ากัน และตำแหน่งเซนโทรเมียร์ตรงกัน
- จีโนไทป์ (genotype) คือรูปแบบของยีนที่อยู่เป็นคู่ เพื่อควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม
- ฟีนไทป์ (phenotype) คือลักษณะที่ปรากฏซึ่งเป็นผลจากการควบคุมของจีโนไทป์
- สอมอไซกัสจีโนไทป์ (homozygous genotype) คือรูปแบบของจีโนไทป์ที่มีแอลลีล 2 แอลลีลที่เหมือนกัน เช่น แอลลีลเด่นทั้ง 2 แอลลีล (AA) เป็นสอมอไซกัสโดมิแนนท์ (homozygous dominant) หรือแอลลีลด้อยทั้ง 2 แอลลีล (aa) เป็นสอมอไซกัสรีเซสซีฟ (homozygous recessive)
- เฮเทอโรไซกัสจีโนไทป์ (heterozygous genotype) คือรูปแบบของจีโนไทป์ที่มีแอลลีล 2 แอลลีล ที่แตกต่างกัน เช่น Aa เป็นต้น

จากผลการทดลองของเมนเดลที่สรุปอัตราส่วนของลักษณะที่ปรากฏในรุ่นหลานหรือ รุ่น F_2 ได้เท่ากับ 3 : 1 นั้น เมนเดลใช้หลักการอะไรในการสรุป **สิ่งที่น่าสงสัยคือเพราะเหตุใดอัตราส่วนดังกล่าวนี้ จึงไม่ปรากฏในรุ่น F_1 แต่ปรากฏในรุ่น F_2**

15.2

กฎของความน่าจะเป็น



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอภิปรายกฎของความน่าจะเป็น

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจให้นักเรียนแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมนอกเวลาเรียน โดยเลือกทำเพียง 1 กิจกรรม ได้แก่ โยนเหรียญ 1 อัน โยนเหรียญ 2 อันพร้อมกัน และโยนลูกเต๋าซึ่งอาจทำได้จากการตัดยางลบดินสอให้เหมือนกับลูกเต๋า เขียนหมายเลข 1-6 กำกับไว้ทั้ง 6 ด้าน ทดลองประมาณ 100 ครั้ง โดยบันทึกผลการทดลองแต่ละครั้ง ส่งตัวแทนนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้น นักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองโดยอาศัยกฎของความน่าจะเป็นได้ว่า เมื่อมีการทดลองโดยสุ่มจะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งจะเท่ากับหนึ่งส่วนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด เมื่อโยนเหรียญ 1 อัน จะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น 2 แบบ คือ ออกหัวและออกก้อย ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการออกหัวจึงเท่ากับ $1/2$ และความน่าจะเป็นของการออกก้อยจึงเท่ากับ $1/2$ เช่นเดียวกับการโยนลูกเต๋า 1 ครั้ง จะมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ขึ้น 6 แบบ คือ ออกแต้มเป็น 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ดังนั้นความน่าจะเป็นของการออกแต้มเป็นแต้มใดแต้มหนึ่งจึงเท่ากับ $1/6$ เป็นต้น




กรณีการโยนเหรียญ 2 อันพร้อมกัน โอกาสของการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ พร้อมกัน จะเท่ากับผลคูณของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นแต่ละเหตุการณ์ เช่น เหรียญแต่ละอันมีโอกาสของการออกหัวเท่ากับ $1/2$ และโอกาสของการออกก้อยเท่ากับ $1/2$ ดังนั้นโอกาสของการออกหัวพร้อมกันจึงมีค่าเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$ โอกาสของการออกก้อยพร้อมกันจะเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$ และโอกาสของการออกหัวและก้อยจะเท่ากับ $2/4$ หรือ $1/2$

ส่วนกรณีเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้ โอกาสของการเกิดเหตุการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งจะเท่ากับผลบวกของโอกาสที่จะเกิดแต่ละเหตุการณ์ เช่น การโยนลูกเต๋า 1 ครั้ง มีโอกาสของการออกแต้ม 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 อย่างละ $1/6$ ดังนั้นโอกาสของการโยนลูกเต๋า 1 ครั้ง แล้วออกแต้มเป็นเลขคู่ มีค่าเท่ากับ $1/6 + 1/6 + 1/6 = 3/6$ หรือ $1/2$ ซึ่งได้จากผลบวกของโอกาสที่จะเกิดแต้มเป็น 2, 4 และ 6

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? ให้นักเรียนยกตัวอย่างเหตุการณ์ที่สามารถใช้ความน่าจะเป็นในการอธิบายมาอย่างน้อย 2 เหตุการณ์ **?**

 นักเรียนสามารถยกตัวอย่างทั่วไปหรือตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับพันธุศาสตร์ได้ เช่น เมื่อโยนเหรียญ 3 อันพร้อมกัน โอกาสของการออกหัวทั้ง 3 เหรียญจะเท่ากับ $1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$ หรือโอกาสในการโยนลูกเต๋า 2 ลูกพร้อมกัน โดยมีลูกหนึ่งออกแต้ม 1 และอีกลูกหนึ่งออกแต้ม 6 $= (1/6 \times 1/6) + (1/6 \times 1/6) = 1/18$ หรือโอกาสที่สิ่งมีชีวิตซึ่งมีจีโนไทป์ Aa จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล $A = 1/2$ และเซลล์สืบพันธุ์ที่มีแอลลีล $a = 1/2$

15.3 กฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายและสรุปกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
2. นำกฎแห่งการแยกไปหาโอกาสของการเกิดจีโนไทป์และฟีโนไทป์แบบต่างๆ ในรุ่น F_1 และ รุ่น F_2 ของการผสมพิจารณาลักษณะเดียว
3. นำกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ ไปหาโอกาสในการเกิดเซลล์สืบพันธุ์ที่มีกลุ่มของยีนต่างกันและอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ในรุ่น F_1 และ F_2 ของการผสมพิจารณาสองลักษณะ



15.3.1 กฎแห่งการแยก

หลังจากที่นักเรียนได้ทดลองทำกิจกรรมเกี่ยวกับกฎของความน่าจะเป็นแล้ว ครูตั้งคำถามกระตุ้นให้นักเรียนอยากทราบว่า **อัตราส่วน 3 : 1 ในรุ่น F_2 ในการทดลองของเมนเดล เกิดได้อย่างไร** จากกิจกรรมการโยนเหรียญนอกเวลาเรียน เพื่อศึกษาความน่าจะเป็นหรือดูผลการโยนเหรียญในภาพที่ 15-5 ในหนังสือเรียนได้ข้อสรุปว่า โอกาสที่จะเป็นไปได้มี 3 แบบ คือ ออกหัว 2 เหรียญ ออกหัวและออกก้อย และออกก้อยทั้ง 2 เหรียญ ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1

ครูให้นักเรียนสืบค้นการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาฝักสีเขียวกับฝักสีเหลืองจากภาพที่ 15-6 ในหนังสือเรียนเพื่อเชื่อมโยงกฎของความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยกของเมนเดล โดยการใช้คำถามนำในหนังสือเรียนถามนักเรียนว่า **ในการผสมโดยพิจารณาเพียง 1 ลักษณะ เพราะเหตุใดอัตราส่วนฟีโนไทป์ของรุ่น F_2 จึงมีลักษณะเด่นต่อลักษณะด้อยเท่ากับ 3 : 1** นักเรียนควรสรุปได้ว่า ถั่วลันเตาฝักสีเขียวมีจีโนไทป์ Gg โดยยีน G และ g มีโอกาสที่จะแยกไปสู่เซลล์ไข่หรือสเปิร์มเท่าๆ กันคือ $1/2$ เมื่อมีการปฏิสนธิโอกาสที่สเปิร์มจะรวมกับเซลล์ไข่เป็นไปได้อีก 3 แบบ คือ GG Gg และ gg ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 และมีฟีโนไทป์ 2 แบบ คือ ฝักสีเขียวต่อฝักสีเหลืองในอัตราส่วน 3 : 1

ดังนั้นตามกฎแห่งการแยกของเมนเดล ยีนจะแยกออกจากกันเมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และเมื่อเป็นการผสมพิจารณาลักษณะเดียว รุ่น F_2 จะมีฟีโนไทป์ของลักษณะเด่น : ลักษณะด้อยเท่ากับ 3 : 1 โดยลักษณะเด่นประกอบด้วยจีโนไทป์ที่เป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ และจีโนไทป์ที่เป็นเฮเทอโรไซกัส

จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายและตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



จากภาพที่ 15-6 รุ่น F_1 มีโอกาสสร้างสเปิร์มหรือเซลล์ไข่กี่ชนิด อะไรบ้าง
รุ่น F_2 มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์กี่ชนิด อะไรบ้าง และมีอัตราส่วนเท่าใด



รุ่น F_1 มีโอกาสสร้างสเปิร์ม 2 ชนิด คือ G และ g หรือสร้างเซลล์ไข่ 2 ชนิด คือ G และ g ซึ่งเป็นไปตามกฎแห่งการแยกของเมนเดล รุ่น F_2 มีจีโนไทป์ 3 แบบ คือ GG Gg และ gg อัตราส่วน 1 : 2 : 1 และมีฟีโนไทป์ 2 แบบ คือ ลักษณะฝักสีเขียวและลักษณะฝักสีเหลือง อัตราส่วน 3 : 1



การเข้าคู่กันของยีนเป็นไปตามกฎของความน่าจะเป็นอย่างไร



ยีน G ของสเปิร์ม มีโอกาสไปรวมกับยีน G ของเซลล์ไข่ = $1/2 \times 1/2 = 1/4$

ยีน G ของสเปิร์ม มีโอกาสไปรวมกับยีน g ของเซลล์ไข่ = $(1/2 \times 1/2) + (1/2 \times 1/2) = 2/4$

ยีน g ของสเปิร์ม มีโอกาสไปรวมกับยีน g ของเซลล์ไข่ = $1/2 \times 1/2 = 1/4$



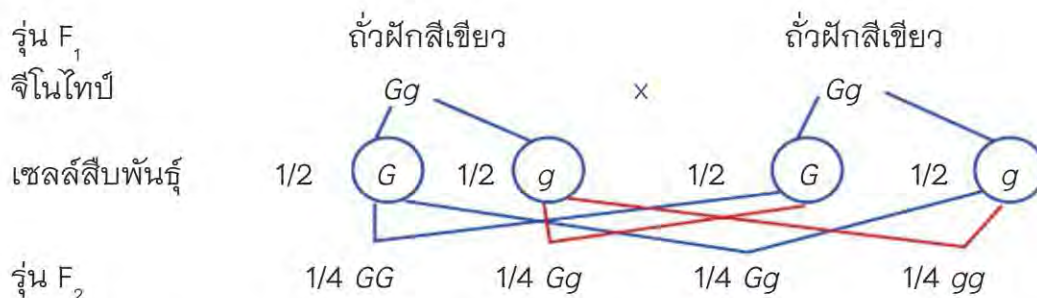
จากประเด็นการแยกคู่ของยีน ครูอาจชี้ให้นักเรียนเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองของเมนเดล รุ่น F_2 จะมีฟีโนไทป์ 2 ลักษณะ อัตราส่วน 3 : 1 นั้น เมนเดลไม่ทราบมาก่อนว่ายีนที่เป็นคู่กันจะแยกออกจากกันในระหว่างที่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เมนเดลนำคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองและจากกฎของความน่าจะเป็น ทำให้เมนเดลพบกฎแห่งการแยก เนื่องจากการแยกของยีนซึ่งอยู่ด้วยกันเป็นคู่ๆ นั้น ยีนที่เข้าคู่กันเมื่อแยกออกจากกันไปยังเซลล์สืบพันธุ์ จึงมีโอกาสปรากฏในเซลล์สืบพันธุ์ได้เท่าๆ กัน กรณีที่ยีนอยู่ในสภาพโฮมอไซกัสดังภาพที่ 15-1 ก เซลล์สืบพันธุ์ทั้งหมดจึงมีแบบเดียว แต่ถ้ายีนนั้นอยู่ในสภาพเฮเทอโรไซกัสดังภาพที่ 15-1 ข เซลล์สืบพันธุ์จะมียีน 2 แบบ แต่ละแบบมีโอกาสเกิดเท่ากับ $1/2$



ภาพที่ 15-1 ก. ยีนอยู่ในสภาพโฮมอไซกัส ข. สภาพเฮเทอโรไซกัส

ครูเชื่อมโยงกฎแห่งการแยกกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ว่า โฮมอโลกัสโครโมโซมจะแยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส | เช่นเดียวกับการแยกของคู่ยีนทำให้ในเซลล์สืบพันธุ์ไม่ปรากฏยีนที่เป็นแอลลีลกัน และไม่มีโฮมอโลกัสโครโมโซมกัน

ถ้ารุ่นพ่อแม่เป็นสภาพเฮเทอโรไซกัส เช่น การผสมถั่วฝักสีเขียว (Gg) ในรุ่น F_1 และเซลล์สืบพันธุ์ปฏิสนธิโดยสุ่ม รุ่นลูกที่ได้จะมีจีโนไทป์ต่างกันเป็น 3 แบบ คือ GG Gg และ gg ดังนี้



ดังนั้นอัตราส่วนของจีโนไทป์ $GG : Gg : gg$ เท่ากับ 1 : 2 : 1 และอัตราส่วนของฟีโนไทป์ ลักษณะฝักสีเขียว : ลักษณะฝักสีเหลือง เท่ากับ 3 : 1

ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมที่ 15.1 การแก้โจทย์ปัญหาพันธุศาสตร์โดยใช้กฎแห่งการแยกไปใช้ทำนายอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลูกผสม แล้วนำเสนอหน้าชั้นเรียน และร่วมกันอภิปรายเพื่อหาข้อสรุปที่ถูกต้อง



กิจกรรมที่ 15.1 การแก้โจทย์ปัญหาพันธุศาสตร์โดยใช้กฎแห่งการแยก

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ

- เขียนจีโนไทป์และฟีโนไทป์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
- หาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_1 และ F_2 จากสถานการณ์ที่กำหนดให้

ในหัวข้อนี้มีแนวในการทำกิจกรรมดังนี้

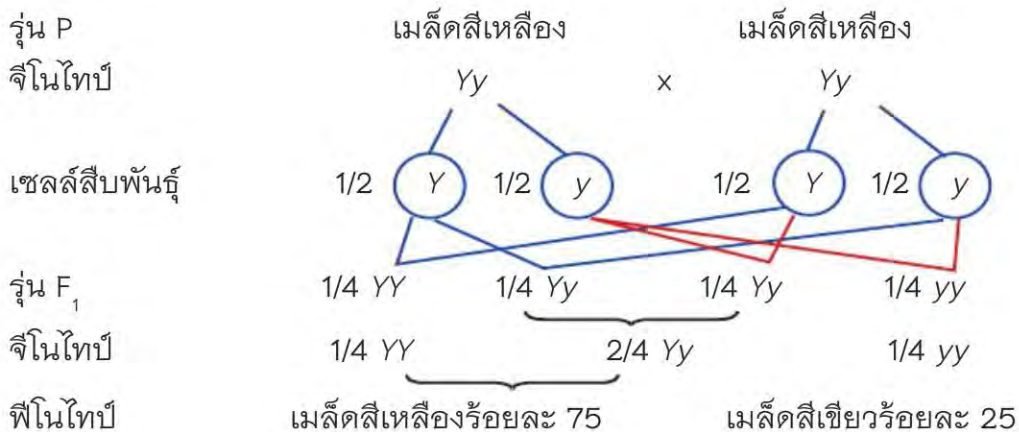
- จงเติมจีโนไทป์ของเซลล์ร่างกาย สภาพของจีโนไทป์ แบบของยีนในเซลล์สืบพันธุ์ และโอกาสของการเกิดเซลล์สืบพันธุ์แต่ละแบบ ลงในตารางต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

จีโนไทป์ของเซลล์ร่างกาย	สภาพของจีโนไทป์	แบบของยีนในเซลล์สืบพันธุ์และโอกาสของการเกิด
WW	ฮอมอไซกัส	W (1)
Ww	เฮเทอโรไซกัส	W (1/2) และ w (1/2)
Tt	เฮเทอโรไซกัส	T (1/2) และ t (1/2)
aa	ฮอมอไซกัส	a (1)


- ถั่วลันเตาลักษณะเมล็ดสีเหลืองเป็นลักษณะเด่นต่อลักษณะเมล็ดสีเขียว ในการผสมภายในดอกเดียวกันของต้นที่มีลักษณะเมล็ดสีเหลืองที่เป็นเฮเทอโรไซกัสทั้งคู่ จงหาร้อยละของลูกรุ่น F_1 ที่มีลักษณะเมล็ดสีเขียว

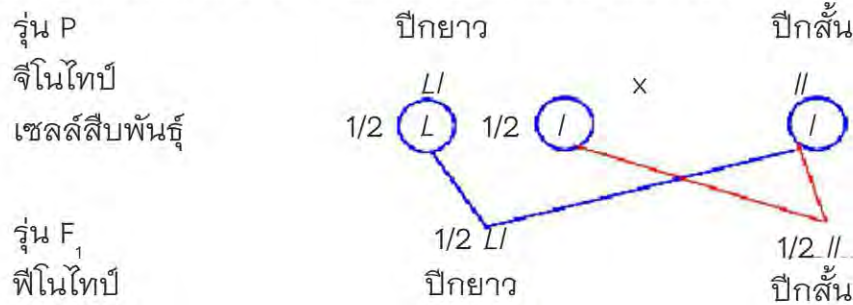
ลูกที่มีลักษณะเมล็ดสีเขียว คิดเป็นร้อยละ 25 ดังนี้

กำหนดให้ Y แทนยีนควบคุมเมล็ดสีเหลือง และ y แทนยีนควบคุมเมล็ดสีเขียว



3. ในแมลงหวี่ กำหนดให้ L เป็นยีนควบคุมลักษณะปีกยาว และ l เป็นยีนควบคุมลักษณะปีกสั้น เมื่อผสมแมลงหวี่ปีกยาวและปีกสั้นจะได้ลูกที่มีปีกยาวและลูกที่มีปีกสั้น ในอัตราส่วน 1 : 1 จงหาจีโนไทป์ของพ่อแม่และลูก

 เมื่อได้ลูกลักษณะปีกยาวต่อปีกสั้น อัตราส่วน 1:1 ดังนั้นแมลงหวี่ปีกยาวในรุ่น P จะเป็นเฮเทอโรไซกัส มีจีโนไทป์ Ll เมื่อผสมกับแมลงหวี่ปีกสั้น จะเป็นดังนี้




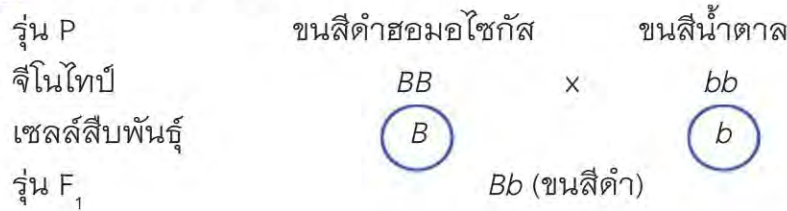
จีโนไทป์ของพ่อแม่เป็น Ll และ ll ดังนั้นจีโนไทป์ของรุ่น F_1 เป็น Ll และ ll

4. เมื่อนำกระต่ายขนสีดำที่เป็นฮอมอไซกัสผสมกับกระต่ายขนสีน้ำตาล ปรากฏว่าลูกที่เกิดมีขนสีดำทั้งหมด (สมมติให้ B และ b แทนแอลลีลคู่หนึ่งที่ควบคุมลักษณะสีขน)
- 4.1 ข้อมูลนี้บอกอะไรแก่เราบ้าง


 ข้อมูลนี้บอกให้ทราบว่าขนสีดำเป็นลักษณะเด่น ขนสีน้ำตาลเป็นลักษณะด้อย เพราะลูกที่เกิดมามีขนสีดำทั้งหมด

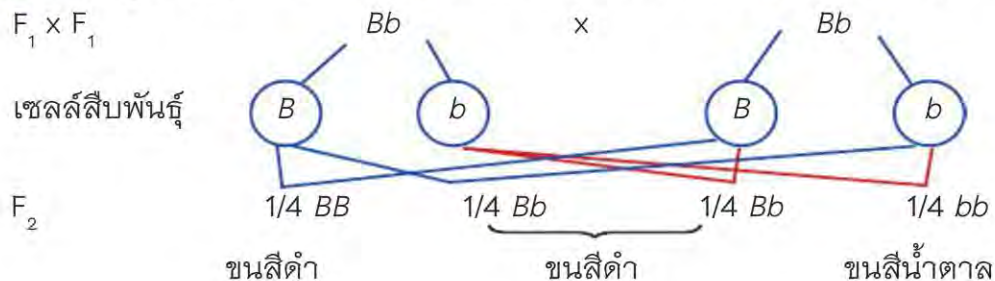
- 4.2 จีโนไทป์ของรุ่น F_1 มีสภาพเป็นฮอมอไซกัสหรือเฮเทอโรไซกัส

 เฮเทอโรไซกัส ดังแผนภาพ



- 4.3 ถ้านำรุ่น F_1 ผสมกันเอง โอกาสที่รุ่น F_2 จะมีจีโนไทป์ได้กี่รูปแบบ อะไรบ้าง และมีอัตราส่วนเท่าใด

 ลูก F_2 มีจีโนไทป์ 3 แบบ คือ BB Bb และ bb ในอัตราส่วน 1:2:1 ดังนี้



15.3.2 กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

การนำเข้าสู่บทเรียนในหัวข้อนี้ ครูอาจทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับการผสมพิจารณา ลักษณะเดียวเพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่หัวข้อการผสมพิจารณาสองลักษณะ ครูอาจตั้งคำถามว่า ในการผสมพันธุ์ของพ่อแม่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 2 ลักษณะพร้อมกัน การแยกคู่ของยีน ไปยังเซลล์สืบพันธุ์จะเหมือนหรือแตกต่างจากการแยกคู่ของยีนที่พิจารณาลักษณะเดียว อย่างไร เพื่อให้นักเรียนสนใจอยากจะทำคำตอบ จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและศึกษา ภาพที่ 15-7 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นการผสมพิจารณาสองลักษณะของถั่วลันเตาคือ การผสมพันธุ์ ถั่วลันเตาลักษณะเมล็ดกลมสีเหลืองพันธุ์แท้กับลักษณะเมล็ดขรุขระสีเขียว แล้วร่วมกันอภิปราย และตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวในการตอบดังนี้



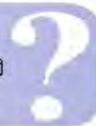
จากภาพที่ 15-7 รุ่น F_1 มีโอกาสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ อะไรบ้าง และรูปแบบยีนในเซลล์สืบพันธุ์เป็นไปตามกฎแห่งการแยกหรือไม่



รุ่น F_1 สร้างสเปิร์มหรือเซลล์ไข่ ได้ 4 แบบ คือ RY Ry rY ry โดยยีนแต่ละคู่ของ $RrYy$ จะแยกจากกันตามกฎแห่งการแยกของเมนเดลและไปเลือกจับกับยีนใดยีนหนึ่งของยีน อีกคู่หนึ่งอย่างอิสระ



จากภาพที่ 15-7 รุ่น F_2 มีโอกาสที่จะเกิดจีโนไทป์และฟีโนไทป์กี่แบบ อะไรบ้าง



รุ่น F_2 มีโอกาสเกิดจีโนไทป์ 9 แบบ ได้แก่ $RRYY$ $RRYy$ $RRyy$ $RrYy$ $Rryy$ $RrYY$ $rrYY$ $rrYy$ $rryy$ และมีโอกาสเกิดฟีโนไทป์ 4 แบบ ได้แก่ เมล็ดกลมสีเหลือง เมล็ดกลมสีเขียว เมล็ดขรุขระสีเหลือง และเมล็ดขรุขระสีเขียว ในอัตราส่วน 9 : 3 : 3 : 1



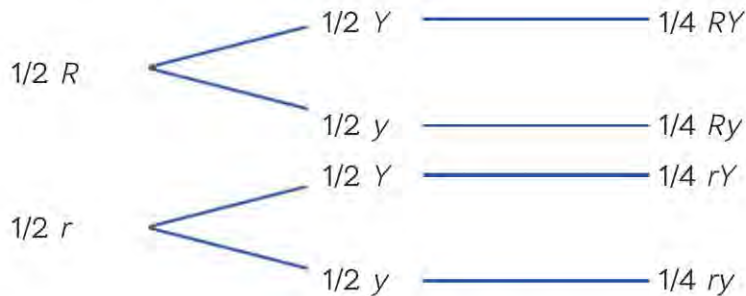
นักเรียนคิดว่ารุ่น F_2 มีโอกาสจะเกิดฟีโนไทป์ที่มีลักษณะเหมือนรุ่นพ่อแม่เป็นเท่าใด



รุ่น F_2 มีโอกาสที่จะเกิดฟีโนไทป์เหมือนรุ่นพ่อแม่เท่ากับ $2/16$ โดยมีโอกาสเกิด $RRYY$ และ $rryy = 1/16 + 1/16 = 2/16$



ครูอาจแสดงให้นักเรียนเข้าใจถึงการแยกของยีนที่ควบคุมลักษณะแต่ละคู่ว่า เมื่อแยกจากกันแล้วจะมีการเลือกจับกลุ่มอย่างอิสระกับยีนที่ควบคุมลักษณะอื่นๆ เช่น R กับ r เมื่อแยกจากกันแล้วอาจเลือกจับกับ Y หรือ y ก็ได้ จึงทำให้ออกาสที่จะเกิดเซลล์สืบพันธุ์เป็นดังนี้



เมื่อนักเรียนเข้าใจการแยกของยีนและยีนเลือกจับกลุ่มอย่างอิสระแล้ว ครูอาจให้ตัวอย่างเพิ่มเติม แล้วให้หาโอกาสในการเกิดเซลล์สืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่มีจีโนไทป์ เช่น $AaBb$ $AaBBcc$ และ $aaBbCcDd$ เป็นต้น

จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า ในรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์อัตราส่วน $9 : 3 : 3 : 1$ เกิดขึ้นได้อย่างไร ให้นักเรียนแสดงวิธีคิดและนำเสนอหน้าชั้น หรือครูชี้แนะเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเข้าใจวิธีคิดได้ว่า เมื่อนำแต่ละลักษณะคือ ลักษณะรูปร่างของเมล็ดและลักษณะสีของเมล็ดมาแยกศึกษาจะได้อัตราส่วนเป็นเท่าใด เมื่อนำอัตราส่วนของฟีโนไทป์ที่ได้จากทั้งสองลักษณะมาคูณกัน จะได้อัตราส่วนของฟีโนไทป์เป็น $9 : 3 : 3 : 1$ หรือไม่ ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า อัตราส่วนของลักษณะเมล็ดกลมกับเมล็ดขรุขระเท่ากับ $3 : 1$ และอัตราส่วนของลักษณะเมล็ดสีเหลืองกับเมล็ดสีเขียวเท่ากับ $3 : 1$ เมื่อนำอัตราส่วนของสองลักษณะมาคูณกันจะได้รุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ 4 ลักษณะ อัตราส่วนเป็น $9 : 3 : 3 : 1$ ซึ่งเป็นไปตามกฎการคูณของความน่าจะเป็น

ครูนำอภิปรายเพื่อเชื่อมโยงให้นักเรียนเห็นว่า การแยกคู่ของยีนทั้ง 2 คู่ไปยังเซลล์สืบพันธุ์และรวมกันอย่างอิสระ ทำให้ค้นพบกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระที่สามารถอธิบายการผสมที่พิจารณามากกว่าหนึ่งลักษณะได้ จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปใจความของกฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมอีกครั้งหนึ่ง เพื่อชี้ให้เห็นความสำคัญว่า ยีนทั้ง 2 คู่ มีความเป็นอิสระที่จะเข้าไปรวมกันในเซลล์สืบพันธุ์ แสดงว่ายีนทั้ง 2 คู่ อยู่บนโครโมโซมต่างคู่กัน จึงสามารถทำนายอัตราส่วนของเซลล์สืบพันธุ์ที่มีกลุ่มยีนต่างๆ ได้




ส่วนคำถามในหนังสือเรียนมีแนวในการตอบ ดังนี้

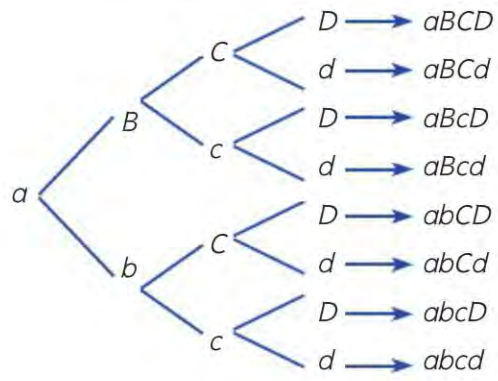
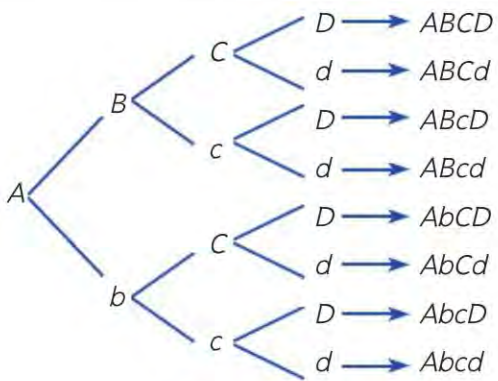
? โอกาสที่ R จะรวมกับ Y จะเท่ากับโอกาสที่ R จะรวมกับ y และโอกาสที่ r จะรวมกับ Y จะเท่ากับโอกาสที่ r จะรวมกับ y หรือไม่ อย่างไร ?

 เท่ากัน คือ 1/4

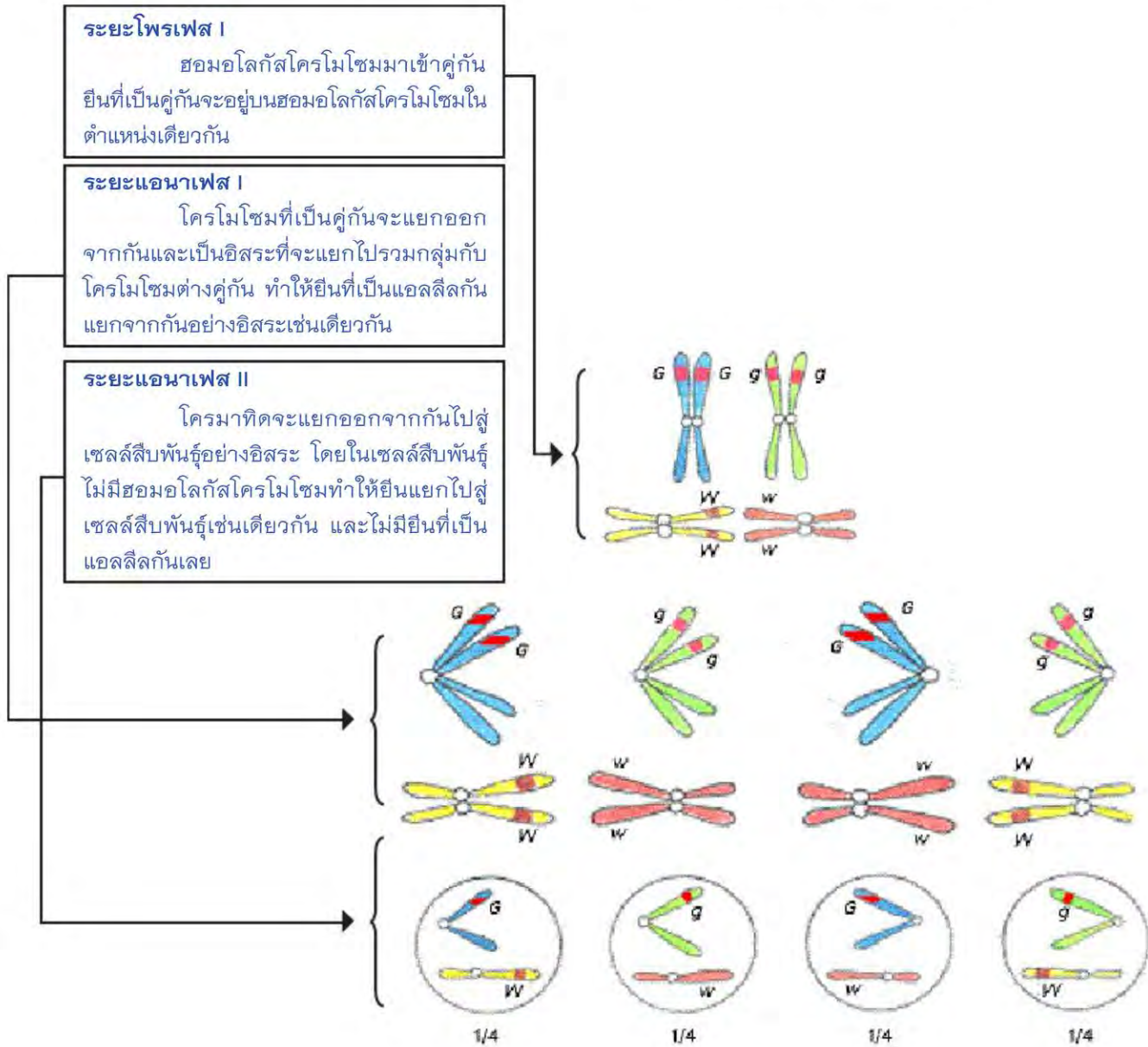
? นักเรียนได้ข้อคิดอะไรบ้างจากการที่ได้ศึกษาวิธีการทดลองและการทำงานของเมนเดล ?

 ทำให้เข้าใจกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การวางแผนการทดลองที่ต้องละเอียด รอบคอบ การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักคณิตศาสตร์ มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์และมีความอดทน เป็นต้น

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนในกรณีที่มียีนที่เกี่ยวข้องหลายคู่ ในการหาชนิดและโอกาสของเซลล์สืบพันธุ์ที่เกิดขึ้น สามารถใช้วิธีแตกแขนง (branching) หรือ forked-line method ได้ เช่น สิ่งมีชีวิตที่มีจีโนไทป์ $AaBbCcDd$ สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ดังนี้



เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงกฎของเมนเดลกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้ กฎของเมนเดลทั้ง 2 ข้อมีความสอดคล้องกับกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสที่นักเรียนได้เคยเรียนมาแล้วอย่างไร ครูอาจใช้ภาพการเข้าคู่กันของโครโมโซม ขณะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสประกอบการอภิปราย ดังภาพที่ 15-2



โอกาสที่จะเกิดเซลล์สืบพันธุ์ที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันของโครโมโซมต่างคู่กัน

ภาพที่ 15-2 การเข้าคู่กันของโครโมโซมขณะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

จากการอภิปรายนักเรียนควรตอบได้ว่ากฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระมีความสอดคล้องกับกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสคือ สอมอโลกัสโครโมโซมจะแยกออกจากกันและเป็นอย่างอิสระที่จะรวมกลุ่มกับโครโมโซมต่างคู่ ในขณะที่แบ่งระยะแอนาเฟส I เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะได้รับโครโมโซม 1 แห่งจากสอมอโลกัสโครโมโซมแต่ละคู่ ดังนั้นในเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จึงไม่มีโครโมโซมที่เป็นคู่กัน เช่นเดียวกับยีนที่แยกจากคู่และไปรวมกลุ่มกับยีนอื่นอย่างอิสระ ทำให้ยีนในเซลล์สืบพันธุ์ไม่เป็นแอลลีลกัน

ถ้ามียีน 2 คู่ สภาพเฮเทอโรไซกัส เช่น $RrYy$ เมื่อมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 4 ชนิด ในอัตราส่วนเท่าๆ กัน จะเห็นได้ว่าความเป็นอิสระของแฟกเตอร์ของเมนเดลเกิดจากการที่แฟกเตอร์เหล่านั้นอยู่บนสอมอโลกัสโครโมโซมต่างคู่กัน

ครูอาจขยายความรู้โดยให้นักเรียนทำนายอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_1 และ F_2 หรือจากการทำโจทย์ปัญหาหลายแบบเพื่อให้นักเรียนเข้าใจยิ่งขึ้น แล้วให้นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียนและบอกวิธีการคิดให้กับเพื่อนนักเรียนในชั้น

15.4

การผสมเพื่อทดสอบ



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายหลักการและความสำคัญของวิธีการผสมเพื่อทดสอบ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- นักเรียนจะบอกจีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตต่อไปนี้ได้อย่างไร
- กรณีกระท่ายขนสีดำและกระท่ายขนสีน้ำตาล และมีลักษณะขนสีดำเป็นลักษณะเด่น
- กรณีแมลงหวี่ปีกปกติและแมลงหวี่ปีกสั้น และมีลักษณะปีกปกติเป็นลักษณะเด่น

นักเรียนควรใช้ความรู้ที่เรียนมาแล้ว ในการบอกจีโนไทป์และอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีของกระท่าย ถ้ากำหนด B เป็นแอลลีลขนสีดำ และ b แทนแอลลีลขนสีน้ำตาล

กระท่ายขนสีน้ำตาลเป็นลักษณะด้อย จะแสดงลักษณะสีน้ำตาลเมื่อมีแอลลีล b ทั้ง 2 แอลลีล ดังนั้นจีโนไทป์ของกระท่ายขนสีน้ำตาลเป็น bb



กระต่ายขนสีดำเป็นลักษณะเด่นจะแสดงลักษณะสีดำได้ แม้จะมีแอลลีล B เพียงแอลลีลเดียว ดังนั้นจีโนไทป์ของกระต่ายสีดำ เป็นไปได้ทั้ง 2 แบบ คือ BB หรือ Bb นั่นคือมีสภาพที่อาจเป็นเฮเทอโรไซกัสหรือโฮโมไซกัส ซึ่งอาจต้องมีการตรวจสอบต่อไป

ในกรณีของลักษณะปีกของแมลงหวี่ ก็สามารถอธิบายโดยใช้หลักการเช่นเดียวกับลักษณะขนสีดำและขนสีน้ำตาลของกระต่าย

ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การสืบค้นต่อไปว่า นักเรียนจะทราบได้อย่างไรว่ากระต่ายขนสีดำหรือแมลงหวี่ปีกปกติดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น มีจีโนไทป์เป็นโฮโมไซกัสหรือเฮเทอโรไซกัส

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละกลุ่มได้คิดหาวิธีการตรวจสอบและนำเสนอวิธีที่จะตรวจสอบหน้าชั้นเรียน โดยแสดงเหตุผลประกอบการนำเสนอและอภิปรายร่วมกัน

จากการอภิปรายและจากการสืบค้นนักเรียนควรจะสรุปได้ว่า ควรนำสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเด่นและต้องการทราบจีโนไทป์ไปผสมกับสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นที่มีลักษณะด้อย เพราะสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะด้อยทราบแล้วว่าแอลลีลจะเป็นลักษณะด้อยทั้งคู่ แล้วพิจารณาจากรุ่นลูกว่ามีลักษณะเด่นหรือลักษณะด้อยในอัตราส่วนเท่าใด ก็จะสามารถบอกได้ว่าลักษณะเด่นที่ต้องการตรวจสอบเป็นเฮเทอโรไซกัสหรือโฮโมไซกัส เรียกการตรวจสอบดังกล่าวนี้ว่า การผสมเพื่อทดสอบ (testcross) ดังภาพที่ 15-8 ในหนังสือเรียน นอกจากนี้ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการผสมกลับ (backcross) ว่าเป็นการผสมพันธุ์โดยนำลูกผสมไปผสมกับพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์เพื่อให้ได้ลูกผสมมีลักษณะที่ต้องการ จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรมในหนังสือเรียน

กิจกรรมที่ 15.2 การแก้โจทย์ปัญหาการผสมพิจารณาหลายลักษณะ


จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้ นักเรียนสามารถ

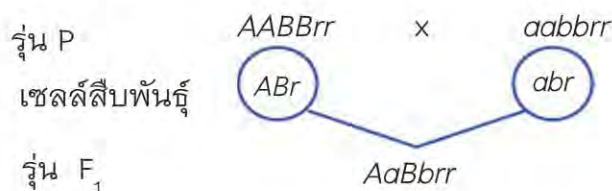
1. เขียนจีโนไทป์และฟีโนไทป์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
2. หาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_1 และ F_2 จากสถานการณ์ที่กำหนดให้

แนวการตอบกิจกรรมที่ 15.2


1. จากการผสมระหว่างพืชที่มีจีโนไทป์ $AABBrr$ x $aabbrr$ ถ้าการจับคู่กันของยีนเป็นไปอย่างอิสระ จงคำนวณหา

1.1 รุ่น F_1 มีจีโนไทป์อย่างไร

 รุ่น F_1 มีจีโนไทป์เป็น $AaBbrr$ ดังแผนภาพ

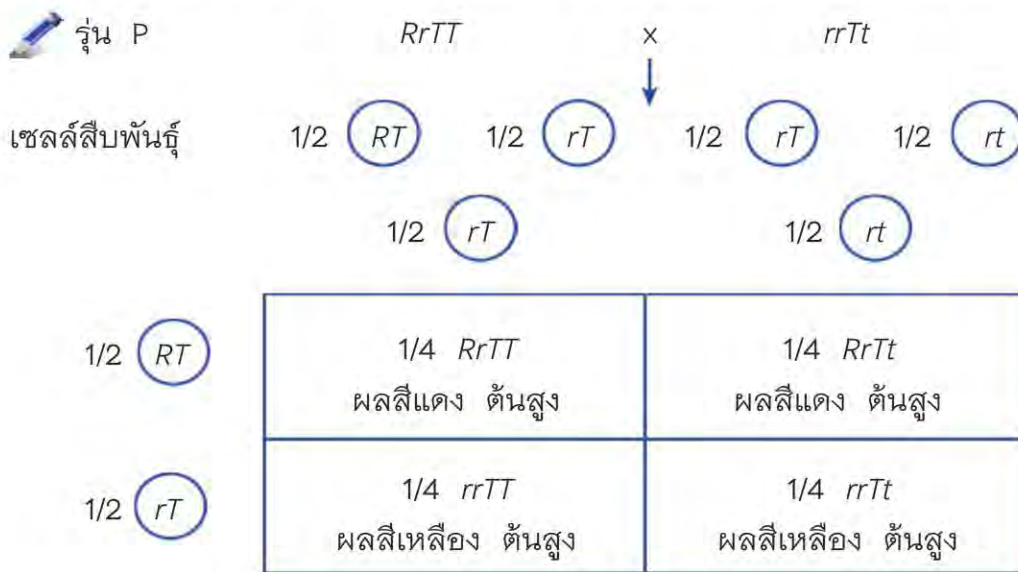


1.3 โอกาสที่รุ่น F_2 จะมีจีโนไทป์เหมือนพ่อแม่เป็นเท่าใด

 ถ้านำวิธีคิดวิธีที่ 2 ในข้อ 1.2 มาใช้ โอกาสที่จะได้รุ่น F_2 ที่มีจีโนไทป์เหมือนพ่อแม่ คือ

$$\begin{aligned} AaBbrr &= 2/4 \times 2/4 \times 1 \\ &= 4/16 \\ &= 1/4 \end{aligned}$$


2. มะเขือเทศผลสีแดงเป็นลักษณะเด่น (R) ผลสีเขียวเป็นลักษณะด้อย (r) และต้นสูงเป็นลักษณะเด่น (T) ต้นเตี้ยเป็นลักษณะด้อย (t) เมื่อผสมมะเขือเทศต้นหนึ่งมีจีโนไทป์ $RrTT$ กับต้นที่มีจีโนไทป์ $rrTt$ จงหาอัตราส่วนของฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของลูก

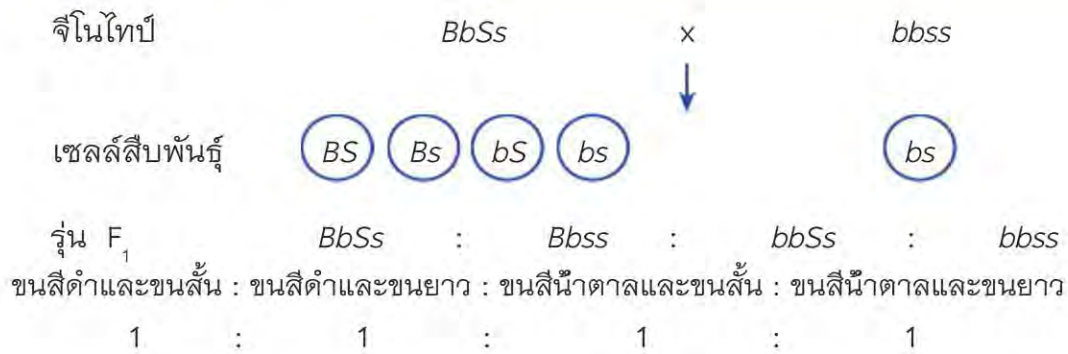


ดังนั้นจะได้ลูกที่มีลักษณะผลสีแดง ต้นสูง : ผลสีเขียว ต้นสูง ในอัตราส่วน 1 : 1
ได้ลูกที่มีจีโนไทป์ $RrTT : RrTt : rrTT : rrTt$ ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 1


3. กระจ่ายขนสีดำเป็นลักษณะเด่น (B) ขนสีน้ำตาลเป็นลักษณะด้อย (b) และขนสั้นเป็นลักษณะเด่น (S) ขนยาวเป็นลักษณะด้อย (s) ในการผสมระหว่างกระจ่ายหอมอไซกัลขนยาวสีดำ และหอมอไซกัลขนสั้นสีน้ำตาล

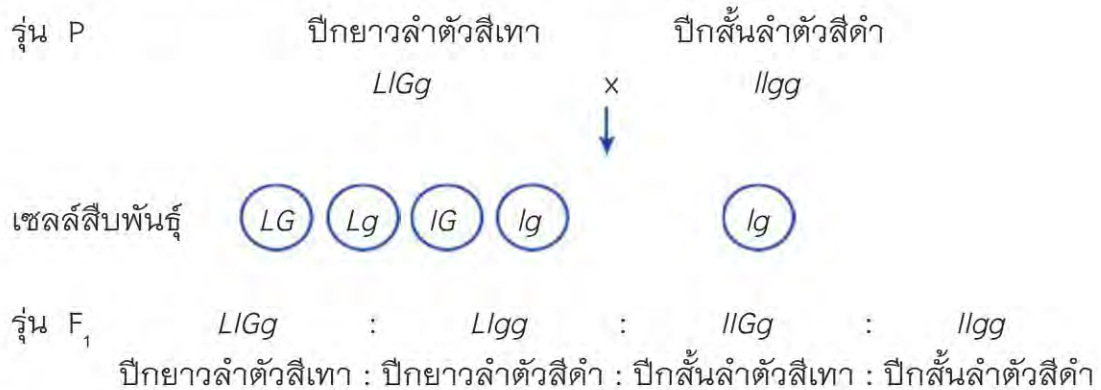
3.1 จงหาอัตราส่วนของฟีโนไทป์ต่างๆ ในรุ่น F_1 และอัตราส่วนของฟีโนไทป์ต่างๆ ในรุ่น F_2

 รุ่นพ่อแม่เป็นกระจ่ายหอมอไซกัลขนสีดำและขนยาว ดังนั้นจึงเขียนจีโนไทป์ได้เป็น $BBss$ ส่วนกระจ่ายหอมอไซกัลขนสีน้ำตาลและขนสั้น เขียนจีโนไทป์ได้เป็น $bbSS$ เมื่อผสมกัน จะได้รุ่น F_1 และ F_2 ดังนี้




4. แมลงหวี่ปีกยาวเป็นลักษณะเด่น (L) ปีกสั้นเป็นลักษณะด้อย (l) และลำตัวสีเทาเป็นลักษณะเด่น (G) ลำตัวสีดำเป็นลักษณะด้อย (g) ในการผสมระหว่างแมลงหวี่ปีกยาวลำตัวสีเทา และแมลงหวี่ปีกสั้นลำตัวสีดำ จงหาจีโนไทป์ของรุ่นพ่อแม่ ในกรณีต่อไปนี้
- 4.1 ลูกมีอัตราส่วนของฟีโนไทป์เป็น 1 : 1 : 1 : 1

 แมลงหวี่รุ่นพ่อแม่ลักษณะปีกยาวลำตัวสีเทา เมื่อผสมกับลักษณะปีกสั้นลำตัวสีดำซึ่งเป็นลักษณะด้อย มีจีโนไทป์ $lLgG$ จะได้ลูกที่มีฟีโนไทป์ 4 ลักษณะ ดังนั้น ลักษณะปีกยาว ลำตัวสีเทา จึงมีจีโนไทป์เป็น $lLGg$ ดังนี้



- 4.2 ลูกมีปีกยาวลำตัวสีเทาทั้งหมด

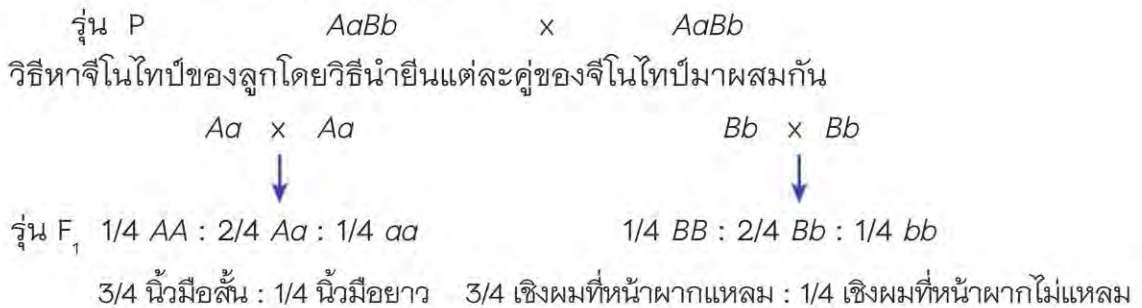
 การที่ลูกจะมีโอกาสเป็นปีกยาวลำตัวสีเทาทั้งหมด เมื่อแมลงปีกยาวลำตัวสีเทาในรุ่นพ่อแม่เป็นโฮมอไซกัสจีโนไทป์ คือ $LLGG$ ดังนี้



5. ในคนลักษณะนิ้วมือสั้น และเชิงผมที่หน้าผากแหลมเป็นลักษณะเด่นและลักษณะนิ้วมือยาว และเชิงผมที่หน้าผากไม่แหลมเป็นลักษณะด้อย ถ้าพ่อและแม่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัส จงหาอัตราส่วนของลูกที่มีฟีโนไทป์เหมือนพ่อแม่

-  กำหนดให้
- A เป็นแอลลีลควบคุมลักษณะนิ้วมือสั้น
 - a เป็นแอลลีลควบคุมลักษณะนิ้วมือยาว
 - B เป็นแอลลีลควบคุมลักษณะเชิงผมที่หน้าผากแหลม
 - b เป็นแอลลีลควบคุมลักษณะเชิงผมที่หน้าผากไม่แหลม

ดังนั้น พ่อและแม่จึงมีจีโนไทป์เป็น $AaBb \times AaBb$ คือมีนิ้วมือสั้นเชิงผมที่หน้าผากแหลม จากการผสมลูกจะมีอัตราส่วนของฟีโนไทป์ ดังนี้



ดังนั้น รุ่น F₁ มีลักษณะนิ้วมือสั้นเชิงผมที่หน้าผากแหลมเหมือนพ่อแม่

$$= 3/4 \times 3/4$$

$$= 9/16$$

15.5

ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นและอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายการข่มไม่สมบูรณ์และการข่มร่วมกัน
3. สืบค้นข้อมูลและเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมของมัลติเปิลแอลลีลและพอลิยีน
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศและที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกัน
5. สืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และเปรียบเทียบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของเพศ และลักษณะทางพันธุกรรมที่ปรากฏจำเพาะเพศ
6. ยกตัวอย่างและเขียนจีโนไทป์ของยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ
7. นำความรู้ไปใช้ในการหาโอกาสเกิดลักษณะที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล



แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เมนเดลได้ศึกษาไปแล้วโดยยกตัวอย่างการผสมพันธุ์ของต้นบานเย็นที่มีดอกสีแดงกับดอกสีขาว แล้วใช้คำถามถามนักเรียนว่า **เมื่อนำต้นบานเย็นที่มีดอกสีแดงผสมกับต้นบานเย็นที่มีดอกสีขาว รุ่น F_1 ที่ได้จะมีลักษณะอย่างไร**

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ในการผสมพันธุ์ต้นบานเย็นที่มีดอกสีแดงเป็นลักษณะเด่นและดอกสีขาวเป็นลักษณะด้อย ถ้าหากจีโนไทป์ของรุ่นพ่อแม่เป็นโฮโมไซกัสทั้งคู่ เมื่อผสมกันจะได้รุ่น F_1 เป็นดอกสีแดงทั้งหมด แต่ถ้าหากจีโนไทป์ของรุ่นพ่อแม่เป็นเฮเทอโรไซกัส เมื่อผสมกันจะได้รุ่น F_1 ดอกสีแดงและดอกสีขาวในอัตราส่วน 1 : 1 ครูอาจถามคำถามต่อไปว่า **การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมลักษณะใดบ้างที่นักเรียนคิดว่าอาจไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดล** เพื่อนำเข้าสู่หัวข้อลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล

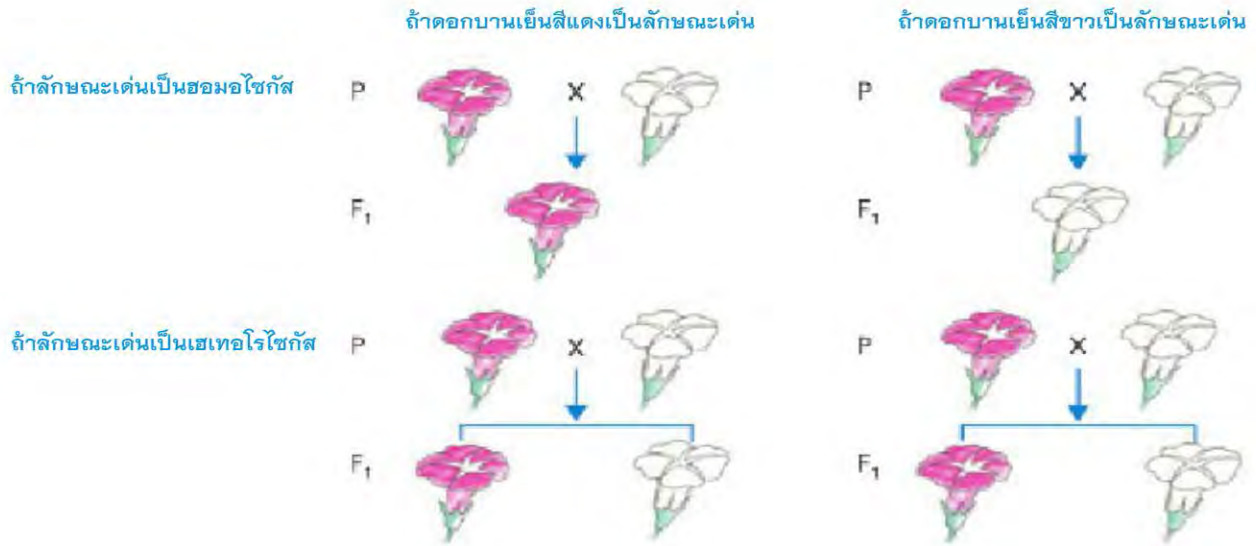
แต่จากการทดลองของคาร์ล คอร์เรนส์ พบว่าเมื่อนำต้นบานเย็นดอกสีแดงและดอกสีขาวผสมกันได้รุ่น F_1 เป็นดอกสีชมพู ซึ่งไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดล ครูถามนักเรียนต่อไปว่า **นักเรียนสงสัยหรือไม่ว่าดอกบานเย็นสีชมพูถ่ายทอดมาได้อย่างไร เป็นไปได้หรือไม่ว่าการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะมีความแตกต่างไปจากการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมที่เมนเดลศึกษา**

15.5.1 การข่มไม่สมบูรณ์

ในหัวข้อนี้ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยตั้งประเด็นการอภิปรายว่า การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมทุกลักษณะจะเป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดลหรือไม่ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสนใจ ครูอาจทบทวนถึงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมต่างๆ ของถั่วลิ้นเต่าที่เป็นไปตามกฎของเมนเดล หลังจากนั้นให้ร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการผสมต้นบานเย็นพันธุ์ดอกสีแดงกับพันธุ์ดอกสีขาว โดยให้นักเรียนสรุปเป็นแผนภาพ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 15-3

ถ้าผลการทดลองในการผสมพันธุ์ต้นบานเย็นเหมือนการทดลองของเมนเดล รุ่น F_1 ที่ได้ควรเป็นดังนี้





แต่จากการทดลองของคาร์ล คอร์เรนส์ พบว่าไม่เป็นไปตามผลการทดลองของเมนเดล โดยผลที่ได้เป็นดังนี้



ภาพที่ 15-3 การผสมต้นบานเย็นพันธุ์ดอกสีแดงกับพันธุ์ดอกสีขาว



จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการผสมพันธุ์ของต้นลิ้นมังกรจากภาพที่ 15-9 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นการผสมของดอกลิ้นมังกรพันธุ์ดอกสีแดงกับพันธุ์ดอกสีขาว ได้รุ่น F_1 ดอกสีชมพู รุ่น F_2 มีอัตราส่วนของดอกสีแดง : ดอกสีชมพู : ดอกสีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1 จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและศึกษาภาพที่ 15-10 ในหนังสือเรียน ร่วมกันอภิปรายและสรุปได้ว่าลักษณะสีของดอกลิ้นมังกรถูกควบคุมด้วยยีน 2 แอลลีล โดยแอลลีลหนึ่งข่มแอลลีลที่เป็นคู่กันได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ลูกมีฟีโนไทป์ไม่เหมือนพ่อแม่ โดยอยู่ระหว่างรุ่นพ่อแม่คือ ดอกสีชมพู ซึ่งเป็นการข่มไม่สมบูรณ์ จากนั้นให้ตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



จากภาพที่ 15-10 รุ่น F_2 มีฟีโนไทป์และจีโนไทป์เป็นอย่างไร ในอัตราส่วนเท่าใด และแตกต่างจากผลการทดลองของเมนเดลอย่างไร



รุ่น F_2 มีอัตราส่วนของจีโนไทป์ $RR:RR':R'R'$ เท่ากับ 1 : 2 : 1 และมีอัตราส่วนของฟีโนไทป์เป็นดอกสีแดง : ดอกสีชมพู : ดอกสีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1 แต่ผลการทดลองของเมนเดล รุ่น F_2 จะมีเพียง 2 ลักษณะคือ ลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย เท่ากับ 3 : 1

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นการถ่ายทอดลักษณะผมหยิก ผมเหยียดตรงและผมหยักศก และวิเคราะห์จากภาพที่ 15-11 ในหนังสือเรียน

จากการสืบค้นและจากการวิเคราะห์ นักเรียนควรสรุปได้ว่าลักษณะดังกล่าวเป็นการข่มไม่สมบูรณ์

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



จากภาพที่ 15-11 ลูกที่เกิดจากพ่อและแม่ที่มีผมหยักศกจะมีฟีโนไทป์และจีโนไทป์เป็นอย่างไร ในอัตราส่วนเท่าใด



ลูกที่เกิดมาจะมีฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของเส้นผม 3 แบบ คือ ผมหยิก (HH) : ผมหยักศก (HH') : ผมเหยียดตรง ($H'H'$) โดยมีอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 2 : 1



ถ้าพ่อผมเหยียดตรงและแม่ผมหยิก ลูกที่เกิดมาจะมีฟีโนไทป์เป็นอย่างไร



ลูกที่เกิดมาจะมีเส้นผมหยักศก



เหตุใดการถ่ายทอดลักษณะของเส้นผมในคนจึงเป็นการข่มไม่สมบูรณ์



เพราะแอลลีลของผมเหยียดตรงและแอลลีลของผมหยิกเป็นแอลลีลเด่นไม่สมบูรณ์ทำให้ฟีโนไทป์ของลูกที่เกิดมาแตกต่างจากพ่อแม่และอยู่ระหว่างฟีโนไทป์ของพ่อแม่ที่เป็นฮอมอไซกัส

15.5.2 การข่มร่วมกัน

การสอนในหัวข้อการข่มร่วมกัน ครูอาจตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจว่าเลือดหมู่ AB ในคนถ่ายทอดมาได้อย่างไร ครูอาจนำอภิปรายเกี่ยวกับชนิดของหมู่เลือดระบบ ABO ที่นักเรียนได้เรียนมาแล้ว เพื่อนำเข้าสู่การถ่ายทอดเลือดหมู่ AB จากนั้นให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 15-12 ในหนังสือเรียน ครูนำอภิปรายการเกิดเลือดหมู่ AB ของลูกที่เกิดจากพ่อและแม่ที่มีเลือดหมู่ A และเลือดหมู่ B ที่เป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์

เลือดหมู่ AB ของลูกเกิดจากแอลลีล I^A ในเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อมาเข้าคู่กับแอลลีล I^B ในเซลล์สืบพันธุ์ของแม่ แอลลีลทั้งสองต่างก็เป็นแอลลีลเด่นจึงแสดงออกพร้อมกันทั้ง 2 ลักษณะ เรียกว่า การข่มร่วมกัน

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน



ลูกที่มีจีโนไทป์ $I^A I^B$ ดังภาพที่ 15-12 เป็นไปตามพันธุศาสตร์เมนเดลหรือไม่ เพราะเหตุใด



ไม่เป็นไปตามพันธุศาสตร์เมนเดล เนื่องจากตามกฎของเมนเดล ลักษณะหนึ่งควบคุมด้วยยีนที่มีแอลลีลหนึ่งข่มแอลลีลที่เป็นคู่กันได้อย่างสมบูรณ์ แต่เลือดหมู่ AB จะควบคุมด้วยยีนที่มีแอลลีลหนึ่ง (I^A) ซึ่งไม่สามารถข่มแอลลีลที่เป็นคู่กัน (I^B) ได้สมบูรณ์ เนื่องจากทั้งสองแอลลีลแสดงลักษณะเด่นได้เท่ากัน จึงแสดงออกพร้อมกัน ทำให้ผู้ที่มีเลือดหมู่ AB สามารถสร้างแอนติเจน A และแอนติเจน B ได้



15.5.3 มัลติเปิลแอลลีล

ในหัวข้อนี้ ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความหมายของแอลลีล และแอลลีลที่ควบคุมลักษณะหมู่เลือด คือ I^A I^B และ i ที่นักเรียนเรียนมาแล้ว ครูอาจตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อว่า **ลักษณะทุกลักษณะของสิ่งมีชีวิตมียีนควบคุมเพียง 2 แอลลีลเท่านั้นหรือไม่**

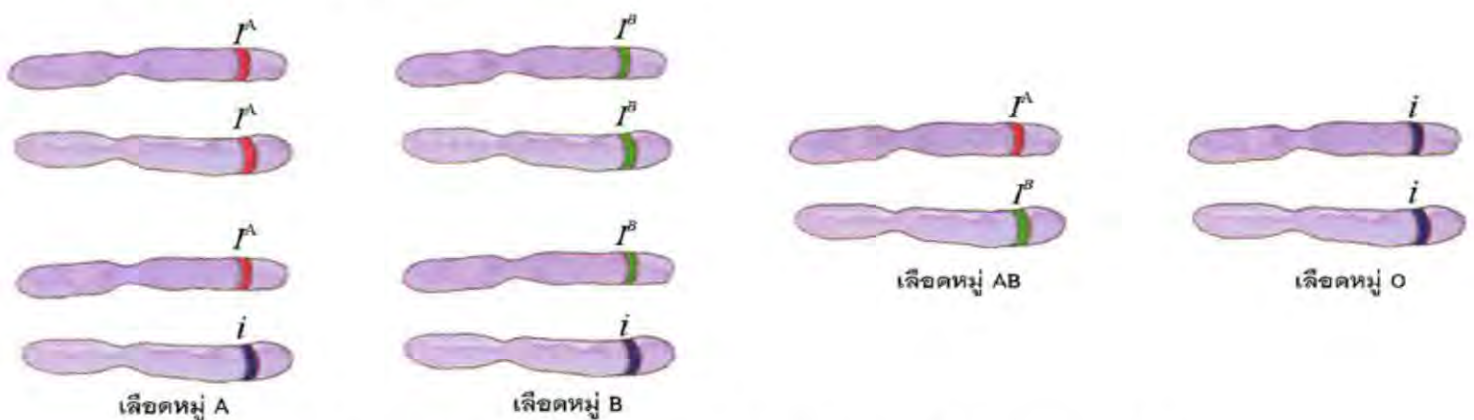
หลังจากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO จากตารางที่ 15.2 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์และสรุปเกี่ยวกับหมู่เลือดระบบ ABO ว่าควบคุมด้วยแอลลีลอะไรบ้าง ตำแหน่งของยีนบนโครโมโซมเป็นอย่างไร หมู่เลือดชนิดหนึ่งควบคุมด้วยกี่แอลลีล และมีจีโนไทป์ได้กี่แบบ

จากการวิเคราะห์นักเรียนควรสรุปว่า หมู่เลือดระบบ ABO ควบคุมด้วยแอลลีล 3 แอลลีล คือ แอลลีล I^A I^B และ i ซึ่งอยู่ในโลคัสเดียวกันบนยีนบนโครโมโซมคู่เดียวกัน และ เลือดหมู่ A และเลือดหมู่ B ต่างก็มีจีโนไทป์ได้ 2 แบบ คือ $I^A I^A$ $I^A i$ และ $I^B I^B$ $I^B i$ ตามลำดับ ส่วนเลือดหมู่ AB และเลือดหมู่ O มีจีโนไทป์ได้แบบเดียว คือ $I^A I^B$ และ ii ตามลำดับ จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

จากตารางที่ 15.2 ลักษณะการข่มร่วมกันของแอลลีลจะเป็นอย่างไร

แอลลีล I^A และ I^B เป็นแอลลีลเด่นข่มร่วมกัน และทั้ง 2 แอลลีลจะข่มแอลลีล i ซึ่งเป็นแอลลีลด้อย

ครูอาจชี้แนะเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO เพื่อให้นักเรียนเห็นว่าการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมในประชากรควบคุมด้วยยีนมากกว่า 2 แอลลีล แต่ในรายบุคคลจะมียีนที่เป็นแอลลีลกันเพียง 1 คู่ เท่านั้นที่ปรากฏบนตำแหน่งเดียวกันบนยีนบนโครโมโซม ดังภาพที่ 15-4



ภาพที่ 15-4 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO

จากภาพจะเห็นว่าหมู่เลือดระบบ ABO ควบคุมด้วยยีน 3 แอลลีล และมีเฉพาะเลือดหมู่ AB เท่านั้น ที่เป็นลักษณะข่มร่วมกัน

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 15-13 ในหนังสือเรียนเพื่อให้นักเรียนสามารถสรุป การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดได้ ครูอาจให้นักเรียนทำนายชนิดของหมู่เลือด ของลูกที่เกิดจากพ่อและแม่ที่มีหมู่เลือดต่างกันจากภาพ เช่น พ่อเลือดหมู่ A แม่เลือดหมู่ B ลูกจะมีเลือดหมู่ใดบ้าง หรือให้นักเรียนกำหนดปัญหาเอง เช่น กำหนดหมู่เลือดของพ่อและแม่ แล้วให้หาหมู่เลือดของลูก หรือให้หาหมู่เลือดของพ่อและแม่ โดยอาจให้นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียน

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า การถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO ให้ผลแตกต่างจากการทดลองของเมนเดล เนื่องจากเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีน 3 แอลลีลใน 1 ตำแหน่งบนฮอมอโลกัสโครโมโซม ซึ่งถ้าเป็นไปตามกฎของเมนเดลลักษณะหนึ่งลักษณะ จะควบคุมด้วยยีนเพียง 1 คู่ หรือ 2 แอลลีลเท่านั้น

จากนั้นให้นักเรียนนำความรู้จากหัวข้อนี้ไปใช้สืบค้นหมู่เลือดของคนในครอบครัวของนักเรียน เปรียบเทียบทั้งฝ่ายพ่อและแม่ นำมาเขียนจีโนไทป์และหาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ แล้วเขียนรายงานนำเสนอเป็นแผนผังหน้าชั้นเรียน เพื่อให้นักเรียนได้มีโอกาส แสดงความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนความรู้ด้วยกัน

กิจกรรมที่ 15.3 การแก้โจทย์ปัญหา เรื่องลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของ พันธุศาสตร์เมนเดล

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ


1. อธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบการข่มไม่สมบูรณ์ การข่มร่วมกัน และมัลติเปิลแอลลีล จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
2. เขียนจีโนไทป์ของลักษณะต่างๆ และหาโอกาสของการแสดงออกของยีนที่ควบคุม ลักษณะต่างๆ ในรุ่น F_1 และ F_2 จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
3. นำหลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดไปใช้ในการวิเคราะห์ โจทย์ปัญหา

แนวทางการตอบปัญหากิจกรรมที่ 15.3

1. ในการผสมพันธุ์ระหว่างวัวพันธุ์แท้ที่มีขนสีแดงเพศผู้กับวัวพันธุ์แท้ขนสีขาวเพศเมีย จะได้รุ่น F_1 มีขนสีโรน (roan) ทั้งหมด ลักษณะของขนสีโรนคือ แต่ละเส้นขนจะมีสีขาวและสีแดงอยู่ด้วยกัน

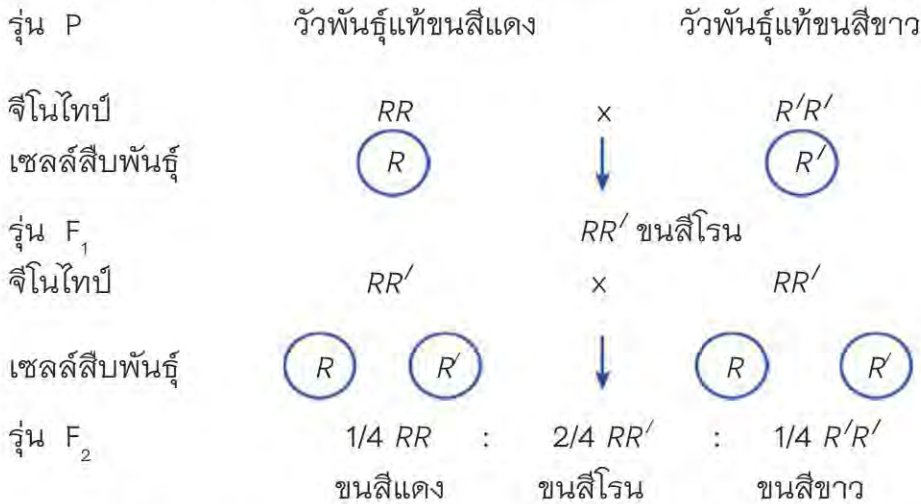


1.1 เมื่อให้รุ่น F_1 ผสมกันเอง จงหาโอกาสของรุ่น F_2 ที่มีสีขนเหมือนพ่อแม่


 จากโจทย์นี้แสดงว่าลักษณะสีขนวัวเป็นการข่มร่วมกัน ดังนั้น

วัวรุ่น F_2 มีลักษณะขนสีโรนเหมือนพ่อแม่เท่ากับ $2/4$ หรือ $1/2$ ดังนี้


กำหนดให้ R แทนยีนควบคุมลักษณะขนสีแดง R' แทนยีนควบคุมลักษณะขนสีขาว



1.2 นักเรียนจะอธิบายการแสดงออกของยีนที่ควบคุมสีขนในวัวได้อย่างไร

 ลักษณะสีขนของวัวเป็นการข่มร่วมกัน ควบคุมด้วยยีน 2 แอลลีล โดยทั้งสอง แอลลีลแสดงลักษณะเด่นได้เท่าๆ กัน จึงแสดงออกร่วมกัน ทำให้ลูกที่มีจีโนไทป์ RR' มีขนสีโรน โดยแสดงออกทั้งลักษณะขนสีแดงและขนสีขาวในเส้นเดียวกัน

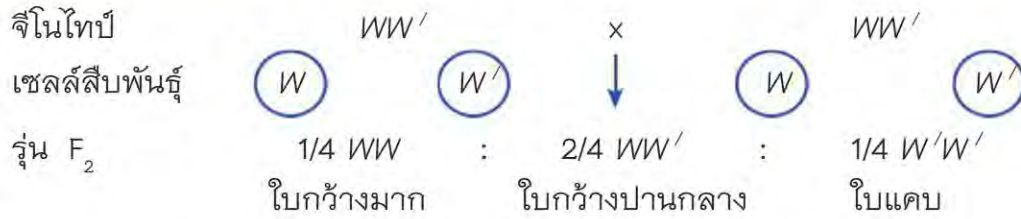
2. ในการผสมพันธุ์ต้นลิ้นมังกรลักษณะใบกว้างมากพันธุ์แท้กับลักษณะใบแคบพันธุ์แท้ ถ้าลักษณะขนาดของใบลิ้นมังกรเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนเพียงโลคัสเดียว และยีนที่ควบคุม เป็นยีนลักษณะข่มไม่สมบูรณ์ จงหาอัตราส่วนของฟีโนไทป์ ในรุ่น F_2

 รุ่น F_2 มีลักษณะใบกว้างมาก : ใบกว้างปานกลาง : ใบแคบ ในอัตราส่วน $1 : 2 : 1$ ดังนี้

กำหนดให้ W แทนยีนควบคุมลักษณะใบกว้างมาก W' แทนยีนควบคุม ลักษณะ

ใบแคบ





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



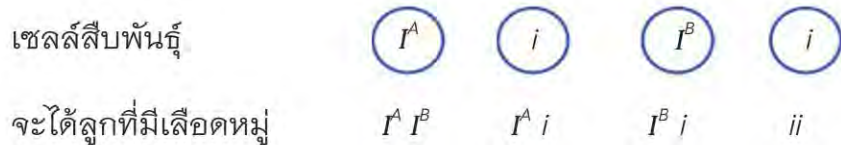
เนื่องจากลูกที่มีเลือดหมู่ A มีจีโนไทป์เป็น $I^A i$ หรือ $I^A I^A$

ลูกที่มีเลือดหมู่ B มีจีโนไทป์เป็น $I^B i$ หรือ $I^B I^B$

ลูกที่มีเลือดหมู่ AB มีจีโนไทป์เป็น $I^A I^B$

ลูกที่มีเลือดหมู่ O มีจีโนไทป์เป็น ii

พ่อและแม่ควรมีเลือดหมู่ $I^A i$ \times $I^B i$



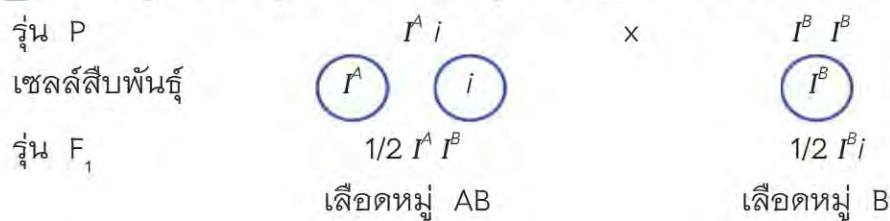
ดังนั้นพ่อแม่จะมีเลือดหมู่ A และ B และมีจีโนไทป์ $I^A i$ และ $I^B i$ หรือ มีเลือดหมู่ B และ A และมีจีโนไทป์ $I^B i$ และ $I^A i$ ตามลำดับ

4. หมู่เลือดระบบ ABO ถูกควบคุมโดยแอลลีล I^A I^B และ i จงหาชนิดและอัตราส่วนของหมู่เลือดของลูกที่เกิดจากพ่อและแม่ที่มีจีโนไทป์ ดังต่อไปนี้

4.1 $I^A i \times I^B I^B$



จะได้ลูกเลือดหมู่ AB : เลือดหมู่ B ในอัตราส่วน 1:1 ดังนี้



4.2 $I^A I^B \times ii$



จะได้ลูกเลือดหมู่ A : เลือดหมู่ B ในอัตราส่วน 1:1 ดังนี้



5. หญิง 2 คนเป็นแฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกัน แผลดคนที่แต่งงานกับสามีเลือดหมู่ A มีลูกเลือดหมู่ O ส่วนแผลดคนน้องแต่งงานกับสามีเลือดหมู่ B มีลูกเป็นเลือดหมู่ AB จงหาจีโนไทป์ และหมู่เลือดของหญิงแฝดคู่นี้



ตามหลักพันธุศาสตร์แฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกัน จะมีจีโนไทป์เหมือนกัน

กรณีที่ 1 แผลดคนที่แต่งงานกับสามีเลือดหมู่ A ลูกจะมีเลือดหมู่ O แสดงว่าพ่อและแม่ต้องมีแอลลีล i

กรณีที่ 2 แผลดคนน้องแต่งงานกับสามีเลือดหมู่ B และลูกมีเลือดหมู่ AB แสดงว่าแม่ต้องมีแอลลีล I^A และสามีมีแอลลีล I^B

ดังนั้น หญิงแฝดคู่นี้มีเลือดหมู่ A จีโนไทป์ $I^A i$ ดังนี้

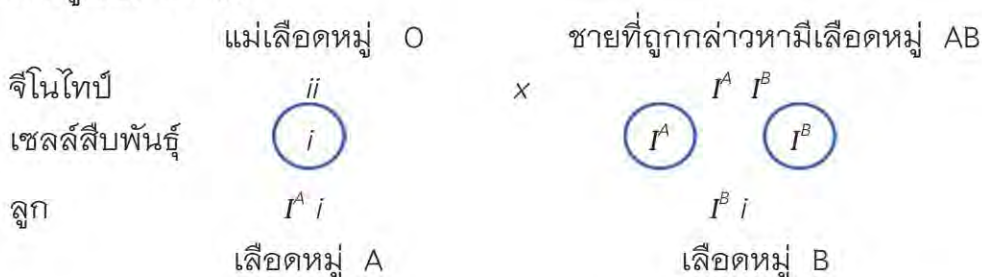


6. จงใช้เหตุผลทางพันธุศาสตร์มาอธิบายความเป็นไปได้ ในกรณีศึกษาต่อไปนี้

6.1 แม่และลูกมีเลือดหมู่ O ชายที่ถูกกล่าวหาว่าเป็นพ่อมีเลือดหมู่ AB



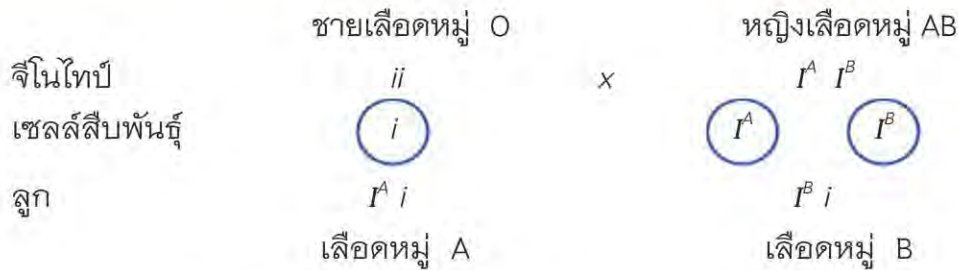
จะเห็นได้ว่าแม่มีเลือดหมู่ O ชายที่ถูกกล่าวหาว่าเป็นพ่อมีเลือดหมู่ AB ถ้าเป็นพ่อจริงจะได้ลูกที่มีเลือดหมู่ A หรือเลือดหมู่ B เท่านั้น ดังนั้นชายที่ถูกกล่าวหาจึงไม่ใช่พ่อของเด็กหมู่เลือด O ดังนี้



6.2 หญิงคนหนึ่งมีเลือดหมู่ AB ยืนยันว่าลูกที่มีเลือดหมู่ A เป็นบุตรที่แท้จริงของชายที่มีเลือดหมู่ O



กรณีนี้การที่ลูกมีเลือดหมู่ A อาจจะมีจีโนไทป์เป็น $I^A I^A$ หรือ $I^A i$ และเมื่อแม่มีเลือดหมู่ AB นั้น ดังนั้นลูกที่มีเลือดหมู่ A อาจเป็นลูกของชายคนนี้ตามที่กล่าวอ้าง ดังแผนภาพ



นอกจากนี้ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับหมู่เลือดระบบ Rh ต่อไปว่า หมู่เลือดระบบ Rh ซึ่งมี Rh positive (Rh^+) และ Rh negative (Rh^-) เดิมเข้าใจกันว่าควบคุมโดยยีนเพียงคู่เดียว คือ R และ r แต่ต่อมาพบว่าเกิดจากชุดของมัลติเปิลแอลลีลอย่างน้อย 8 แอลลีล ที่มีตำแหน่งชิดกันมากบนโครโมโซมแท่งเดียวกัน การควบคุมซับซ้อนมากขึ้นแต่แสดงฟีโนไทป์ได้เพียง 2 แบบ คือ Rh^+ และ Rh^- ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในระดับโมเลกุล พบว่ายีนที่สร้าง anti Rh ประกอบด้วยแอลลีลหลายแอลลีล

15.5.4 พอลิยีน

การนำเข้าสู่บทเรียนหัวข้อนี้ ครูอาจทบทวนลักษณะพันธุกรรมของถั่วลันเตาแต่ละลักษณะที่เมนเดลศึกษาว่าถูกควบคุมด้วยยีน 1 คู่ และตั้งประเด็นเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า ลักษณะหนึ่งๆ ของสิ่งมีชีวิตควบคุมด้วยยีนเพียงคู่เดียวเสมอไปหรือไม่และมีลักษณะทางพันธุกรรมลักษณะใดบ้างที่ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจอยากรู้ จากนั้นให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 15-14 ในหนังสือเรียน และสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีที่เกิดจากการผสมของพันธุ์แท้เมล็ดสีแดงเข้มกับเมล็ดสีขาว ครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีนกี่คู่ มีลักษณะใดเป็นลักษณะเด่น และลักษณะใดเป็นลักษณะด้อย
- รุ่น F_1 มีเมล็ดสีอะไร
- รุ่น F_1 ผสมกันเองจะได้รุ่น F_2 ที่มีสีของเมล็ดข้าวสาลีแตกต่างกันอย่างไรบ้าง

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า สีของเมล็ดข้าวสาลี ควบคุมด้วยยีน 3 คู่ โดยมีเมล็ดสีแดงเป็นลักษณะเด่น เมล็ดสีขาวเป็นลักษณะด้อย รุ่น F_1 เมล็ดสีชมพู รุ่น F_2 เมล็ดมีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่สีแดงเข้ม และมีสีแดงจางลงลดหลั่นกันลงมาจนถึงเมล็ดสีขาว

ครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนวิเคราะห์ว่า รุ่น F_1 มีเมล็ดเป็นสีชมพูและรุ่น F_2 เมล็ดมีสีแดงเข้มไปจนถึงสีขาวได้อย่างไร โดยอาจชี้แนะให้พิจารณาจากจำนวนของยีนเด่น จีโนไทป์ของแต่ละรุ่น และการแสดงออกของยีนแต่ละคู่ จากการวิเคราะห์ให้นักเรียนควรสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้



	เมล็ดสีแดงเข้ม		เมล็ดสีขาว
จีโนไทป์	$R_1R_1R_2R_2R_3R_3$	x	$r_1r_1r_2r_2r_3r_3$
เซลล์สืบพันธุ์	$R_1R_2R_3$		$r_1r_2r_3$
รุ่น F_1		$R_1r_1R_2r_2R_3r_3$	
		เมล็ดสีชมพู	

จะเห็นได้ว่ารุ่น F_1 มีเมล็ดสีชมพู เนื่องจากจีโนไทป์มีแอลลีลเด่นและแอลลีลด้อยจำนวนเท่ากันคือ 3 แอลลีล ฟีนอไทป์มีลักษณะกึ่งกลาง เมื่อให้ F_1 ผสมกันเองจะได้รุ่น F_2 ที่มีจีโนไทป์แตกต่างกันเป็น 7 กลุ่ม ตั้งแต่มีสีแดงเข้ม สีแดงจางลง สีชมพู จนถึงสีขาว ขึ้นอยู่กับจำนวนของแอลลีลเด่น ถ้ามีแอลลีลเด่นมากเมล็ดจะเป็นสีแดง ทำนองเดียวกันถ้าแอลลีลเด่นมีจำนวนน้อยเมล็ดจะเป็นสีแดงจางลงมา ถ้ามีจำนวนแอลลีลเด่นเท่ากับแอลลีลด้อย เมล็ดจะเป็นสีชมพู ถ้าไม่มีแอลลีลเด่นเมล็ดจะเป็นสีขาว

สำหรับคำถามในหนังสือเรียนมีแนวการตอบดังนี้



เมล็ดข้าวสาลีในรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์กี่แบบ คิดเป็นอัตราส่วนเท่าใดและโอกาสที่จะมีฟีโนไทป์เหมือนพ่อแม่เป็นเท่าใด



รุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ 7 แบบ คือเมล็ดสีแดงเข้ม เมล็ดสีแดง เมล็ดสีแดงอ่อน เมล็ดสีชมพูเข้ม เมล็ดสีชมพูอ่อน และเมล็ดสีขาว ในอัตราส่วน 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1 และมีฟีโนไทป์เหมือนพ่อแม่ (F_1) คือ $R_1r_1R_2r_2R_3r_3$ เท่ากับ 20/64 หรือ 5/16



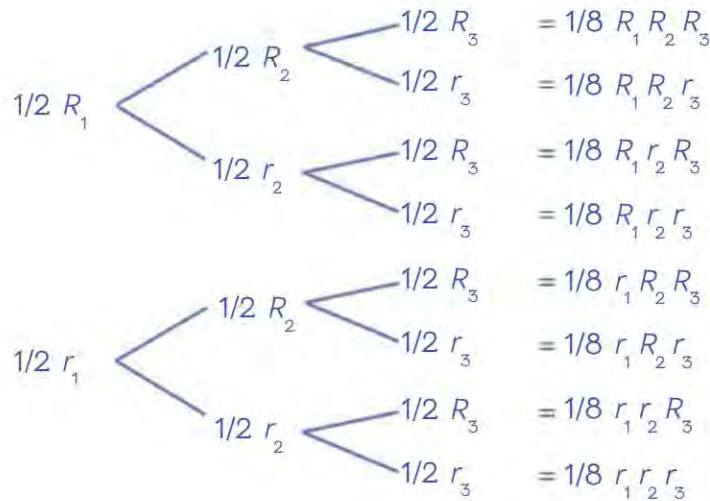
นักเรียนคิดว่าความเข้มของสีเมล็ดข้าวสาลีขึ้นอยู่กับอะไร



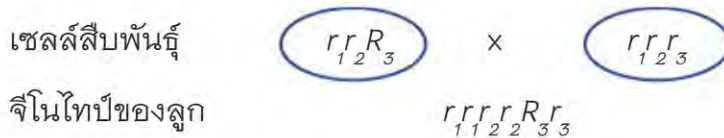
สีของเมล็ดข้าวสาลีขึ้นอยู่กับจำนวนของแอลลีลเด่นในจีโนไทป์

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้
เมล็ดที่มีจีโนไทป์ $R_1r_1R_2r_2R_3r_3$ เมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โอกาสที่จะสร้างเซลล์ไข่แบบ $r_1r_2r_3$ และ $R_1r_2R_3$ มีโอกาสเท่าใด ถ้า $r_1r_2r_3$ เป็นสเปิร์ม เมื่อผสมกับเซลล์ไข่แบบ $r_1r_2r_3$ จะได้ลูกที่มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์เป็นอย่างไร

ครูอาจชี้แนะการหาชนิดของเซลล์สืบพันธุ์ของจีโนไทป์ $R_1r_1R_2r_2R_3r_3$ โดยวิธีแตกแขนงและร่วมกันอภิปราย ดังนี้



จากการอภิปรายนักเรียนสรุปได้ว่าโอกาสที่จะเกิดเซลล์สืบพันธุ์แบบ $r_1 r_2 r_3$ เป็น $1/8$ และโอกาสที่จะเกิดเซลล์สืบพันธุ์แบบ $R_1 R_2 R_3$ เป็น $1/8$ ถ้า $r_1 r_2 R_3$ เป็นสเปิร์มผสมกับเซลล์ไข่แบบ $r_1 r_2 r_3$ จะได้ลูกที่มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้



ลูกจะมีจีโนไทป์ $r_1 r_1 r_2 r_2 R_3 r_3$ ซึ่งมีแอลลีลเด่น 1 แอลลีล แอลลีลด้อย 5 แอลลีล ฟีโนไทป์จึงเป็นเมล็ดสีชมพูอ่อนมาก

จากการตอบคำถามและการอภิปราย นักเรียนควรตอบความหมายของพอลิยีนได้ว่า ลักษณะทางพันธุกรรมลักษณะหนึ่งควบคุมด้วยยีนหลายคู่ ในหลายตำแหน่ง ยีนเด่นแต่ละคู่ แสดงผลต่อลักษณะต่างๆ กัน เช่น $R_1 R_1$ แสดงลักษณะเด่นต่างๆ กับ $R_2 R_2$ หรือ $R_3 R_3$ ครู อาจชี้แจงเพิ่มเติมเกี่ยวกับการถ่ายทอดสีของเมล็ดข้าวสาลี ซึ่งนิลส์สัน-เอิล ได้เสนอสมมติฐาน ยีนหลายคู่เพื่ออธิบายลักษณะที่เป็นพอลิยีนจะควบคุมด้วยยีนหลายคู่ ยีนเด่นแต่ละคู่แสดงผล ต่อลักษณะนั้นต่างๆ กัน และมีการแสดงออกแบบสะสม (additive effect) คือ ถ้ามียีนเด่น มากก็แสดงผลเป็นสีแดงมาก ถ้ามียีนเด่นน้อยก็แสดงผลสีแดงน้อย คำว่า พอลิยีน (polygene) เดิมใช้คำว่า มัลติเปิลยีน (multiple gene)

ให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 15-15 แสดงสีตาของคน ในหนังสือเรียน โดยครูอาจตั้งคำถาม เพื่อนำอภิปรายเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะสีตาของคนและสีของเมล็ดข้าวสาลีว่ามีลักษณะ ใดเหมือนกัน ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่าลักษณะทางพันธุกรรมทั้งสองลักษณะควบคุมด้วยยีน หลายคู่ในหลายตำแหน่ง ทำให้ฟีโนไทป์แตกต่างกันเล็กน้อยลดหลั่นตามจำนวนของยีนเด่น ลักษณะที่แตกต่างกันเช่นนี้เรียกว่า ลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่องหรือลักษณะ



เชิงปริมาณ เช่น ความสูง สติปัญญา เป็นต้น ลักษณะใดที่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน จะถูกควบคุมด้วยยีน 1 คู่ ใน 1 ตำแหน่ง ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ลักษณะแปรผันไม่ต่อเนื่อง หรือลักษณะเชิงคุณภาพ เช่น การมีลักยิ้ม การห่อลิ้น เป็นต้น

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนสังเกตลักษณะของนักเรียนในห้องว่ามีลักษณะใดเป็นลักษณะแปรผันไม่ต่อเนื่องและลักษณะใดที่เป็นลักษณะแปรผันต่อเนื่อง

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้



การควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมโดยมัลติเปิลแอลลีลแตกต่างจากการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมด้วยพอลิยีนอย่างไร



การเปรียบเทียบลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีลและลักษณะที่ควบคุมด้วยพอลิยีนมีดังนี้

ลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีล	ลักษณะที่ควบคุมด้วยพอลิยีน
1. ควบคุมด้วยยีน 1 คู่ ในบุคคลหนึ่ง	1. ควบคุมด้วยยีนหลายคู่ ในบุคคลหนึ่ง
2. ควบคุมด้วยยีนหลายแอลลีลในตำแหน่งเดียวกันบนฮอโมโลกัสโครโมโซม	2. ควบคุมด้วยยีนในหลายตำแหน่งของฮอโมโลกัสโครโมโซมต่างคู่กัน
3. ลักษณะที่แสดงออกมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดเป็นการแปรผันแบบไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variation)	3. ลักษณะที่แสดงออกจะแตกต่างกันเล็กน้อยมีความลดหลั่นจากมากที่สุดไปยั้่น้อยที่สุดของลักษณะนั้นเป็นการแปรผันแบบต่อเนื่อง (continuous variation)
4. สิ่งแวดล้อมมีผลต่อการแสดงออกน้อยมากหรือไม่มีเลย	4. สิ่งแวดล้อมมีผลต่อการแสดงลักษณะ
5. เป็นลักษณะเชิงคุณภาพ (qualitative trait)	5. เป็นลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait)

15.5.5 ยีนบนโครโมโซมเพศ

การนำเข้าสู่หัวข้อนี้ ควรทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับออโตโซมและโครโมโซมเพศ ครูอาจตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศแตกต่างจากการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซมอย่างไร เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสนใจอยากรู้ ให้นักเรียนยกตัวอย่างการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซม ทั้งลักษณะที่ถ่ายทอดตามกฎของเมนเดล เช่น ลักษณะของถั่วลันเตาที่เมนเดลศึกษาและลักษณะที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล เช่น หมู่เลือดระบบ ABO สีตา ลักษณะเส้นผม พร้อมทั้งเขียนจีโนไทป์



ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า **บนโครโมโซมเพศมียีนหรือไม่ ถ้ามียีนการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศจะเหมือนกับการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซมหรือไม่ อย่างไร**

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาโครโมโซมของแมลงหวี่จากการทดลองของมอร์แกน และภาพที่ 15-18 ในหนังสือเรียนครูอาจให้นักเรียนตั้งคำถามที่นักเรียนอยากทราบ โดยมีแนวคำถามดังนี้

- **แมลงหวี่เพศเมียและเพศผู้มีโครโมโซมเป็นอย่างไร**

นักเรียนควรสรุปได้ว่าแมลงหวี่เพศผู้และเพศเมียมีจำนวนโครโมโซม 8 แท่งเท่ากัน ต่างกันที่โครโมโซมเพศ โดยเพศเมียมีจำนวนโครโมโซมเป็น $6+XX$ เพศผู้มีจำนวนโครโมโซมเป็น $6+XY$ จากนั้นจึงให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากการทดลองการผสมพันธุ์ของแมลงหวี่จากภาพที่ 15-19 ในหนังสือเรียน แล้ววิเคราะห์การทดลอง ซึ่งอาจสรุปเป็นลำดับได้ดังนี้

ในธรรมชาติแมลงหวี่เพศผู้และเพศเมียมีตาสีแดง เมื่อผสมแมลงหวี่หลายชั่วรุ่นจะพบแมลงหวี่เพศผู้บางตัวตาสีขาว

แมลงหวี่เพศผู้ตาสีขาว ผสมกับแมลงหวี่เพศเมียตาสีแดง ได้ลูกรุ่น F_1 ทุกตัวตาสีแดง รุ่น F_2 เพศเมียทุกตัวตาสีแดง และเพศผู้ตาสีแดง : เพศผู้ตาสีขาว เท่ากับ 1 : 1

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

จากผลการทดลองการถ่ายทอดลักษณะสีตาของแมลงหวี่ นักเรียนทราบหรือไม่ว่าลักษณะใดเป็นลักษณะเด่นและลักษณะใดเป็นลักษณะด้อย



ตาสีแดงเป็นลักษณะเด่น ตาสีขาวเป็นลักษณะด้อย

ครูตั้งคำถามจากภาพที่ 15-19 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ว่าเหตุใดแมลงหวี่ตาสีขาวในรุ่น F_2 จึงปรากฏในเพศผู้และแมลงหวี่เพศเมียมีโอกาสเป็นตาสีขาวได้หรือไม่ โดยให้นักเรียนอภิปรายอย่างอิสระ

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 15-20 ในหนังสือเรียน แล้วร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนควบคุมสีตาแมลงหวี่ในเพศผู้และเพศเมีย จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่ายีนด้อยบนโครโมโซม X จะมีโอกาสแสดงออกได้ในเพศผู้มากกว่าเพศเมีย เนื่องจากเพศผู้มีโครโมโซม X เพียง 1 แท่ง ดังนั้นแมลงหวี่เพศผู้ที่ได้รับโครโมโซม X ซึ่งมียีนด้อยมาจากแม่จะแสดงผลได้ทันที ส่วนเพศเมียจะต้องได้รับโครโมโซม X ที่มียีนด้อยมาจากพ่อและแม่จึงจะแสดงลักษณะนั้นได้

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้





ยีนควบคุมลักษณะสีตาของแมลงหวี่มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมชนิดใด



โครโมโซม X



แมลงหวี่เพศเมียจะมีโอกาสมีตาสีขาวได้หรือไม่ อย่างไร



เพศเมียจะมีโอกาสมีตาสีขาวได้ เมื่อมียีนควบคุมตาสีขาวบนโครโมโซม X ที่ได้รับมาจากพ่อและแม่

ครูอาจขยายความรู้ให้กับนักเรียนว่า การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศ เรียกว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับเพศ หากยีนมีตำแหน่งบนโครโมโซม X เรียกว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับ X (X-linked gene) ถ้ายีนมีตำแหน่งบนโครโมโซม Y เรียกว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับ Y (Y-linked gene) สำหรับการถ่ายทอดลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศในคน ครูอาจชี้แนะว่ายีนบนโครโมโซม X มีทั้งยีนเด่นและยีนด้อย จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม X ในหนังสือเรียนและหนังสือพันธุศาสตร์ทั่วไป และเน้นให้นักเรียนเห็นความสำคัญว่ายีนบางยีนก่อให้เกิดโรคหรือลักษณะผิดปกติ เช่น โรคตาบอดสี ฮีโมฟีเลีย เป็นต้น

ครูให้นักเรียนศึกษาการถ่ายทอดลักษณะตาบอดสีของคนจากภาพที่ 15-21 ในหนังสือเรียนแล้วตอบคำถามซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ชายคนที่ 1 และคนที่ 4 ในรุ่นที่ III ได้รับการถ่ายทอดยีนตาบอดสีมาได้อย่างไร



ชายคนที่ 1 ได้รับยีนตาบอดสีมาจากแม่หมายเลข 1 รุ่นที่ II และชายคนที่ 4 ได้รับยีนตาบอดสีมาจากแม่หมายเลข 2 รุ่นที่ II ซึ่งแม่หมายเลข 1 และ 2 นี้จะเป็นพาหะ โดยได้รับยีนตาบอดสีจากพ่อรุ่นที่ I



ลักษณะตาบอดสีส่วนใหญ่ปรากฏในเพศใด และลูกสาวจะมีโอกาสเป็นตาบอดสีได้เมื่อพ่อแม่มีจีโนไทป์เป็นอย่างไร



ลักษณะตาบอดสีส่วนใหญ่พบในเพศชาย ลูกสาวจะมีโอกาสเป็นตาบอดสีเมื่อได้รับยีนตาบอดสีมาจากพ่อ ซึ่งมีจีโนไทป์เป็น X^cY และจากแม่ซึ่งอาจมีจีโนไทป์เป็น X^cX^c หรือ X^cX^c

ครูตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซมและยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ โดยมีแนวคำถามดังนี้

- การถ่ายทอดยีนบนออโตโซม จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศชายและเพศหญิงได้เท่ากันหรือไม่



- การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม X จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศหญิงและเพศชายหรือไม่ อย่างไร
- ถ้ายีนบนโครโมโซม X เป็นยีนด้อยหรือเป็นยีนเด่น จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศใดมากกว่ากัน เพราะเหตุใด

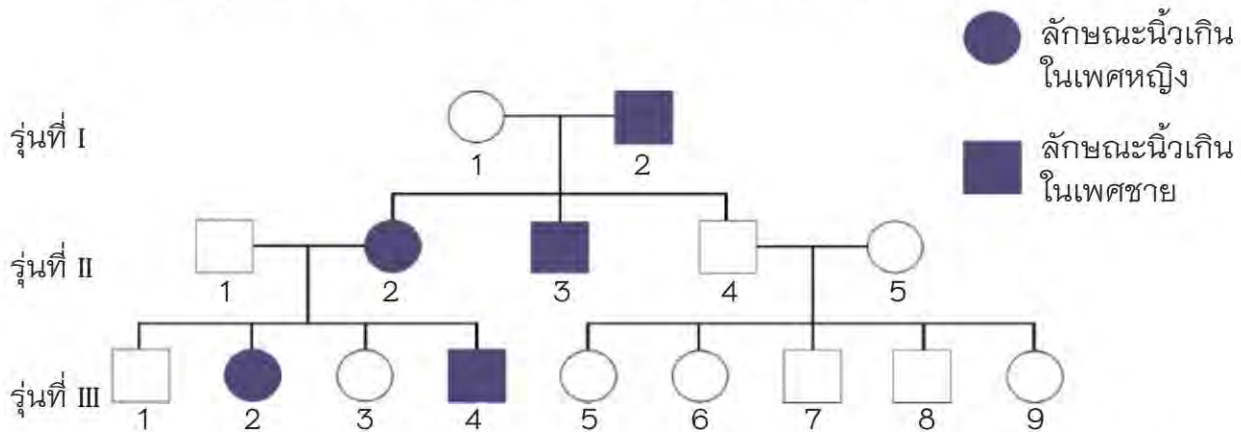
จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากหนังสือเรียน ร่วมกันอภิปรายและวิเคราะห์การถ่ายทอดยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ

จากการอภิปรายและการวิเคราะห์ นักเรียนควรตอบได้ว่าการถ่ายทอดลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม จะปรากฏทั้งสองเพศได้เท่าๆ กัน ส่วนการถ่ายทอดลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม X จะปรากฏลักษณะในเพศหนึ่งมากกว่าอีกเพศหนึ่ง แล้วแต่ว่ายีนบนโครโมโซม X เป็นยีนเด่นหรือยีนด้อย ถ้าเป็นยีนเด่นจะปรากฏลักษณะในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย เช่น ลักษณะฟันเป็นสีน้ำตาล ถ้าเป็นยีนด้อยจะปรากฏลักษณะในเพศชายมากกว่าเพศหญิง เช่น ลักษณะตาบอดสี โรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบ เป็นต้น

ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้แก่ นักเรียน โดยให้นักเรียนศึกษาพันธุประวัติดังตัวอย่างนี้ แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์

ตัวอย่างพันธุประวัติของลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม

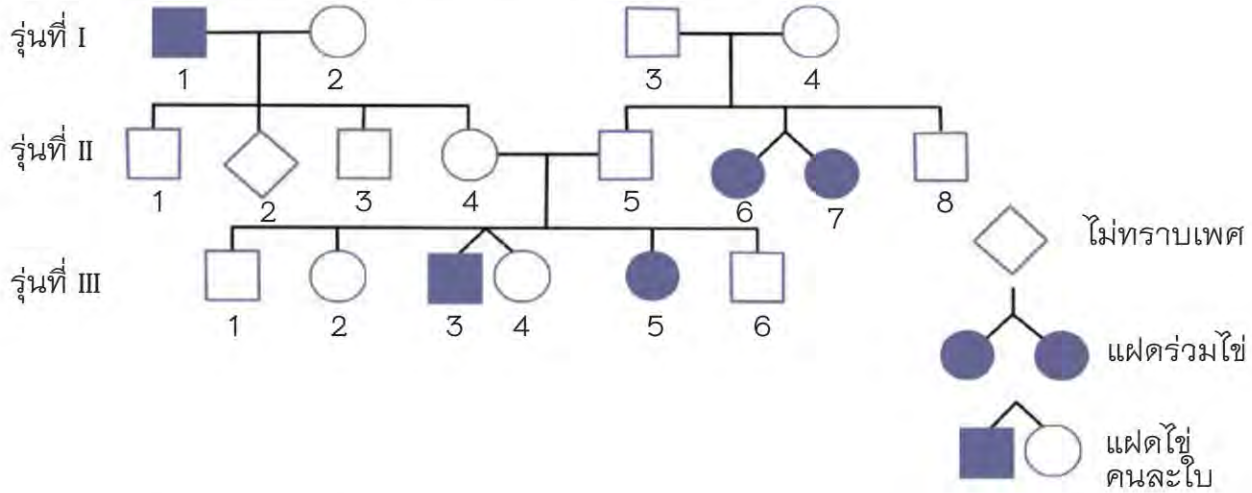
1. พันธุประวัติของลักษณะการมีนิ้วเกินของครอบครัวหนึ่ง



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



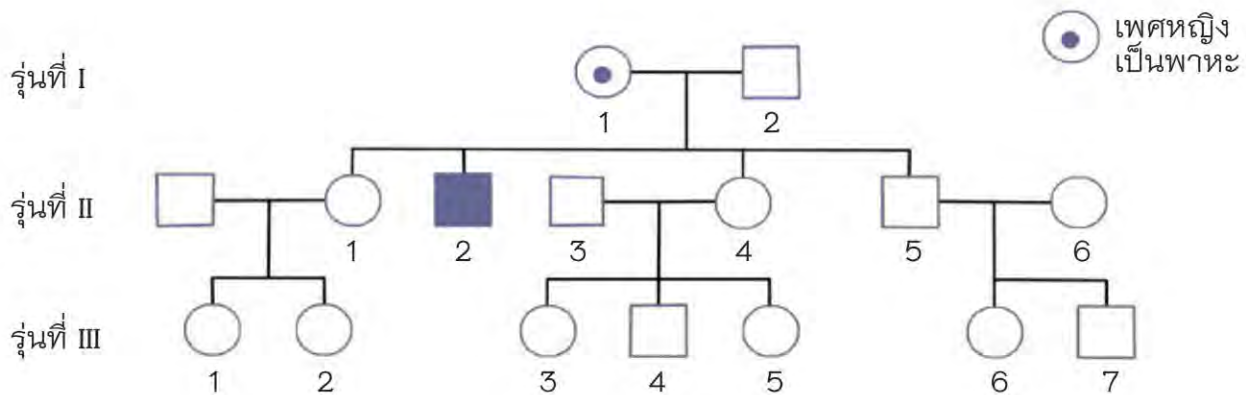
2. พันธุประวัติของลักษณะผิวเผือกของครอบครัวหนึ่ง



- พ่อแม่ที่ปกติ (คนที่ 3 และคนที่ 4 ในรุ่นที่ I) มีลูกผิวเผือก (คนที่ 6 และคนที่ 7 ในรุ่นที่ II) แสดงว่าพ่อแม่เป็นเฮเทอโรไซกัส และลักษณะผิวเผือกนี้ถูกควบคุมด้วยยีนด้อย
- เกิดขึ้นได้ทั้งเพศหญิงและเพศชายเท่าๆ กัน

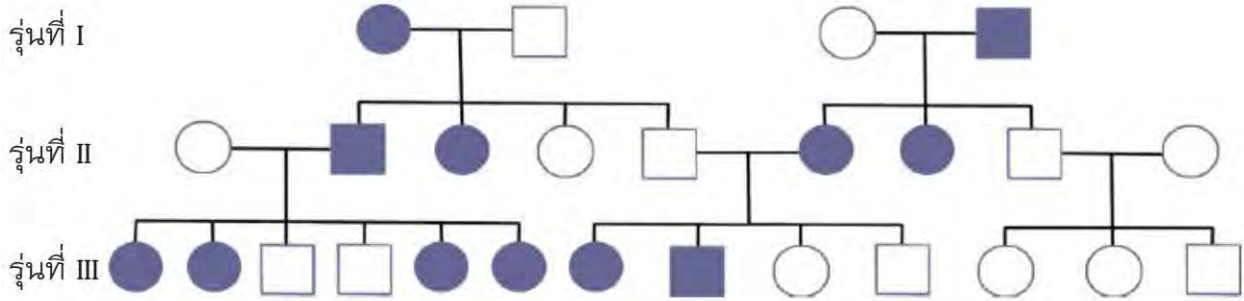
ตัวอย่างพันธุประวัติของลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซมเพศ

1. พันธุประวัติของโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD



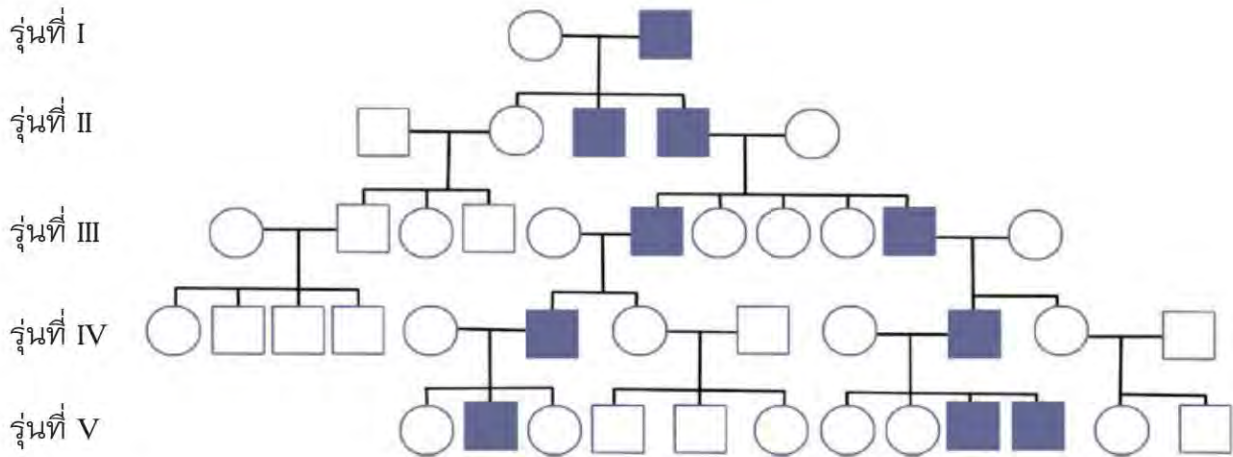
- พ่อปกติและแม่เป็นพาหะในรุ่นที่ I ลูกชายจะเป็นโรค G-6-PD ได้โดยได้รับยีนด้อยจากแม่ และลูกสาวมีโอกาสเป็นพาหะโดยได้รับยีนด้อยจากแม่เช่นกัน
- โรคภาวะพร่องเอนไซม์นี้ปรากฏในเพศชาย โดยได้รับยีนจากแม่เพียงยีนเดียวก็สามารถแสดงออกได้ ส่วนเพศหญิงต้องได้รับยีนจากทั้งพ่อและแม่ แสดงว่าลักษณะนี้ควบคุมด้วยยีนด้อยบนโครโมโซม X

2. พันธุประวัติของโรคกระดูกอ่อนในครอบครัวหนึ่ง



- พ่อหรือแม่เป็นโรคกระดูกอ่อน ลูกจะเป็นโรคกระดูกอ่อนทุกชั่วรุ่นแต่ไม่เป็นทุกคน แสดงว่าโรคกระดูกอ่อนเป็นลักษณะเด่น
- ถ้าแม่เป็นโรคกระดูกอ่อน ลูกสาวและลูกชายจะมีโอกาสเป็นโรคกระดูกอ่อน
- ถ้าพ่อเป็นโรคกระดูกอ่อน ลูกสาวทุกคนจะเป็นโรคกระดูกอ่อนแต่ลูกชายไม่เป็น
- โรคกระดูกอ่อนจะปรากฏลักษณะในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย แสดงว่าลักษณะนี้ควบคุมด้วยยีนเด่นบนโครโมโซม X

3. ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม Y



- ถ้าพ่อมีลักษณะที่ต้องการศึกษา และปรากฏลักษณะในลูกหลานที่เป็นเพศชายเท่านั้น แสดงว่าลักษณะนี้ถูกควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนโครโมโซม Y

จากการอธิบายเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ นักเรียนควรสรุปหลักเกณฑ์การถ่ายทอดลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม และยีนบนโครโมโซมเพศที่ได้จากการวิเคราะห์พันธุประวัติ ดังนี้



หลักเกณฑ์การวิเคราะห์พันธุประวัติ ให้พิจารณา

1. ลักษณะที่ต้องการศึกษา เกิดทั้งในเพศหญิงและเพศชายในอัตราส่วนใกล้เคียงกัน อาจสรุปได้ว่าลักษณะนี้ควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม ถ้าลักษณะนี้เกิดในเพศใดเพศหนึ่งหรือเกิดในเพศหนึ่งมากกว่าอีกเพศหนึ่ง อาจสรุปว่ายีนที่ควบคุมลักษณะอยู่บนโครโมโซมเพศ
2. ลักษณะที่ต้องการศึกษา พบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง อาจสรุปว่ายีนที่ควบคุมลักษณะนี้เป็นยีนด้อยบนโครโมโซม X แต่ถ้าพบลักษณะนี้ในเพศหญิงมากกว่าเพศชายอาจสรุปว่ายีนที่ควบคุมลักษณะนี้เป็นยีนเด่นบนโครโมโซม X
3. ลักษณะที่ต้องการศึกษา ถ้าเกิดในรุ่นพ่อแม่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือทั้ง 2 ฝ่าย และลักษณะนี้เกิดขึ้นในลูกทุกชั่วรุ่น แสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะดังกล่าวอาจเป็นยีนเด่น ถ้าไม่พบลักษณะนี้ในรุ่นพ่อแม่ แต่เกิดในรุ่นลูกบางชั่วรุ่นแสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะอาจเป็นยีนด้อย
4. ลักษณะที่ต้องการศึกษาเกิดเฉพาะในเพศชาย มีการถ่ายทอดยีนจากพ่อไปยังลูกชายทุกคน แสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะนั้นอยู่บนโครโมโซม Y

สำหรับคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซม X เป็นไปตามกฎของเมนเดลหรือไม่ อย่างไร



ไม่เป็นไปตามกฎของเมนเดล เนื่องจากการถ่ายทอดยีนตามกฎของเมนเดลเป็นการถ่ายทอดยีนบนออโตโซมจะปรากฏลักษณะทั้งเพศชายและเพศหญิงได้เท่าๆ กัน แต่การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม X จะปรากฏลักษณะในเพศหนึ่งมากกว่าอีกเพศหนึ่ง



ถ้าแม่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย พ่อปกติ ลูกชายและลูกสาวจะมีโอกาสเป็นโรคฮีโมฟีเลียทุกคนหรือไม่ อย่างไร



ลูกชายเป็นโรคฮีโมฟีเลียทุกคน ส่วนลูกสาวทุกคนเป็นพาหะ



นักเรียนจะสรุปได้อย่างไรว่าลักษณะใดถูกควบคุมด้วยยีนเด่นหรือยีนด้อยบนโครโมโซม X



ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนเด่นบนโครโมโซม X จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย ส่วนลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนด้อยบนโครโมโซม X จะมีโอกาสปรากฏลักษณะในเพศชายมากกว่าเพศหญิง



ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนโครโมโซม Y จะปรากฏในลูกสาวได้หรือไม่ เพราะเหตุใด



ไม่ได้ เพราะลูกสาวไม่มีโครโมโซม Y


กิจกรรมที่ 15.4 การแก้โจทย์ปัญหา เรื่องลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนบนโครโมโซมเพศ

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ

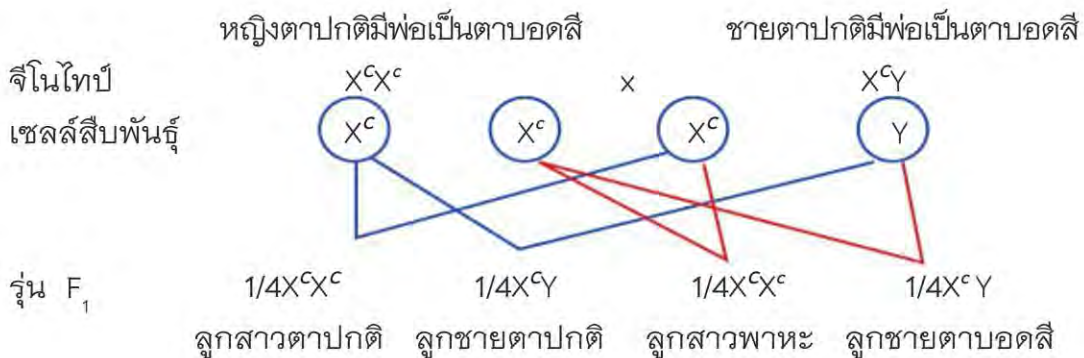
- เขียนจีโนไทป์ของลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซมเพศตามสถานการณ์ที่กำหนดให้
- หาโอกาสในการเกิดจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลูกรุ่น F_1

แนวการตอบกิจกรรมที่ 15.4

- หญิงคนหนึ่งตาปกติมีพ่อเป็นโรคตาบอดสี แต่งงานกับชายตาปกติ ซึ่งมีพ่อเป็นโรคตาบอดสี จงหาโอกาสของลูกที่จะเป็นโรคตาบอดสี

 หญิงตาปกติแต่มีพ่อตาบอดสี แสดงว่าหญิงคนนี้เป็นพาหะของโรคตาบอดสีและมีจีโนไทป์เป็น $X^C X^c$ โดยแอลลีล X^c ได้รับการถ่ายทอดมาจากพ่อซึ่งเป็นตาบอดสี ส่วนชายตาปกติมีพ่อตาบอดสี จะไม่รับการถ่ายทอดยีนตาบอดสีจากพ่อจึงมีจีโนไทป์เป็น $X^C Y$ ดังนั้นจะมีโอกาสที่ลูกตาบอดสีเท่ากับ $1/4$ และเกิดกับลูกชายดังนี้

กำหนดให้ C แทนยีนควบคุมลักษณะตาปกติ c แทนยีนควบคุมลักษณะตาบอดสี

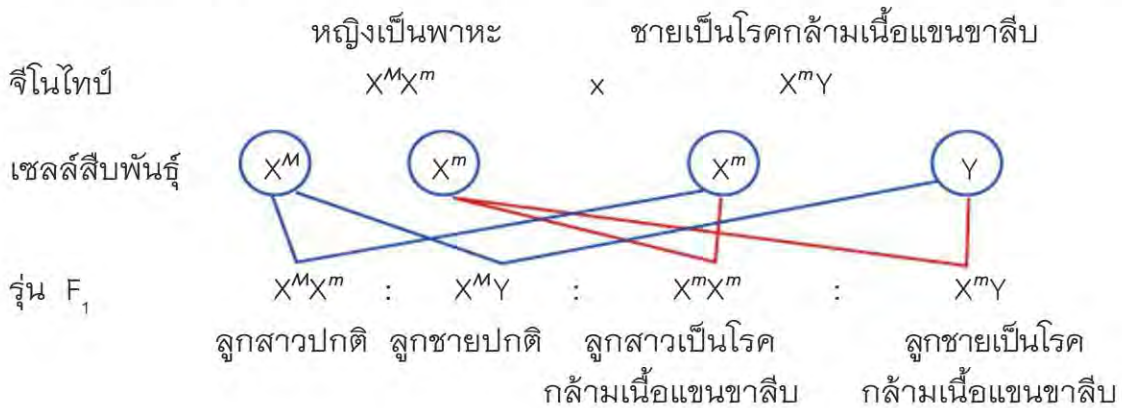


- โรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบเป็นลักษณะด้อยบนโครโมโซม X ถ้าชายเป็นโรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบแต่งงานกับหญิงที่เป็นพาหะ ลูกจะมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์เป็นอย่างไร อัตราส่วนเท่าใด

 จะได้ลูกที่มีลักษณะปกติ : ลูกที่เป็นโรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบ ในอัตราส่วน 1 : 1 และเกิดกับลูกสาวและลูกชายในอัตราส่วน 1 : 1 ดังนี้



กำหนดให้ M แทนยีนควบคุมลักษณะปกติ m แทนยีนควบคุมโรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบ

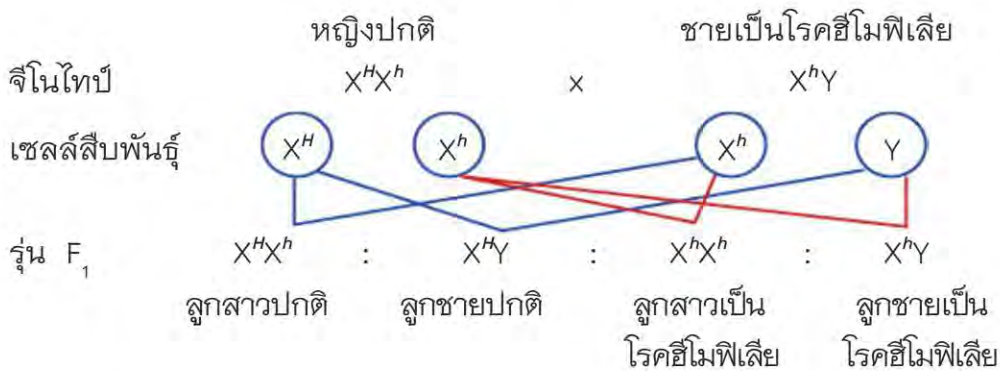


3. โรคฮีโมฟีเลียควบคุมด้วยยีนด้อยบนโครโมโซม X หญิงปกติคนหนึ่งแต่งงานกับชายที่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย มีลูกสาวคนหนึ่งเป็นโรคฮีโมฟีเลีย จงหา

3.1 จีโนไทป์ของหญิงชายคู่นี้

จากข้อมูลที่ว่าเมื่อหญิงคนนี้แต่งงานกับชายเป็นโรคฮีโมฟีเลีย ซึ่งมีจีโนไทป์ $X^h Y$ และมีลูกสาวคนหนึ่งเป็นโรคฮีโมฟีเลีย แสดงว่าลูกสาวได้รับยีน X^h มาจากพ่อและแม่ ดังนั้นแม่จึงเป็นพาหะ มีจีโนไทป์เป็น $X^H X^h$ ดังนี้

กำหนดให้ H แทนยีนควบคุมลักษณะปกติ h แทนยีนควบคุมโรคฮีโมฟีเลีย



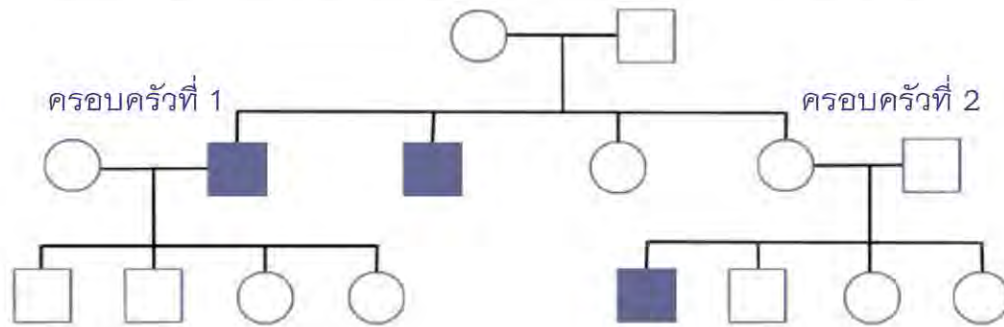
3.2 จีโนไทป์ของลูกชายและลูกสาวทุกคน

ลูกชายมีจีโนไทป์เป็น $X^H Y$ และ $X^h Y$ ส่วนลูกสาวมีจีโนไทป์ $X^H X^h$ และ $X^h X^h$


3.3 ลูกสาวที่เป็นโรคฮีโมฟีเลียคิดเป็นร้อยละเท่าใดของลูกสาวทั้งหมด

ลูกสาวเป็นโรคฮีโมฟีเลียร้อยละ 50


4. จากพันธุประวัติของครอบครัวหนึ่งที่มีประวัติเกี่ยวกับโรคฮีโมฟีเลีย




4.1 เพราะเหตุใดครอบครัวที่ 1 จึงมีลูกชายที่ไม่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย

 ครอบครัวที่ 1 มีพ่อเป็นโรคฮีโมฟีเลีย จึงจะถ่ายทอดยีน X^h ให้กับลูกสาวเท่านั้น ดังนั้นลูกชายจึงไม่เป็นโรคนี้อ

4.2 เพราะเหตุใดครอบครัวที่ 2 จึงมีลูกชายคนหนึ่งเป็นโรคฮีโมฟีเลีย


 ลูกชายคนหนึ่งในครอบครัวที่ 2 เป็นโรคฮีโมฟีเลีย ถ้ากำหนดให้ H แทนยีนควบคุมลักษณะปกติ h แทนยีนควบคุมลักษณะฮีโมฟีเลีย แสดงว่าแม่เป็นพาหะมีจีโนไทป์ $X^H X^h$ และถ่ายทอดยีน X^h ให้กับลูกชายคนหนึ่ง

4.3 ลูกสาวของครอบครัวใดที่เป็นพาหะทุกคน เป็นเพราะเหตุใด


 ลูกสาวของครอบครัวที่ 1 เป็นพาหะของโรคฮีโมฟีเลียทุกคน เพราะพ่อเป็นโรคฮีโมฟีเลีย และถ่ายทอดยีน X^h ให้กับลูกสาวทุกคน

5. หมู่เลือดระบบ ABO ในคนควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม โรคตาบอดสีควบคุมด้วยยีนด้อยบนโครโมโซมเพศ พ่อและแม่มีเลือดหมู่ A และตาปกติทั้งคู่ มีลูกชายคนหนึ่งมีเลือดหมู่ O และตาบอดสี จงหาอัตราส่วนของฟีโนไทป์ ดังต่อไปนี้

5.1 ถ้าลูกสาวของพ่อแม่คู่นี้มีเลือดหมู่ O และตาปกติ

 ลูกสาวของพ่อแม่คู่นี้มีเลือดหมู่ O และตาปกติในอัตราส่วน 2/16

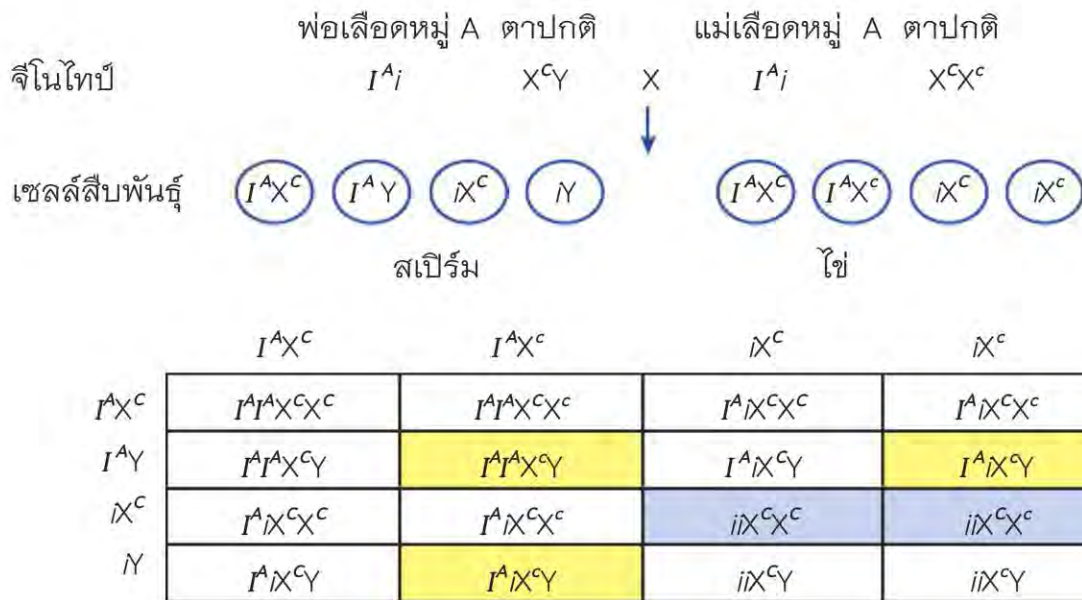
5.2 ถ้าลูกชายของพ่อแม่คู่นี้มีเลือดหมู่ A และตาบอดสี

 ลูกชายของพ่อแม่คู่นี้มีเลือดหมู่ A และตาบอดสีในอัตราส่วน 3/16

พ่อและแม่มีเลือดหมู่ A ตาปกติทั้งคู่ มีลูกเป็นเลือดหมู่ O ตาปกติ ดังนั้นจีโนไทป์ของเลือดหมู่ A ของพ่อและแม่จะเป็น $I^A i$ ลูกจะได้รับ i จากพ่อและแม่มาเข้าคู่กันเป็นเลือดหมู่ O ส่วนจีโนไทป์ของตาปกติของพ่อและแม่จะเป็น $X^C Y$ และ $X^C X^c$ ตามลำดับ เนื่องจากลูกชายตาบอดสี



จะได้ยีนโรคตาบอดสีจากแม่ที่เป็นพาหะ ดังนั้นลูกสาวมีเลือดหมู่ A และมีตาปกติ จะได้รับ ยีนตาปกติมาจากพ่อ คือ X^CY และมาจากแม่ตาปกติ มีจีโนไทป์ X^CX^c



ลูกสาวที่มีเลือดหมู่ O และตาปกติ มีโอกาสเกิดในอัตราส่วน $2/16$ โดยอาจมีจีโนไทป์เป็น $ii X^C X^C$ หรือ $ii X^C X^c$

ลูกชายที่มีเลือดหมู่ A และตาบอดสี มีโอกาสเกิดในอัตราส่วน $3/16$ โดยอาจมีจีโนไทป์เป็น $I^A I^A X^c Y$ หรือ $I^A i X^c Y$

15.5.6 ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน

การนำเข้าสู่บทเรียน ครูอาจตั้งคำถามว่ายีนที่ควบคุมลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต แต่ละชนิดมีจำนวนมาก ถ้ายีนต่างๆ อยู่บนโครโมโซมเดียวกัน เมื่อมีการถ่ายทอดยีนไปสู่เซลล์สืบพันธุ์ยีนเหล่านี้จะถูกถ่ายทอดไปด้วยกันหรือไม่ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายอย่างอิสระ โดยใช้ความรู้เดิมที่นักเรียนได้เรียนมาแล้วเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมต่างคู่กันประกอบการอภิปราย

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ยีนเหล่านี้จะถูกถ่ายทอดไปด้วยกันได้ จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับลิงค์เกจ (linkage) ว่า การที่ยีน 2 โลคัสหรือมากกว่า 2 โลคัสมีการถ่ายทอดไปด้วยกันพร้อมๆ กัน ยีนเหล่านั้นเรียกว่า ลิงค์เกจ

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและศึกษาการผสมพันธุ์ของแมลงหวี่ลักษณะตัวสีน้ำตาลปีกตรงที่เป็นเฮเทอโรไซกัสกับลักษณะตัวสีดำปีกโค้ง จากภาพที่ 15-23 ในหนังสือเรียน แล้วร่วมกันอภิปรายและวิเคราะห์ถึงการถ่ายทอดยีนในโครโมโซมเดียวกันในประเด็นต่อไปนี้

- แมลงหวี่ตัวสีน้ำตาลปีกตรงรุ่นพ่อแม่ที่เป็นเฮเทอโรไซกัสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ที่ชนิด อะไรบ้าง
- รุ่น F_1 มีอัตราส่วนของฟีโนไทป์เป็นเท่าใด



- การถ่ายทอดยีนควบคุมลักษณะสีตัวและยีนควบคุมลักษณะปีกของแมลงหวี่ เป็นไปตามกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระของเมนเดลหรือไม่ เพราะเหตุใด

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับข้อเสนองของชัตตัน และการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเดียวกันจากหนังสือเรียน ร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเดียวกัน

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรตอบได้ว่า โครโมโซมเป็นแหล่งรวมของยีน ดังนั้นแต่ละโครโมโซมซึ่งมียีนจำนวนมากและจากการผสมพันธุ์แมลงหวี่ตัวสีน้ำตาลปีกตรงที่มีจีโนไทป์ที่เป็นเฮเทอโรไซกัสในรุ่นพ่อแม่จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 แบบ คือ BC และ bc เมื่อผสมกับแมลงหวี่ตัวสีดำปีกโค้ง ซึ่งสร้างเซลล์สืบพันธุ์แบบเดียวคือ bc จะได้รุ่น F_1 มีฟีโนไทป์ 2 แบบคือ ตัวสีน้ำตาลปีกตรงและตัวสีดำปีกโค้งในอัตราส่วน 1 : 1 ซึ่งการถ่ายทอดยีนจะไม่เป็นไปตามกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระของเมนเดล (ถ้าเป็นไปตามกฎของเมนเดล ลูกจะมีฟีโนไทป์ 4 ลักษณะอัตราส่วนเป็น 9 : 3 : 3 : 1) ครูอาจนำอภิปรายต่อไปว่าจะเป็นไปได้หรือไม่ว่าการที่ลูกมีฟีโนไทป์ 2 ลักษณะอัตราส่วน 1 : 1 เป็นเพราะยีนควบคุมสีตัวและยีนควบคุมลักษณะปีกอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน เมื่อมีการถ่ายทอดแอลลีลของยีนทั้งสองที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกันจะไปปรากฏในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกัน

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาการผสมพันธุ์แมลงหวี่ตามภาพที่ 15-24 ในหนังสือเรียน โดยตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า **ลักษณะของลูกตัวสีดำปีกตรงและตัวสีน้ำตาลปีกโค้งเกิดขึ้นได้อย่างไร** แล้วให้นักเรียนศึกษาการเกิดครอสซิงโอเวอร์ตามภาพที่ 15-25 ในหนังสือเรียน ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่ายีนบนโครโมโซมเดียวกันจะถ่ายทอดไปด้วยกัน แต่การเกิดครอสซิงโอเวอร์ที่มีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิดจะมีผลทำให้ยีนบนโครโมโซมเดียวกันที่เคยถ่ายทอดไปด้วยกันบางส่วนจะต้องแยกออกจากกันและเกิดการรวมกันใหม่ของยีน (genetic recombination) ไปปรากฏในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกันได้ เมื่อเกิดการผสมพันธุ์จึงก่อให้เกิดลักษณะที่มีความแปรผัน ซึ่งมีความสำคัญต่อวิวัฒนาการ

15.5.7 ลักษณะที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของเพศ

การนำเข้าสู่หัวข้อนี้ ครูอาจตั้งประเด็นเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

ลักษณะบางลักษณะในคนที่สัมพันธ์กับเพศจำเป็นจะต้องถูกควบคุมด้วยยีนที่อยู่โครโมโซมเพศหรือไม่ เพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบความแตกต่างของการถ่ายทอดยีนที่ควบคุมลักษณะที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของเพศ และยีนที่ควบคุมลักษณะบนโครโมโซม X

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของยีนที่ควบคุมลักษณะสีระชะล้านในเพศชายและเพศหญิงตามภาพที่ 15-26 ในหนังสือเรียน แล้วร่วมกันอภิปรายและตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวในการตอบดังนี้





ถ้าหญิงสีริษะล้านแต่งงานกับชายสีริษะไม่ล้าน ลูกสาวและลูกชายที่เกิดจากชายหญิงคู่นี้จะมีลักษณะสีริษะเป็นอย่างไร



ลูกสาวสีริษะไม่ล้านแต่เป็นพาหะ ส่วนลูกชายจะมีสีริษะล้าน

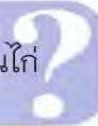
ครูควรเน้นให้นักเรียนเห็นว่าจีโนไทป์ BB^+ ให้ฟีโนไทป์ต่างกัน คือในเพศหญิงสีริษะไม่ล้าน แต่ในเพศชายสีริษะล้าน ลักษณะสีริษะล้านควบคุมด้วยยีนเด่นบนออโตโซมแต่มีการแสดงออกสัมพันธ์กับเพศ ซึ่งขึ้นอยู่กับเพศหรืออยู่ภายใต้อิทธิพลของฮอร์โมนเพศชาย ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมเพศ

15.5.8 ลักษณะที่ปรากฏจำเพาะเพศ

การนำเข้าสู่หัวข้อนี้ ให้นักเรียนศึกษาจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของไก่เพศผู้และเพศเมียตามภาพที่ 15-27 ในหนังสือเรียน แล้วร่วมกันอภิปรายถึงลักษณะขนหางของไก่ที่ควบคุมด้วยยีนที่มีจีโนไทป์แบบเดียวกัน แต่แสดงออกต่างกันในไก่เพศผู้และเพศเมีย คือจีโนไทป์ hh ทำให้เป็นขนแบบเสนในไก่เพศเมีย แต่ในไก่เพศผู้เป็นขนแบบค็อก จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



นักเรียนจะสรุปได้อย่างไรเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนที่ควบคุมลักษณะขนหางในไก่?



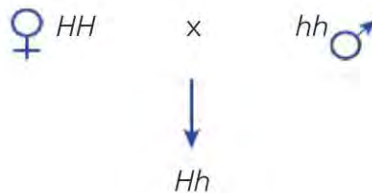
ลักษณะขนแบบค็อกในไก่ถูกจำกัดให้แสดงออกเฉพาะในไก่เพศผู้



ในการผสมพันธุ์ไก่เพศเมียขนแบบเสนกับไก่เพศผู้ขนแบบค็อก ลูกไก่ทั้งเพศผู้และเพศเมียที่เกิดขึ้นมีลักษณะขนแบบเสนทุกตัว จงหาจีโนไทป์ของพ่อแม่คู่นี้



แม่และพ่อมีจีโนไทป์ เป็น HH และ hh ตามลำดับ แสดงได้ดังนี้



ลูกทุกตัวทั้งเพศผู้และเพศเมียขนแบบเสน



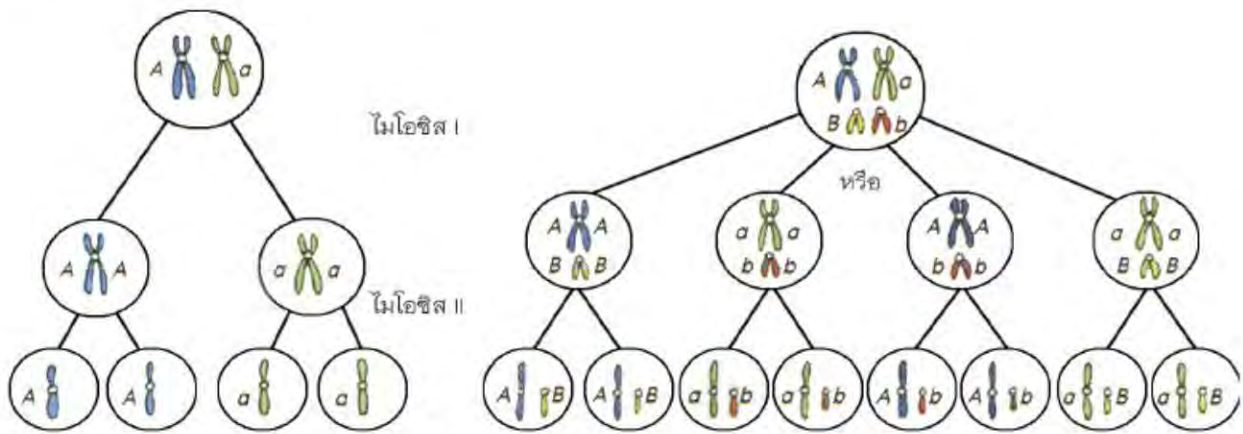
แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 15



1. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสสัมพันธ์กับกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระอย่างไร



ในระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส สอมอโลกัสโครโมโซมในเซลล์ร่างกายจะแยกจากกันไปสู่วเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์ในระยะแอนาเฟส I สอดคล้องกับกฎแห่งการแยก ซึ่งยืนยันแต่ละคู่จะแยกออกจากกันเมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์ โครโมโซมจะมารวมกลุ่มกันในเซลล์สืบพันธุ์อย่างอิสระ สอดคล้องกับกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ ซึ่งยืนยันที่แยกคู่จะรวมกลุ่มกับยีนอื่นอย่างอิสระในเซลล์สืบพันธุ์ ดังภาพ



ไมโอซิส I แสดงกฎแห่งการแยก

ไมโอซิส I แสดงกฎแห่งการแยก และกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

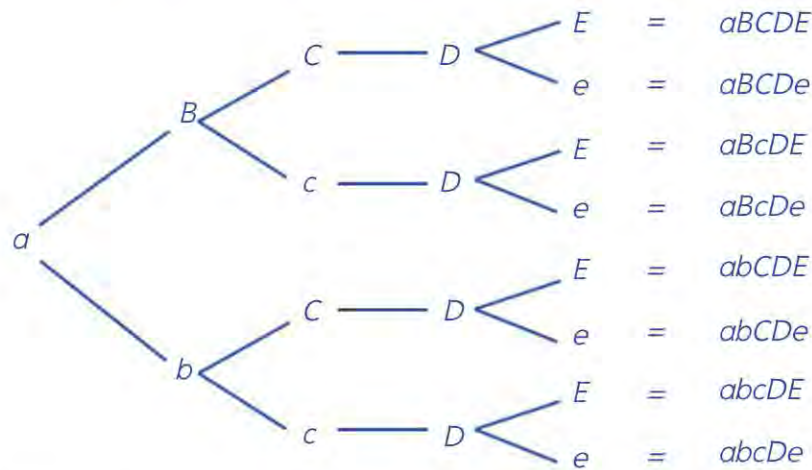


2. หนูตัวหนึ่งสร้างสเปิร์มแบบ $aBCDE$ ผสมกับเซลล์ไข่แบบ $abcDe$ จงหาจีโนไทป์ของลูกที่เกิดจากการปฏิสนธิ และลูกมีโอกาสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้กี่แบบ อะไรบ้าง




หนูตัวผู้สร้างสเปิร์มแบบ $aBCDE$ ผสมกับเซลล์ไข่แบบ $abcDe$ จะได้ลูกที่มีจีโนไทป์ $aaBbCcDDEe$ เมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์จะได้ 8 แบบ คือ $aBCDE$ $aBCDe$ $aBcDE$ $aBcDe$ $abCDE$ $abCDe$ $abcDE$ $abcDe$ ซึ่งหาได้จากวิธีต่อไปนี้





? 3. หญิงคนหนึ่งเป็นโรคตาบอดสี เมื่อแต่งงานกับชายตาปกติ


? 3.1 ลูกชายจะมีโอกาสเป็นโรคตาบอดสีหรือไม่

 ลูกชายมีโอกาเป็นโรคตาบอดสี เพราะได้รับยีนควบคุมโรคตาบอดสีมาจากแม่ ดังนั้นจึงเป็นโรคตาบอดสีทุกคน

? 3.2 ลูกสาวจะเป็นโรคตาบอดสีหรือเป็นพาหะ


 ลูกสาวเป็นพาหะโรคตาบอดสีทุกคน เพราะได้รับยีนควบคุมโรคตาบอดสีมาจากแม่และได้รับยีนตาปกติจากพ่อ

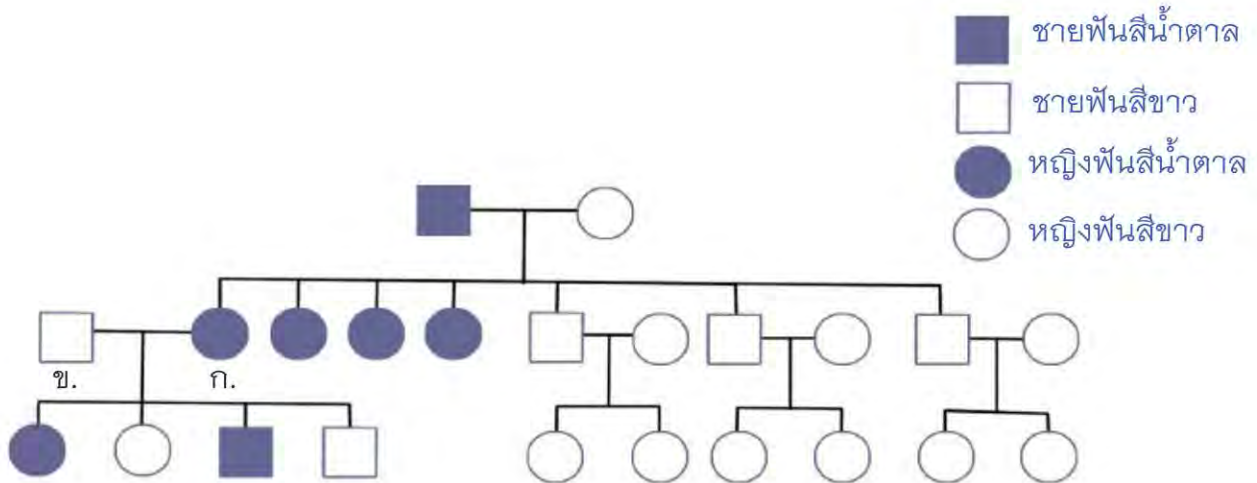
? 4. ในการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของมนุษย์ทำได้ยากกว่าในพืช จึงให้เหตุผลว่าเป็นเพราะเหตุใด

 เป็นเพราะว่ามนุษย์มีช่วงชีวิตแต่ละชั่วรุ่นยาวนาน และจำนวนของลูกหลานที่เกิดขึ้นมีจำนวนไม่มากพอ ทำให้การควบคุมการทดลองเป็นไปได้ยาก จึงทำนายการเปลี่ยนแปลงของลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ไม่ดี

? 5. ชายคนหนึ่งมีพี่น้องน้ำตาตล แต่งงานกับหญิงที่มีพี่น้องสาวทั้งคู่มีลูกทั้งหมด 7 คน สี่คนแรกเป็นลูกสาวมีพี่น้องน้ำตาตลทุกคน สามคนต่อมาเป็นลูกชาย มีพี่น้องสาวทุกคน ต่อมาลูกชายแต่ละคนของชายหญิงคู่นี้ไปแต่งงานกับหญิงพี่น้องสาว แต่ละครอบครัวมีลูกสาว 2 คน ลูกทุกคนมีพี่น้องสาว ส่วนลูกสาวคนหนึ่ง (ก) ในจำนวน 4 คนของชายหญิงคู่นี้แต่งงานกับชาย (ข) ที่มีพี่น้องสาว มีลูกทั้งหมด 4 คน ลูกสาวคนแรกมีพี่น้องน้ำตาตล ลูกสาวคนที่ 2 มีพี่น้องสาว และลูกชายคนแรกมีพี่น้องน้ำตาตล ลูกชายคนที่ 2 มีพี่น้องสาว

? 5.1 จงเขียนพันธุประวัติของครอบครัวนี้

 พันธุประวัติของครอบครัวนี้อาจเป็นดังนี้

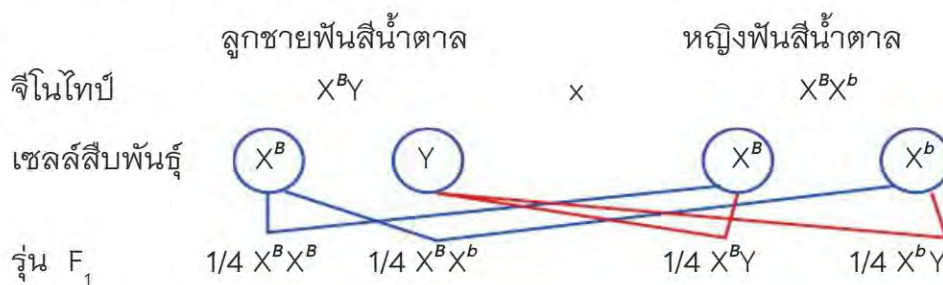


? 5.2 การถ่ายทอดลักษณะพินสีน้ำตาลของคนในครอบครัวถูกควบคุมด้วยยีนเด่นหรือยีนด้อย และยีนมีตำแหน่งอยู่ที่โครโมโซมชนิดใด

✎ ลักษณะพินเป็นสีน้ำตาลควบคุมด้วยยีนเด่น และยีนมีตำแหน่งอยู่ที่โครโมโซม X

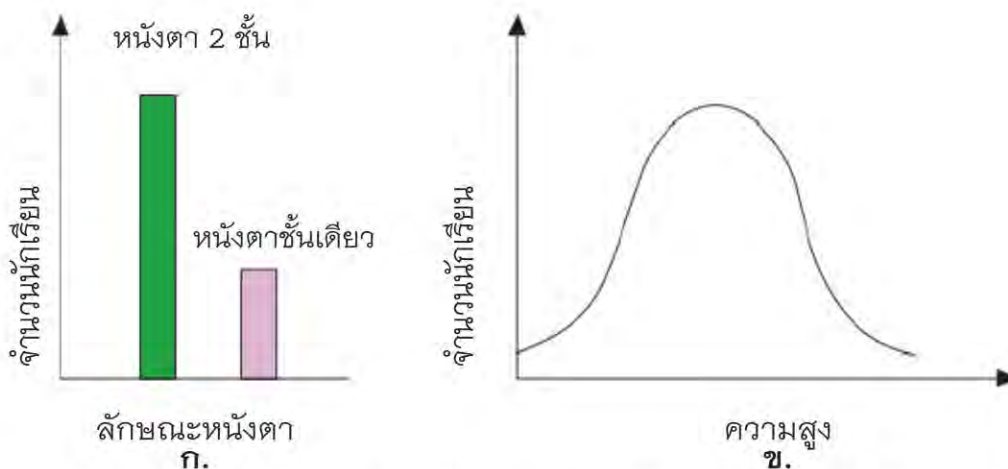
? 5.3 ถ้าลูกชายมีพินสีน้ำตาลที่เกิดจาก ก และ ข ไปแต่งงานกับหญิงพินสีน้ำตาล ซึ่งพ่อมีพินสีขาว โอกาสที่จะมีลูกชายพินสีขาวคิดเป็นอัตราส่วนเท่าใด

✎ กำหนดให้ B แทนยีนควบคุมลักษณะพินสีน้ำตาล และ b แทนยีนควบคุมลักษณะพินสีขาว ดังนั้นลูกชายของ ก. และ ข. มีพินสีน้ำตาล จะมีจีโนไทป์เป็น X^BY แต่งงานกับหญิงพินสีน้ำตาล ซึ่งมีพ่อพินสีขาว จึงมีจีโนไทป์เป็น X^BX^b เนื่องจากได้รับยีน X^b มาจากพ่อ ลูกที่เกิดขึ้นมีโอกาสเป็นลูกชายพินสีขาวเป็น 1/4 ดังนี้





6. จากการสำรวจลักษณะหนังตาและความสูงของนักเรียนทั้งชั้นในโรงเรียนแห่งหนึ่ง แล้วนำข้อมูลมาเขียนเป็นกราฟ จะได้กราฟดังกราฟ ก. และกราฟ ข. จากข้อมูลนี้ บอกอะไรแก่เราได้บ้าง



กราฟ ก. แสดงลักษณะหนังตาชั้นเดียวและหนังตาสองชั้น เป็นลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากควบคุมด้วยยีน 1 คู่ เป็นลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่อง

กราฟ ข. แสดงลักษณะความสูงของคนเป็นลักษณะที่แตกต่างกันไม่ชัดเจน ความแตกต่างจะลดหลั่นกันเนื่องจากถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ จึงเป็นลักษณะที่มีการแปรผันต่อเนื่อง



7. นาย ก. กำลังวางแผนจะแต่งงานกับนางสาว ข. แต่นาย ก. ทราบภายหลังว่า ตัวเขาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียและสามารถถ่ายทอดสู่ลูกได้ แต่ยังไม่ทราบว่านางสาว ข. เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียหรือไม่ นาย ก. ควรวางแผนชีวิตครอบครัวอย่างไร



สิ่งที่นาย ก. ควรทำ

1. สืบประวัติเกี่ยวกับการถ่ายทอดโรคธาลัสซีเมียของครอบครัวและเครือญาติของนางสาว ข.
2. พบแพทย์เพื่อให้นางสาว ข. ได้รับการตรวจการเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียในระดับพื้นฐาน
3. ปรึกษาแพทย์กรณีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคนี้ในลูก หากพบว่านางสาว ข. เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย





หนังสือประกอบการค้นคว้า

สมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทย. **หลักพันธุศาสตร์**. กรุงเทพฯ. 2546.

Biggs, A., Kapicka, C. and Lundgren, L. **Biology The Dynamics of Life**. Teacher Wraparound edition. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 1998.

Campbell, N. A. and Reece, J. B. **Biology**. 6th ed. Benjamin Cummings Publishing Company, Inc. California. 2002.

Freeman, S. **Biological Science**. Prentice–Hall, Inc. United States of America. 2002.

Hartwell, L. and etc. **Genetics**. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 2000.

Lewis, R. **Human Genetics**. 5th ed. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 2003.

Postlethwait, J. H. and Hopson, J. H. **The Nature of Life**. 3rd ed. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 1995.

Starr, C. and Taggart, R. **Cell Biology and Genetics**. Von Hoffmann Press. United States of America. 2001.



อินเทอร์เน็ต (Internet)

1. ความรู้เสริมเกี่ยวกับการถ่ายทอดทางพันธุกรรม. (online) Available:
http://www.biology.arizona.edu/mendelian_genetics/mendelian_genetics.html.
 (Retrieved 20/4/10)





บทที่ 16

ยีนและโครโมโซม



เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

16.1 การถ่ายทอดยีนและโครโมโซม	1	ชั่วโมง
16.2 การค้นพบสารพันธุกรรม	3	ชั่วโมง
16.3 โครโมโซม	1	ชั่วโมง
16.4 องค์ประกอบทางเคมีของ DNA	2	ชั่วโมง
16.5 โครงสร้างของ DNA	2	ชั่วโมง
16.6 สมบัติของสารพันธุกรรม	8	ชั่วโมง
16.7 มิวเทชัน	3	ชั่วโมง
รวม	20	ชั่วโมง



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และสรุปเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมและการค้นพบสารพันธุกรรม
2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายความหมายของ DNA ยีน โครโมโซม และจีโนม
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายส่วนประกอบทางเคมีและโครงสร้างของ DNA
4. สืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และสรุปกระบวนการสังเคราะห์ DNA และการสังเคราะห์โปรตีน
5. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายถึงการเกิดมิวเทชัน และผลที่เกิดจากมิวเทชัน



สาระสำคัญ

ยีนอยู่ที่โครโมโซม และโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีจำนวนคงที่ โครโมโซมประกอบด้วย DNA และโปรตีน ส่วนของ DNA ที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตเรียกว่า ยีน DNA ทั้งหมดที่อยู่ในสิ่งมีชีวิต เรียกว่า จีโนม-DNA เป็นพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายบิดเป็นเกลียวเวียนขวา แต่ละสายเกิดจากนิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสายยาว นิวคลีโอไทด์ประกอบด้วย ไนโตรจีนัสเบส น้ำตาลดีออกซีไรโบส และหมู่ฟอสเฟต DNA แต่ละโมเลกุล



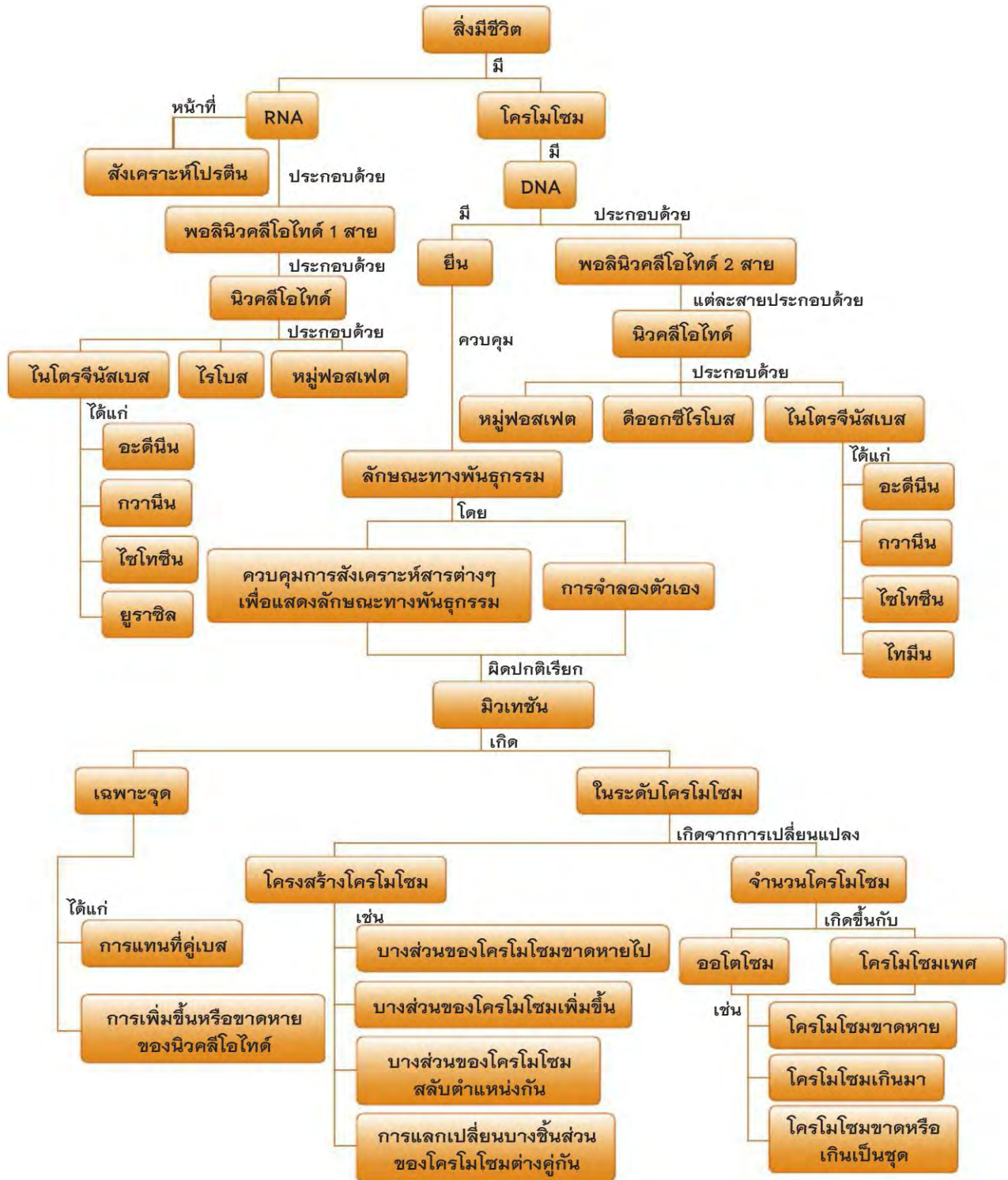
แตกต่างกันที่จำนวนและลำดับของนิวคลีโอไทด์

DNA เป็นสารพันธุกรรม สามารถจำลองตัวเองขึ้นได้ใหม่ โดยมีโครงสร้างทางเคมี และลำดับของนิวคลีโอไทด์เหมือนเดิม DNA ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน โดยถ่ายทอดรหัสพันธุกรรมให้แก่ mRNA เพื่อกำหนดลำดับของกรดอะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน โปรตีนเกี่ยวข้องกับการแสดงลักษณะทางพันธุกรรม เช่น เอนไซม์ที่ทำงานในกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิต

สิ่งแวดล้อม ความผิดพลาดในการจำลอง DNA และสารเคมีบางชนิดมีผลให้โครงสร้างของ DNA เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า มิวเทชัน มิวเทชันเฉพาะจุดและมิวเทชันระดับโครโมโซมในเซลล์สืบพันธุ์สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ จึงอาจเกิดลักษณะใหม่ในสิ่งมีชีวิตรุ่นต่อไป หากมิวเทชันเกิดในเซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะไม่สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ แต่อาจจะแสดงอาการและปรากฏในสิ่งมีชีวิตนั้น



ผังมโนทัศน์ บทที่ 16 ยีนและโครโมโซม



แนวการจัดการเรียนรู้



ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยให้นักเรียนศึกษาภาพนำบทเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยใช้คำถามจากหนังสือเรียน ดังนี้

- สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดที่มีลักษณะแตกต่างกัน จะมีโครงสร้างและจำนวนโครโมโซมแตกต่างกันหรือไม่
- โครงสร้างของโครโมโซมเป็นอย่างไร
- ยีนและโครโมโซมเกี่ยวข้องกันอย่างไรจึงมีบทบาทต่อการถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิตได้ และถ้าโครงสร้างของโครโมโซมเปลี่ยนไปจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตอย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยนำความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับยีนและโครโมโซมที่นักเรียนเคยศึกษามาแล้วในรายวิชาพื้นฐานชีววิทยา แล้วให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ครูชี้แจงว่านักเรียนจะทราบว่าความคิดเห็นของนักเรียนถูกต้องหรือไม่ โดยการสืบค้นในหัวข้อต่อไปนี้

16.1 การถ่ายทอดยีนและโครโมโซม



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายการถ่ายทอดยีนและโครโมโซม
2. อธิบายและสรุปได้ว่า ยีนอยู่บนโครโมโซม

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยการทบทวนการปฏิสนธิระหว่างสเปิร์มและเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกต และเจริญไปเป็นเอ็มบริโอ เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงไปสู่การถ่ายทอดยีนของพ่อแม่ไปสู่ลูก

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า **ยีนจากพ่อแม่ถ่ายทอดไปยังลูกได้อย่างไร** จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการค้นพบของนักวิทยาศาสตร์ที่พบยีสต์ย้อมโครโมโซม นำไปสู่การค้นพบว่าโครโมโซมอยู่ในนิวเคลียส

จากการสืบค้นและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า ยีนซึ่งเป็นหน่วยควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมจากพ่อแม่สามารถถ่ายทอดไปยังลูกได้ โดยผ่านทางโครโมโซมในเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อแม่ จากการที่โครโมโซมติดสีย้อมจึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ติดตามการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมขณะที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส ซึ่งจะเห็นโครโมโซมชัดเจนมากในระยะเมทาเฟสและเซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสจะ



มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์ตั้งต้น ส่วนเซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส มีจำนวนโครโมโซมลดลงเป็นครึ่งหนึ่งจากเซลล์ตั้งต้น เซลล์นี้จะเป็นเซลล์สืบพันธุ์ ดังภาพที่ 16-1 ในหนังสือเรียน ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- นักเรียนคิดว่ามีหลักฐานอะไรที่จะยืนยันได้ว่า ยีนอยู่บนโครโมโซม

จากความรู้เกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม 7 ลักษณะที่เมนเดลได้ศึกษาไปแล้วนั้น ทำให้ทราบว่าลักษณะดังกล่าวนี้มียีนที่ควบคุมที่สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ และจากความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ที่นักเรียนได้ศึกษามาแล้ว ทำให้ทราบว่าในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้เซลล์ไข่และสเปิร์มนั้น สารพันธุกรรมจากพ่อและแม่จะถ่ายทอดมาอย่างลูกได้เมื่อมีการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่และสเปิร์ม ซึ่งสารพันธุกรรมนั้นก็คือยีนที่อยู่บนโครโมโซมนั่นเอง

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับทฤษฎีโครโมโซมในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งชัดเจนได้เสนอไว้จนทำให้ทราบว่า ยีนอยู่บนโครโมโซม

16.2 การค้นพบสารพันธุกรรม



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้ นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผลการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ เพื่อนำไปสู่การค้นพบสารพันธุกรรม
2. อธิบายและสรุปได้ว่ายีนเป็นส่วนหนึ่งของ DNA ที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม และ DNA อยู่ที่โครโมโซม

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนว่า ยีน คือหน่วยที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม จากนั้นให้ครูใช้คำถามนำในหนังสือเรียนและคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูล คำถามอาจเป็นดังนี้

- ยีน DNA โครโมโซม และลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตมีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร
- สารพันธุกรรมคืออะไร มีโครงสร้างและการทำงานอย่างไร

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ยีนเป็นส่วนหนึ่งของ DNA และ DNA อยู่บนโครโมโซม DNA เป็นสารพันธุกรรมที่สามารถถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ไปยังรุ่นลูกได้ นอกจากนี้จากการที่นักเรียนได้ทราบมาแล้วว่า โครงสร้างของ DNA ประกอบด้วยน้ำตาลดีออกซีไรโบส ไนโตรจีนัสเบส และหมู่ฟอสเฟตนั้น นักเรียนทราบหรือไม่ว่าการค้นพบ



โครงสร้างของ DNA นี้เป็นผลมาจากการศึกษาค้นคว้าทดลองของนักวิทยาศาสตร์มาอย่างยาวนาน ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษารายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการค้นพบสารพันธุกรรมจากหนังสือเรียน จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรวิเคราะห์และสรุปการค้นคว้าทดลองของนักวิทยาศาสตร์เหล่านั้นได้ดังนี้

มิเชอร์ พบว่า ในนิวเคลียสมีสารที่มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เรียกว่า นิวคลีอิน

พอยล์เกน พบว่า DNA อยู่ที่โครโมโซมจากการศึกษาการย้อมโครโมโซมด้วยสีฟูดซิน

กริฟฟิท พบว่าเมื่อนำแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้เกิดโรคปอดบวม ไปทำให้ตายด้วยความร้อน แล้วนำไปใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เลี้ยงแบคทีเรียสายพันธุ์ R ที่ไม่ทำให้เกิดโรคปอดบวมได้ พบว่า มีสารบางอย่างจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ไปทำให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R กลายเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคได้และสามารถถ่ายทอดลักษณะนี้ไปสู่แบคทีเรียรุ่นต่อไป

แอเวอรีและคณะ แสดงให้เห็นว่า DNA เป็นสารที่สามารถเปลี่ยนพันธุกรรมของแบคทีเรียสายพันธุ์ R ให้เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S จึงสรุปว่า DNA เป็นสารพันธุกรรม

ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมว่า การที่แอเวอรีทดลองโดยใช้เอนไซม์ต่างๆ ได้แก่ RNase DNase และโปรติเอสลงไปรวมกับสารสกัดจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ก็เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อ DNA ถูกย่อยสลายโดย DNase ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบคทีเรียสายพันธุ์ R ให้เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ S ได้ ส่วนหลอดอื่นๆ DNA ไม่ถูกย่อยสลายก็จะพบแบคทีเรียสายพันธุ์ S นอกจากนี้มีนักวิทยาศาสตร์บางคนเข้าใจว่าสารพันธุกรรมอาจเป็นโปรตีน แทนที่จะเป็น DNA ดังนั้นการทดลองของแอเวอรีที่เติมโปรติเอส เมื่อย่อยสลายโปรตีนก็พบว่ามีแบคทีเรียสายพันธุ์ S เกิดขึ้น ซึ่งยืนยันว่าสารพันธุกรรมก็คือ DNA ไม่ใช่โปรตีนอย่างที่เคยเข้าใจ

เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ดีขึ้น ครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 16-3 จากการทดลองของกริฟฟิทและตอบคำถามในหนังสือเรียน และภาพที่ 16-4 การทดลองของแอเวอรีและคณะเพื่อให้ทราบที่มาเกี่ยวกับการค้นพบสารพันธุกรรม จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



นักเรียนจะอธิบายผลการทดลองนี้ได้อย่างไร



สารบางอย่างจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน สามารถเข้าไปในแบคทีเรียสายพันธุ์ R และทำให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R เปลี่ยนเป็นสายพันธุ์ S ได้



16.3 โครโมโซม



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายรูปร่าง ลักษณะของโครโมโซมในเซลล์ร่างกาย
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายส่วนประกอบของโครโมโซม

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนเรื่องโครโมโซม โดยตั้งประเด็นให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย ดังนี้

- จากการศึกษาการแบ่งเซลล์ นักเรียนจะเห็นโครโมโซมชัดเจนในการแบ่งเซลล์ระยะใด
- โครโมโซมของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ มีรูปร่างลักษณะเหมือนกันหรือไม่
- โครโมโซมของสิ่งมีชีวิตต่างๆ น่าจะมีจำนวนเท่ากันหรือไม่

หรือครูอาจใช้คำถามนำในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนว่า **ยีนกับโครโมโซมมีความสัมพันธ์กันอย่างไร**

จากนั้นจึงให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลหัวข้อ 16.3.1

16.3.1 รูปร่าง ลักษณะ และจำนวนโครโมโซม

ครูให้นักเรียนศึกษาภาพนำบทและภาพที่ 16-5 ในหนังสือเรียนซึ่งแสดงรูปร่างของโครโมโซม แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยตั้งคำถามว่า **รูปร่างลักษณะของโครโมโซมในภาพแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร ใช้อะไรเป็นเกณฑ์** นักเรียนควรสรุปได้ว่า โครโมโซมมีขนาดแตกต่างกัน และรูปร่างของโครโมโซมแตกต่างกันด้วย

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเรื่องการใช้ตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ในการแบ่งรูปร่างและลักษณะของโครโมโซม โครโมโซมบางแท่งมีตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ไม่ได้อยู่ตรงกลางของโครโมโซม ทำให้แขน 2 ข้างของโครโมโซมยาวไม่เท่ากัน บางแท่งเซนโทรเมียร์ค่อนไปทางปลายด้านใดด้านหนึ่งทำให้แขนด้านหนึ่งยาวอีกด้านหนึ่งสั้น บางแท่งตำแหน่งของเซนโทรเมียร์อยู่ทางด้านปลายสุดของโครโมโซมด้านใดด้านหนึ่ง

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตารางที่ 16.1 ในหนังสือเรียน จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีจำนวนโครโมโซมไม่เท่ากัน แต่สิ่งมีชีวิตบางชนิดจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน ตัวอย่างเช่น สุนัขและไก่มีจำนวนโครโมโซม 78 แท่งเท่ากัน ในพืช เช่น กัญชงและแตงโมมีจำนวนโครโมโซม 22 แท่งเท่ากัน ครูใช้คำถามในหนังสือเรียน เพื่ออภิปรายขยายความรู้เพิ่มเติมให้นักเรียน ซึ่งคำถามท้ายตารางที่ 16.1 มีแนวการตอบคำถามดังนี้





นักเรียนสามารถใช้จำนวนโครโมโซมระบุชนิดของสิ่งมีชีวิตได้หรือไม่ เพราะเหตุใด



ชนิดของสิ่งมีชีวิตไม่สามารถระบุได้จากจำนวนโครโมโซมเพราะสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกัน อาจมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันได้



นักเรียนคิดว่าจำนวนโครโมโซมมีความสัมพันธ์กับระดับความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิตหรือไม่



จำนวนโครโมโซมไม่น่าจะมีความสัมพันธ์กับระดับความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิต เช่น ไก่มีจำนวนโครโมโซมมากกว่าคน แต่ระบบอวัยวะของคนมีความซับซ้อนมากกว่าไก่ ส่วนแมลงวัน แมลงหวี่ ยุงก้นปล่อง และผึ้ง เป็นแมลงเหมือนกันจะมีความซับซ้อนของโครงสร้างใกล้เคียงกัน แต่มีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกัน

จากนั้นครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมเพื่อขยายความรู้ให้แก่นักเรียนดังนี้

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีจำนวนโครโมโซมที่แน่นอน และโครโมโซมแต่ละแท่งจะมีขนาด และรูปร่างคงที่ โดยในสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งๆ อาจมีโครโมโซมที่มีรูปร่างแบบเดียวหรือหลายแบบก็ได้

16.3.2 ส่วนประกอบของโครโมโซม

ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่เรื่องส่วนประกอบของโครโมโซม ดังนี้

- นักเรียนทราบมาแล้วว่า DNA อยู่บนโครโมโซม และที่โครโมโซมนอกจากมี DNA แล้วยังมีสารอื่นอีกหรือไม่อย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบของโครโมโซมในหัวข้อที่ 16.3.2 แล้วศึกษาส่วนประกอบของโครโมโซมจากภาพที่ 16-6 ในหนังสือเรียน ครูตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยมีแนวคำถามดังนี้

- โครโมโซมมีส่วนประกอบอะไรบ้าง
- องค์ประกอบส่วนใหญ่ของโครโมโซมได้แก่อะไร
- โปรตีนในโครโมโซมมีบทบาทอย่างไร
- นิวคลีโอโซมคืออะไร

จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า โครโมโซมของยูคาริโอตประกอบด้วย DNA 1 ใน 3 และอีก 2 ใน 3 เป็นโปรตีน ได้แก่ โปรตีนฮิสโตน (histone) และ



โปรตีนนอนฮิสโตน (non-histone)

นิวคลีโอโซม เป็นโครงสร้างของโครโมโซมของยูคาริโอต ประกอบด้วยโปรตีนฮิสโตน 8 โมเลกุลพันรอบด้วยเกลียว DNA ยาวประมาณ 150 คู่เบส แต่ละนิวคลีโอโซมเชื่อมกันด้วย DNA linker ความยาวประมาณ 50 คู่เบส

โครโมโซมของยูคาริโอตจะมีลักษณะเป็นแท่ง แต่โครโมโซมของโพรคาริโอตจะมีลักษณะเป็นวงแหวนและมีขนาดเล็ก

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับความหมายและขนาดของจีโนมของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 16.2 ในหนังสือเรียน

จากตารางที่ 16.2 อาจสรุปได้ว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดขนาดของจีโนมอาจจะแตกต่างกัน สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรียหรือยีสต์จะมีขนาดของจีโนมค่อนข้างเล็ก

16.4 องค์ประกอบทางเคมีของ DNA



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายถึงส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์และจำแนกชนิดของนิวคลีโอไทด์
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และเขียนภาพการเกิดสายพอลินิวคลีโอไทด์ และโมเลกุลของ DNA
3. อธิบายและสรุปได้ว่า DNA แต่ละโมเลกุลแตกต่างกันที่จำนวนและลำดับของนิวคลีโอไทด์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูเชื่อมโยงความรู้ในหัวข้อ 16.2 และ 16.3 ว่า ยีนเป็นส่วนหนึ่งของ DNA และ DNA เป็นสารพันธุกรรมอยู่ที่โครโมโซม แล้วใช้คำถามนำจากหนังสือเรียนเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลว่า DNA มีโครงสร้างและส่วนประกอบอย่างไรจึงสามารถควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตได้

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบของ DNA โดยใช้ภาพที่ 16-7 ในหนังสือเรียน แสดงโครงสร้างของเบส และน้ำตาลดีออกซีไรโบส จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- ไนโตรจีนัสเบส ประกอบด้วยอะตอมของธาตุใดบ้าง จำแนกได้เป็นกี่ประเภท และแต่ละประเภทมีความเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร



จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปรายจากภาพที่ 16-7 ในหนังสือเรียน นักเรียนจะสามารถบอกได้ว่า ไนโตรจีนัสเบสประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงแหวนที่มีธาตุ C และ N เป็นองค์ประกอบ จากนั้นครูควรให้นักเรียนเปรียบเทียบความแตกต่างของไนโตรจีนัสเบสซึ่งจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ เบสพิวรีน มีโครงสร้างประกอบด้วยวงแหวน 2 วง มี 2 ชนิด คือ อะดีนีน (A) และกวานีน (G) ส่วน เบสไพริมิดีน โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวน 1 วง มี 2 ชนิด คือ ไซโทซีน (C) และไทมีน (T) ครูอาจทบทวนโดยนำภาพแต่ละไนโตรจีนัสเบสและภาพน้ำตาลดีออกซีไรโบสมาให้นักเรียนดูเพื่อระบุว่าเป็นเบสชนิดใด และเป็นน้ำตาลเพนโทสชนิดใด จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



นิวคลีโอไทด์แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร



นิวคลีโอไทด์แต่ละชนิดแตกต่างกันที่ชนิดของเบส โดยอาจมีเบสเป็น อะดีนีน ไทมีน ไซโทซีน หรือกวานีน

ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูล เรื่องการสร้างสายพอลินิวคลีโอไทด์ ดังนี้

- จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า DNA มีไนโตรจีนัสเบส น้ำตาลดีออกซีไรโบส และหมู่ฟอสเฟต และประกอบกันเป็นนิวคลีโอไทด์จำนวนมาก เป็นไปได้หรือไม่ว่านิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว และถ้าเป็นเช่นนั้น นิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสายยาวได้อย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการเชื่อมต่อของนิวคลีโอไทด์เป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ และให้ศึกษาจากภาพที่ 16-8 ในหนังสือเรียน ครูอาจให้นักเรียนแบ่งกลุ่มตัดกระดาษสีสร้างเป็นนิวคลีโอไทด์ทั้ง 4 ชนิดๆ ละ 10-20 นิวคลีโอไทด์ แต่ละกลุ่มอาจสร้างจำนวนนิวคลีโอไทด์ไม่เท่ากัน โดยมอบหมายให้นักเรียนสร้างนิวคลีโอไทด์มาล่วงหน้า แล้วให้นำมาต่อกันเป็นสายยาว โดยแสดงการเชื่อมต่อกันเป็นพอลินิวคลีโอไทด์ เปรียบเทียบกับพอลินิวคลีโอไทด์ของกลุ่มอื่นๆ จากการทำกิจกรรม และตัวแทนกลุ่มนำเสนอการเชื่อมต่อของนิวคลีโอไทด์เป็นพอลินิวคลีโอไทด์หน้าชั้นเรียน ครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเชื่อมต่อกันของสายพอลินิวคลีโอไทด์ที่แต่ละกลุ่มสร้างขึ้น ดังนี้

- นิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันอย่างไร มีปลายสายใดเป็นปลาย 5' และ 3'
- สายพอลินิวคลีโอไทด์แต่ละสายที่แต่ละกลุ่มสร้างขึ้น เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



จากการนำเสนอและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า แต่ละนิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วยหมู่ฟอสเฟต หมู่ฟอสเฟตของนิวคลีโอไทด์หนึ่งจะเชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลเพนโทสของอีกนิวคลีโอไทด์หนึ่ง แต่ละสายพอลินิวคลีโอไทด์แตกต่างกันที่จำนวนและลำดับของนิวคลีโอไทด์ที่มาเชื่อมต่อกัน ครูอาจชี้ให้นักเรียนสังเกตว่าสายพอลินิวคลีโอไทด์ของกลุ่มที่มีจำนวนนิวคลีโอไทด์เท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาแล้วพบว่ามีลำดับของนิวคลีโอไทด์ไม่เหมือนกัน ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจถึงการเกิดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต

จากการสืบค้นในหนังสือเรียน ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า

- ถ้าพอลินิวคลีโอไทด์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อของนิวคลีโอไทด์ทุกสายแตกต่างกัน น่าจะขึ้นอยู่กับอะไร

นักเรียนควรจะตอบได้ว่า ขึ้นอยู่กับการนำนิวคลีโอไทด์ชนิดใดมาเชื่อมต่อกัน ดังนั้น ลำดับชนิดของนิวคลีโอไทด์น่าจะไม่เหมือนกัน และจำนวนของนิวคลีโอไทด์น่าจะแตกต่างกันด้วย

ครูควรเน้นให้นักเรียนสังเกตภาพที่ 16-8 แสดงพอลินิวคลีโอไทด์ว่า ปลายด้านหนึ่งของนิวคลีโอไทด์จะมีคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ของน้ำตาลดีออกซีไรโบสจะยึดกับหมู่ฟอสเฟต เรียกปลายด้านนี้ว่าปลาย 5' และอีกปลายหนึ่งเป็นคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของน้ำตาลดีออกซีไรโบสของนิวคลีโอไทด์ที่อยู่ปลายสุดที่ยึดกับหมู่ไฮดรอกซิล เรียกปลายด้านนี้ว่า ปลาย 3'

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตารางที่ 16.3 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้



ปริมาณเบส 4 ชนิด ใน DNA ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ สัมพันธ์กันอย่างไร



เบส A มีปริมาณใกล้เคียงกับเบส T และเบส C มีปริมาณใกล้เคียงกับเบส G นั่นคือ A:T มีค่าใกล้เคียง 1:1 และ C:G มีค่าใกล้เคียง 1:1



อัตราส่วนของ A + T และ C + G ในโมเลกุลของ DNA ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่



อัตราส่วนของ A + T และ C + G ในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีค่าไม่ใกล้เคียงกัน



อัตราส่วนของ A + G และ T + C ในโมเลกุลของ DNA ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่



อัตราส่วนของ A + G และ T + C ในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน

จากข้อมูลในตารางที่เป็นผลการทดลองของชาร์กาฟฟ์ สามารถสรุปได้ว่า ใน DNA ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เบส A จะมีปริมาณใกล้เคียงกับเบส T และ เบส C มีปริมาณใกล้เคียงกับเบส G และปริมาณของ A + T จะไม่เท่ากับปริมาณของ C + G



16.5 โครงสร้างของ DNA



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปผลการศึกษานักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีและโครงสร้างของ DNA

แนวการจัดการเรียนรู้

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

หรือครูอาจใช้คำถามนำและคำถามที่อยู่ในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนว่า

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

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน ซึ่งคำตอบของนักเรียนอาจจะยังไม่ได้ข้อสรุปที่ถูกต้อง ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและวิเคราะห์โครงสร้างของ DNA จากการศึกษาค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ในหนังสือเรียน เพื่อหาข้อสรุปที่ถูกต้องเกี่ยวกับโครงสร้างของ DNA

จากการสืบค้นข้อมูลและจากการวิเคราะห์การศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ นักเรียนควรจะตอบได้ว่า วิลคินส์และแฟรงคลินศึกษาโครงสร้างของ DNA โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันด้วยการฉายรังสีเอกซ์ผ่านผลึก DNA พบว่าจะเกิดการหักเหของรังสีเอกซ์ทำให้เกิดภาพบนแผ่นฟิล์ม เมื่อนำแผ่นฟิล์มมาแปลข้อมูลทำให้ทราบว่า

1. สิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ มีโครงสร้างของ DNA คล้ายกันมาก
2. DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์มากกว่า 1 สาย
3. พอลินิวคลีโอไทด์มีลักษณะเป็นเกลียว
4. เกลียวของพอลินิวคลีโอไทด์แต่ละรอบมีระยะห่างเท่ากัน

วอตสันและคริกได้เสนอแบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของ DNA และจากผลการทดลองของชาร์กาฟฟ์ พร้อมด้วยภาพจากเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของผลึก DNA ทำให้ทราบว่า พันธะเคมีที่เชื่อมพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายให้ติดกันเป็นพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างคู่เบส ซึ่งพันธะดังกล่าวนี้ สามารถที่จะยึดสายพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายให้เข้าคู่กันได้ จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 16-11 ในหนังสือเรียนประกอบและตอบคำถาม ซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้





แรงยึดระหว่างคู่เบส A กับ T และ G กับ C คู่ใดมีความแข็งแรงมากกว่ากัน เพราะเหตุใด



แรงยึดระหว่างเบส C กับ G แข็งแรงมากกว่า เบส A กับ T เพราะระหว่างเบส C กับ G ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ แต่เบส A กับ T ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ

จากนั้นวอตสันและคริกได้สร้างแบบจำลองโมเลกุลของ DNA ตามแนวคิดของตนเองแล้ว เสนอโครงสร้างโมเลกุลของ 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 C จับกับเบส G
 3. เบส A ยึดกับเบส T ด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ เบส C ยึดกับเบส G ด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ เปรียบคล้ายกับขั้นบันได
 4. พอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย พันกันบิดเป็นเกลียวคู่เวียนขวา คล้ายบันไดเวียน โดยมีน้ำตาลดีออกซีไรโบสจับกับหมู่ฟอสเฟตคล้ายเป็นราวบันได
 5. เกลียวแต่ละรอบห่างเท่ากัน 34 Å และคู่เบสแต่ละคู่ห่างกัน 3.4 Å ความห่างของแต่ละคู่เบสเปรียบคล้ายกับความห่างของขั้นบันได และพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายห่างกัน 20 Å
- ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อขยายความรู้ของนักเรียน ดังนี้
- แต่ละโมเลกุลของ DNA มีจำนวนนิวคลีโอไทด์เท่ากันหรือไม่
 - การจัดเรียงตัวของเบสในแต่ละพอลินิวคลีโอไทด์ใน DNA จะเหมือนกันหรือไม่อย่างไร

จากการอภิปรายควรสรุปได้ว่า

แต่ละโมเลกุลของ DNA มีจำนวนนิวคลีโอไทด์ไม่เท่ากัน บางชนิดมีประมาณพันคู่ บางชนิดมีประมาณแสนคู่ ดังนั้นถ้า DNA ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์มากเช่นนี้ การเรียงตัวของเบสน่าจะแตกต่างกันมากด้วย

ส่วนคำถามในหนังสือเรียนมีแนวในการตอบคำถามดังนี้



ใน 1 เกลียวของ DNA ประกอบด้วยคู่เบสกี่คู่



10 คู่





โมเลกุลของ DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย ถ้าสายพอลินิวคลีโอไทด์สายหนึ่งมีลำดับเบสเป็น 5' A C G T C A G 3' พอลินิวคลีโอไทด์ของสายที่เป็นคู่กันจะมีลำดับเบสเป็นอย่างไร



พอลินิวคลีโอไทด์ของสายที่เป็นคู่กันจะมีลำดับของเบสเป็นดังนี้
5' A C G T C A G 3'
3' T G C A G T C 5'



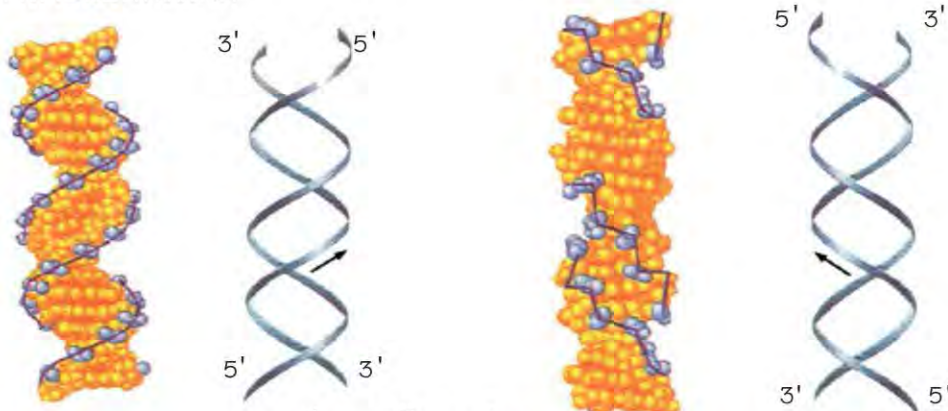
DNA ที่ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 3 โมเลกุล จะเรียงลำดับนิวคลีโอไทด์ให้แตกต่างกันได้กี่แบบ



เบสมี 4 ชนิด คือ A T C และ G ถ้าประกอบกันเป็นนิวคลีโอไทด์ 3 โมเลกุลจะเรียงลำดับนิวคลีโอไทด์ได้แตกต่างกันเป็น $4^3 = 64$ แบบ

ความรู้เสริมสำหรับครู

โครงสร้างของ DNA ที่พบในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเกลียวคู่ มีลักษณะเป็นเส้นยาวมี 2 ปลาย หรือมีลักษณะเป็นวง เส้น DNA ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นยาวเกลียวคู่มีรูปแบบต่างๆ สำหรับโครงสร้างของ DNA แบบ B (B-form) เป็นเกลียวเวียนขวา และมีส่วนที่คล้ายราวบันไดเวียนที่มีขอบเสมอกัน ดังภาพที่ 16-1 ก. พบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั่วไป มีลักษณะคล้ายแบบจำลอง DNA ที่วอตสันและ คริก เสนอไว้ ส่วนโครงสร้าง DNA แบบ Z (Z-form) จะเป็นเกลียวบิดซ้าย และมีส่วนที่คล้ายราวบันไดที่มีขอบไม่สม่ำเสมอเสมอกัน ดังภาพที่ 16-1 ข. พบในพอลินิวคลีโอไทด์ที่สังเคราะห์ในหลอดทดลองแต่ไม่พบในเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่า DNA สายเดี่ยวในไวรัสพวกแบคทีริโอฟาจ (bacteriophage) บางชนิด ซึ่งเป็นไวรัสที่มีความจำเพาะในการเข้าไปทำลายแบคทีเรียได้



ภาพที่ 16-1 โครงสร้างของ DNA

ก. แบบ B

ข. แบบ Z



16.6 สมบัติของสารพันธุกรรม



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อภิปราย และสรุปเกี่ยวกับสมบัติของสารพันธุกรรม
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกระบวนการจำลอง DNA
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย เปรียบเทียบ และสรุปการสังเคราะห์ DNA กับการสังเคราะห์ mRNA
5. วิเคราะห์ อภิปราย และเปรียบเทียบการสังเคราะห์โปรตีนของโพรคาริโอตและยูคาริโอต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้ภาพแสดงโครงสร้างของ DNA แล้วทบทวนเกี่ยวกับชนิดของนิวคลีโอไทด์ และความแตกต่างกันของ DNA แต่ละชนิด จากนั้นครูใช้คำถามนำในหนังสือเรียนเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า **โครงสร้างของ DNA มีความเหมาะสมกับสมบัติของ DNA อย่างไร จึงจะสามารถถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลานได้** จากการอภิปรายนักเรียนควรจะสรุปได้ว่า DNA ต้องเพิ่มจำนวนได้โดยมีลักษณะเหมือนเดิม สามารถควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนที่มีผลต่อลักษณะทางพันธุกรรม และสามารถเปลี่ยนแปลงได้บ้างซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างไปจากเดิม

จากนั้นจึงนำเข้าสู่เรื่องการสังเคราะห์ DNA ด้วยวิธีการที่เรียกว่าการจำลอง DNA ในหัวข้อ 16.6.1

16.6.1 การสังเคราะห์ DNA

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยตั้งประเด็นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- DNA ของสิ่งมีชีวิตจะถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นต่อไปได้อย่างไร
- DNA ในรุ่นพ่อแม่และ DNA ในรุ่นลูกจำเป็นต้องเหมือนกันหรือไม่ ถ้าไม่เหมือนกันจะมีผลอย่างไรต่อสิ่งมีชีวิต

จากการอภิปรายนักเรียนควรจะสรุปได้ว่า การถ่ายทอด DNA จากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการแบ่งเซลล์ ซึ่งมีการจำลอง DNA เพิ่มปริมาณเป็นสองชุด โดยถ่ายทอด DNA ชุดหนึ่งให้ลูกรุ่นต่อไป DNA ที่ถ่ายทอดให้รุ่นลูกจะต้องเหมือนกับ DNA ในรุ่นพ่อแม่ จึงจะสามารถสืบทอดเผ่าพันธุ์ต่อไปได้ ถ้า DNA ในรุ่นลูกแตกต่างไปจาก DNA ในรุ่นพ่อแม่



จะทำให้ลูกมีลักษณะที่แตกต่างจากพ่อแม่ ซึ่งต่อไปถ้าความแตกต่างมีมากก็จะทำให้ไม่สามารถดำรงเผ่าพันธุ์เดิมเอาไว้ได้

ครูตั้งคำถามต่อไปเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อการสังเคราะห์ DNA ว่า การที่ DNA ของรุ่นลูกจะเหมือนกับ DNA ในรุ่นพ่อแม่ นั้นจะเกิดขึ้นได้อย่างไร จากนั้นจึงให้นักเรียนสืบค้นการสังเคราะห์ DNA หรือการจำลอง DNA จากการศึกษาแนวคิดการจำลอง DNA ของวอตสันและคริก เรื่องโครงสร้างของ DNA และภาพที่ 16-13 แสดงการจำลอง DNA ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ประเด็นสำคัญดังนี้

- สิ่งจำเป็นในการสังเคราะห์ DNA
- ขั้นตอนการสังเคราะห์ DNA
- ลำดับเบสของ DNA ในแต่ละโมเลกุล

จากการวิเคราะห์ นักเรียนควรสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. การสังเคราะห์ DNA จำเป็นจะต้องมีเอนไซม์ DNA พอลิเมอเรส ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมนิวคลีโอไทด์ให้เป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ นิวคลีโอไทด์มี 4 ชนิด คือ นิวคลีโอไทด์ที่มีเบส A T C G และมี DNA ที่ใช้เป็นสายแม่แบบ

2. ขั้นตอนการสังเคราะห์ DNA

2.1 พอลินิวคลีโอไทด์สองสายของ DNA คลายเกลียว พันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างคู่เบสของทั้งสองสายจะสลาย ทำให้พอลินิวคลีโอไทด์สองสายแยกออกจากกัน

2.2 พอลินิวคลีโอไทด์แต่ละสายจะทำหน้าที่เป็นสายแม่แบบเพื่อสังเคราะห์พอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ โดยเอนไซม์ DNA พอลิเมอเรสนำนิวคลีโอไทด์อิสระเข้าจับกับนิวคลีโอไทด์ของสายแม่แบบที่มีเบสคู่สมกันคือ เบส A จับคู่กับ T และเบส C จับคู่กับ G

2.3 นิวคลีโอไทด์ของพอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่จะเข้าคู่กับนิวคลีโอไทด์ของสายแม่แบบด้วยพันธะไฮโดรเจน

3. การสังเคราะห์ DNA ทำให้มีการเพิ่มโมเลกุลของ DNA จาก 1 เป็น 2 โมเลกุล โดย DNA แต่ละโมเลกุลมีพอลินิวคลีโอไทด์สายเดิม 1 สาย และสายใหม่ 1 สาย การจำลอง DNA จึงเป็นแบบกึ่งอนุรักษ์ (semiconservative replication)



ความรู้เสริมสำหรับครู

นักวิทยาศาสตร์ได้ตั้งสมมติฐานการเกิดการจำลอง DNA ไว้ ดังนี้

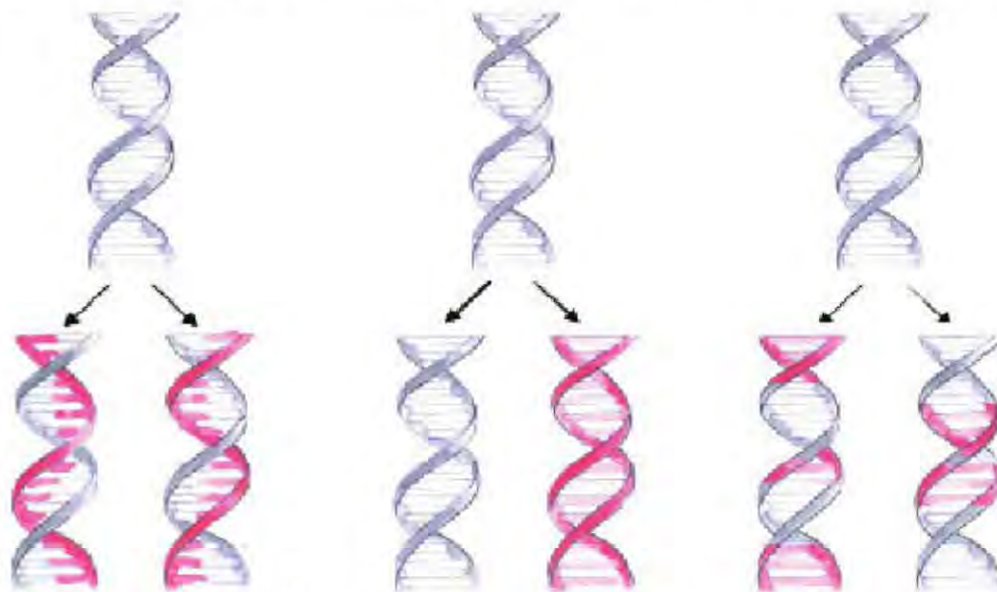
1. แบบกึ่งอนุรักษ์ (semiconservative replication) เมื่อมีการจำลอง DNA แล้ว DNA แต่ละโมเลกุลมีพอลินิวคลีโอไทด์สายเดิมและสายใหม่
2. แบบอนุรักษ์ (conservative replication) เมื่อมีการจำลอง DNA แล้ว พอลินิวคลีโอไทด์ทั้งสองสายไม่แยกจากกันยังเป็นสายเดิม จะได้ DNA โมเลกุลใหม่ ที่มีพอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ทั้งสองสาย
3. แบบกระจัดกระจาย (dispersive replication) เมื่อมีการจำลอง DNA จะได้ DNA ที่เป็นของเดิมและของใหม่ปะปนกันไม่เป็นระเบียบ

จากสมมติฐานทั้งหมดนี้ มีสมมติฐานการจำลอง DNA แบบกึ่งอนุรักษ์เท่านั้น ที่มีการทดลองของนักวิทยาศาสตร์มาสนับสนุนความเป็นไปได้

สมมติฐานที่ 1 แบบกึ่งอนุรักษ์

สมมติฐานที่ 2 แบบอนุรักษ์

สมมติฐานที่ 3 แบบกระจัดกระจาย



ภาพที่ 16-2 สมมติฐานการเกิดการจำลอง DNA

ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูล และอภิปรายว่า ในการสังเคราะห์ DNA ในหลอดทดลองพบว่า มีเอนไซม์ DNA พอลิเมอเรสเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นเอนไซม์ DNA พอลิเมอเรสมีบทบาทอย่างไรในการสังเคราะห์ DNA ซึ่งนักเรียนควรจะสามารถสรุปได้ว่า เอนไซม์ DNA พอลิเมอเรสมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ DNA โดยเป็นตัวเชื่อมนิวคลีโอไทด์แต่ละนิวคลีโอไทด์เข้าด้วยกันเป็นสายยาว



จากนั้นให้นักเรียนศึกษาการสังเคราะห์โมเลกุลของ DNA ในหลอดทดลองของคอนเบิร์ก และในตารางที่ 16.4 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบอัตราส่วนของเบสใน DNA ที่สังเคราะห์ได้กับดีเอ็นเอแม่แบบ แล้วตอบคำถาม ซึ่งมีแนวในการตอบคำถามดังนี้



จากข้อมูลในตารางนี้สามารถบอกอะไรได้บ้าง



อัตราส่วนของ $\frac{A+T}{C+G}$ ใน DNA ที่สังเคราะห์ได้กับอัตราส่วนของ $\frac{A+T}{C+G}$ ใน DNA แม่แบบ มีอัตราส่วนใกล้เคียงกัน เป็นไปได้ว่า DNA ที่สังเคราะห์ได้น่าจะประกอบด้วยจำนวนนิวคลีโอไทด์ใกล้เคียงกับ DNA แม่แบบและมีโครงสร้างคล้ายกับ DNA แม่แบบ

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายเพิ่มเติมว่า **การสังเคราะห์ DNA สายใหม่ทั้งสองสายเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร** จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นการสังเคราะห์ DNA จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ และศึกษาภาพที่ 16-14 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนอภิปรายและสรุปเกี่ยวกับการสังเคราะห์ DNA สายใหม่ 2 สาย ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

1. DNA เกือบจะคู่คล้ายเกลียวแยกออกจากกัน DNA แม่แบบ 2 สายที่แยกออกจากกัน มีทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' สวนทางกัน
2. DNA สายที่มีปลาย 3' ไปยังปลาย 5' จะเป็นแม่แบบของการสร้าง DNA สายใหม่ จากทิศทาง 5' ไปยังปลาย 3' อย่างต่อเนื่องเป็นสายยาว DNA สายใหม่นี้เรียกว่า ลิดดิ้งสแตรนต์
3. การสังเคราะห์ DNA สายใหม่จะมีดีเอ็นเอพอลิเมอเรสทำหน้าที่เชื่อมนิวคลีโอไทด์ให้เป็นสายยาว
4. DNA อีกสายหนึ่งที่มีปลาย 5' ไปยังปลาย 3' ไม่สามารถเป็นแม่แบบเพื่อสร้างสาย DNA จากทิศทางจากปลาย 3' ไปยังปลาย 5' ได้อย่างต่อเนื่อง การสร้าง DNA สายใหม่จึงสร้างเป็นสายสั้นๆ ทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' และจะมีเอนไซม์ไลเกสเชื่อม DNA สายใหม่ที่เป็นสายสั้นๆ เข้าด้วยกันเป็นสายยาวเรียกว่า แลกกิงสแตรนต์

ครูอาจเน้นให้นักเรียนเข้าใจยิ่งขึ้นว่า ในการสร้าง DNA สายใหม่ จะต้องมีการทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' เสมอ เนื่องจากเอนไซม์ DNA พอลิเมอเรสจะทำงานโดยทำหน้าที่เชื่อมนิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสายยาวจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' อีกประการหนึ่งก็คือ สายใหม่อีกสายหนึ่งไม่สามารถสร้างต่อกันเป็นสายยาวได้ เนื่องจากทิศทางการสร้างจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' นั้นสวนทางกับทิศทางการคลายเกลียวของ DNA โมเลกุลเดิม



16.6.2 การควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของ DNA

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยทบทวนเกี่ยวกับความแตกต่างของ DNA แต่ละโมเลกุลที่แตกต่างกันที่จำนวนของเบสและลำดับของเบส และทบทวนบทบาทของโปรตีนในสิ่งมีชีวิต โดยตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- โปรตีนเป็นส่วนประกอบส่วนใดของร่างกายของสิ่งมีชีวิต
- โปรตีนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกายอย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนควรยกตัวอย่างสารในร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่เป็นโปรตีน เช่น ฮีโมโกลบิน แอกทิน ไมโอซิน ฯลฯ และโปรตีนเป็นเอนไซม์ที่ควบคุมปฏิกิริยาต่าง ๆ ในร่างกาย

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลว่า ลำดับเบสใน DNA เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และการสังเคราะห์โปรตีนเกี่ยวข้องกับการแสดงลักษณะทางพันธุกรรมได้อย่างไร ในหัวข้อนี้ต้องการให้นักเรียนร่วมกันสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง DNA กับลักษณะทางพันธุกรรมได้

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและวิเคราะห์การศึกษาของอินแกรมเกี่ยวกับโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ และจากภาพที่ 16-15 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน ซึ่งจากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ DNA ทำให้การสังเคราะห์โปรตีนฮีโมโกลบินผิดปกติ คือ ลำดับกรดอะมิโนส่วนหนึ่งในสายปิตาของโมเลกุลฮีโมโกลบินต่างไปจากปกติ เซลล์เม็ดเลือดแดงจึงมีลักษณะเป็นรูปเคียวนำออกซิเจนได้น้อยลง เกิดเป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ แสดงว่าลำดับของเบสบน DNA ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

ส่วนคำถามในหนังสือเรียนมีแนวคำตอบดังนี้

? คนเป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์มีลำดับของกรดอะมิโนในฮีโมโกลบินสายปิตาแตกต่างจากคนปกติอย่างไร ?

✎ แตกต่างกันคือ กรดอะมิโนตำแหน่งที่ 6 ของพอลิเพปไทด์สายปิตาสายหนึ่งของฮีโมโกลบินในคนปกติเป็นกรดกลูตามิก ส่วนในคนที่เป็โรคจะเป็นวาลีน

? ลักษณะทางพันธุกรรมของโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์เกี่ยวข้องกับโปรตีนและ DNA อย่างไร ?

✎ เมื่อเบสของ DNA เปลี่ยนไป การสังเคราะห์โปรตีนฮีโมโกลบินจะผิดปกติ ทำให้คนที่มีลักษณะทางพันธุกรรมเช่นนี้เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์



ครูอาจเน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง DNA โปรตีน และลักษณะทางพันธุกรรมได้ว่า เมื่อลำดับเบสของ DNA เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้ลักษณะทางพันธุกรรมเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า DNA ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม

16.6.3 DNA กับการสังเคราะห์โปรตีน

ครูอาจทบทวนเกี่ยวกับกรดนิวคลีอิกว่าในเซลล์มี DNA และ RNA เป็นกรดนิวคลีอิก ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า RNA มีโครงสร้างที่แตกต่างจาก DNA อย่างไร จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นร่วมกันอภิปรายและวิเคราะห์ความแตกต่างของโครงสร้าง RNA และ DNA โดยอาจใช้ภาพจากหนังสือเรียน โดยให้นักเรียนร่วมกันเสนอหัวข้อที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อเป็นประเด็นการอภิปราย จากการอภิปรายและการวิเคราะห์ นักเรียนควรสรุปความแตกต่างของโครงสร้าง DNA และ RNA เป็นข้อๆ ได้ดังนี้

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

ครูอาจชี้ให้นักเรียนเห็นว่า DNA อยู่ในนิวเคลียส แต่เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวขรุขระ ซึ่งมีไรโบโซมติดอยู่ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนอยู่ในไซโทพลาซึม

จากนั้นครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายประเด็นต่อไปนี้

- DNA ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนในไซโทพลาซึมได้อย่างไร
- เป็นไปได้หรือไม่ว่า DNA ส่งสารบางอย่างเป็นตัวแทนมาควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนในไซโทพลาซึม
- สารที่ DNA ส่งมานั้นคือสารอะไร รับคำสั่งจาก DNA อย่างไร และมีกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนอย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล สมมติฐานของจาค็อบและโมนอดจากหนังสือเรียนที่เสนอเกี่ยวกับสารที่เป็นตัวกลางระหว่าง DNA ในนิวเคลียสกับไรโบโซมในไซโทพลาซึม

จากการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสมมติฐานของจาค็อบและโมนอด โดยใช้ภาพที่ 16-17 ในหนังสือเรียนประกอบการอภิปรายเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปได้ว่า mRNA เป็นสารตัวกลางที่นำ



ข้อมูลทางพันธุกรรมจาก DNA เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนมายังไรโบโซมในไซโทพลาซึม ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสังเคราะห์โปรตีน จึงอาจสรุปได้ว่ากระบวนการสังเคราะห์โปรตีนประกอบด้วย ขั้นตอนการสังเคราะห์ RNA จาก DNA แม่แบบ และการสังเคราะห์โปรตีนในไรโบโซม

การสังเคราะห์ mRNA จาก DNA แม่แบบ

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลการสังเคราะห์ mRNA จาก DNA แม่แบบ จากภาพที่ 16-18 ถึง 16-20 ในหนังสือเรียน จากนั้นตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนนำความรู้มาอธิบายขั้นตอนการสังเคราะห์ mRNA ดังนี้

- การสังเคราะห์ mRNA มีขั้นตอนอย่างไร
- RNA พอลิเมอเรส มีบทบาทอย่างไรในการสังเคราะห์ mRNA
- ในการสังเคราะห์ mRNA มีทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' หรือจากปลาย 3' ไปยังปลาย 5'
- กระบวนการสังเคราะห์ mRNA จาก DNA แม่แบบเรียกว่ากระบวนการอะไร

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่าการสังเคราะห์ mRNA เอนไซม์ RNA พอลิเมอเรส ไปจับกับ DNA บริเวณที่จะสังเคราะห์ mRNA DNA สองสายจึงคลายเกลียวแยกออกจากกัน โดยมีสายหนึ่งของ DNA เป็นแม่แบบ จากนั้นนิวคลีโอไทด์ที่มีเบสคู่สมจะเข้าไปจับกับเบสของสายแม่แบบโดยนิวคลีโอไทด์ที่มีเบสคู่สมจะเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวมีทิศทางจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' ซึ่งสลับทิศทางกับสาย DNA แม่แบบ จนได้เป็นสาย mRNA จากนั้น mRNA แยกออกจาก DNA ไปยังไรโบโซม RNA พอลิเมอเรสมีบทบาทในการสังเคราะห์ mRNA คือ ทำให้พอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย แยกออกจากกัน และเชื่อมนิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสาย mRNA และทิศทางการสังเคราะห์ mRNA จะสังเคราะห์จากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' กระบวนการสังเคราะห์ mRNA เรียกว่า การถอดรหัส (transcription)

จากนั้นครูให้นักเรียนเปรียบเทียบกระบวนการสังเคราะห์ DNA และกระบวนการสังเคราะห์ mRNA ซึ่งนักเรียนควรเปรียบเทียบได้ดังนี้

กระบวนการสังเคราะห์ DNA	กระบวนการสังเคราะห์ mRNA
1. ใช้พอลินิวคลีโอไทด์ที่เป็นแม่แบบทั้ง 2 สาย	1. ใช้พอลินิวคลีโอไทด์ที่เป็นแม่แบบสายเดียว
2. ใช้เอนไซม์ DNA พอลิเมอเรสในการสังเคราะห์	2. ใช้เอนไซม์ RNA พอลิเมอเรสในการสังเคราะห์
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



ส่วนคำถามในหนังสือเรียน มีแนวในการตอบคำถามดังนี้



ในการสังเคราะห์ mRNA โดยใช้ DNA สายหนึ่งเป็นแม่แบบ มีลำดับเบสดังนี้
3' T A C G G C A T A T C G A 5' จงเขียนลำดับเบสของ mRNA ที่
สังเคราะห์ได้ โดยเริ่มจากปลาย 5' ไปยังปลาย 3'



ลำดับเบสของ mRNA ที่สังเคราะห์ได้เป็นดังนี้
5' A U G C C G U A U A G C U 3'

ครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและอภิปราย เพื่อให้เห็นบทบาทหน้าที่และความสำคัญของ DNA และ RNA ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนได้ดังนี้

- RNA ที่สังเคราะห์จาก DNA แม่แบบ มีกี่ชนิด อะไรบ้าง
- RNA แต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกันอย่างไรในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน

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

- mRNA นำรหัสการสร้างโปรตีนมายังไรโบโซมในไซโทพลาซึม
- tRNA ทำหน้าที่นำกรดอะมิโนมาต่อกันเป็นสายยาวบนไรโบโซม
- rRNA เป็นส่วนประกอบของไรโบโซม

ครูควรเน้นให้นักเรียนเข้าใจว่าการสังเคราะห์ RNA ทั้ง 3 ชนิด ในพวุกยูคาริโอตเกิดในนิวเคลียส จากนั้นจึงออกสู่ไซโทพลาซึม ซึ่งเป็นแหล่งที่มีการสังเคราะห์โปรตีนและชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดเรียงลำดับเบสบน mRNA ซึ่งจะเป็นรหัสพันธุกรรม (genetic code) เพื่อนำเข้าสู่หัวขั้วรหัสพันธุกรรมต่อไป

ครูอาจใช้ภาพที่ 16-21 ในหนังสือเรียน ในการประกอบการสรุปเกี่ยวกับชนิดของ RNA และหน้าที่ของ RNA ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจดียิ่งขึ้น

รหัสพันธุกรรม

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลว่าจากกระบวนการถอดรหัสทำให้ได้ mRNA แล้ว mRNA จะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนอย่างไร จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับรหัสพันธุกรรม

ครูอาจใช้ภาพโครงสร้างของ DNA จากหนังสือเรียน หรือหุ่นจำลองโครงสร้างของ DNA เพื่อเน้นให้นักเรียนเห็นว่าความแตกต่างของโมเลกุล DNA อยู่ที่จำนวนและลำดับนิวคลีโอไทด์



ใน DNA จากนั้นให้นักเรียนวิเคราะห์ว่า ส่วนใดของ DNA ที่เก็บข้อมูลทางพันธุกรรมและถ่ายทอดให้ mRNA ซึ่งไปกำหนดชนิดของกรดอะมิโนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน นักเรียนควรตอบได้ว่าลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA เป็นข้อมูลทางพันธุกรรมที่ถอดรหัสให้ mRNA

ครูควรเน้นให้นักเรียนทราบว่า ความแตกต่างของนิวคลีโอไทด์เนื่องมาจากเบสที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นลำดับนิวคลีโอไทด์ในสาย DNA และ RNA จึงอาจเรียกแทนว่า ลำดับเบส

ครูควรเน้นให้นักเรียนสรุปประเด็นสำคัญได้ว่า ลำดับเบสของ DNA จะกำหนดลำดับเบสของ mRNA และลำดับเบสของ mRNA จะกำหนดชนิดและการเรียงตัวของกรดอะมิโน จากนั้นครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลและการอภิปรายว่า การเรียงลำดับของเบสใน mRNA จำนวนเท่าใดจึงเป็น 1 รหัสพันธุกรรมเพื่อกำหนดกรดอะมิโน 1 ชนิด ถ้ามีเบส 1 ตัวเป็นรหัสกำหนดกรดอะมิโน 1 ชนิด จะได้กรดอะมิโนกี่ชนิด ซึ่งนักเรียนควรตอบได้ว่า 4 ชนิด เนื่องจาก DNA มีนิวคลีโอไทด์ 4 ชนิด

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมโดยให้ประเด็นว่า ถ้ามีเบส 2 โมเลกุลเป็นรหัสกำหนดกรดอะมิโน 1 ชนิดจะได้รหัสของกรดอะมิโนกี่รหัส และกำหนดชนิดของกรดอะมิโนกี่ชนิด โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายและออกแบบรหัสพันธุกรรมอย่างอิสระ วัสดุที่ทำกิจกรรมอาจใช้ปากกาเคมีสีต่างๆ เขียนชนิดของเบสในกระดาษ หรือตัดกระดาษสีแทนชนิดของเบส เป็นต้น แล้วนำเสนอหน้าชั้นเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ จากการทำกิจกรรมและอภิปรายและบอกวิธีคิด ทำให้ได้ข้อสรุปว่ารหัสพันธุกรรมที่ประกอบด้วยเบส 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

ภาพที่ 16-3 รหัสพันธุกรรมที่ประกอบด้วยเบส 2 โมเลกุล

จากภาพที่ 16-3 จะเห็นได้ว่าถ้า 1 รหัสพันธุกรรมประกอบด้วยเบส 2 โมเลกุลเรียงกัน ซึ่งจะเป็นรหัสของกรดอะมิโน 1 ชนิด จะจัดเรียงได้เพียง 16 รหัส หรือ 4^2 ก็จะเป็นรหัสของกรดอะมิโน 16 ชนิด ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับกรดอะมิโนซึ่งมี 20 ชนิด

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- ถ้ารหัสพันธุกรรม 1 รหัสประกอบด้วยเบส 3 โมเลกุล จะจัดเรียงให้แตกต่างกันได้กี่รหัส



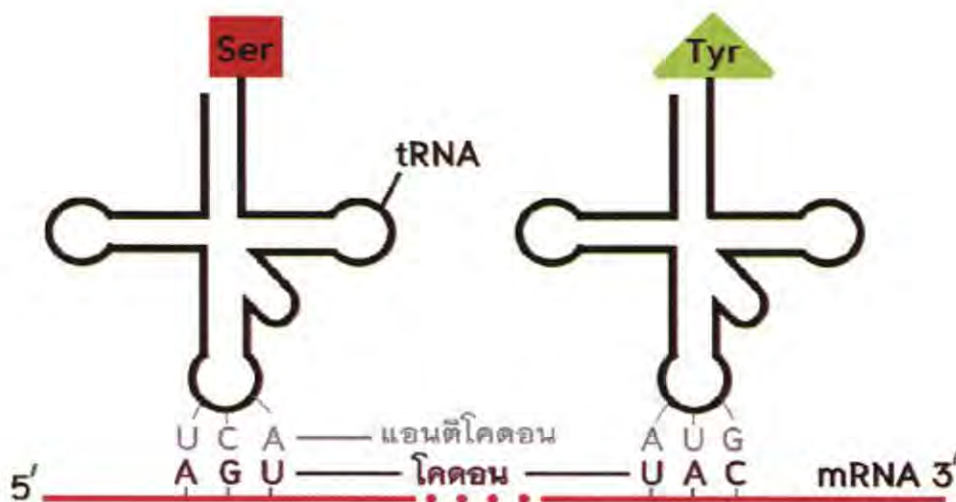
จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า 1 รหัสพันธุกรรมประกอบด้วยเบส 3 โมเลกุล จะได้ 64 รหัสหรือ 4^3 ซึ่งมีจำนวนรหัสพันธุกรรมที่มากเกินพอสำหรับกรดอะมิโน 20 ชนิด

ครูให้นักเรียนศึกษาตารางที่ 16.5 แสดงรหัสพันธุกรรม 64 รหัส ในหนังสือเรียน จากนั้นตั้งคำถามแล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ เพื่อนำความรู้เกี่ยวกับรหัสพันธุกรรมไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนต่อไปดังนี้

- รหัสพันธุกรรมที่รหัสที่กำหนดกรดอะมิโน 20 ชนิด
- กรดอะมิโนชนิดใดที่กำหนดโดยรหัสพันธุกรรม 1 รหัส หรือ 2 หรือ 3 หรือ 4 หรือ 6 รหัส
- รหัสใดบ้างที่ไม่กำหนดกรดอะมิโน

จากการวิเคราะห์และอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่ารหัสพันธุกรรมที่กำหนดกรดอะมิโน 20 ชนิด มีเพียง 61 รหัสเท่านั้นที่จะกำหนดกรดอะมิโนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน กรดอะมิโนบางชนิดที่กำหนดโดยรหัสพันธุกรรม 1 รหัส ได้แก่ เมไทโอนีน (Met) และ ทริปโตเฟน (Trp) กรดอะมิโนที่กำหนดโดยรหัสพันธุกรรม 2 รหัส เช่น ฮิสทีดีน (His) กำหนดโดย 3 รหัส เช่น ไอโซลิวซีน (Ile) กำหนดโดย 4 รหัส เช่น วาลีน (Val) และกำหนดโดย 6 รหัส เช่น ลิวซีน (Leu) เป็นต้น ส่วนรหัสพันธุกรรมอีก 3 รหัส ได้แก่ UAA UAG UGA จะไม่กำหนดกรดอะมิโน แต่เป็นรหัสหยุดการสังเคราะห์โปรตีน

ครูควรเพิ่มเติมว่ารหัสพันธุกรรม 1 รหัส เรียกว่าโคดอน (codon) จะกำหนดกรดอะมิโน 1 ชนิดและลำดับเบส 3 โมเลกุลของ tRNA ที่เข้าคู่กับโคดอน เรียกว่า แอนติโคดอน (anticodon) ดังภาพที่ 16-4



ภาพที่ 16-4 tRNA แอนติโคดอนและโคดอน

ครูอาจประเมินความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับโคดอนและแอนติโคดอน โดยกำหนดตัวอย่างโคดอนของ mRNA แล้วให้นักเรียนเติมแอนติโคดอน จากนั้นอาจให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กำหนดโคดอนเอง แล้ววาดภาพแสดงลำดับเบสของ mRNA ประมาณ 15 เบส ไรโบโซม และ tRNA โดยให้มีตำแหน่งของโคดอนของ mRNA อยู่ตรงกับแอนติโคดอนของ tRNA แล้วลุ่มให้ตัวแทนกลุ่มนำเสนอแอนติโคดอนทั้งหมดหน้าชั้นเรียน หรืออาจให้ทำใบงานเป็นกลุ่ม

ส่วนคำถามในหนังสือเรียนมีแนวในการตอบคำถามดังนี้



ถ้ารหัสพันธุกรรมประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ต่อไปนี้ GCC AAU CUG UGG ลำดับของกรดอะมิโนจะเป็นอย่างไร



ลำดับของกรดอะมิโนที่ได้คือ Ala – Asn – Leu – Trp

การสังเคราะห์โปรตีนที่ไรโบโซม

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนศึกษาภาพแสดงการสังเคราะห์ mRNA และรหัสพันธุกรรมเป็นการทบทวน เพื่อนำเข้าสู่หัวข้อการสังเคราะห์โปรตีน

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล และวิเคราะห์กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนที่ไรโบโซม และภาพที่ 16-22 ในหนังสือเรียน แล้วตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- ในการสังเคราะห์โปรตีนสิ่งใดเป็นตัวกำหนดชนิดและการเรียงลำดับของกรดอะมิโน
- สิ่งที่ต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนมีอะไรบ้าง
- tRNA มีบทบาทอย่างไรในการสังเคราะห์โปรตีน
- การสังเคราะห์โปรตีนมีทิศทางสังเคราะห์จากปลาย 5' ไปยังปลาย 3' ของ mRNA หรือทิศทางจากปลาย 3' ไปยังปลาย 5'
- กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนมีขั้นตอนอะไรบ้าง

จากการสืบค้นและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า ตัวที่กำหนดชนิดของกรดอะมิโนและการเรียงลำดับของกรดอะมิโน คือ เบสของ mRNA ที่เป็นรหัสพันธุกรรม โดยลำดับของเบส 3 โมเลกุลใน mRNA ที่เป็นตัวกำหนดชนิดของกรดอะมิโนและการเรียงลำดับของกรดอะมิโน มีอยู่ 61 รหัส

สิ่งที่ต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ได้แก่ DNA mRNA tRNA ไรโบโซม กรดอะมิโนและเอนไซม์ กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการถอดรหัส ซึ่งเป็นกระบวนการที่ DNA ถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมให้ mRNA ซึ่งจะนำรหัสการสังเคราะห์โปรตีนไปยังไซโทพลาซึม



กระบวนการแปลรหัส (translation) เป็นกระบวนการที่เกิดการสังเคราะห์โปรตีนโดย tRNA นำกรดอะมิโนชนิดที่ตรงกับโคดอนของ mRNA ตามตารางที่ 16.5 ในหนังสือเรียน เช่น tRNA ที่มีแอนติโคดอน CCA จะนำกรดอะมิโนชนิดไกลซีน (Gly) มายังไรโบโซมตรงที่มีโคดอน GGU ของ mRNA โดยนำกรดอะมิโนมาเรียงต่อกันบนไรโบโซมตามรหัสพันธุกรรมของ mRNA

ครูกระตุ้นให้นักเรียนสืบค้นเพื่อนำไปสู่การอภิปรายและเปรียบเทียบการสังเคราะห์โปรตีนของสิ่งมีชีวิตพวกโพรคาริโอตและยูคาริโอต จากการอภิปรายนักเรียนควรเปรียบเทียบได้ว่า

การสังเคราะห์โปรตีนของโพรคาริโอตทั้งกระบวนการการถอดรหัสและการแปลรหัส เกิดในไซโทพลาซึมเนื่องจากพวกโพรคาริโอตไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ส่วนยูคาริโอตการถอดรหัส เกิดในนิวเคลียส ส่วนการแปลรหัสเกิดในไซโทพลาซึม

ครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 16-22 จากหนังสือเรียนซึ่งแสดงขั้นตอนของการสังเคราะห์โปรตีนในโพรคาริโอต แล้วให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันและสรุปขั้นตอนการสังเคราะห์โปรตีนอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้นักเรียนเข้าใจยิ่งขึ้น ซึ่งในการอภิปรายครูอาจใช้คำถามประกอบว่า **จากสาย mRNA 1 สาย สามารถสังเคราะห์พอลิเพปไทด์พร้อมกันได้หลายสายหรือไม่** โดยให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 16-23 ในหนังสือเรียนประกอบ ซึ่งแสดงการสังเคราะห์พอลิเพปไทด์หลายๆ สายพร้อมกัน โดยไรโบโซมจะมาเกาะจับกับ mRNA ได้หลายๆ ไรโบโซม mRNA ลักษณะนี้เรียกว่า พอลิไรโบโซมหรือพอลิโซม

ครูให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ใหม่กับความรู้เดิมที่นักเรียนเคยเรียนมาแล้วว่า **DNA ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน โปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้นเหล่านี้ไปทำหน้าที่อะไรบ้าง** ซึ่งนักเรียนควรจะนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการตอบได้หลากหลาย เช่น โปรตีนฮีโมโกลบินช่วยขนส่งออกซิเจน แอวกทินและไมโอซินในกล้ามเนื้อช่วยในการเคลื่อนที่ คอลลาเจนและเคอราทินเป็นโปรตีนในผิวหนังและขน โปรตีนที่เป็นเอนไซม์ หรือฮอร์โมนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดลักษณะต่างๆ ในสิ่งมีชีวิต จึงอาจกล่าวได้ว่า DNA สามารถควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมโดยควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวในการตอบคำถาม ดังนี้



ถ้าโคดอนของ mRNA โมเลกุลหนึ่งมีลำดับเบสดังนี้

5' AUG CAC GGG GUA U AUC UAA 3'

จงบอกลำดับเบสของแอนติโคดอนของ tRNA โดยเรียงลำดับแอนติโคดอนของ tRNA ที่จะเข้าจับสาย mRNA และลำดับของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์



ลำดับเบสของแอนติโคดอนของ tRNA คือ

UAC GUG CCC AUA UAG ส่วน UAA เป็นโคดอนของรหัสหยุดจึงไม่มีลำดับเบสที่เป็นแอนติโคดอน



ลำดับของกรดอะมิโนในสายพอลินิวคลีโอไทด์ คือ Met His Gly Try Ile ส่วนรหัส UAA เป็นรหัสหยุดการสังเคราะห์โปรตีน

? ถ้าโคดอนของ mRNA โมเลกุลหนึ่งมีลำดับเบสดังนี้
 5' G C A G A U U U A U G G U A G G G C G U C C C U A G 3'
 จงบอกลำดับเบสของแอนติโคดอนของ tRNA โดยเรียงลำดับแอนติโคดอน
 ของ tRNA ที่จะเข้าจับสาย mRNA และลำดับของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์
 ✎ tRNA ตัวแรกจะเข้าจับกับ mRNA ที่ตำแหน่งที่มีลำดับเบสเป็น A U G ดังนั้นลำดับเบส
 ของแอนติโคดอนของ tRNA คือ U A C C A U C C C G C A G G G ส่วน U A G เป็นโคดอน
 ของรหัสหยุดจึงไม่มีลำดับเบสที่เป็นแอนติโคดอน ลำดับของกรดอะมิโนในสายพอลินิวคลีโอไทด์
 คือ Met Val Gly Arg Pro ส่วนรหัส UAG เป็นรหัสหยุดการสังเคราะห์โปรตีน

? พอลิเพปไทด์สายหนึ่งมีลำดับกรดอะมิโนดังนี้ Met – Pro – Lys – Val
 จงบอกลำดับเบสที่อาจเป็นไปได้ของ mRNA ที่สร้างพอลิเพปไทด์สายนี้
 ✎ 5' AUG CCA AAA GUG 3' ซึ่งคำตอบของนักเรียนอาจแตกต่างกันออกไปได้
 โดยดูรหัสของกรดอะมิโนจากตารางที่ 16.5

? จากภาพที่ 16-23 เป็นพอลิโรโบโซมของโพรคาริโอตหรือยูคาริโอต
 ✎ โพรคาริโอต

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนักเรียนจะเห็นได้ว่า DNA เกี่ยวข้องกับการแสดงลักษณะ
 ของสิ่งมีชีวิต ซึ่ง DNA เป็นแหล่งเก็บข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตแล้วถ่ายทอดให้กับ RNA
 จากนั้นมีการแปลรหัสจาก RNA เป็นกรดอะมิโน ในที่สุดจะได้โปรตีนซึ่งทำหน้าที่เป็นโปรตีน
 โครงสร้าง โปรตีนที่เป็นเอนไซม์หรืออื่นๆ ภายในเซลล์ มีผลทำให้เซลล์และสิ่งมีชีวิตมีลักษณะ
 ต่างๆ ปรากฏให้เห็นได้ ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนผังดังนี้





ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมที่ 16.1 เพื่อทบทวนความรู้ที่ได้เรียนมาแล้วเกี่ยวกับ DNA และการสังเคราะห์โปรตีน

กิจกรรมที่ 16.1 การแก้โจทย์ปัญหาเกี่ยวกับ DNA และการสังเคราะห์โปรตีน

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. ระบุส่วนประกอบของ DNA
2. นำความรู้เรื่องการถอดรหัสและการแปลรหัสมาแก้โจทย์ปัญหาที่กำหนด

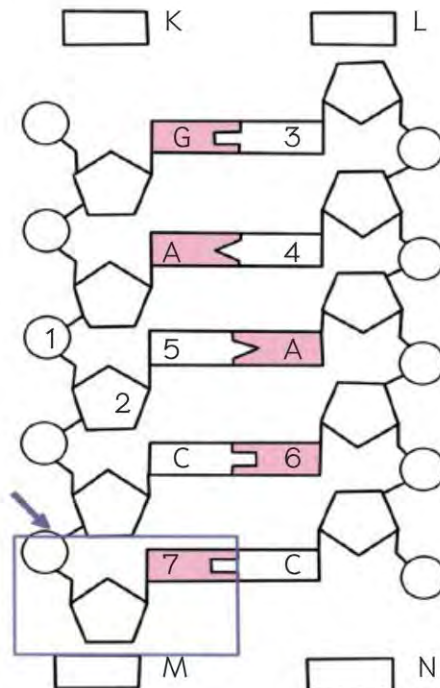
แนวการตอบกิจกรรมที่ 16.1




1. จงศึกษาภาพแสดงโครงสร้างของ DNA แล้วตอบคำถามต่อไปนี้

ก. หมายเลข 1 – 7 เป็นส่วนประกอบส่วนใดของ DNA

- หมายเลข 1 คือ หมู่ฟอสเฟต
 หมายเลข 2 คือ น้ำตาลดีออกซีไรโบส
 หมายเลข 3 คือ เบสไซโทซีน
 หมายเลข 4 คือ เบสไทมีน
 หมายเลข 5 คือ เบสไทมีน
 หมายเลข 6 คือ เบสกวานีน
 หมายเลข 7 คือ เบสกวานีน

- ข. กรอบที่มีลูกศรชี้คืออะไร
 กรอบที่มีลูกศรชี้คือ 1 นิวคลีโอไทด์



- ด. ปลาย 2 ด้านของ DNA แต่ละสายในกรอบ K L M และ N เป็นปลาย 3' หรือปลาย 5'
-  K คือปลาย 5'
 - L คือปลาย 3'
 - M คือปลาย 3'
 - N คือปลาย 5'
2. mRNA ที่ถอดรหัสจาก DNA มีลำดับเบสเป็น 5' UAU CGC ACC UCA GAC UAG 3' จากข้อมูลนี้จงตอบคำถามต่อไปนี้
- ก. ลำดับเบสของสาย DNA แม่แบบเป็นอย่างไร
-  ลำดับเบสของสาย DNA แม่แบบ มีลำดับดังนี้ 3' ATA GCG TGG AGT CTG ATC 5'
- ข. พอลิเพปไทด์สายนี้มีลำดับของกรดอะมิโนเป็นอย่างไร โดยใช้รหัสพันธุกรรมจากตารางที่ 16.5
-  Tyr - Arg - Thr - Ser - Asp UAG เป็นรหัสหยุดการสังเคราะห์โปรตีน
3. กำหนดให้ส่วนหนึ่งของพอลินิวคลีโอไทด์สายหนึ่งของ DNA เป็นสายแม่แบบโดย AUG เป็นรหัสเริ่มต้นในการสังเคราะห์โปรตีนจากตารางที่กำหนดให้ จงเติมข้อมูลต่อไปนี้ลงในตาราง ได้แก่ โคดอนของ mRNA แอนติโคดอนของ tRNA ชนิดของกรดอะมิโน และสายพอลิเพปไทด์

DNA สายแม่แบบ	3' TAC	CTT	AAG	GGA	TTA	CCG	TCT	ATG	ATC 5'
โคดอนของ mRNA	AUG	GAA	UUC	CCU	AAU	GGC	AGA	UAC	UAG
แอนติโคดอนของ tRNA	UAC	CUU	AAG	GGA	UUA	CCG	UCU	AUG	-
กรดอะมิโน	Met	Glu	Phe	Pro	Asn	Gly	Arg	Tyr	-
พอลิเพปไทด์	Met - Glu - Phe - Pro - Asn - Gly - Arg - Tyr								





16.7 มิวเทชัน

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของมิวเทชันและยกตัวอย่าง
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายสาเหตุและผลของการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดและมิวเทชันระดับโครโมโซม

แนวการจัดการเรียนรู้

การนำเข้าสู่หัวข้อนี้ ครูอาจนำภาพเปรียบเทียบคนผิวปกติและผิวเผือก แผลงหรือตาสีแดงและตาสีขาว แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ผิดไปจากปกติ เช่น ลักษณะผิวเผือกในคน หรือตาสีขาวในแมลงหวี่และการถ่ายทอดลักษณะที่ผิดปกตินี้ไปยังลูกหลาน เพื่อให้นักเรียนสรุปได้ว่า ลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ DNA และโครโมโซม เรียกลักษณะนี้ว่า การกลายหรือมิวเทชัน

ครูทบทวนการศึกษาของอินแกรม ที่ได้ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของฮีโมโกลบินที่ผิดปกติของคนที่ เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ โดยการเปรียบเทียบกับฮีโมโกลบินของคนปกติ โดยใช้ภาพที่ 16-15 ในหนังสือเรียนอีกครั้งหนึ่ง จากภาพจะเห็นว่าลำดับกรดอะมิโนส่วนหนึ่งในสายเป็ตาของโมเลกุลฮีโมโกลบินของคนปกติเป็นกรดกลูตามิก ส่วนคนที่ เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์เป็นวาเลิน

จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นว่า **กรดกลูตามิกในสายเป็ตาของโมเลกุลฮีโมโกลบินเปลี่ยนเป็นวาเลินได้อย่างไร** ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันพร้อมทั้งศึกษาภาพที่ 16-24 ในหนังสือเรียนประกอบซึ่งแสดงการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุด โดยครูให้นักเรียนสรุปว่าในการเกิดโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์นั้น เป็นการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดในลักษณะใด ซึ่งนักเรียนอาจจะยังสรุปไม่ได้จนกว่าจะได้ศึกษาภาพที่ 16-25 ในหนังสือเรียนประกอบ จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้



จากภาพที่ 16-24 การเปลี่ยนแปลงของเบสใน DNA เป็นอย่างไร



ในการจำลอง DNA ครั้งแรก มีการจับคู่ของเบสผิดคู่ เบส G ควรจะจับคู่กับเบส C แต่ไปจับคู่กับเบส T แทน และเมื่อสายพอลิเพปไทด์ที่มีเบส T นี้ไปสร้างพอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ เบส T ก็จะไปจับกับเบส A ดังนั้นลำดับของเบสในสาย DNA สายนี้จึงเปลี่ยนแปลงไป





การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ DNA อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรหัสพันธุกรรม และการสังเคราะห์โปรตีนอย่างไร



ถ้า DNA สายที่เกิดมิวเทชันไปเป็นแม่แบบในการสร้าง mRNA ก็จะมีรหัสบนสาย mRNA ในตำแหน่งที่เกิดมิวเทชันเปลี่ยนแปลง การแปลรหัสในการสังเคราะห์โปรตีนก็อาจจะไม่ได้ชนิดของกรดอะมิโนเหมือนสายปกติ

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดในบริเวณ DNA ที่เป็นตำแหน่งของยีนและให้นักเรียนสรุป โดยใช้ภาพที่ 16-25 ในหนังสือเรียน ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า การที่กรดกลูตามิกเปลี่ยนแปลงไปอาจจะเกิดความผิดพลาดขณะที่ DNA จำลองตัวเอง ดังนั้นเมื่อ DNA ที่สังเคราะห์มาได้ถ่ายทอดรหัสให้ mRNA การแปลรหัสจาก mRNA จึงได้กรดอะมิโนที่แตกต่างจากเดิม

จากนั้นครูใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า **สาเหตุของการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดมีอะไรบ้าง** จากการอภิปรายนักเรียนควรบอกได้ว่า สาเหตุของการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุด ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ต สารเคมีบางอย่าง เช่น สารอะฟลาทอกซิน มีผลทำให้ DNA หรือยีนเปลี่ยนแปลงไปได้หลายลักษณะ เช่น นิวคลีโอไทด์ขาดหายหรือเพิ่มขึ้น เบสเปลี่ยนเป็นชนิดอื่น และการเปลี่ยนแปลงจะก่อให้เกิดผลต่อลูกหลาน ถ้าบริเวณที่เกิดมิวเทชันนั้นสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่กิ่ง ที่รากของพืชที่จะนำไปใช้ขยายพันธุ์

จากการศึกษาภาพที่ 16-25 นักเรียนควรสรุปได้ว่า เป็นการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดแบบการแทนที่คู่เบส โดยคนที่เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์จะมีรหัสพันธุกรรมเปลี่ยนจาก CTC เป็น CAC จึงทำให้กรดอะมิโนเปลี่ยนจากกรดกลูตามิกเป็นวาเลอีน จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้




ถ้า DNA ที่เป็นแม่แบบในการสร้างสาย mRNA ที่มีลำดับเบสเป็น CUU UCU ACA AAA เกิดมิวเทชันเฉพาะจุดทำให้ได้สาย mRNA มีลำดับเบสเป็น UUU UCU ACA AAA จะมีผลอย่างไรในระดับของพอลิเพปไทด์และลักษณะของสิ่งมีชีวิต



จะมีผลทำให้กรดอะมิโนในบริเวณมิวเทชัน คือ CUU ที่เป็นรหัสพันธุกรรมของกรดอะมิโนลิวซีนเปลี่ยนเป็น UUU ซึ่งเป็นรหัสพันธุกรรมของกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน ทำให้ลำดับของกรดอะมิโนเปลี่ยนแปลงไปอาจมีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต



? จากภาพที่ 16–25 การเกิดโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของเบสบน DNA สายแม่แบบอย่างไร และเป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนอย่างไร **?**


 โดยคนที่ เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโนจากกรดกลูตามิกเป็นวาเลอีน โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของเบสจาก T เป็น A

? การเกิดมิวเทชันแบบการแทนที่ของคู่เบสทำให้เกิดผลเสียเสมอไปหรือไม่ เพราะเหตุใด **?**

 ไม่เสมอไป ถ้าการแทนที่คู่เบสนั้นเป็นรหัสที่กำหนดกรดอะมิโนชนิดเดียวกัน

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นหรือการขาดหายของนิวคลีโอไทด์ เรียกการเกิดมิวเทชันแบบนี้ว่าเฟรมชิฟท์มิวเทชัน โดยศึกษาภาพที่ 16–26 ในหนังสือเรียนประกอบ แล้วให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้

? ถ้าเกิดการเพิ่มขึ้นหรือขาดหายของ 3 นิวคลีโอไทด์ที่เป็นโคดอน จะเกิดความผิดปกติอย่างไร **?**

 ชนิดของกรดอะมิโนในบริเวณดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป ถ้าเกิดลักษณะเช่นนี้ 1–2 นิวคลีโอไทด์ มักจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการทำงานของพอลิเพปไทด์

นอกจากนี้ครูอาจใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปรายต่อไปได้ว่า

- มิวเทชันเฉพาะจุด แบบการแทนที่คู่เบสและเฟรมชิฟท์มิวเทชัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง DNA และมีผลต่อการแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันอย่างไร

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายเปรียบเทียบและสรุปการเกิดมิวเทชันแบบการแทนที่คู่เบสและแบบการเพิ่มขึ้นหรือขาดหายของนิวคลีโอไทด์ซึ่งนักเรียนอาจสรุปได้ดังนี้



การแทนที่คู่เบส	เฟรมชิฟท์มิวเทชัน
1. มีการเปลี่ยนแปลงแทนที่คู่เบสในสายพอลินิวคลีโอไทด์ของ DNA เช่น A-T ถูกแทนที่ด้วย G-C	1. มีการเพิ่มหรือขาดหายของ 1 นิวคลีโอไทด์หรือมากกว่าในสายพอลินิวคลีโอไทด์ของ DNA
2. มีผลทำให้เปลี่ยนแปลงเฉพาะบริเวณรหัสพันธุกรรมแต่ไม่ทำให้รหัสพันธุกรรมอื่นๆ เปลี่ยนแปลง	2. มีผลทำให้รหัสพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ลำดับและชนิดของกรดอะมิโนหลังจากนี้ไปจะเปลี่ยนไปด้วย
3. อาจมีผลหรือไม่มีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิตก็ได้ คือถ้าเกิดการแทนที่คู่เบสในรหัสพันธุกรรมรหัสเดียวกันอาจจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดกรดอะมิโนจึงไม่มีผลต่อลักษณะพันธุกรรม แต่ถ้าทำให้ชนิดของกรดอะมิโนเปลี่ยนไปโปรตีนจะเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งมีผลต่อการแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิต เช่น โรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์	3. สมบัติของพอลินิวคลีโอไทด์หรือโปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์โปรตีนจะแตกต่างกันไปจากปกติ จะมีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต

ครูควรเน้นให้นักเรียนเข้าใจว่ามิวเทชันเกิดขึ้นได้ทั้งเซลล์ร่างกายและเซลล์สืบพันธุ์ ถ้ามิวเทชันเกิดขึ้นกับเซลล์สืบพันธุ์ จะสามารถถ่ายทอดสู่ลูกหลานได้ แต่ถ้ามิวเทชันเกิดขึ้นกับเซลล์ร่างกายที่จะพัฒนาให้เกิดการสืบพันธุ์ได้ ก็จะสามารถถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานได้ เช่นเดียวกัน เช่น มิวเทชันที่เกิดกับตาข้างที่จะเจริญไปเป็นกิ้งซึ่งมีลักษณะต่างไปจากเดิมเมื่อขยายพันธุ์โดยการปักชำหรือการตอนก็จะได้ต้นที่มีลักษณะต่างไปจากต้นเดิม ปัจจุบันมิวเทชันที่เกิดจากการชักนำโดยมนุษย์จะทำให้เกิดมิวเทชันในอัตราที่สูงกว่าที่เกิดโดยธรรมชาติ สิ่งที่ทำให้เกิดมิวเทชันเรียกว่า สิ่งก่อการกลายหรือมิวทาเจน ได้แก่ รังสี ความร้อน สารเคมี เป็นต้น จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

?

การเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ สามารถสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้หรือไม่

✍️ ไม่ได้ เพราะการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดเป็นการเกิดในระดับยีนซึ่งจะต้องศึกษาโดยวิธีการหาลำดับเบส

?



ครูอาจให้นักเรียนยกตัวอย่างมิวทาเจนที่เป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดโรคมะเร็ง โดยให้พิจารณาจากสิ่งรอบตัวจากการอุปโภค บริโภคของนักเรียนเอง โดยครูอาจให้นักเรียนสืบค้นว่า มีรายงานหรือพิษฐานแล้วว่าสารใดบ้างที่เป็นสารก่อมะเร็ง แล้วนำเสนอรายงานหน้าชั้นเรียนและจัดป้ายนิเทศ

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับมิวเทชันระดับโครงสร้างของโครโมโซม

จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับมิวเทชันระดับโครโมโซม ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างของโครโมโซม มีสาเหตุมาจากความผิดปกติในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส รังสีต่างๆ หรือสารเคมี จึงทำให้เกิดเซลล์สืบพันธุ์ที่ผิดปกติเกิดขึ้นได้หลายแบบ เช่น บางส่วนของโครโมโซมขาดหายไปอาจเกิดที่ส่วนปลายหรือส่วนกลางแห่งโครโมโซม บางส่วนของโครโมโซมที่ขาดไปจะกลับมาต่อใหม่แต่ต่อกลับหัวกลับหางทำให้ยีนสลับที่กัน บางส่วนของโครโมโซมเกินมาจากปกติ ส่วนที่เกินอาจมาจากโครโมโซมที่เป็นคู่กันและการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนโครโมโซมต่างคู่กัน จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซมทำให้จำนวนของเบสและลำดับของเบสเปลี่ยนไป ซึ่งทำให้รหัสพันธุกรรมและการสังเคราะห์โปรตีนเปลี่ยนไป มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟีโนไทป์ เกิดโรคต่างๆ เช่น กลุ่มอาการครีดูชาต์ โดยครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 16-27 ซึ่งแสดงกลุ่มอาการครีดูชาต์ และภาพที่ 16-28 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซมในหนังสือเรียนประกอบ

2. การเปลี่ยนแปลงด้านจำนวนโครโมโซม มีสาเหตุมาจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสผิดปกติ คือเกิดปรากฏการณ์นอนดิสจังชัน ซึ่งสอมอโลกัลโครโมโซมไม่แยกจากกันขณะแบ่งเซลล์ มีผลทำให้เซลล์สืบพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมขาดหรือเกินเป็นแท่ง ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งออโตโซมและโครโมโซมเพศ ความผิดปกตินี้ทำให้เกิดโรคกลุ่มอาการดาวน์ กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ซินโดรม ฯลฯ นอกจากนี้จำนวนโครโมโซมขาดหรือเกินเป็นชุดเรียกว่า พอลิพลอยด์ มักพบในพืชจะมีประโยชน์มาก แต่ถ้าเกิดกับสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมักจะเกิดผลเสียมากกว่าผลดี โดยครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 16-29 ซึ่งแสดงกลุ่มอาการดาวน์ และภาพที่ 16-30 ซึ่งแสดงการเกิดนอนดิสจังชันของออโตโซมเมื่อแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในหนังสือเรียนประกอบ

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาอาการกลุ่มอาการครีดูชาต์และกลุ่มอาการดาวน์ ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ดังนี้

กลุ่มอาการครีดูชาต์ มีลักษณะผิดปกติ คือ ศีรษะเล็ก ใบหน้ากลม ตาเล็กอยู่ห่างกัน และเฉียง ตั้งจมูกแบน ใบหูอยู่ต่ำกว่าปกติ เส้นสายเสียงผิดปกติ ทำให้เสียงเล็กแหลมคล้ายเสียงร้องของแมว ปัญญาอ่อน อาจมีชีวิตอยู่ได้จนเป็นผู้ใหญ่




กลุ่มอาการดาวน์ มีลักษณะผิดปกติคือ รูปร่างเตี้ย ตาห่าง หางตาชี้ขึ้น ลิ้นโตคับปาก คอสั้นกว้าง นิ้วมือนิ้วเท้าสั้น ลายนิ้วมือผิดปกติ ปัญญาอ่อน จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? จากคาริโอไทป์ของกลุ่มอาการครีดูชาติ โรคนี้เกิดจากความผิดปกติของโครโมโซมคู่ใด และจำนวนโครโมโซมเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ?

 แขนข้างสั้นของโครโมโซมคู่ที่ 5 ขาดหายไป จำนวนโครโมโซมไม่เปลี่ยนแปลง

? กลุ่มอาการครีดูชาติเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซมเป็นแบบใด ?


 บางส่วนของโครโมโซมขาดหายไป

? จากคาริโอไทป์ของกลุ่มอาการดาวน์ โรคนี้เกิดจากความผิดปกติของโครโมโซมคู่ใด เกิดกับโครโมโซมชนิดใด และโครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ?

 เกิดกับโครโมโซมร่างกายคู่ที่ 21 ซึ่งเป็นออโตโซม โครโมโซมเกินมา 1 โครโมโซม

ขณะที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสถ้าสอมอโลกัสโครโมโซมไม่แยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส I หรือโครมาทิดไม่แยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส II จะทำให้โครโมโซมหรือโครมาทิดเคลื่อนย้ายไปยังขั้วเดียวกันของเซลล์ เซลล์สืบพันธุ์ที่ได้จึงมีจำนวนโครโมโซมขาดหรือเกินมาจากจำนวนปกติ เรียกกระบวนการนี้ว่า นอนดิสจังก์ชัน เมื่อเซลล์สืบพันธุ์ที่ผิดปกติไปปฏิสนธิกับเซลล์สืบพันธุ์จากพ่อหรือแม่ ไฮโกตจึงมีจำนวนโครโมโซมผิดปกติไปด้วย จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? จากภาพที่ 16-30 จำนวนโครโมโซมขาดหรือเกินจากปกติได้อย่างไร ?

 เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสผิดปกติ อาจเกิดจากการแบ่งเซลล์ในระยะไมโอซิส I หรือไมโอซิส II ทำให้โครโมโซมในเซลล์ลูกมีจำนวนเพิ่มขึ้นหรือลดลง

? ถ้าพ่อสร้างสเปิร์มที่มีโครโมโซม XY ผสมกับเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซม X ลูกจะมีโครโมโซมเพศเป็นอย่างไรและเกิดเป็นเพศใด ?

 โครโมโซมเพศของลูกเป็น XXY เป็นเพศชาย





เพราะเหตุใดพืชที่เป็นพอลิพลอยด์เลขคี่จึงมักเป็นหมัน



ในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ในระยะโพรเฟส I จะมีโครโมโซมบางโครโมโซมที่ไม่เป็นฮอมอโลกัสและเข้าคู่กันไม่ได้ จึงมีปัญหาในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์



การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับยีนและโครโมโซมเกี่ยวข้องกับการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอย่างไร



บางลักษณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนของยีน ลำดับของยีน หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซม อาจจะทำให้สิ่งมีชีวิตอยู่รอดได้มากขึ้น รวมทั้งลักษณะที่เกิดมิวเทชัน ถ้ามีการถ่ายทอดและถูกคัดเลือกไว้ในธรรมชาติ และสะสมไว้ในยีนพูล และทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดวิวัฒนาการได้

ครูอาจตั้งประเด็น เพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า **มิวเทชันที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตที่มากหรือน้อยนั้นจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นอย่างไร** เพื่อให้นักเรียนเห็นความสำคัญของยีนที่อยู่บนโครโมโซม นักเรียนควรนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาเรื่องมิวเทชันมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ว่า การเกิดมิวเทชันเฉพาะจุด หรือการเกิดมิวเทชันในระดับโครโมโซม ถ้าเกิดมิวเทชันมาก อาจส่งผลทำให้ลำดับของนิวคลีโอไทด์หรือโครงสร้างหรือจำนวนของโครโมโซมเปลี่ยนแปลงไปมาก ซึ่งอาจมีผลต่อการกำหนดคุณลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้น และอาจส่งผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตนั้น แต่หากลักษณะเหล่านี้สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อๆ ไปได้ มีผลทำให้เกิดการแปรผันทางพันธุกรรม จึงทำให้ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลง เกิดสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ อย่างหลากหลาย แต่ถ้ามิวเทชันที่เกิดในสิ่งมีชีวิตนั้นน้อยอาจไม่มีผลทำให้ลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม





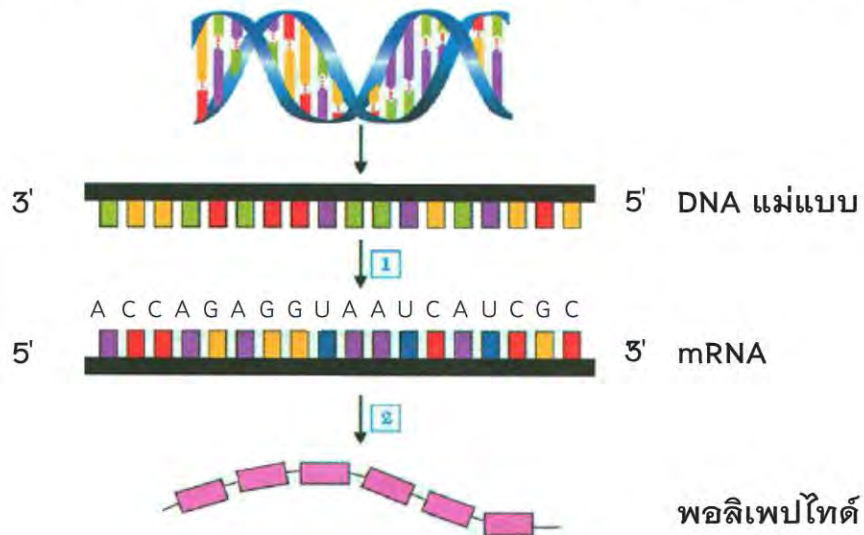
แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 16

? 1. จงวิเคราะห์ว่าปริมาณเบสของ DNA สายคู่ในข้อใดถูก

1. $A+C = T+G$
2. $A+G = C+T$
3. $A+T = G+C$
4. $A/G = C/T$
5. $A/G = T/C$
6. $(A+G)/T = 1$

ข้อ 1 2 และ 5 ถูก

? 2. ศึกษาแผนภาพการสังเคราะห์โปรตีนของยูคาริโอต แล้วตอบคำถามข้อ 2.1-2.3



? 2.1 ลูกศรหมายเลข 1 และ 2 เป็นกระบวนการอะไร

หมายเลข 1 คือ การถอดรหัส
หมายเลข 2 คือ การแปลรหัส

? 2.2 ลำดับเบสของ DNA สายที่เป็นคู่ของสายแม่แบบ เป็นอย่างไร

ACC AGA GGT AAT CAT CGC

? 2.3 สายพอลิเพปไทด์ที่สังเคราะห์ได้มีลำดับของกรดอะมิโนเป็นอย่างไร

Thr - Arg - Gly - Asn - His - Arg





3. จงเปรียบเทียบตำแหน่งของการเกิดการถอดรหัส และการแปลรหัสของการสังเคราะห์โปรตีนในสิ่งมีชีวิตพวกโพรคาริโอตและยูคาริโอต



กระบวนการถอดรหัสของยูคาริโอตเกิดในนิวเคลียส แต่โพรคาริโอตเกิดในไซโทพลาซึม ส่วนกระบวนการแปลรหัสเกิดในไซโทพลาซึมทั้งยูคาริโอตและโพรคาริโอต



4. การเกิดอนติสัจจัน มีผลต่อการอยู่รอดของไซโกตอย่างไร



การเกิดอนติสัจจันที่มีผลทำให้ไซโกตมีโครโมโซมเพิ่มขึ้นหรือขาดหายไป ถ้าไซโกตมีโครโมโซมเพิ่มมาจากปกติจะมีโอกาสอยู่รอด แต่ถ้าไซโกตมีโครโมโซมขาดหายไป 1 หรือมากกว่า 1 โครโมโซม ส่วนใหญ่มักจะไม่สามารถมีชีวิตรอดได้



5. จงให้เหตุผลเกี่ยวกับการเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดแบบการแทนที่คู่เบส และการเกิดเฟรมชิฟท์มิวเทชัน ว่ามีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนและลักษณะของสิ่งมีชีวิตอย่างไร

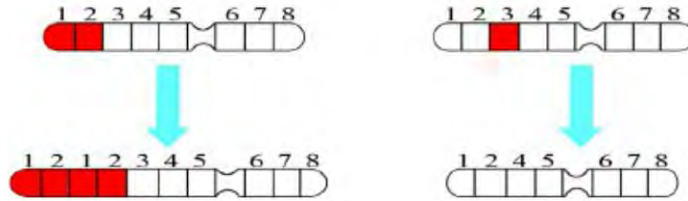


การเกิดมิวเทชันเฉพาะจุดแบบการแทนที่คู่เบส เกิดจากการแทนที่คู่เบส 1 นิวคลีโอไทด์ อาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง 1 รหัสพันธุกรรมหรือไม่เปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น รหัส UAC เป็นรหัสของกรดอะมิโนชนิดไทโรซีน ถ้าเปลี่ยนเป็น CAC ก็จะเป็นรหัสของกรดอะมิโนชนิดฮีสทีดีน ทำให้สายพอลิเพปไทด์มีชนิดของกรดอะมิโนเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต ถ้ารหัส UAC เปลี่ยนเป็น UAU จะเป็นรหัสของกรดอะมิโนชนิดเดียวกันคือไทโรซีน พอลิเพปไทด์ก็ยังมีลำดับกรดอะมิโนเหมือนเดิมไม่มีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต ถ้า UAC เปลี่ยนเป็น UAG จะเป็นรหัสหยุดการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้สายพอลิเพปไทด์สั้นลง อาจทำให้รูปร่างและการทำงานของพอลิเพปไทด์เปลี่ยนไป ส่วนเฟรมชิฟท์มิวเทชัน มีการเพิ่มขึ้นหรือขาดหายไปของนิวคลีโอไทด์บริเวณที่เป็นรหัสพันธุกรรม 1-3 นิวคลีโอไทด์ มีผลทำให้ลำดับและชนิดของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์เปลี่ยนไปตั้งแต่กรดอะมิโนในตำแหน่งที่มีการเพิ่มหรือขาดหายไปของนิวคลีโอไทด์เป็นต้นไป โปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและไม่สามารถทำงานได้ จึงมีผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต





6. ภาพ ก. และภาพ ข. แสดงการเกิดมิวเทชัน นักเรียนจงอธิบายว่าการเกิดมิวเทชันในภาพ ก. และภาพ ข. เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



มิวเทชันในภาพ ก และภาพ ข เหมือนกันที่เป็นมิวเทชันที่เกิดกับโครงสร้างของโครโมโซม แต่ต่างกันที่มิวเทชันในภาพ ก เกิดจากชิ้นส่วนของโครโมโซมเกินมาจากปกติ ทำให้ยีนเพิ่มขึ้น ชิ้นส่วนที่เกินมาอาจมาจากโครโมโซมคู่เดียวกันหรือต่างคู่กัน ส่วนมิวเทชันในภาพ ข เกิดจากชิ้นส่วนของโครโมโซมขาดหายไป ทำให้จำนวนยีนลดลง ถ้ายีนนั้นสำคัญก็จะมีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตและอาจทำให้สิ่งมีชีวิตตายได้



7. จงเติมข้อความในแผนภาพให้สมบูรณ์





แหล่งเรียนรู้



หนังสือประกอบการค้นคว้า

สมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทย. **หลักพันธุศาสตร์**. กรุงเทพฯ. 2546.

Biggs, A., Kapicka, C. and Lundgren, L. **Biology The Dynamics of Life**. Teacher Wraparound edition. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 1998.

Campbell, N. A. and Reece, J. B. **Biology**. 6th ed. Benjamin Cummings Publishing Company, Inc. California. 2002.

Freeman , S. **Biological Science**. Prentice–Hall, Inc. United States of America. 2002.

Hartwell, L. and etc. **Genetics**. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 2000.

Lewis, R. **Human Genetics**. 5th ed. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 2003.

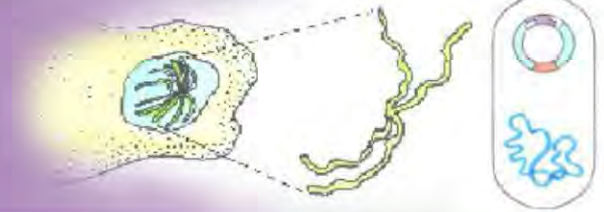
Postlethwait, J. H. and Hopson, J. H. **The Nature of Life**. 3rd ed. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 1995.

Starr, C. and Taggart, R. **Cell Biology and Genetics**. Von Hoffmann Press. United States of America. 2001.



บทที่ 17

พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทาง DNA



เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

17.1 พันธุวิศวกรรม	3	ชั่วโมง
17.2 การวิเคราะห์ DNA และการศึกษาจีโนม	1	ชั่วโมง
17.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทาง DNA	4	ชั่วโมง
17.4 ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทาง DNA และมุมมองทางสังคมและจริยธรรม	2	ชั่วโมง
รวม	10	ชั่วโมง

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายความหมายของเทคโนโลยีทาง DNA
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกระบวนการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และเปรียบเทียบการโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดและเทคนิคพีซีอาร์
4. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายความหมายของจีโนมและการศึกษาจีโนม
5. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และวิเคราะห์การนำเทคโนโลยีทาง DNA ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ
6. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายความปลอดภัยของเทคโนโลยีทาง DNA และมุมมองทางสังคมและจริยธรรม

สาระสำคัญ

เทคโนโลยีทาง DNA เป็นเทคโนโลยีชีวภาพแขนงหนึ่ง ซึ่งนำมาใช้เพื่อทำให้สิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมีสมบัติตามที่ต้องการ

พันธุวิศวกรรมเป็นเทคนิคการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ โดยใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะตัด DNA ทั้งสองสายที่จุดตัดจำเพาะ ถ้าตำแหน่งที่เป็นจุดตัดของ DNA ทั้งสองสายอยู่ตรงกัน จะทำให้เกิดปลายทู่ แต่ถ้าตำแหน่งที่เป็นจุดตัดอยู่เยื้องกัน จะทำให้เกิดปลายเหนียว เมื่อตัดสาย DNA ต่างโมเลกุลกันด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกัน ปลายสายของ



DNA จะมีลำดับเบสที่เข้าคู่กันได้ และเชื่อมต่อกันได้ด้วยเอนไซม์ DNA ไลเกส ทำให้เกิด DNA รีคอมบิแนนท์ จากนั้นจึงเพิ่มจำนวนของ DNA รีคอมบิแนนท์ที่เหมือนๆ กันเป็นจำนวนมากในเซลล์เจ้าบ้าน เช่น แบคทีเรีย เรียกว่า การโคลน DNA ถ้า DNA นั้นมียีนที่ต้องการก็เรียกว่า การโคลนยีน การโคลนยีนทำได้โดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย นอกจากนี้ ยังสามารถโคลนยีนในหลอดทดลองโดยเทคนิคพอลิเมอเรสเชนรีแอกชันหรือพีซีอาร์ (PCR) ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนโมเลกุลของ DNA ที่ต้องการจาก DNA แม่แบบที่มีปริมาณน้อยมากให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นในเวลารวดเร็ว

DNA ที่ได้จากการโคลนจะถูกนำไปวิเคราะห์หาขนาดของโมเลกุล DNA โดยใช้เทคนิคการแยกโมเลกุล DNA ที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันในสนามไฟฟ้าผ่านตัวกลางที่เป็นแผ่นวุ้นเปรียบเทียบกับผลการเคลื่อนที่ของโมเลกุล DNA ที่ทราบขนาด เรียกวิธีนี้ว่า เจลอิเล็กโทรโฟรีซิส

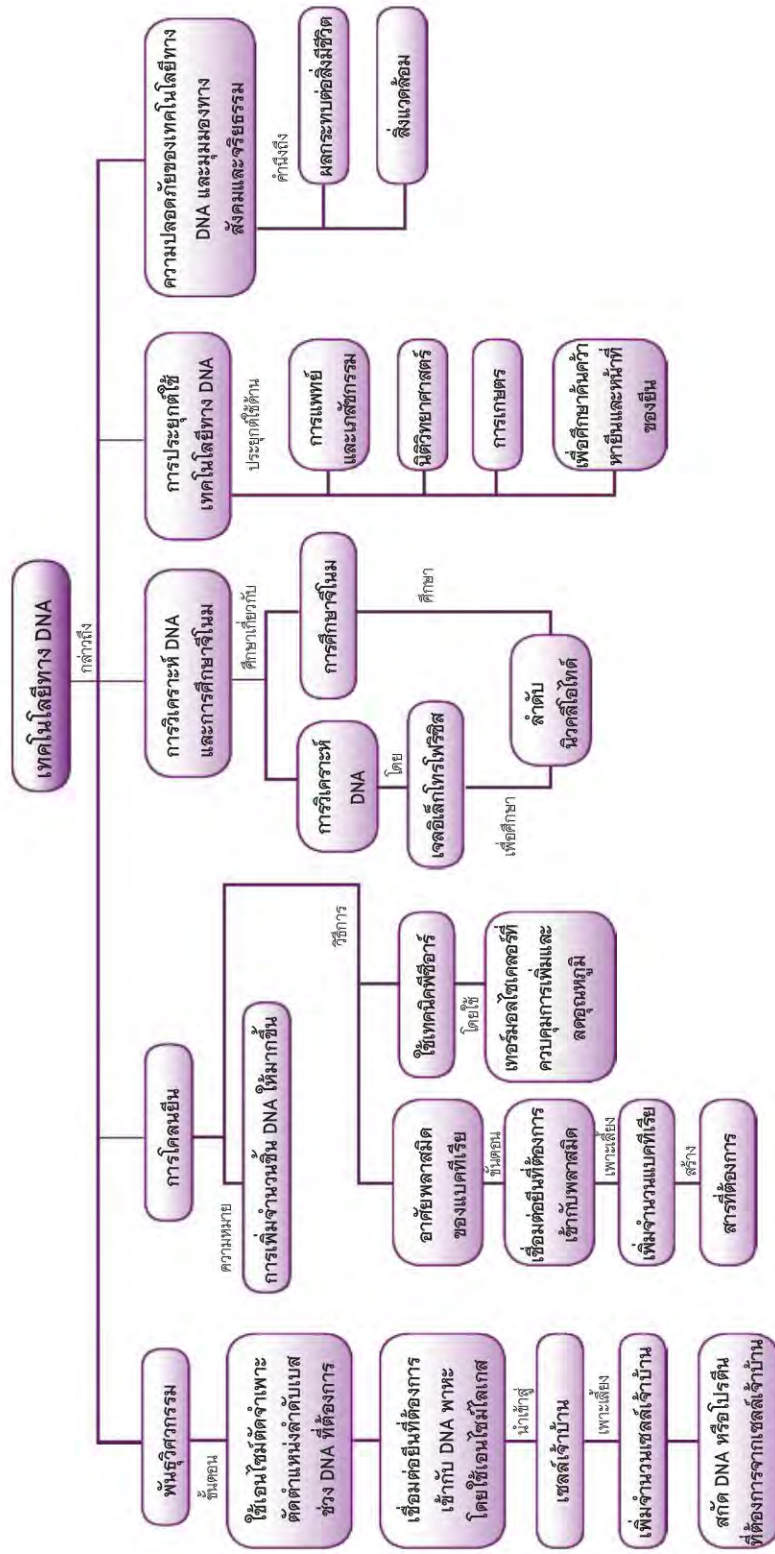
สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจะมีลำดับเบสบางส่วนในจีโนมแตกต่างกัน สามารถตรวจสอบได้โดยการเพิ่มปริมาณ DNA ในบริเวณที่มีความแตกต่างกันนั้นด้วยวิธี PCR แล้วนำ DNA มาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ จากนั้นนำไปทำเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส ได้เป็นรูปแบบของแถบ DNA ที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของรูปแบบของแถบ DNA นี้เรียกว่า PCR-restriction fragment length polymorphism ; PCR-RFLP รูปแบบของแถบ DNA ที่ต่างกันนี้ สามารถถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้ ซึ่งใช้เป็นเครื่องหมายพันธุกรรม

การศึกษาจีโนมเป็นการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของสิ่งมีชีวิตซึ่งสามารถเชื่อมโยงถึงการควบคุมลักษณะบางประการของสิ่งมีชีวิตได้ สิ่งมีชีวิตที่ศึกษาจีโนมจะมีความสำคัญในเชิงชีววิทยา และการประยุกต์ใช้ประโยชน์ โครงการจีโนมมนุษย์จึงมีวัตถุประสงค์ในการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ทั้งจีโนมของมนุษย์ การศึกษาแผนที่ยีน และเครื่องหมายพันธุกรรม

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทาง DNA นำมาใช้ในทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ในการวินิจฉัยโรค นอกจากนี้ยังนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม ส่วนในด้านนิติวิทยาศาสตร์นำไปใช้ในการสร้างลายพิมพ์ DNA ซึ่งแต่ละบุคคลมีรูปแบบของ DNA แตกต่างกัน สามารถนำไปพิสูจน์ตัวบุคคล ความสัมพันธ์ทางสายเลือดและคดีอาญาต่างๆ การประยุกต์ใช้ในเชิงการเกษตร การประยุกต์ใช้เพื่อสิ่งแวดล้อม โดยการสร้างสายพันธุ์จุลินทรีย์ หรือพืชที่สามารถย่อยสลายสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์และการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมหรือจีเอ็มโอ (GMOs) เป็นไปอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตลักษณะใหม่ๆ ขึ้นมากมาย ซึ่งอาจมีผลเสียจากการใช้เทคโนโลยีได้โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม ซึ่งอาจทำให้เกิดเชื้อโรคสายพันธุ์ใหม่ๆ ที่ดื้อยาปฏิชีวนะ อาจเป็นภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการคำนึงถึงมุมมองทางสังคมและจริยธรรมในการนำเทคโนโลยีทาง DNA มาใช้





แนวการจัดการเรียนรู้



ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนวิเคราะห์ภาพนำบทที่แสดงถึงการนำเทคนิคพันธุวิศวกรรมมาใช้ในการตัดต่อและเคลื่อนย้ายยีนระหว่างสิ่งมีชีวิต แล้วตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปราย โดยมีแนวคำถาม ดังนี้

- จากภาพ แบคทีเรียเรืองแสงได้อย่างไร
- ถ้านำแบคทีเรียที่เรืองแสงได้ไปใส่ในสิ่งมีชีวิต จะทำให้สิ่งมีชีวิตนั้นเรืองแสงได้หรือไม่

นักเรียนสืบค้นจากคำบรรยายใต้ภาพ แล้วร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปว่าเมื่อนำยีนสร้างโปรตีนเรืองแสงสีเขียวจากแมงกะพรุนตัดต่อเข้าไปใส่ในแบคทีเรียจะทำให้แบคทีเรียเรืองแสงได้ และเมื่อนำแบคทีเรียไปใส่ไว้ในสิ่งมีชีวิตอื่น ก็ทำให้เห็นแบคทีเรียเรืองแสงในสิ่งมีชีวิตนั้นได้

ครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมว่า จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงสายพันธุ์แบคทีเรียให้สามารถสร้างสารพิษฆ่าลูกน้ำยุงพร้อมทั้งมีสมบัติในการเรืองแสง โดยที่งานวิจัยระยะแรกนั้นมีการนำยีนที่สร้างสารพิษมาใส่ในแบคทีเรียซึ่งเป็นอาหารของลูกน้ำยุง เมื่อให้ลูกน้ำยุงกินแบคทีเรียที่สร้างสารพิษ ลูกน้ำจะตาย ทำให้สามารถป้องกันโรคติดต่อที่มียุงเป็นพาหะได้ แต่เนื่องจากวิธีดังกล่าวไม่สามารถติดตามแบคทีเรียเมื่อถูกลูกน้ำยุงกินเข้าไป หรือเมื่อถูกนำไปใช้ในสิ่งแวดล้อม จึงมีการนำยีนที่สร้างโปรตีนเรืองแสงสีเขียวจากแมงกะพรุน *Aequorea victoria* มาใส่ไว้ในแบคทีเรียด้วย ซึ่งจะทำให้สามารถติดตามแบคทีเรียเมื่อถูกนำไปใช้ได้ โดยดูจากการเรืองแสงทั้งในทางเดินอาหารของลูกน้ำยุงและในสิ่งแวดล้อม

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพ โดยมีแนวคำถาม ดังนี้

- เทคโนโลยีชีวภาพคืออะไร นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างไร

จากการสืบค้นและการอภิปรายร่วมกัน นำไปสู่ข้อสรุปได้ว่า เทคโนโลยีชีวภาพเป็นการใช้เทคโนโลยีไปทำให้สิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมีสมบัติตามที่ต้องการ

ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างและวิเคราะห์ว่า เทคโนโลยีชีวภาพที่นำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ชนิดต่างๆ มีอะไรบ้าง ซึ่งคำตอบอาจเป็นความรู้เดิมของนักเรียน และได้ข้อสรุปว่าเทคโนโลยีที่ใช้ปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์ เช่น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ การถ่ายฝากตัวอ่อน การผสมเทียมและการโคลน เป็นต้น



ครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนสรุปได้ว่า เทคโนโลยีชีวภาพมีหลายแขนง เทคโนโลยีที่มีการตัดแต่งยีนและเคลื่อนย้ายยีนข้ามชนิดของสิ่งมีชีวิตเพื่อสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ เรียกว่า เทคโนโลยีทาง DNA

ครูอาจชี้แนะให้นักเรียนเห็นถึงการคัดเลือกพันธุ์แบบดั้งเดิมที่อาศัยการผสมพันธุ์แบบอาศัยเพศของสิ่งมีชีวิตภายในพันธุ์เดียวกันหรือพันธุ์ที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ได้ลูกที่มีลักษณะดี และลักษณะไม่ดีอยู่ในต้นเดียวกัน ซึ่งต้องอาศัยช่วงเวลานานหลายปีในการคัดเลือกพันธุ์ หลายชั่วรุ่นกว่าจะกำจัดยีนที่ไม่ดีออก ส่วนเทคโนโลยีทาง DNA เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาพันธุ์ดั้งเดิมโดยการคัดเลือกลักษณะใดลักษณะหนึ่งจากพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ แล้วนำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตที่เตรียมไว้หรือเรียกว่าการย้ายยีน ทำให้สัตว์ พืช หรือสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการปรับแต่งยีนใหม่แสดงลักษณะเฉพาะที่ต้องการ

ครูอาจใช้คำถามในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อต่อไปได้ว่า

- พันธุวิศวกรรมมีกระบวนการอย่างไร และสามารถนำมาใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
- นอกจากเทคนิคพันธุวิศวกรรมแล้วมีการประยุกต์ใช้ความรู้ทางพันธุศาสตร์อย่างไรบ้าง

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน ซึ่งคำตอบขึ้นอยู่กับความรู้เดิมของนักเรียน คำตอบอาจจะถูกหรือไม่ก็ตามครูยังไม่ควรด่วนสรุป เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษารายละเอียดจากหนังสือเรียนในหัวข้อต่อไปก่อน

17.1

พันธุวิศวกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพและการนำเทคโนโลยีทาง DNA ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายความหมายของพันธุวิศวกรรมและขั้นตอนของเทคนิคพันธุวิศวกรรม
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายเกี่ยวกับเอนไซม์ตัดจำเพาะ และการทำงานของเอนไซม์ตัดจำเพาะ
4. อธิบายและสรุปขั้นตอนการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์
5. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายการโคลนยีนหรือการโคลน DNA
6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบวิธีการโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรียและโดยเทคนิคพีซีอาร์



แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูนำภาพข่าวเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต GMOs เช่น ภาพข่าวมะละกอ GMO ให้นักเรียนดู แล้วร่วมกันอภิปราย โดยมีประเด็นการอภิปราย ดังนี้

- มะละกอ GMO มีลักษณะดีอย่างไร
- มะละกอ GMO เกิดจากการเปลี่ยนแปลงยีนหรือไม่ และมีการใช้เทคนิคใด

จากการอภิปรายนำไปสู่ข้อสรุปได้ว่า มะละกอ GMO เกิดจากการปรับแต่งยีน ได้สายพันธุ์ใหม่ที่มียีนต้านทานต่อโรคใบด่างจุดวงแหวนโดยใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรม

จากนั้นครูชี้แจงเพิ่มเติมว่า เทคนิคพันธุวิศวกรรมมีขั้นตอนอย่างไร และนำมาใช้ประโยชน์อย่างไรบ้าง นักเรียนจะได้ศึกษาในหัวข้อต่อไป

17.1.1 เอนไซม์ตัดจำเพาะ

ครูให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับพันธุวิศวกรรมและเอนไซม์ตัดจำเพาะในตารางที่ 17.1 จากหนังสือเรียนหรือแหล่งเรียนรู้ต่างๆ โดยมีประเด็นการอภิปราย ดังนี้

- เอนไซม์ตัดจำเพาะแยกออกมาจากสิ่งมีชีวิตพวกใด มีหน้าที่อย่างไร
- เอนไซม์ตัดจำเพาะมีความจำเพาะในการตัดสาย DNA อย่างไร และเอนไซม์แต่ละชนิดแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- เอนไซม์ตัดจำเพาะที่ตัดสาย DNA ที่มียีนที่ต้องการจากสิ่งมีชีวิต และเอนไซม์ตัดจำเพาะที่ใช้ตัดพลาสมิดควรเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ เพราะอะไร
- เมื่อเอนไซม์ตัดจำเพาะตัดสาย DNA จะทำให้เกิดปลายเหนียวหรือปลายทู่ ปลายทั้งสองแบบแตกต่างกันอย่างไร
- DNA รีคอมบิแนนท์สร้างขึ้นได้อย่างไร

จากการสืบค้นและการอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่า เอนไซม์ตัดจำเพาะถูกแยกออกมาจากแบคทีเรีย ทำหน้าที่ตัดสาย DNA ตรงลำดับเบสจำเพาะ เอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดมีความจำเพาะในการตัดสาย DNA ส่วนใหญ่เอนไซม์ตัดจำเพาะที่นิยมนำมาใช้ในการโคลน DNA จัดจำลำดับเบสจำเพาะที่มีความยาว 4 หรือ 5 หรือ 6 คู่เบส และมีจุดตัดจำเพาะในลำดับเบสเหล่านี้ ดังนั้นเอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดจะมีลำดับเบสจำเพาะ และจุดตัดจำเพาะของสาย DNA ที่ต่างกัน เช่น *EcoRI* มีลำดับเบสจำเพาะ 6 คู่เบส และมีจุดตัดระหว่าง G-A และ *HaeIII* มีลำดับเบสจำเพาะ 4 คู่เบส และมีจุดตัดระหว่าง G-C เมื่อเอนไซม์ตัดจำเพาะตัดสาย DNA ทั้งสองสายจะทำให้เกิดปลายสายที่แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของเอนไซม์ ถ้าตัดสาย DNA แล้วทำให้เกิดปลายสายเดี่ยวที่มีนิวคลีโอไทด์ยื่นออกมา เรียกว่า ปลายเหนียว (sticky end) ถ้าเอนไซม์ตัดจำเพาะมีจุดตัดอยู่ตรงกันทั้งสองสายของ DNA จะทำให้เกิดปลายทู่ (blunt end)



ซึ่งถ้าตัดสาย DNA ที่ต้องการโคลนและพลาสมิดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกันจะทำให้มีปลายสายเดี่ยวที่มีเบสคู่สมกันพอดี และสามารถนำมาเชื่อมต่อกันได้ด้วยเอนไซม์ DNA ไลเกส ทำให้ได้ DNA รีคอมบิแนนท์

ครูขยายความรู้ให้กับนักเรียนเกี่ยวกับเอนไซม์ตัดจำเพาะว่า เอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกันจะตัดสาย DNA ที่จุดตัดจำเพาะในตำแหน่งเดียวกัน ไม่ว่า DNA นั้นจะมาจากแหล่งใด เช่น จุลินทรีย์ พืช สัตว์ และมนุษย์

ปัจจุบันมีเอนไซม์ตัดจำเพาะหลายร้อยชนิดให้เลือกได้ตามความต้องการ เอนไซม์ส่วนใหญ่จะเป็นสินค้านำเข้าและมีราคาแพง

ความรู้เสริมสำหรับครู

การเรียกชื่อเอนไซม์ตัดจำเพาะใช้ระบบอักษร 3 ตัว พิมพ์ตัวเอน ตัวอักษรตัวแรกของเอนไซม์ คือ อักษรตัวแรกของจีนัสแบคทีเรียที่แยกเอนไซม์นั้นออกมาใช้อักษรตัวใหญ่ตามด้วยอักษร 2 ตัวแรกของชื่อที่ระบุพิเศษ (specific epithet) ของแบคทีเรีย ใช้อักษรตัวเล็ก ต่อไปเป็นสายพันธุ์ของแบคทีเรีย ตัวสุดท้ายเป็นเลขโรมัน แสดงลำดับของเอนไซม์ที่แยกได้จากแบคทีเรียดังกล่าว ซึ่งจะเขียนตัวตรง

ตัวอย่างเช่น *EcoRI* (อ่านว่าอีโคอาร์วัน) ที่ได้จาก *Escherichia coli* RY13

E มาจาก *Escherichia*


co มาจาก *coli*

R มาจากสายพันธุ์ RY13


I มาจากลำดับการแยกได้ของเอนไซม์จากแบคทีเรียชนิดนี้

สำหรับคำถามในหนังสือเรียนมีแนวการตอบคำถาม ดังนี้

? ตำแหน่งตัดจำเพาะของเอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดมีจำนวนลำดับเบสเท่ากันหรือไม่ **?**

 เอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดอาจมีจำนวนลำดับเบสจำเพาะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แม้เอนไซม์ตัดจำเพาะที่มีลำดับเบสจำเพาะจำนวนเท่ากัน ก็จะมีคูเบสและจุดตัดจำเพาะต่างกัน

? ลำดับเบสจำเพาะของเอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิด มีลักษณะร่วมกันอย่างไร **?**


 เอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ละชนิดมีลักษณะร่วมกันคือ การเรียงลำดับเบสจำเพาะมีทิศทางจาก 5' ไปสู่ 3' เหมือนกันทั้งสองสายของ DNA



17.1.2 การเชื่อมต่อสาย DNA ด้วยเอนไซม์ DNA ไลเกส

ให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 17-1 ในหนังสือเรียนเกี่ยวกับการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ แล้วร่วมกันอภิปรายการทำงานของเอนไซม์ตัดจำเพาะและเอนไซม์ DNA ไลเกส โดยใช้คำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

? การเชื่อมต่อสาย DNA ปลายทุ่จะเหมือนหรือต่างจากการเชื่อมต่อสาย DNA ปลายเหนียว อย่างไร

 เหมือนกันคือ ใช้เอนไซม์ DNA ไลเกสในการเชื่อมต่อสาย DNA ต่างกันคือ ถ้าเชื่อมต่อสายแบบปลายเหนียว จะมีการสร้างพันธะระหว่างเบสคู่สมของ DNA เดิมและ DNA ที่นำมาเชื่อมต่อ แต่แบบปลายทุ่ไม่มีการสร้างพันธะระหว่างเบสคู่สมของ DNA เดิม และ DNA ที่นำมาเชื่อมต่อ

ครูให้นักเรียนวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ จากการวิเคราะห์นักเรียนสรุปได้ดังนี้

1. ตัดสาย DNA ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ
2. ตัดสาย DNA ในโมเลกุลอื่นด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกัน
3. เชื่อมต่อสาย DNA จาก DNA ต่างโมเลกุลกันด้วยเอนไซม์ DNA ไลเกส เกิด

DNA รีคอมบิแนนท์

จากนั้นครูควรเน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงได้ว่า การสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ เป็นเทคนิคการตัดและเชื่อมต่อ DNA ต่างโมเลกุลเข้าด้วยกัน ซึ่งเรียกว่าเทคนิคพันธุวิศวกรรม

17.1.3 การโคลนยีน

ครูนำเข้าสู่บทเรียนเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายเกี่ยวกับการโคลนยีน โดยมีแนวคำถาม ดังนี้

- DNA รีคอมบิแนนท์ที่สร้างขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งมีชีวิตให้มีลักษณะตามที่ต้องการได้อย่างไร

จากการสืบค้นในหนังสือเรียนและการร่วมกันอภิปราย ทำให้ได้ข้อสรุปว่า DNA ที่มียีนที่ต้องการเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องมีจำนวนมากและเหมือนกัน ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนขึ้น DNA ได้เมื่อนำเข้าสู่เซลล์ นิยมใช้เซลล์แบคทีเรีย *E. coli* เมื่อแบคทีเรียเพิ่มจำนวน ก็จะเป็นการเพิ่มขึ้น DNA ที่เหมือนกันจำนวนมากเรียกว่า การโคลน DNA และถ้า DNA มียีนตามต้องการเรียกว่า การโคลนยีน

การโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย

ครูนำเข้าสู่หัวข้อนี้โดยใช้ภาพที่ 17-2 ในหนังสือเรียนแล้วให้นักเรียนวิเคราะห์และอภิปราย โดยวิเคราะห์ในประเด็นต่อไปนี้



- พลาสมิดคืออะไร เหตุใดจึงใช้พลาสมิดที่มียีนต้านทานยาปฏิชีวนะในการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์
- เพราะเหตุใดแบคทีเรียจึงมีความเหมาะสมในการเป็นเซลล์ที่ให้ DNA รีคอมบิแนนท์เข้าไปอยู่
- การโคลนยีนหรือการโคลน DNA มีขั้นตอนอย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นจากหนังสือเรียนแล้วร่วมกันวิเคราะห์และอภิปราย ซึ่งควรสรุปได้ว่า พลาสมิดเป็น DNA วงแหวนที่อยู่นอกโครโมโซมของแบคทีเรีย ทำหน้าที่เป็นพาหะนำ DNA หรือยีนที่ต้องการเข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้กับนักเรียนว่า พลาสมิดที่ใช้เป็น DNA พาหะหรือเวกเตอร์ มีสมบัติดังนี้

1. มีจุดเริ่มต้นของการจำลอง DNA เพื่อให้สามารถเพิ่มจำนวนได้ด้วยตัวเอง
2. มียีนสำหรับคัดเลือกในเซลล์เจ้าบ้าน เช่น ยีนต้านยาปฏิชีวนะ
3. มีตำแหน่งสำหรับโคลนชิ้น DNA ได้หลายแห่ง (multiple cloning site) หรือ มีตำแหน่งของเอนไซม์ตัดจำเพาะหลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีเพียงตำแหน่งเดียวที่ multiple cloning site ในพลาสมิด
4. มียีนสำหรับการคัดเลือกเซลล์เจ้าบ้านที่มี DNA รีคอมบิแนนท์

เนื่องจากพลาสมิดส่วนใหญ่ที่อยู่ในเซลล์แบคทีเรีย มักมียีนต้านทานยาปฏิชีวนะเพื่อใช้เป็นเครื่องหมายในการคัดเลือกเซลล์ เมื่อพลาสมิดนำยีนเข้าเซลล์แบคทีเรีย และนำแบคทีเรียไปเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวน ซึ่งจะทำให้พลาสมิดที่มี DNA รีคอมบิแนนท์เพิ่มจำนวนตามด้วย ส่วนขั้นตอนการโคลนยีนก็ให้นักเรียนสรุปลำดับขั้นตอนการโคลนยีนได้จากภาพที่ 17.2 ในหนังสือเรียน

ครูควรเน้นให้นักเรียนเห็นความสำคัญของแบคทีเรียว่า เป็นสิ่งมีชีวิตที่นักวิทยาศาสตร์นำมาใช้ในการโคลน DNA แบคทีเรียที่เป็นที่นิยม คือ *E. coli* เนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่เพาะเลี้ยงง่าย เพิ่มจำนวนได้รวดเร็วภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง จะได้เซลล์ใหม่เป็นล้านๆ เซลล์ และเพิ่มพลาสมิดเป็นล้านๆ ชุด เป็นแบคทีเรียที่มีการศึกษามานานและมีการพัฒนาสายพันธุ์ให้เหมาะสมในการที่จะรับเวกเตอร์เข้ามาในเซลล์



ภาพที่ 17-1 แบคทีเรียที่มีโครโมโซมและพลาสมิด



ครูชี้แจงว่า ถ้านักเรียนอยากทราบเกี่ยวกับหลักการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ และการโคลน DNA ให้ทำกิจกรรมที่ 17.1 ในหนังสือเรียน

กิจกรรมที่ 17.1 การสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์


จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้ นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลอง DNA รีคอมบิแนนท์ ในรูปแบบของพลาสติกที่มี DNA ที่ต้องการแทรกอยู่

ข้อเสนอแนะในการทำกิจกรรม


1. เมื่อนักเรียนนำกระดาษที่เป็นพลาสติกและชิ้น DNA ที่ต้องการต่อเข้ากับพลาสติกจำนวนทั้งหมด 20 ชิ้น ใส่ลงในถุงทึบ เวลาเขย่านักเรียนต้องเขย่าโดยให้กระดาษกระจายให้ทั่วถุง หลังจากนั้นหยิบกระดาษพร้อมกัน 2 ชิ้น ออกจากถุง
2. ในการหยิบกระดาษออกจากถุงพร้อมกัน 2 ชิ้น หยิบชิ้นไหนได้ก็ต้องเลือกชิ้นนั้นขึ้นมาเพราะความสั้นยาวของกระดาษสองสีจะไม่เท่ากัน นักเรียนไม่ควรเลือกหยิบจากความสั้นยาวของกระดาษ

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรมซึ่งมีแนวการตอบ ดังนี้

? นักเรียนได้ DNA รีคอมบิแนนท์ในรูปของพลาสติกที่มี DNA ที่ต้องการแทรกอยู่ทั้งหมดกี่วง **?**

 จำนวนของ DNA รีคอมบิแนนท์จะเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับว่านักเรียนจะหยิบกระดาษสีใดมาต่อกัน ถ้าหยิบได้กระดาษสีแดงกับสีเขียวมาต่อกันเป็นวง ก็จะได้ DNA รีคอมบิแนนท์ 1 โมเลกุล

? นักเรียนได้พลาสติกที่เหมือนเดิมกี่วง **?**

 จำนวนพลาสติกที่เหมือนเดิมต้องนับเฉพาะพลาสติกที่เป็นกระดาษสีเขียวที่นำมาขดเป็นวงดั้งเดิม

? นักเรียนได้ DNA ที่ไม่ใช่พลาสติกกี่โมเลกุล **?**

 จำนวน DNA ที่ไม่ใช่พลาสติกต้องนับเฉพาะ DNA ที่เป็นกระดาษสีแดงที่ต่อกับกระดาษสีแดงเท่านั้น

การโคลนยีนในหลอดทดลองโดยเทคนิคพอลิเมอเรสเชนรีแอคชันหรือพีซีอาร์

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 17-3 ในหนังสือเรียนที่แสดงการโคลนยีนในหลอดทดลอง โดยเทคนิคพอลิเมอเรสเชนรีแอคชันหรือพีซีอาร์ แล้วร่วมกันวิเคราะห์และ

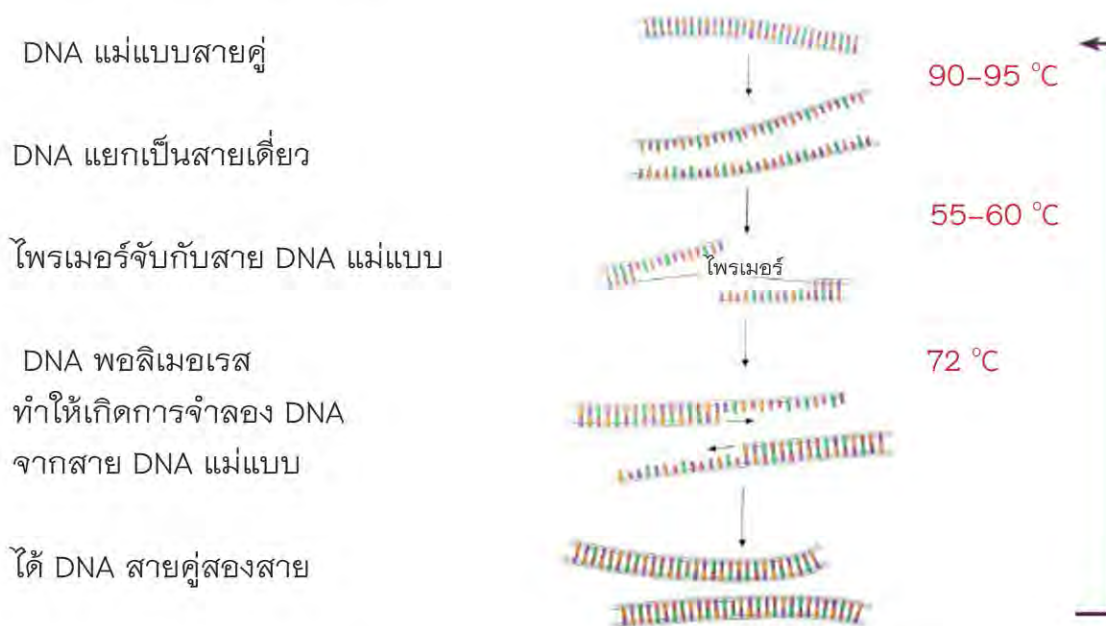


อภิปรายเพื่อนำไปสู่การสืบค้น โดยมีประเด็นสำคัญดังนี้

- การโคลนยีนโดยเทคนิคพีซีอาร์มีลำดับขั้นตอนอย่างไร
- การโคลนยีนโดยเทคนิคพีซีอาร์มีข้อดีและข้อเสียอย่างไรบ้าง
- การเพิ่มจำนวน DNA ที่ต้องการจำนวนมากโดยเทคนิคพีซีอาร์ นำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านใดบ้าง

จากการสืบค้น การวิเคราะห์ และอภิปราย นักเรียนควรได้ข้อสรุปว่า เทคนิคพีซีอาร์ เป็นการโคลน DNA ในหลอดทดลองเพื่อเพิ่มจำนวนโมเลกุลของ DNA ในปริมาณมาก โดยใช้เครื่องเพิ่มปริมาณ DNA อัตโนมัตินี้หรือเทอร์มอลไซเคิลเลอร์ กระบวนการสังเคราะห์ DNA ทำได้โดยใช้เอนไซม์ DNA พอลิเมอเรสที่แยกได้จากแบคทีเรีย DNA แม่แบบ ไพรมเมอร์ และนิวคลีโอไทด์ 4 ชนิด คือนิวคลีโอไทด์ที่มีเบส A T G และ C ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาใน 1 รอบ มีลำดับขั้นตอน ดังนี้

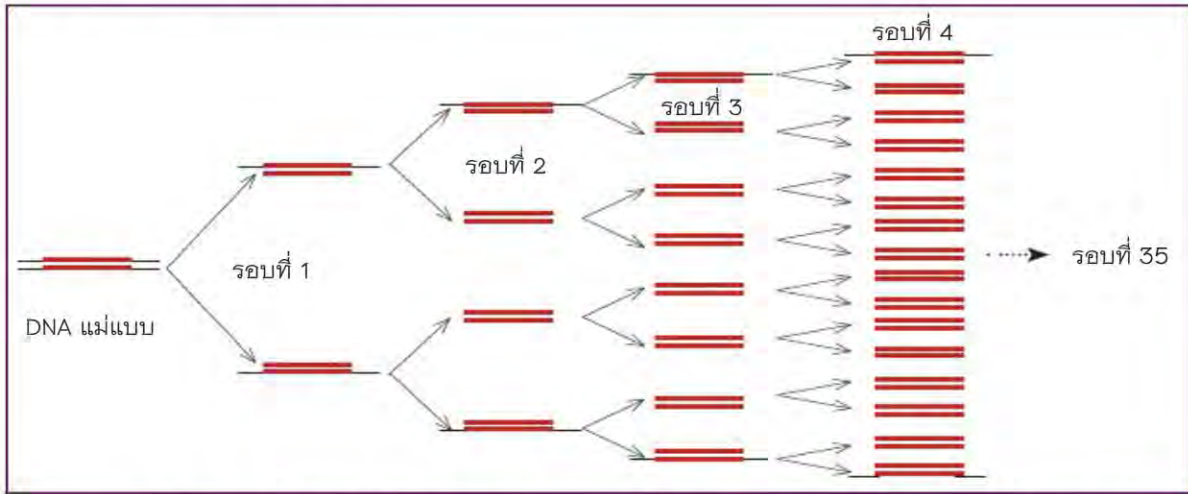
1. เพิ่มอุณหภูมิให้สูง ทำให้ DNA แม่แบบสายคู่แยกออกเป็นสายเดี่ยว (denaturation)
2. ลดอุณหภูมิลง ทำให้ไพรมเมอร์จับกับสาย DNA แม่แบบด้วยพันธะไฮโดรเจน (primer annealing)
3. ปรับอุณหภูมิจนเหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ DNA พอลิเมอเรส ทำให้เกิดการจำลองสาย DNA จากสาย DNA แม่แบบ (primer extension)
4. เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ทำให้สาย DNA สายคู่ที่เกิดจากปฏิกิริยารอบที่ 1 แยกออกจากกันและเกิดปฏิกิริยาในรอบต่อไป



ภาพที่ 17-2 การสร้างสาย DNA โดยเทคนิคพีซีอาร์



ปฏิกิริยาพีซีอาร์ จะเกิดขึ้นซ้ำๆ ประมาณ 25-40 รอบ โดยสาย DNA ที่เกิดขึ้นแต่ละรอบจะถูกใช้เป็นแม่แบบในการสังเคราะห์ DNA สายใหม่ในรอบต่อไปจนสิ้นสุดปฏิกิริยา ถ้าทำปฏิกิริยา 35 รอบ จะใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ในการเพิ่มปริมาณ DNA 34 พันล้านเท่าของปริมาณเริ่มต้น



ภาพที่ 17-3 การเพิ่มจำนวนสาย DNA ในแต่ละรอบของการทำปฏิกิริยา

การโคลนยีนโดยเทคนิคพีซีอาร์มีข้อดี คือ สามารถเพิ่มปริมาณส่วนของ DNA ที่ต้องการได้ปริมาณมากในเวลาอันรวดเร็ว ข้อเสีย คือ การเพิ่มจำนวนชุดของ DNA อาจเกิดความผิดพลาดได้ เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยานี้ไม่ทำงาน หรือเอนไซม์บางชนิดไม่มีสมบัติตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA ที่สร้างขึ้นเหมือนเช่นกับระบบในสิ่งมีชีวิต

17.2

การวิเคราะห์ DNA และการศึกษาจีโนม

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และวิเคราะห์การแยกขนาดชิ้น DNA โดยวิธีเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส
2. สืบค้นข้อมูลและวิเคราะห์ DNA ที่ได้จากการโคลน
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายวิธีการศึกษาจีโนมของสิ่งมีชีวิตและจีโนมของมนุษย์

แนวการจัดการเรียนรู้

17.2.1 การวิเคราะห์ DNA

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้ภาพยีนที่โคลนได้ เพื่อให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการโคลนยีนหรือการโคลน DNA ว่ายีนที่โคลนได้จำนวนมากนี้จะทำอะไรต่อไป ก่อนที่จะประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ เพื่อนำเข้าสู่หัวข้อ 17.3.1 การวิเคราะห์ DNA

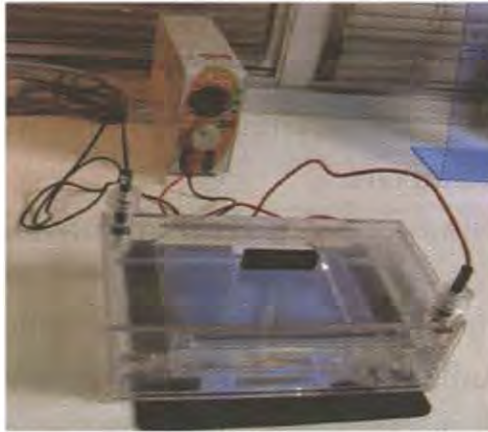


ครูใช้คำถามนำในหนังสือเรียน เพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปราย โดยมีแนวคำถามดังนี้

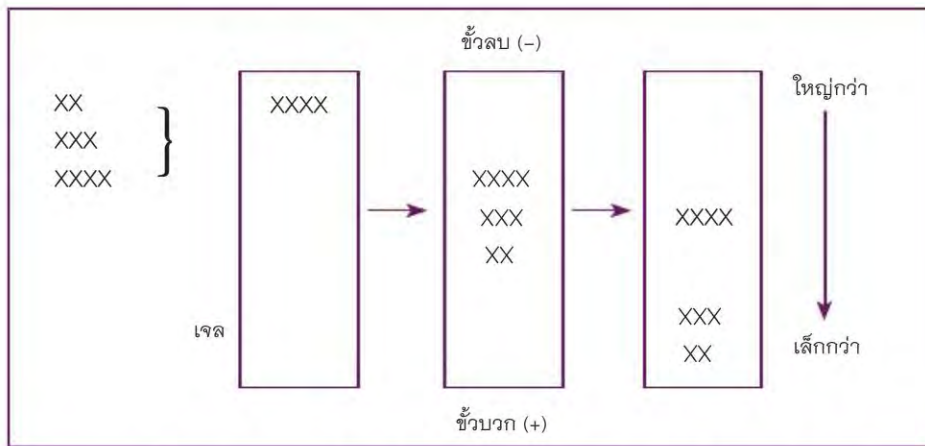
- นักวิทยาศาสตร์สามารถแยกขนาดของ DNA ที่ได้จากการโคลนด้วยวิธีการใด และมีประโยชน์อย่างไร
- DNA ต่างๆ ที่โคลนได้นั้นคืออะไร ประกอบด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์อะไรบ้าง

จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรจะตอบได้ว่า สามารถแยกขนาดของ DNA ได้ในสนามไฟฟ้าและนำไปเปรียบเทียบกับโมเลกุล DNA ที่ทราบขนาด ครูใช้ภาพที่ 17-4 ถึง 17-6 ในคู่มือครูประกอบการอภิปราย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ว่า ชั้น DNA ที่โคลนได้นั้นมีจำนวนมากและมีขนาดแตกต่างกัน การแยกขนาดใช้เทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยมีหลักการโดยสรุป ดังนี้

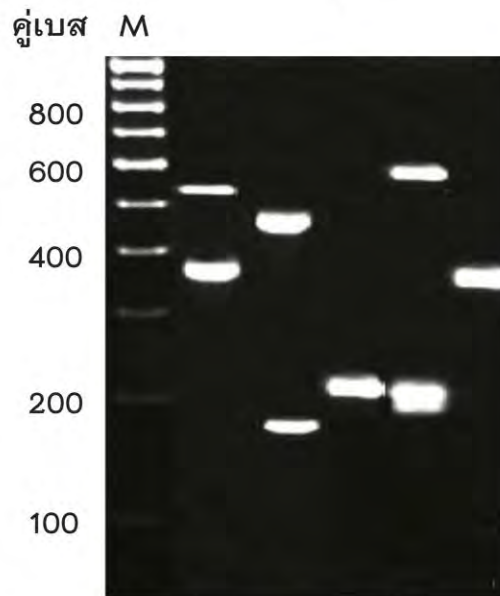




ภาพที่ 17-4 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส



ภาพที่ 17-5 การเคลื่อนที่ของโมเลกุล DNA ภายใต้สนามไฟฟ้า



หมายเหตุ : M คือโมเลกุล DNA ที่ทราบขนาด

ภาพที่ 17-6 แถบโมเลกุล DNA ขนาดต่างๆ เทียบกับโมเลกุล DNA ที่ทราบขนาด



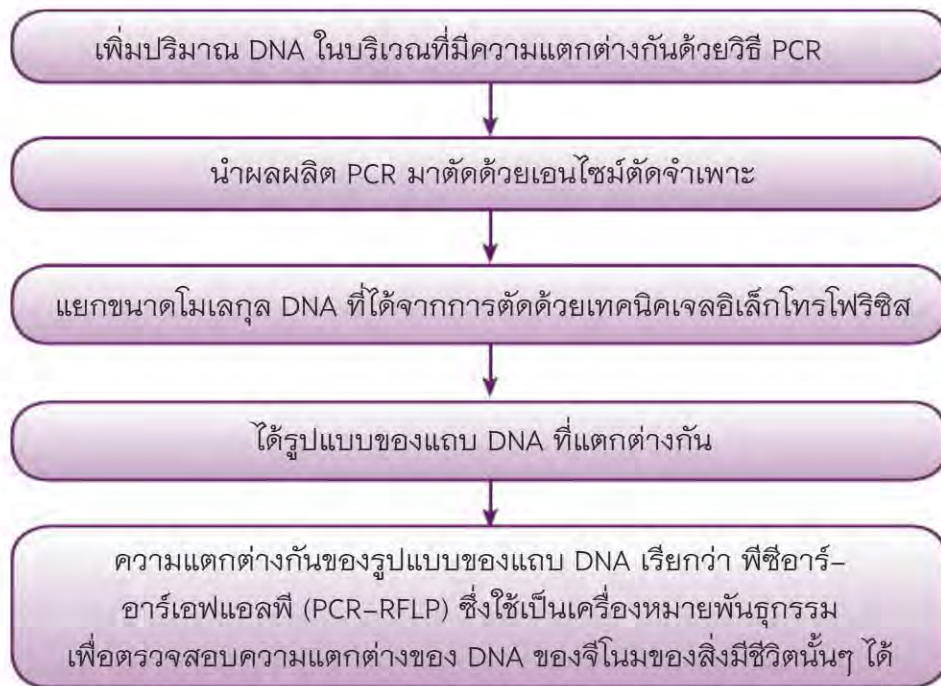
ครูควรเน้นให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการนำโมเลกุล DNA ที่ทราบขนาดแล้วไปใช้ประโยชน์ โดยการนำโมเลกุล DNA ขนาดต่างๆ ไปหาลำดับนิวคลีโอไทด์ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า automated sequencer และเมื่อทราบลำดับนิวคลีโอไทด์ของโมเลกุล DNA แต่ละขนาดแล้ว ก็อาจบอกได้ว่าลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณนั้นมียีนใดบ้าง

17.2.2 การศึกษาจีโนม

การนำเข้าสู่หัวข้อนี้ ครูอาจทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับความหมายของจีโนมและขนาดของจีโนมที่นักเรียนเคยเรียนมาจากบทเรียนที่แล้วว่า จีโนมหมายถึง ปริมาณ DNA ทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีขนาดของจีโนมแตกต่างกัน จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายว่า **จีโนมของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจะแตกต่างกันหรือไม่ จะสามารถตรวจสอบได้อย่างไร**

ครูให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับการศึกษาจีโนมในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงรูปแบบของแถบ DNA ของจีโนมกับลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ได้

จากการสืบค้นและการอภิปรายทำให้ได้ข้อสรุปว่า จีโนมของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจะแตกต่างกัน การตรวจสอบความแตกต่างกันของจีโนมของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันมีวิธีการที่สรุปได้ ดังนี้



ครูควรชี้แจงให้นักเรียนเห็นว่า การศึกษาจีโนมของสิ่งมีชีวิตจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างมากมาในปัจจุบัน เช่น การหาความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตเพื่อให้ทราบเกี่ยวกับความใกล้ชิดทางวิวัฒนาการ ความหลากหลายทางชีวภาพ ความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวและการควบคุมการแสดงออกของยีนที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต เป็นต้น

ครูควรให้นักเรียนทราบว่า ในการศึกษาจีโนมของสิ่งมีชีวิต ต้องใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะตัดจีโนม จะได้แถบ DNA จำนวนมาก จากนั้นจึงตรวจสอบลำดับนิวคลีโอไทด์ของแถบ DNA ต่างๆ

ครูตั้งคำถามเพิ่มเติม แล้วให้นักเรียนสืบค้นจากหนังสือเรียนหรือจากอินเทอร์เน็ตเกี่ยวกับโครงการจีโนมของมนุษย์ โดยมีแนวคำถามดังนี้

- โครงการจีโนมมนุษย์มีวัตถุประสงค์อย่างไร
- การศึกษาจีโนมมนุษย์เป็นการหาลำดับนิวคลีโอไทด์จากโครโมโซมใดบ้าง
- โครงการศึกษาจีโนมของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ ได้แก่สิ่งมีชีวิตใดบ้างและจะมีประโยชน์อย่างไร

จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า โครงการจีโนมมนุษย์มีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของมนุษย์ทั้งจีโนม โดยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA บนออโตโซม 22 โครโมโซม โครโมโซม X และโครโมโซม Y สำหรับสิ่งมีชีวิตที่ได้ศึกษาจีโนมแล้ว เช่น *E. coli* ยีสต์ หนู พืชสกุล *Arabidopsis* และข้าว เป็นต้น

การที่นักวิทยาศาสตร์หาลำดับนิวคลีโอไทด์ในจีโนม ก็เพื่อจะหาบริเวณส่วนใดของจีโนมที่เป็นยีน และยีนนั้นทำหน้าที่อย่างไร ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของโครงการศึกษาจีโนมที่จะยังต้องศึกษาวิจัยต่อไป

17.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทาง DNA

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายการนำเทคโนโลยีทาง DNA ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายประโยชน์ของการนำลายพิมพ์ DNA ไปใช้ในเชิงนิติวิทยาศาสตร์ และวิเคราะห์ลายพิมพ์ DNA ในการตรวจพิสูจน์บุคคลในคดีต่างๆ
3. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอภิปรายเกี่ยวกับการนำสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมมาใช้ประโยชน์
4. สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับความปลอดภัยทางชีวภาพในการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมและจริยธรรมในการใช้ข้อมูลจีโนมของมนุษย์



แนวการจัดการเรียนรู้

17.3.1 การประยุกต์ใช้ในเชิงการแพทย์และเภสัชกรรม

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยตั้งคำถามเพื่อไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายว่า ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทาง DNA ในการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ เทคนิคพีซีอาร์ การค้นพบเครื่องหมายพันธุกรรม การหาลำดับนิวคลีโอไทด์ในจีโนมของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่นักเรียนได้ศึกษามาแล้วนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมได้อย่างไร

นักเรียนอาจนำความรู้เดิมและจากบทความในหนังสือพิมพ์ หรือแหล่งเรียนรู้ต่างๆ ที่เคยทราบมาบ้าง มาร่วมกันอภิปรายอย่างกว้างขวาง

ครูให้นักเรียนสืบค้นจากหนังสือเรียนและสื่ออื่นๆ ซึ่งครูอาจมอบหมายให้สืบค้นมาล่วงหน้า จากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนควรได้ข้อสรุปว่า เทคโนโลยีทาง DNA สามารถนำมาใช้วินิจฉัยโรคต่างๆ ได้ เช่น โรคที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัส การตรวจวิเคราะห์การติดเชื้อ HIV การวินิจฉัยโรคทางพันธุกรรมก่อนมีอาการของโรคหรือเป็นพาหะ และการบำบัดด้วยยีน เป็นต้น ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

- การรักษาโรคโดยการบำบัดด้วยยีนจะใช้ได้กับโรคที่มีลักษณะอย่างไร

นักเรียนควรตอบได้ว่า การบำบัดด้วยยีนจะใช้วิธีการนี้ได้กับคนที่เกิดจากความบกพร่องของยีน จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นจากหนังสือเรียน หรือภาพการบำบัดด้วยยีนประกอบการวิเคราะห์ และอภิปราย โดยมีแนวการวิเคราะห์ในประเด็นต่อไปนี้

- การบำบัดด้วยยีนมีเป้าหมายอย่างไร
- การบำบัดด้วยยีนมีวิธีการทำอย่างไร และยกตัวอย่างโรคที่ทำการบำบัดเป็นผลสำเร็จ
- ปัญหาอะไรที่ทำให้การบำบัดด้วยยีนไม่ได้ผลรวมทั้งข้อโต้แย้งต่างๆ

จากการวิเคราะห์และการอภิปรายครูอาจสุ่มให้นักเรียนนำเสนอผลการวิเคราะห์การบำบัดด้วยยีน แล้วร่วมกันอภิปรายสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

1. เทคนิคพันธุวิศวกรรมจะช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงยีนที่บกพร่องในคนที่เป็โรคทางพันธุกรรมได้
2. ยีนที่ปกติถูกนำเข้าสู่เซลล์ร่างกายหรือเนื้อเยื่อที่มีความบกพร่องของยีน เมื่อยีนแสดงออกจะช่วยบำบัดอาการที่บกพร่องได้
3. เทคนิคที่ใช้ในการบำบัดด้วยยีนวิธีหนึ่งที่นิยมคือ การใช้ไวรัสเป็นตัวนำยีนที่ปกติด้วยเทคนิคพันธุวิศวกรรม แล้วถ่ายเข้าสู่เซลล์ซึ่งจะเข้าไปยังโครโมโซมของคนได้

ครูชี้แจงเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเห็นว่าโรคที่เกิดจากความบกพร่องของยีนในคนที่มีการ



รักษาด้วยยีนบำบัดเป็นผลสำเร็จ ได้แกโรค Severe Combined Immunodeficiency Disorder (SCID) ซึ่งผู้ป่วยไม่สามารถสร้างภูมิคุ้มกันโรคได้ และจะเสียชีวิตด้วยการติดเชื้อ

ครูควรเน้นให้นักเรียนทราบว่า การรักษาโรคด้วยยีนบำบัดยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากยังมีปัญหาทางด้านเทคนิคที่ต้องระมัดระวัง เพื่อให้การรักษาประสบความสำเร็จได้ ปัญหาที่อาจพบ เช่น การควบคุมการแสดงออกของยีนที่ถ่ายเข้าสู่เซลล์ให้ผลิตโปรตีนที่ต้องการให้เหมาะสม ไวรัสที่เป็นพาหะนำยีนเข้าสู่จีโนมของคนนำยีนได้ขนาดจำกัด ไวรัสนำยีนอาจก่อให้เกิดโรคในคนได้ เป็นต้น

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายดังนี้

- การบำบัดด้วยยีนที่ทำกับเซลล์ร่างกายและเซลล์ตั้งต้นที่จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์จะสามารถถ่ายทอดยีนที่บำบัดนี้ไปยังลูกที่จะเกิดขึ้นได้หรือไม่

จากการวิเคราะห์โดยใช้ความรู้เดิมและการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่าการบำบัดด้วยยีน สามารถทำได้ทั้งเซลล์ร่างกายและเซลล์ตั้งต้นที่จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ จะแตกต่างกันที่การถ่ายทอดยีน คือ เซลล์ร่างกายที่ทำยีนบำบัดจะเป็นการรักษา ยีนบำบัดเฉพาะบุคคลไม่ถ่ายทอดไปสู่ลูก ดังนั้นลูกเป็นโรคได้ แต่เซลล์ตั้งต้นที่จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์เมื่อทำยีนบำบัดแล้ว เซลล์สืบพันธุ์ที่มียีนบำบัดจะถ่ายทอดไปสู่ลูก ทำให้ลูกไม่เป็นโรค สำหรับการบำบัดในเซลล์ตั้งต้นที่จะสร้างเซลล์ใหม่และสเปิร์ม อาจจะมีผลต่อวิวัฒนาการของมนุษย์ในอนาคต จึงยังมีข้อโต้แย้งเชิงจริยธรรมในสังคมอยู่ในเวลานี้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อการสร้างผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม โดยให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 17-4 การผลิตฮอร์โมนอินซูลินในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์และอภิปรายโดยใช้แนวคำถามดังนี้

- การผลิตฮอร์โมนอินซูลินเพื่อรักษาโรคเบาหวานมีขั้นตอนอย่างไร
- การโคลนยีนที่ผลิตฮอร์โมนอินซูลินให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอาศัยการโคลนยีนด้วยวิธีใด

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและร่วมกันอภิปรายเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปว่า การผลิตฮอร์โมนอินซูลินใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรม โดยการแยกและสกัด DNA ที่มียีนผลิตอินซูลินจากเซลล์ของคน นำ DNA มาตัดต่อด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ นำชิ้น DNA มาเชื่อมต่อเข้ากับพลาสมิดได้เป็น DNA รีคอมบิแนนท์ จากนั้นนำเข้าสู่แบคทีเรีย *E. coli* แล้วนำแบคทีเรีย *E. coli* มาเพาะเลี้ยงในอาหารเพื่อเพิ่มจำนวน DNA ที่มียีนผลิตอินซูลิน จากนั้นจึงสกัดฮอร์โมนอินซูลินออกมา

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นเพิ่มเติมว่า ผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรมที่ใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมที่ทำแล้วยังมีอีกหลายอย่าง เช่น โกรทฮอร์โมนรักษาคนที่เติบโตช้าผิดปกติ การผลิตยารักษาโรค การผลิตวัคซีน แล้วให้นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียนและจัดทำป้ายนิเทศ



17.3.2 การประยุกต์ใช้ในเชิงนิติวิทยาศาสตร์

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยยกตัวอย่างหรือนำข่าวจากหนังสือพิมพ์เกี่ยวกับการพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือด คดีฆาตกรรม หรือการพิสูจน์ว่าผู้ตายเป็นใครในกรณีที่เกิดภัยพิบัติจากคลื่นสึนามิทางภาคใต้ของประเทศไทย เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 ซึ่งมีผู้ตายจำนวนมากและบางส่วนไม่สามารถจำแนกได้ เพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายโดยมีแนวคำถามเพื่อการอภิปรายดังนี้

- เทคโนโลยีทาง DNA สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างไร
- ลายพิมพ์ DNA คืออะไร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างไร
- ลายพิมพ์ DNA สามารถนำไปใช้เป็นหลักฐานทางศาลเพื่อตัดสินคดีความได้เพราะเหตุใด

จากการอภิปรายควรสรุปได้ดังนี้ เทคโนโลยีทาง DNA มีความก้าวหน้าไปมากสามารถนำลายพิมพ์ DNA มาใช้พิสูจน์บุคคล ลายพิมพ์ DNA คือ รูปแบบของแถบ DNA ซึ่งเป็นความแตกต่างของขนาดชิ้น DNA โดยใช้เทคนิค RFLP หรือ PCR ลายพิมพ์ DNA เป็นเอกลักษณ์ของแต่ละบุคคล สร้างมาจาก DNA ของแต่ละคน ซึ่งได้รับมาจากพ่อและแม่เท่าๆ กันเปลี่ยนแปลงไม่ได้ จึงสามารถบอกความแตกต่างของบุคคลได้ ใช้ประกอบการพิจารณาทางศาลเพื่อพิสูจน์คดีอาญาต่างๆ ได้ จากนั้นให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 17-5 ในหนังสือเรียนแล้วตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



นักเรียนคิดว่าผู้ต้องสงสัยคนใดเป็นฆาตกร



ผู้ต้องสงสัยหมายเลข 4 เป็นฆาตกร เพราะมีรูปแบบของแถบ DNA ตรงกันกับรูปแบบของแถบ DNA ที่ได้จากคราบเลือดของฆาตกร

ครูอาจยกสถานการณ์มาให้ให้นักเรียนมาช่วยกันอภิปราย โดยสามารถนำความรู้เดิมมาประกอบการพิจารณา โดยมีคำถามดังนี้

- เมื่อตำรวจพบคราบเลือดหรือตัวอย่าง DNA ที่ได้จากในที่เกิดเหตุมีปริมาณน้อยจะสามารถนำมาใช้ตรวจพิสูจน์เพื่อหาตัวฆาตกรได้หรือไม่ อย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ตัวอย่าง DNA ปริมาณน้อยมากก็สามารถนำมาเพิ่มจำนวนให้เหมือนกันได้โดยใช้เทคนิคพีซีอาร์ เพราะเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และใช้ตรวจพิสูจน์บุคคลในคดีอาชญากรรมต่างๆ ได้เช่นกัน



ครูตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้เห็นประโยชน์ของลายพิมพ์ DNA โดยมีแนวคำถามดังนี้

- **ลายพิมพ์ DNA นำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง**

จากการอภิปรายและสืบค้นข้อมูลจากหนังสือเรียนหรือข่าวจากหนังสือพิมพ์ ครูอาจให้นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียนและร่วมกันอภิปราย ซึ่งควรสรุปได้ว่า ลายพิมพ์ DNA สามารถนำไปใช้ประโยชน์ อย่างกว้างขวาง เช่น พิสูจน์ความเป็นเอกลักษณ์ของแต่ละบุคคล พิสูจน์ความเป็น พ่อ แม่ ลูก พิสูจน์หลักฐานหาผู้กระทำผิดในคดีทางเพศ หรืออาชญากรรมต่างๆ การศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อยีนในประชากร เช่น การอพยพ นอกจากนี้ยังใช้พิสูจน์ลูกผสมของพืชและสัตว์ การศึกษาทางวิวัฒนาการ เป็นต้น

ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่กิจกรรมที่ 17.2 เรื่องวิเคราะห์ลายพิมพ์ DNA ว่านักเรียนจะใช้ลายพิมพ์ DNA วิเคราะห์ว่าบุคคลใดมีความสัมพันธ์กันหรือบุคคลใดเป็นฆาตกรได้อย่างไร นักเรียนจะสามารถวิเคราะห์ได้เมื่อได้ทำกิจกรรมดังนี้

กิจกรรมที่ 17.2 วิเคราะห์ลายพิมพ์ DNA

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ


1. จำแนกบุคคลได้จากลายพิมพ์ DNA
2. วิเคราะห์ลายพิมพ์ DNA ในการตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือดและพิสูจน์บุคคล ในคดีอาชญากรรม

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. นักเรียนแบ่งกลุ่มศึกษาลายพิมพ์ DNA จากหนังสือเรียน และวิเคราะห์ลายพิมพ์ DNA เพื่อพิสูจน์บุคคล
2. ตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการอภิปรายหน้าชั้น เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันอย่างอิสระ


จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในกิจกรรมซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

1. ถ้านักเรียนเป็นนักนิติวิทยาศาสตร์และต้องพิจารณาลายพิมพ์ DNA ของผู้ต้องสงสัยหมายเลข 1-5 จากหลักฐานที่พบในที่เกิดเหตุในคดีฆาตกรรม จงหาว่า
 - 1.1 บุคคลหมายเลข 4 ถูกกล่าวหาว่าเป็นฆาตกร นักเรียนจะตัดสินว่าเขาเป็นฆาตกรหรือเป็นผู้บริสุทธิ์ เพราะเหตุใด


 บุคคลหมายเลข 4 เป็นผู้บริสุทธิ์ เพราะแถบลายพิมพ์ DNA ไม่ตรงกับหลักฐานที่ได้ในที่เกิดเหตุ




1.2 ผู้ต้องสงสัยหมายเลขใดที่มีลายพิมพ์ DNA ใกล้เคียงกับหลักฐานที่พบในที่เกิดเหตุ

 ผู้ต้องสงสัยหมายเลข 3 มีลายพิมพ์ DNA ใกล้เคียงกับหลักฐานที่พบในที่เกิดเหตุทุกแถบ ครูควรให้นักเรียนช่วยกันวิเคราะห์ว่าแม้ผู้ต้องสงสัยหมายเลข 3 จะมีลายพิมพ์ DNA ตรงกับหลักฐาน จะสรุปว่าผู้ต้องสงสัยหมายเลข 3 เป็นฆาตกรที่แท้จริงหรือไม่ เพราะเหตุใด ซึ่งนักเรียนควรจะลงความเห็นว่ายังไม่ควรสรุปในทันที การสอบสวนควรอาศัยหลักฐานอื่นๆ ประกอบอีก เช่น หลักฐานแวดล้อม ทั้งวัตถุพยานที่อาจมีการปนเปื้อนหรือการเสื่อมสลายของวัตถุพยาน และการสอบปากพยานบุคคล เป็นต้น

2. จากการตรวจลายพิมพ์ DNA ของคนในครอบครัว ก และ ข นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่าคนในครอบครัวใดมีความสัมพันธ์กันในลักษณะของพ่อ-แม่-ลูก และครอบครัวใดไม่มีความสัมพันธ์กัน เพราะเหตุใด

 ครอบครัว ก เป็นพ่อ-แม่-ลูกกัน พิจารณาจากแถบลายพิมพ์ DNA ของลูกที่ตรงกับของพ่อและแม่ ส่วนครอบครัว ข แถบลายพิมพ์ DNA ของลูกไม่ตรงกับของพ่อและแม่เป็นส่วนใหญ่

3. สามีภรรยาคนหนึ่งมีลูก 4 คน ในจำนวนนี้มีลูกสาว 2 คน และลูกชาย 2 คน จงวิเคราะห์ว่าลูกทั้ง 4 คนของสามีภรรยาคนนี้ ลูกคนใดเป็นลูกที่แท้จริง คนใดเป็นลูกติดพ่อและคนใดเป็นลูกบุญธรรม

 ลูกที่แท้จริงคือ ลูกสาวคนที่ 1 และลูกชายคนที่ 1 พิจารณาจากแถบลายพิมพ์ DNA ของลูกที่ตรงกับของพ่อและแม่

ลูกติดพ่อคือ ลูกสาวคนที่ 2 พิจารณาจากแถบลายพิมพ์ DNA ของลูกที่ตรงกับของพ่อแต่ไม่ตรงกับของแม่

ลูกบุญธรรมคือ ลูกชายคนที่ 2 พิจารณาจากแถบลายพิมพ์ DNA ของลูกที่ไม่ตรงกับของพ่อและแม่

17.3.3 การประยุกต์ใช้ในเชิงการเกษตร

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบการคัดเลือกพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ตามแบบเดิม และโดยการใช้เทคโนโลยีทาง DNA โดยมีแนวคำถามเพื่อไปสู่การอภิปรายดังนี้

- การผสมพันธุ์ การคัดเลือกพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์สิ่งมีชีวิตแบบเดิม มีข้อเสียเปรียบอย่างไรบ้าง



จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้ความรู้เดิม ซึ่งควรสรุปได้ว่า

1. การผสมพันธุ์แบบเดิมจะต้องผสมพันธุ์ในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันหรือใกล้เคียงกันเท่านั้น
2. ลักษณะของลูกที่เกิดจากการผสมพันธุ์มีทั้งลักษณะที่ดีและลักษณะไม่ดี
3. การคัดเลือกพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ใช้เวลานานกว่าจะได้ลูกที่มีลักษณะตามที่มนุษย์ต้องการ เนื่องจากต้องผสมหลายชั่วรุ่น จนกว่าจะคัดเลือกยีนที่ดีไว้และกำจัดยีนที่ไม่ดีออกไป

การสร้างพืชตัดแปรพันธุกรรม

ครูควรกระตุ้นความคิดของนักเรียน โดยการตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อการสร้างสิ่งมีชีวิตตัดแปรพันธุกรรม โดยมีแนวคำถามดังนี้

- เทคโนโลยีทาง DNA นำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์สิ่งมีชีวิตให้ดีขึ้นกว่าแบบเดิมได้อย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้ความรู้เดิมเกี่ยวกับเทคนิคพันธุวิศวกรรม เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า เทคโนโลยีทาง DNA ช่วยให้มีการปรับปรุงพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตดียิ่งขึ้น โดยวิธีการค้นหายีนที่ต้องการ แล้วย้ายยีนเข้าสู่สิ่งมีชีวิตเพื่อให้แสดงลักษณะตามที่ต้องการ ใช้เวลาน้อยและสามารถย้ายยีนไปยังสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันได้

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่างภาพสิ่งมีชีวิตตัดแปรพันธุกรรมจากภาพที่ 17-6 และ 17-7 ในหนังสือเรียน แล้วตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายโดยมีประเด็นการอภิปรายดังนี้

- นักวิทยาศาสตร์ใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมมาใช้ในการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตเพื่ออะไร
- จีเอ็มโอ คืออะไร

จากการอภิปรายโดยใช้ความรู้เดิมเกี่ยวกับเทคโนโลยี นักเรียนควรสรุปได้ว่า เทคนิคพันธุวิศวกรรมนำมาสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ โดยการตัดสาย DNA ที่มียีนที่ต้องการต่อกับพลาสมิด แล้วนำยีนที่ได้เข้าสู่สิ่งมีชีวิตเป้าหมาย ทำให้สิ่งมีชีวิตมีลักษณะตามที่ต้องการและสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมด้วยการตัดแต่งยีนนี้เรียกว่า จีเอ็มโอ (GMOs)

ครูอาจให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสืบค้นข้อมูลที่กำหนดให้จากหนังสือเรียน โดยมีประเด็นอภิปรายคือ วิธีการสร้างและตัวอย่างของ GMOs และประโยชน์ทางการเกษตร สำหรับหัวข้อที่สืบค้นได้แก่

- การทำฟาร์มสัตว์เพื่อสุขภาพมนุษย์หรือสร้างสัตว์ตัดแปรพันธุกรรม
- พืชต้านทานโรคและแมลง



- พืชดัดแปรพันธุกรรมที่ต้านทานยาปราบวัชพืช
- พืชดัดแปรพันธุกรรมที่มีคุณค่าอาหารเพิ่มขึ้น
- พืชดัดแปรพันธุกรรมเพื่อยืดอายุผลผลิตได้ยาวนานขึ้น

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายและได้ข้อสรุปว่า พืชและสัตว์ดัดแปรพันธุกรรมมีเป้าหมายเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ให้มีลักษณะที่ดี ซึ่งมีประโยชน์ต่อมนุษย์ ดังตัวอย่างในหนังสือเรียน

ครูอาจเน้นให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการนำเทคโนโลยีทาง DNA มาใช้ในการสร้างสิ่งมีชีวิต GMOs ซึ่งมีประโยชน์ต่อมนุษย์ในหลายๆ ด้าน อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อโต้แย้งในสังคมเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งนักเรียนสามารถสืบค้นเพิ่มเติมจากการทำกิจกรรมที่ 17.3

กิจกรรมที่ 17.3 สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอภิปรายขั้นตอนของการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม และข้อดีข้อเสียของการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
2. อธิบายวิธีการตรวจสอบความปลอดภัยทางชีวภาพจากการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม การเตรียมการและการแก้ไขปัญหา
3. ยกตัวอย่างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. นักเรียนแบ่งกลุ่มสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม จากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ ตามหัวข้อที่กำหนดดังนี้
 - 1.1 ขั้นตอนการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
 - 1.2 ประโยชน์ทางการเกษตร การแพทย์ และสิ่งแวดล้อม
 - 1.3 การตรวจสอบความปลอดภัยทางชีวภาพก่อนนำไปใช้ประโยชน์
 - 1.4 ความเสี่ยงในการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสัตว์
 - 1.5 ผลกระทบของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ
2. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอข้อมูลหน้าชั้น และร่วมกันอภิปรายถึงผลกระทบจากการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

ครูควรตั้งคำถามเพิ่มเติม เพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า ประเทศไทยควรนำ GMOs มาใช้หรือไม่ ถ้านำมาใช้ควรจะมีการดำเนินการอย่างไร เพื่อให้ผู้บริโภคคลายความกังวลต่างๆ ลงได้ โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายอย่างกว้างขวางโดยนำความรู้จากการสืบค้นมาประกอบการคิดและตัดสินใจ



ครูนำเข้าสู่หัวข้อโดยการนำผลการวิจัยที่นักวิทยาศาสตร์ได้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่สามารถทนเค็ม เพื่อให้นักเรียนเห็นว่าปัญหาของการปลูกข้าวในพื้นที่ดินเค็มจะให้ผลผลิตต่ำ จึงหันมาปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้ทนต่อดินเค็มได้ ซึ่งต้องมีการปรับแต่งยีนโดยใช้เทคโนโลยีทาง DNA จากนั้นตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายว่า

- ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ใช้วิธีใดในการปรับปรุงพันธุ์ให้มีลักษณะต่างๆ ที่ต้องการร่วมกันได้ในเวลาที่รวดเร็วขึ้น

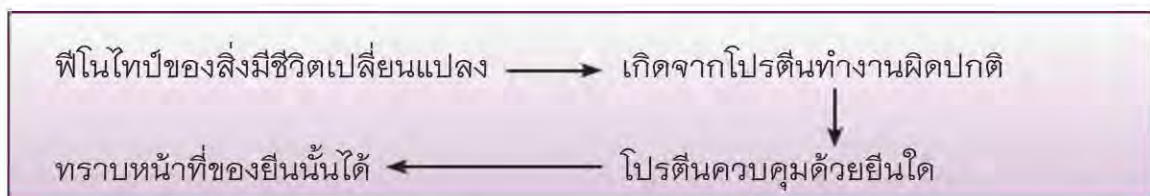
จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นจากหนังสือเรียนแล้วร่วมกันอภิปราย ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่าเทคโนโลยีทาง DNA ที่นำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ต่างๆ ให้ได้รวดเร็วยิ่งขึ้นนั้นอาศัยการคัดเลือกจากการตรวจหาจากเครื่องหมายพันธุกรรมระดับโมเลกุล ซึ่งการคัดเลือกพันธุ์ตามแบบเดิมนั้นจะคัดเลือกจากลักษณะฟีโนไทป์อย่างเดียว ผลจากการปรับปรุงพันธุ์โดยการคัดเลือกจากการตรวจหาเครื่องหมายพันธุกรรมระดับโมเลกุล จะทำให้ได้พืชและสัตว์ใหม่ๆ ที่มีลักษณะต่างๆ ที่ต้องการหลายลักษณะในเวลาที่ยรวดเร็วขึ้น

17.3.4 การใช้พันธุศาสตร์เพื่อศึกษาค้นคว้าหาเห็ยและหน้าที่ของยีน

การนำเข้าสู่หัวข้อนี้ ครูอาจทบทวนการทำงานของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต แล้วตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า

- ถ้าการทำงานของโปรตีนผิดปกติ อาจทำให้มีฟีโนไทป์เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้สามารถบอกอะไรแก่เราได้

นักเรียนอาจนำความรู้เดิมมาใช้ในการตอบคำถาม ซึ่งควรตอบได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของฟีโนไทป์มีผลมาจากโปรตีนทำงานผิดปกติซึ่งจะทำให้ทราบได้ว่าโปรตีนดังกล่าวถูกควบคุมด้วยยีนใดและยีนนั้นมีหน้าที่อย่างไร



จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นการทำงานของยีนที่ควบคุมลักษณะความหอมของข้าวในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนวิเคราะห์การทำงานของยีนที่ควบคุมการสร้างโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับความหอมของข้าว โดยมีประเด็นการวิเคราะห์ ดังนี้

- ความหอมของข้าวเกิดขึ้นได้อย่างไร
- ยีนควบคุมความหอมของข้าวเป็นยีนเด่นหรือยีนด้อย เพราะเหตุใดยีนนี้จึงไม่แสดงออกเมื่ออยู่ในธรรมชาติ



- การศึกษาการทำงานของยีนที่ให้ความหอมของข้าวเป็นผลสำเร็จ อาศัยความรู้ในด้านใดบ้าง

จากการสืบค้นและจากการวิเคราะห์ นักเรียนควรได้ข้อสรุปว่าบนโครโมโซมแท่งที่ 8 ของข้าวมียีน *Os2AP* ที่ทำหน้าที่สร้างโปรตีนที่ยับยั้งลักษณะความหอมของข้าว ดังนั้นข้าวจะมีความหอมได้จึงต้องมีการยับยั้งการแสดงออกของยีน จากการศึกษาพบว่ายีนควบคุมลักษณะความหอมในข้าวเป็นยีนด้อย การค้นพบยีนนี้อาศัยความรู้ด้านชีวสารสนเทศของจีโนมข้าว แผนที่ยีน และเครื่องหมายพันธุกรรม

ครูควรเน้นให้นักเรียนเห็นถึงการใช้พันธุศาสตร์ในการค้นหายีน และหน้าที่ของยีนที่ได้จากข้อสรุปของนักเรียนเอง ดังนี้

ครูอาจขยายความรู้เพิ่มเติมให้กับนักเรียนว่า ยีนถือว่าเป็นทรัพย์สินทางปัญญา ที่สำคัญที่สุดของการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งอาจนำไปสู่การจดสิทธิบัตรยีนได้ ถ้าเราไม่ศึกษาอย่างจริงจังย่อมจะเสียเปรียบในการนำข้อมูลมาใช้ ถ้ามีการศึกษาอย่างจริงจังจะทำให้ประเทศไทยได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการพัฒนาพันธุ์ข้าวให้ได้พันธุ์ดี ส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น พัฒนาคุณภาพชีวิต และยังส่งเสริมให้เศรษฐกิจของชาติแข็งแกร่งยิ่งขึ้น

17.4

ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทาง DNA และมุมมองทางสังคมและจริยธรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้ นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายเกี่ยวกับแนวปฏิบัติในการนำเทคโนโลยีทาง DNA มาใช้ได้อย่างปลอดภัย โดยคำนึงถึงมุมมองทางสังคมและจริยธรรม
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และวิเคราะห์ผลกระทบในการประยุกต์ใช้ข้อมูลของจีโนมมนุษย์ในมุมมองทางสังคมและจริยธรรม

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อโดยนำภาพแสดงพืช GMOs ที่รู้จักกันดีที่สังคมกำลังต่อต้านการใช้ เช่น มะละกอ ซึ่งวิตกว่า อาจเกิดปัญหาในการบริโภคพืช GMOs จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นและการอภิปรายว่า การใช้พืช GMOs หรือพืชตัดแปรพันธุกรรมมีผลกระทบต่อชีวิตของมนุษย์อย่างไร แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายแสดงความคิดเห็นอย่างกว้างขวาง โดยมีแนวประเด็นการอภิปราย ดังนี้



- ผลกระทบจากความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้พืช GMOs
- ความปลอดภัยทางชีวภาพจากการใช้ GMOs

จากการสืบค้นและการอภิปราย ครูควรบันทึกสรุปผลการอภิปราย แยกประเด็นให้ชัดเจน เพื่อให้นักเรียนเห็นความสำคัญของหัวข้อนี้ ส่วนการสรุปผลการอภิปรายของนักเรียน อาจแสดงความคิดเห็นอย่างหลากหลาย ครูควรให้อิสระแก่นักเรียนในการแสดงความคิดเห็น โดยมีข้อมูล หรือหลักการทางวิชาการมาสนับสนุนอย่างมีเหตุผล จากนั้นให้นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการสืบค้นจากหนังสือเรียนและแหล่งเรียนรู้อื่นๆ มาเป็นเหตุผลประกอบ

แนวในการอภิปรายอาจเป็นดังนี้

สังคมต่อต้านการใช้เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรมในการสร้างพืช GMOs เนื่องจากมีความวิตกกังวลว่าอาจเกิดความผิดพลาดจากการใช้พืช GMOs ได้ ดังนี้

- อาจเกิดเชื้อโรคสายพันธุ์ใหม่ๆ ที่ดื้อยาปฏิชีวนะ เนื่องจากมีการใช้ยีนต้านทานยาปฏิชีวนะเป็นเครื่องหมายในการคัดเลือก
- พืช GMOs มียีนของสิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ด้วย ซึ่งอาจทำให้เป็นภัยต่อสุขภาพ
- อาจมีการถ่ายเทยีนจากพืช GMOs ออกสู่สิ่งแวดล้อม จนทำให้วัชพืชต้านทานสารปราบวัชพืช ซึ่งทำให้กำจัดวัชพืชได้ยากในอนาคต

สำหรับแนวทางในการแก้ไขอาจสรุปเป็นประเด็นสำคัญ ดังนี้

1. เพื่อความปลอดภัยของผู้ทำการวิจัยและทดลอง และลดความเสี่ยงจากการที่สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมจะเล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อม ต้องจัดทำระบบการป้องกันอันตรายทางชีวภาพ ที่มีการระบุถึงข้อพึงปฏิบัติและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในขณะที่ปฏิบัติงาน
2. เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมจะต้องถูกทำลายให้สูญเสียความสามารถในการดำรงชีวิตและสืบพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสม
3. การจำหน่ายสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเพื่อเป็นอาหารและการใช้ในกระบวนการผลิต ต้องมีฉลากระบุข้อมูลชัดเจนและเพียงพอต่อผู้บริโภค

ครูควรชี้แจงให้นักเรียนตระหนักถึงความก้าวหน้าของพันธุวิศวกรรมที่นำมาใช้สร้าง DNA รีคอมบิแนนท์และการสร้างสิ่งมีชีวิต GMOs เช่น จุลินทรีย์ พืช และสัตว์ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดสิ่งมีชีวิตสายพันธุ์ใหม่อย่างมากมาบนโลก และเกิดขึ้นเร็วกว่าวิวัฒนาการธรรมชาติ ซึ่งขณะนี้ประชาชนคนไทยจำนวนมากมีความวิตกกังวลเกี่ยวกับการใช้ GMOs โดยกลุ่มรณรงค์คัดค้านการใช้เทคโนโลยีด้านนี้ ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มองค์กรเอกชนและสื่อมวลชนที่พยายามเตือนภัยให้ประชาชนมีทัศนคติต่อ GMOs ในด้านลบ แม้ว่าคำชี้แจงบางส่วนอาจมีข้อมูลความจริงบ้าง แต่หลายครั้งที่การให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนกับความเป็นจริง หรือตีความเกินความน่าจะเป็น ขณะที่



สินค้า GMOs ที่มีอยู่ในตลาดของสหรัฐอเมริกาบางส่วนหนึ่งอาจส่งเข้ามาในประเทศไทย ได้แก่ ถั่วเหลือง ข้าวโพดที่เป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้รับการประเมินความเสี่ยงแล้วว่าปลอดภัย

ในประเทศไทยมีการควบคุมดูแลเกี่ยวกับความปลอดภัยของการใช้ GMOs โดยศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติได้มีการจัดทำแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เพื่อควบคุมดูแลการวิจัยและทดลองเกี่ยวกับ GMOs ก่อนนำมาใช้จริง ตั้งแต่การนำเข้า การส่งออก การวิจัยในห้องปฏิบัติการและโรงเรือน การใช้ทดลองภาคสนามในไร่นา การใช้ในสภาพแวดล้อมทั่วไป รวมถึงการดูแล การเคลื่อนย้าย การเก็บรักษา การกำจัดและการปฏิบัติกรณีฉุกเฉินและเกิดการเล็ดลอดปลดปล่อยโดยไม่เจตนา เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าการวิจัยและพัฒนา GMOs จะมีความปลอดภัยต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์

<http://www.biotech.or.th/biosafety/download/biosafety%20guideline-update.pdf>

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นสิ่งที่น่าสนับสนุนหากนำมาใช้ในทางที่ถูกต้องและมีการควบคุมที่ดี เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงที่จะทำให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายโดยมีประเด็นการอภิปรายดังนี้

- **เมื่อการค้นคว้าจีโนมมนุษย์เป็นผลสำเร็จทั้งหมดแล้ว ข้อมูลเกี่ยวกับจีโนมมนุษย์จะมีผลกระทบต่อชีวิตของมนุษย์อย่างไร**

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นจากหนังสือเรียนและเอกสารเผยแพร่ต่างๆ แล้วร่วมกันอภิปรายในประเด็นการนำข้อมูลของจีโนมมนุษย์ไปใช้ ผู้ใช้และวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลไปใช้ และสิทธิในการใช้ข้อมูลจากการสืบค้นและการอภิปรายนักเรียนอาจจะได้ข้อสรุปว่าข้อมูลทางพันธุกรรมของมนุษย์เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่สังคมจะต้องตระหนักเนื่องจากมีผลกระทบต่อชีวิตของมนุษย์ในหลายๆ ด้าน เช่น การตรวจยีนก่อนรับเข้าทำงาน ซึ่งถ้ายีนมีความเสี่ยงด้านสุขภาพกายและสุขภาพจิต อาจจะไม่ถูกรับเข้าทำงานได้ ข้อดีก็คือการรู้ล่วงหน้าเกี่ยวกับสุขภาพก็อาจรักษาให้หายจากโรคได้ ขณะเดียวกันอาจมีความกังวลว่าจะเป็นโรคได้ อย่างไรก็ตามทุกคนมีสิทธิในการรับรู้ข้อมูลนี้เพื่อการตัดสินใจ



ความรู้เสริมสำหรับครู

การทราบข้อมูลของจีโนมของมนุษย์อาจมีผลต่อมนุษย์ดังนี้

ด้านการแพทย์และสาธารณสุข เนื่องจากโรคของมนุษย์จำนวนมาก มีปัจจัยทางพันธุกรรมร่วมด้วย ดังนั้นการรับรู้ข้อมูลโดยระบุตำแหน่งและหน้าที่ของยีนได้จึงนำไปสู่การบำบัดรักษาด้วยยีนหรือใช้ยีนในการผลิตโปรตีนมาใช้รักษาโรค เช่น โรคมะเร็ง การค้นพบยาและวัคซีนใหม่ๆ เพื่อรักษาโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคโหลตาย โรคทางระบบประสาท

ด้านเศรษฐกิจ - ธุรกิจ บริษัทผู้ผลิตยาใหม่จำนวนมากที่เกิดจากความรู้ในเรื่องของยีน จะทำให้มีการใช้ยาจากต่างประเทศสูงขึ้น ขณะที่บริษัทผลิตยาของไทยนั้นผลิตยาด้วยวิธีการเดิม ทำให้มีการแข่งขันกันน้อยลง จึงเสียเปรียบดุลการค้าในด้านยามากขึ้น

ด้านเศรษฐกิจ-สังคม โครงการจีโนมของมนุษย์จะสร้างผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจและสังคมอย่างมาก เนื่องจากสามารถตรวจหาลักษณะทางพันธุกรรมของมนุษย์ได้ จึงสามารถตรวจสอบและวินิจฉัยโรคหลายชนิดได้ล่วงหน้า ผู้ป่วยจึงรักษาโรคได้ตั้งแต่ระยะเริ่มแรกหรือหายขาดจากโรคได้ ดังนั้นเมื่อมีสุขภาพดีประสิทธิภาพการทำงานก็เพิ่มขึ้น รายได้ก็เพิ่มขึ้น รายได้ของประชาชาติเพิ่มขึ้นในที่สุด

ปัญหาสังคม ที่อาจเกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้ความรู้จากจีโนมมนุษย์ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับผู้ถูกตรวจสอบหรือผู้ป่วย ดังนี้

สิทธิในการตัดสินใจชีวิตของตนเอง สิทธิในการรับรู้/ไม่รู้ ความเป็นส่วนตัว ความเหมาะสมในการวิจัยและตรวจวินิจฉัยหรือรักษาผู้ป่วยที่ไม่สามารถตอบรับหรือปฏิเสธได้ สิทธิของครอบครัว การกีดกันทางสังคม

มาตรการป้องกัน

- สร้างระบบการจัดการจัดเก็บรักษาตัวอย่างและการนำไปใช้
- การกั้นร่องจากคณะกรรมการชีวจริยธรรม
- จัดเตรียมระบบให้คำปรึกษาด้านยีน
- สร้างความรู้ความเข้าใจแก่สาธารณะและสร้างกฎเกณฑ์ในสังคม

ปัญหาในระยะยาวที่อาจเกิดขึ้น คือ การเปลี่ยนแปลงเผ่าพันธุ์มนุษย์โดยเทคโนโลยีพันธุวิศวกรรม เช่น คนที่มีกำลังทรัพย์มากก็จะมีโอกาสที่จะกำจัดยีนบกพร่อง และคัดเลือกยีนที่ต้องการให้แก่บุตรหลานของตน จึงอาจทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำระหว่างกลุ่มมนุษย์ที่ได้รับการปรับปรุงยีนกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับปรุงยีนได้



แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 17



? 1. กำหนดให้ในหลอดทดลอง 4 หลอด แต่ละหลอดมี DNA 2 ชิ้นคือ DNA X และ DNA Y โดยที่ DNA X และ DNA Y มีขนาดเท่ากันที่ 1,000 คู่เบส (bp) ถ้า DNA X มีจุดตัดจำเพาะโดยเอนไซม์ตัดจำเพาะ 3 ชนิด และ DNA Y มีจุดตัดจำเพาะโดยเอนไซม์ตัดจำเพาะ 1 ชนิด ดังแสดงในภาพ



จงระบายสีลงใน เพื่อแสดงแถบ DNA ที่ปรากฏในเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสของชิ้น DNA ในหลอดทดลองทั้ง 4 หลอด ซึ่งใส่เอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดต่างๆ ลงไปเพื่อตัดชิ้น DNA ทั้ง 2 ชิ้นอย่างสมบูรณ์ดังนี้

- หลอดทดลองที่ 1 ใส่ *HindIII* เพียงชนิดเดียว
- หลอดทดลองที่ 2 ใส่ *BamHI* เพียงชนิดเดียว
- หลอดทดลองที่ 3 ใส่ *EcoRI* และ *HindIII*
- หลอดทดลองที่ 4 ใส่ *BamHI* *EcoRI* และ *HindIII*

ขนาด DNA	DNA มาตรฐาน	หลอดทดลอง ที่ 1	หลอดทดลอง ที่ 2	หลอดทดลอง ที่ 3	หลอดทดลอง ที่ 4
1000 bp					
500 bp					
100 bp					





การระบายสีเป็นดังนี้

ขนาด DNA	DNA มาตรฐาน	หลอดทดลอง ที่ 1	หลอดทดลอง ที่ 2	หลอดทดลอง ที่ 3	หลอดทดลอง ที่ 4
1000 bp					
500 bp					
100 bp					

ในหลอดทดลองที่ 1 ใส่เอนไซม์ตัดจำเพาะ 1 ชนิด คือ *Hind*III ซึ่งจะมีจุดตัดจำเพาะอยู่บน DNA X เท่านั้น และเมื่อตัด DNA X อย่างสมบูรณ์ด้วยเอนไซม์ดังกล่าว จะได้ DNA 2 ชิ้นขนาด 600 และ 400 คู่เบส ดังนั้นเมื่อนำ DNA ในหลอดทดลองที่ 1 ไปทำเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสจะเกิดแถบ DNA ปรากฏบนแผ่นเจล 3 แถบ คือแถบขนาด 400 และ 600 คู่เบส ของ DNA X ส่วนอีก 1 แถบ เป็นขนาด 1000 คู่เบสของ DNA Y ซึ่งไม่ถูกตัดด้วย *Hind*III

ในหลอดทดลองที่ 2 ใส่เอนไซม์ตัดจำเพาะ 1 ชนิด คือ *Bam*HI ซึ่งจะมีจุดตัดจำเพาะอยู่บนทั้ง DNA X และ DNA Y เมื่อตัด DNA ทั้ง 2 ชิ้นอย่างสมบูรณ์ด้วยเอนไซม์ดังกล่าว จะได้ DNA รวม 4 ชิ้น ดังนั้นเมื่อนำ DNA ในหลอดทดลองที่ 2 ไปทำเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสจะเกิดแถบ DNA ปรากฏบนแผ่นเจล 4 แถบ ซึ่งมีขนาด 300 และ 700 คู่เบส จาก DNA X 400 และ 600 คู่เบส จาก DNA Y

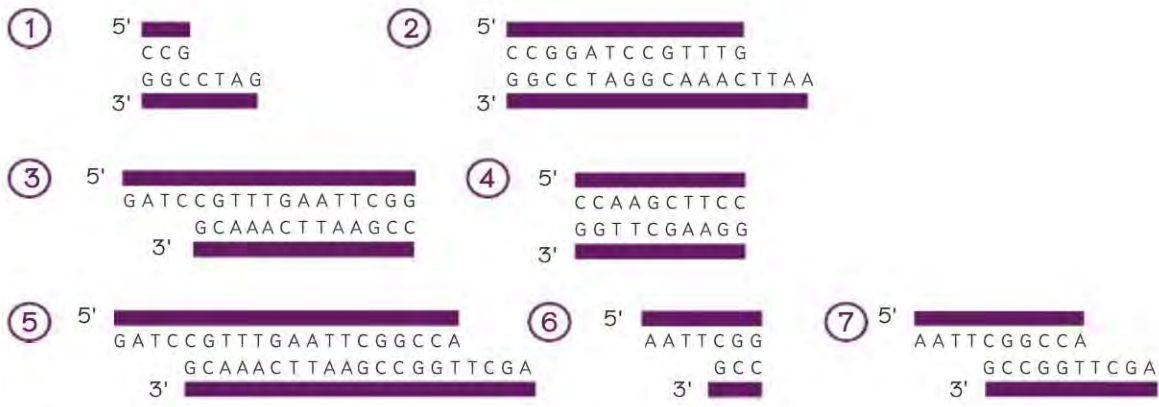
ในหลอดทดลองที่ 3 ใส่เอนไซม์ตัดจำเพาะ 2 ชนิด คือ *Eco*RI และ *Hind*III ซึ่งจะมีจุดตัดจำเพาะอยู่บน DNA X เท่านั้น เมื่อตัด DNA X อย่างสมบูรณ์ด้วยเอนไซม์ดังกล่าว จะได้ DNA ขนาด 200 คู่เบส 1 ชิ้น และ 400 คู่เบสเท่ากับ 2 ชิ้น รวม 3 ชิ้น ดังนั้นเมื่อนำ DNA ในหลอดทดลองที่ 3 ไปทำเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสจะเกิดแถบ DNA ปรากฏบนแผ่นเจล 3 แถบ ซึ่งมีขนาด 200 จาก DNA X 400 คู่เบสจาก DNA X 2 ชิ้นที่มีขนาดเท่ากันปรากฏอยู่ในแถบเดียวกัน และ DNA Y ขนาด 1000 คู่เบส ซึ่งไม่ถูกตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะทั้ง 2 ชนิด

ในหลอดทดลองที่ 4 ใส่เอนไซม์ตัดจำเพาะ 3 ชนิด คือ *Bam*HI *Eco*RI และ *Hind*III ซึ่งจะมีจุดตัดจำเพาะอยู่บนทั้ง DNA X และ DNA Y เมื่อตัด DNA ทั้ง 2 ชิ้นอย่างสมบูรณ์ด้วยเอนไซม์ดังกล่าว จะได้ DNA ขนาด 100 200 300 และ 400 คู่เบสรวม 4 ชิ้นจาก DNA X ส่วน

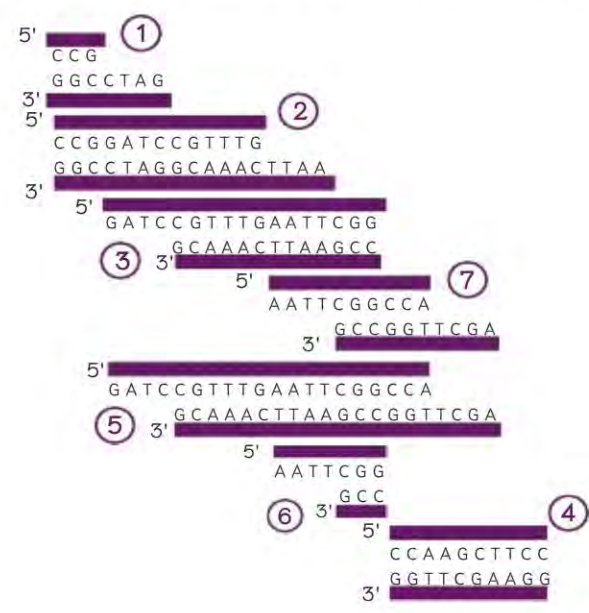


DNA Y ถูกตัดด้วย *Bam*HI ได้ DNA ขนาด 400 และ 600 คู่เบสรวม 2 ชิ้น ดังนั้นเมื่อนำ DNA ในหลอดทดลองที่ 4 ไปทำเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสจะเกิดแถบ DNA ปรากฏบนแผ่นเจล 5 แถบ ซึ่งมีขนาด 100 200 และ 300 คู่เบสจาก DNA X 400 คู่เบสจาก DNA X กับ DNA Y อย่างละ 1 ชิ้น ปรากฏอยู่ในแถบเดียวกัน และขนาด 600 คู่เบส จาก DNA Y

? 2. เมื่อทดลองนำ DNA จำนวนหนึ่งที่ได้จากการทำ PCR ของยีนที่ประกอบด้วย 10 โคดอน มาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดต่างๆ จะได้ชิ้นส่วน DNA จำนวนมากให้นักเรียนหาลำดับเบสของยีนนี้ โดยอาศัยข้อมูลจากชิ้นส่วน DNA 7 ชิ้น ดังภาพ

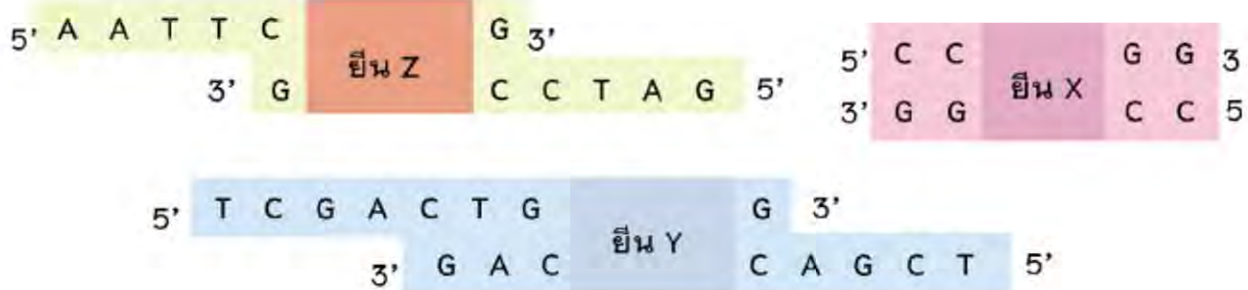


✎ ลำดับเบสของยีนนี้ประกอบด้วย 10 โคดอน จึงต้องมีขนาด 30 คู่เบส ลำดับเบสคือ 5' CCGGATCCGTTTGAATTCGGCCAAGCTTCC 3' วิธีการหาลำดับเบสของยีนดังกล่าวทำได้โดยหาลำดับเบสส่วนที่ซ้ำกันของ DNA แต่ละชิ้น เมื่อนำมาเรียงต่อกันจะได้ยีนขนาดดังกล่าว

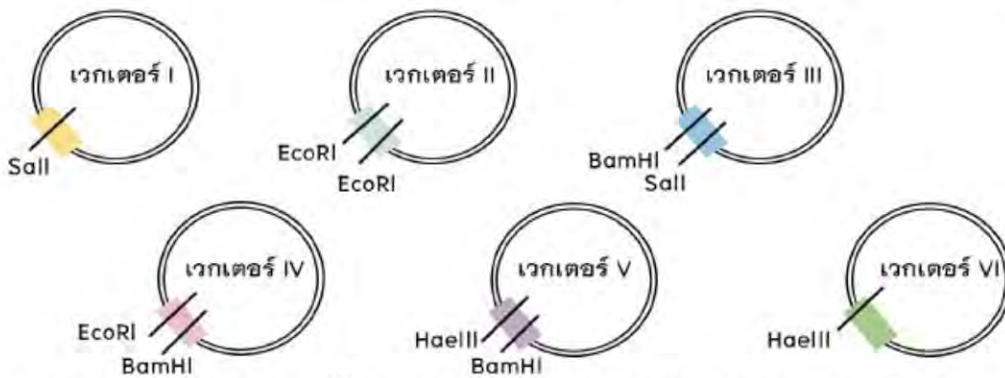




3. ชิ้นส่วนของ DNA ที่มียีน X ยีน Y และ ยีน Z ดังแสดงในภาพ ก. ที่เกิดจากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดต่างๆ ถ้านักเรียนต้องการนำยีนทั้ง 3 ชนิดนี้เข้าในแบคทีเรีย นักเรียนจะเลือกใช้เวกเตอร์ชนิดใดบ้างจากภาพ ข. เพราะเหตุใดจึงเลือกเวกเตอร์เหล่านั้น โดยใช้ข้อมูลเอนไซม์ตัดจำเพาะของตารางที่ 17.1 ในหนังสือเรียน



ภาพ ก. แสดงลำดับเบสที่ปลาย 5' และ ปลาย 3' ของ ยีน X ยีน Y และ ยีน Z



ภาพ ข. แสดงเวกเตอร์ซึ่งมีจุดตัดจำเพาะของเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดต่างๆ



ยีน X ใช้เวกเตอร์ V หรือ เวกเตอร์ VI

ยีน Y ใช้เวกเตอร์ I หรือ เวกเตอร์ III

ยีน Z ใช้เวกเตอร์ IV

เหตุที่เลือกใช้เวกเตอร์เหล่านี้เพราะ

เมื่อพิจารณาลำดับเบสที่ปลาย 5' และ ปลาย 3' ของ ยีน X พบว่าทั้ง 2 ด้านของยีน X มีลำดับเบสที่เหมือนกันแสดงว่าเกิดจากการตัดของเอนไซม์ตัดจำเพาะชนิดเดียวกันและการตัดทำให้เกิดปลายทู่ ดังนั้นเวกเตอร์ที่เลือกใช้ จึงต้องมีตำแหน่งตัดจำเพาะที่ตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะที่ทำให้เกิดปลายทู่ คือ เวกเตอร์ V และ เวกเตอร์ VI ซึ่งมีตำแหน่งตัดจำเพาะสำหรับ HaellI ที่ตัดตำแหน่งระหว่างเบส G-C และเกิดปลายทู่

ยีน Y และ ยีน Z มีส่วนปลายของ DNA เป็นสายนิวคลีโอไทด์สายเดี่ยวหรือปลายเหนียวทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นการเลือกใช้เวกเตอร์ จะต้องมีตำแหน่งตัดจำเพาะของเวกเตอร์ที่ตัด



ด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะแล้วให้ปลายเหนียว และต้องตัดแล้วได้ปลายที่มีลำดับเบสเป็นคู่สมกับนิวคลีโอไทด์ที่ปลาย DNA ของ ยีน Y และ ยีน Z ด้วย

เมื่อพิจารณาปลายทั้ง 2 ด้านของยีน Y พบว่าเป็นปลายเหนียวที่มีลำดับเบสเป็น 5'TCGAC...3' เหมือนกันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งตรงกับลำดับเบสของตำแหน่งตัดจำเพาะของ *SalI* ดังนั้นเวกเตอร์ที่เลือกใช้ จึงเป็นเวกเตอร์ I หรือ เวกเตอร์ III

เมื่อพิจารณาปลายทั้ง 2 ด้านของยีน Z พบว่าเป็นปลายเหนียวทั้ง 2 ด้านเช่นกัน แต่มีลำดับเบสที่ปลายทั้ง 2 ด้านแตกต่างกัน แสดงว่าเกิดจากการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ 2 ชนิด ปลายด้านหนึ่งมีลำดับเบสเป็น 5'AATTC... 3' ซึ่งตรงกับลำดับเบสของจุดตัดจำเพาะของ *EcoRI* ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งมีลำดับเบสเป็น 3'...CCTAG 5' ซึ่งตรงกับลำดับเบสของจุดตัดจำเพาะของ *BamHI* ดังนั้นเวกเตอร์ที่เลือกใช้ คือ เวกเตอร์ IV



หมายเหตุ ครูแนะนำนักเรียนว่าไม่จำเป็นต้องจำลำดับเบสของจุดตัดจำเพาะของเอนไซม์ตัดจำเพาะแต่ให้เข้าใจหลักการของการเลือกใช้เวกเตอร์และข้อมูลจากตารางที่ 17.1



4. สาร A ผลิตมาจากยีนซึ่งมีขนาด 750 bp และมีคนได้ศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนไว้แล้ว ถ้านักเรียนพบว่าสิ่งมีชีวิตที่นักเรียนศึกษามียีนที่ผลิตสาร A แต่เจริญเติบโตได้ช้า และผลิตสาร A ได้น้อย นักเรียนจะอย่างไรเพื่อที่จะผลิตสาร A ได้เป็นจำนวนมาก ในระยะเวลาสั้น



ใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมหรือเทคโนโลยี DNA รีคอมบิแนนท์ โดยสกัด DNA ของสิ่งมีชีวิตที่ผลิตสาร A ได้ นำมาเพิ่มจำนวนยีนที่ผลิตสาร A ด้วยเทคนิค PCR เพื่อให้ได้ DNA จำนวนมาก จากนั้นนำ DNA ที่ได้จากเทคนิค PCR ไปเชื่อมต่อกับพลาสมิดได้เป็น DNA รีคอมบิแนนท์ แล้วจึงนำพลาสมิดนั้นใส่เข้าไปในเซลล์ *E. coli* ทำการคัดเลือกโคโลนีของ *E. coli* ที่มี DNA รีคอมบิแนนท์ซึ่งมียีนที่ผลิตสาร A แทรกอยู่ และมีการแสดงออกของยีน ทำให้ผลิตสาร A ได้ จากนั้นจึงนำ *E. coli* ไปเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวน เพื่อนำมาสกัดสาร A ในปริมาณมากจาก *E. coli*



5. จงอธิบายถึงการบำบัดด้วยยีน (gene therapy)



การบำบัดด้วยยีนเป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่มุ่งบำบัดรักษาโรคที่เกิดจากความบกพร่องของยีนใดยีนหนึ่ง โดยการใส่ยีนที่ทำงานได้ดีเข้าไปทดแทนหรือเสริมยีนที่บกพร่องในร่างกาย



ของคนไข้ มีขั้นตอนหลัก คือ นำยีนปกติถ่ายเข้าสู่เซลล์ร่างกายหรือเนื้อเยื่อที่บกพร่อง ยีนปกตินี้จะรวมกับจีโนมของเซลล์ เมื่อยีนแสดงออกก็จะสร้างโปรตีนที่ปกติหรือผลผลิตที่ต้องการ ปัจจุบันการทำยีนบำบัดที่ใช้กันมากคือ เทคนิคการนำเซลล์ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงยีนออกมา นอกจากร่างกายแล้วทำการเปลี่ยนแปลงยีนโดยใช้ไวรัสเป็นตัวนำยีนที่ปกติเข้าสู่เซลล์ด้วยเทคนิคพันธุวิศวกรรม ยีนจะแทรกเข้าสู่โครโมโซมของเซลล์ จากนั้นจึงนำเซลล์ดังกล่าวใส่กลับเข้าสู่ร่างกายอีกครั้งหนึ่ง ตัวอย่างการบำบัดโรคด้วยยีน เช่น การบำบัดโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์



6. จงอธิบายถึงจริยธรรมในการใช้พันธุวิศวกรรมในมนุษย์

ถ้าเทคโนโลยีพันธุวิศวกรรมมีความพร้อมและนำมาใช้กับมนุษย์ในทางการแพทย์สามารถตรวจ DNA ในเด็กแรกเกิดหรือขณะอยู่ในครรภ์เพื่อวิเคราะห์โรคบางอย่างได้ ถ้าทราบล่วงหน้าจะสามารถบำบัดโรคด้วยยีน ซึ่งอาจทำให้หายจากโรค ในทางตรงกันข้ามก็อาจเกิดความกังวลได้เช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าการคัดเลือกสมบัติต่างๆ ในการให้กำเนิดเด็กในอนาคตอาจไม่ใช่เพียงการคัดเลือกลักษณะที่เป็นโรคออกไปเท่านั้น แต่จะคัดเลือกลักษณะที่ดีๆ เอาไว้ โดยผู้ที่มีฐานะดีในสังคมจะมีโอกาสเลือกได้มากกว่าในการใช้พันธุวิศวกรรมในการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม เพื่อให้ได้ลูกหลานที่แข็งแรงและฉลาดที่สุด จึงอาจสร้างความเหลื่อมล้ำในสังคมในอนาคต ทำให้เกิดการแบ่งแยกชนชั้นมากขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในทุกวันนี้ถ้าไม่ระมัดระวังในการนำมาใช้ นอกจากนี้วงการวิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถทำนายความเสี่ยงได้ว่าในระยะยาวคนที่เกิดมาแล้วและถูกเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมนั้นจะสมบูรณ์หรือปลอดภัยเพียงใดและหากอนุญาตให้มีการทำยีนบำบัดกับเซลล์ตั้งต้นที่จะสร้างเซลล์ไข่และสเปิร์มก็อาจจะมีผลต่อวิวัฒนาการของมนุษย์ต่อไปในอนาคต



7. จงอธิบายถึงการนำเทคนิคพันธุวิศวกรรมมาใช้ในการคัดเลือกพันธุ์พืช

เมื่อก่อนหน้านี้การคัดเลือกพันธุ์พืชจะใช้วิธีการผสมพันธุ์พืชที่เป็นชนิดเดียวกันหลายๆชั่วรุ่น จึงใช้เวลาหลายปีกว่าจะได้สายพันธุ์ที่มีลักษณะดีตามที่ต้องการ แต่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมในการคัดเลือกพันธุ์ เป็นวิธีที่ทำได้กับพืชต่างชนิดกัน โดยการสร้าง DNA รีคอมบิแนนท์ ซึ่งนำ DNA ที่มียีนที่ต้องการจากพืชชนิดหนึ่งมาใส่ในยีนของพืชอีกชนิดหนึ่งเพื่อให้ได้พืชสายพันธุ์ใหม่ พืชที่ได้รับการดัดแปลงยีนจะมีลักษณะดีตาม

ที่ต้องการแตกต่างไปจากต้นเดิม ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่คัดเลือกพันธุ์พืชได้ในระยะเวลาอันสั้นอาจเพียงหนึ่งชั่วรุ่นของพืช และมีประสิทธิภาพสูงด้วย



8. จงอธิบายถึงอันตรายที่อาจเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์อาหารได้มาจากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม



ผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งอาจมีความเสี่ยงหรืออันตรายที่เกิดจากการบริโภคอาหาร GMOs เช่น ความเสี่ยงต่อการเกิดสารภูมิแพ้ เนื่องจากการถ่ายถอดยีนจะทำให้มีการผลิตโปรตีนบางชนิดและโปรตีนคือสิ่งที่กระตุ้นปฏิกิริยาภูมิแพ้ เช่น มีการนำยีนจากถั่วบราซิลมาทำ GMOs เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในถั่วเหลือง อาจมีผู้บริโภคถั่วเหลืองสายพันธุ์ใหม่เกิดอาการภูมิแพ้ เนื่องจากได้รับโปรตีนที่เป็นสารภูมิแพ้จากถั่วบราซิล นอกจากนี้ยังอาจทำให้เชื้อโรคในร่างกายเกิดการดื้อยาได้ เนื่องจากมักใช้ยีนที่สร้างสารต่อต้านยาปฏิชีวนะเป็นยีนคัดเลือกถ้าแบคทีเรียในร่างกายของคนได้รับยีนนี้เข้าไปก็จะทำให้ได้แบคทีเรียสายพันธุ์ใหม่ที่ดื้อยาปฏิชีวนะ การรักษาโรคจึงไม่ค่อยได้ผล



แหล่งเรียนรู้



หนังสือประกอบการค้นคว้า

สมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทย. **หลักพันธุศาสตร์**. กรุงเทพฯ. 2546.

Biggs, A., Kapicka, C. and Lundgren, L. **Biology The Dynamics of Life**. Teacher

Wraparound edition. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 1998.

Campbell, N. A. and Reece, J. B. **Biology**. 6th ed. Benjamin Cummings Publishing Company, Inc. California. 2002.

Freeman, S. **Biological Science**. Prentice–Hall, Inc. United States of America. 2002.

Hartwell, L. and etc. **Genetics**. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 2000.

Lewis, R. **Human Genetics**. 5th ed. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 2003.

Postlethwait, J. H. and Hopson, J. H. **The Nature of Life**. 3rd ed. McGraw–Hill Companies, Inc. United States of America. 1995.

Starr, C. and Taggart, R. **Cell Biology and Genetics**. Von Hoffmann Press. United States of America. 2001.



อินเทอร์เน็ต (Internet)

1. เทคโนโลยีชีวภาพทางด้านพันธุศาสตร์. (online) Available: <http://ats.doit.wisc.edu/biology/g/bt/bt.htm>. (Retrieved 20/4/10)
2. แนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ สำหรับการดำเนินงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่หรือพันธุวิศวกรรม. (online) Available : <http://www.biotec.or.th/biosafety/download/biosafety%20guideline-update.pdf>. (Retrieved 20/4/10)
3. การประยุกต์ใช้พันธุศาสตร์ทางด้านการแพทย์และนิติวิทยาศาสตร์ (online) Available : http://www.sc.chula.ac.th/botany/eClass/2305261/Applications_of_Genetics.pdf. (Retrieved 20/4/10)
4. การใช้พันธุวิศวกรรมในการผลิตโปรตีนกำจัดลูกน้ำยุง (online) Available : <http://library.stks.or.th:8080/dspace/bitstream/123456789/877/1/20080619-Biotec-Env4.pdf>. (Retrieved 20/4/10)
5. ประโยชน์และโทษของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (online) Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/208>.



บทที่ 18

วิวัฒนาการ



เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

18.1	หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	2	ชั่วโมง
18.2	แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	2	ชั่วโมง
18.3	พันธุศาสตร์ประชากร	4	ชั่วโมง
18.4	ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล	2	ชั่วโมง
18.5	กำเนิดของสปีชีส์	2	ชั่วโมง
18.6	วิวัฒนาการของมนุษย์	2	ชั่วโมง
	รวม	14	ชั่วโมง



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย วิเคราะห์ และสรุปหลักฐานต่างๆ ที่สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของชาลส์ ดาร์วิน
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และคำนวณหาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรที่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
4. สืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และสรุปปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล และความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรที่ส่งผลต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
5. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกระบวนการเกิดสปีชีส์ใหม่ของสิ่งมีชีวิต
6. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และนำเสนอผลกระทบจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่อการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
7. สืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และสรุปวิวัฒนาการของมนุษย์





สาระสำคัญ

สิ่งมีชีวิตในปัจจุบันนี้เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการเปลี่ยนแปลงมาจากบรรพบุรุษในอดีตมาเป็นระยะเวลาอันยาวนานหลายชั่วรุ่น และถูกคัดเลือกให้มีชีวิตรอดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันในช่วงเวลาที่ยาวนาน การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตจากอดีตมาจนถึงปัจจุบันนี้ เรียกว่า วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

หลักฐานที่บ่งบอกว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการศึกษาได้จาก หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ หลักฐานจากกายวิภาคเปรียบเทียบ หลักฐานจากวิทยาเอ็มบริโอเปรียบเทียบ หลักฐานจากด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล และหลักฐานทางชีวภูมิศาสตร์ เป็นต้น

แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เริ่มจากแนวคิดของฌอง ลามาร์กและชาลส์ ดาร์วิน โดยลามาร์กเสนอแนวคิดเกี่ยวกับกฎการใช้และไม่ใช้ และกฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่ ส่วนดาร์วินเสนอแนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

แนวคิดของลามาร์กเกี่ยวกับกฎการใช้และไม่ใช้กล่าวว่า อวัยวะส่วนใดที่มีการใช้งานมากในการดำรงชีวิตจะมีขนาดใหญ่และแข็งแรงขึ้น ขณะที่อวัยวะที่ไม่ค่อยได้ใช้งานจะอ่อนแอและเล็กลงไป ส่วนกฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นภายในชั่วรุ่นนั้นสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้

แนวคิดของดาร์วินเกี่ยวกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติกล่าวว่า สิ่งมีชีวิตบนโลกนี้เป็นรุ่นลูกหลานที่มีลักษณะแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตที่มีมาในอดีต ความแตกต่างนี้เกิดจากการสะสมลักษณะที่แตกต่างไปจากบรรพบุรุษ แต่ลักษณะที่เหมาะสมเท่านั้นจะถูกคัดเลือกให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมนั้น ลักษณะดังกล่าวถือว่าเป็นการปรับตัวเชิงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตให้เข้ากับสภาพแวดล้อมเพื่อเกิดเป็นสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่ขึ้น

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ใช้ความรู้ทางพันธุศาสตร์ประชากรในการอธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและปัจจัยที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการ ได้แก่ มิวเทชัน การคัดเลือกโดยธรรมชาติ การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจง การถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนและการเลือกคู่ผสมพันธุ์ โดยปัจจัยดังกล่าวทำให้ยีนพูลในประชากรเปลี่ยนแปลงหรือเกิดวิวัฒนาการขึ้นและทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่ขึ้น

สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันจะมีกลไกในการป้องกันการผสมพันธุ์ต่างสปีชีส์ สิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่เป็นผลมาจากการแยกกันทางการสืบพันธุ์ การแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ และการเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน

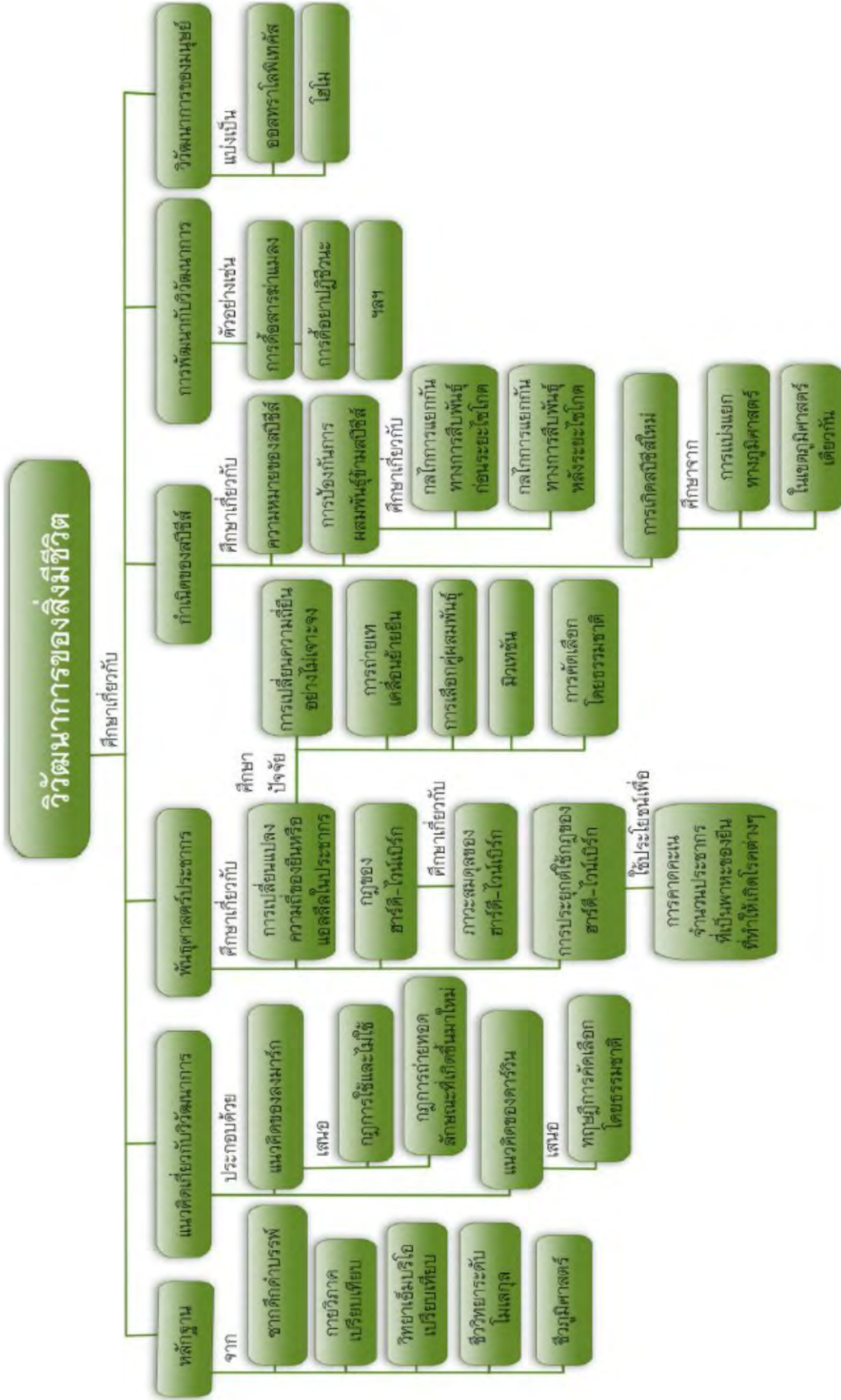
การพัฒนาที่เกิดขึ้นในโลกปัจจุบันทำให้สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงและมีผลกระทบต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เช่น การดื้อยาฆ่าแมลง และการดื้อยาปฏิชีวนะ ก่อให้เกิดการสูญเสียมวลหลายทางชีวภาพ



มนุษย์มีวิวัฒนาการมายาวนานกว่า 4.5 ล้านปี การศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์ศึกษาได้จากหลักฐานซากดึกดำบรรพ์และการเปรียบเทียบลำดับเบสบน DNA ทำให้ทราบว่าสายวิวัฒนาการของมนุษย์เริ่มจากออสตราโลพิเทคัสและโฮโม ซึ่งเริ่มจาก *Homo habilis* *Homo erectus* จนถึง *Homo sapiens*



ผังมโนทัศน์
บทที่ 18 วัตินนาการ



แนวการจัดการเรียนรู้



ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนดูภาพโครงกระดูกไดโนเสาร์จากภาพนำบท หรือข่าวเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์หรือซากดึกดำบรรพ์จากแหล่งเรียนรู้ในโรงเรียน หรืออาจนำนักเรียนไปยังแหล่งเรียนรู้เกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ในท้องถิ่น เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้สงสัยใคร่รู้ โดยอาจใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- สิ่งมีชีวิตในอดีตมีลักษณะอย่างไร และมีโครงสร้างใดคล้ายกับสิ่งมีชีวิตในปัจจุบัน เป็นไปได้หรือไม่ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

หรือครูอาจใช้คำถามจากภาพนำบทในหนังสือเรียนเพื่อนำสู่การอภิปรายว่า

- สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่พบอยู่ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงจากสิ่งมีชีวิตที่เกิดมาก่อนชนิดใด และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรจึงสามารถสืบทอดเผ่าพันธุ์มาถึงปัจจุบันได้

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ซึ่งนักเรียนอาจตอบโดยใช้ความรู้จากประสบการณ์เดิมที่มีอยู่ โดยครูรวบรวมคำตอบของนักเรียนไว้ก่อนเพื่อให้นักเรียนได้ศึกษารายละเอียดของเนื้อหาในหนังสือเรียน หลังจากนั้นจึงมาตรวจสอบว่าคำตอบของนักเรียนถูกต้องหรือไม่

ครูอธิบายข้อมูลเพิ่มเติมจากภาพนำบทในหนังสือเรียนซึ่งเป็นภาพซากดึกดำบรรพ์ของกระดูกไดโนเสาร์ โดยชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ลักษณะและขนาดของโครงกระดูกไดโนเสาร์จากภาพนี้แตกต่างจากโครงกระดูกของสิ่งมีชีวิตในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษในอดีตเป็นเวลานานหลายชั่วรุ่น โดยโครงกระดูกของไดโนเสาร์ในภาพนี้มีอายุประมาณ 130 ล้านปีมาแล้ว จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อเกี่ยวกับหลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตว่า ถ้าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการเกิดขึ้น นักเรียนทราบหรือไม่ว่ามีหลักฐานและข้อมูลใดบ้างที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

18.1 หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับหลักฐานต่างๆ ที่สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต



แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยตั้งประเด็นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า **ทราบได้อย่างไรว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ** หรือครูอาจใช้คำถามนำในหนังสือเรียนถามนักเรียนว่า **หลักฐานต่างๆ สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอย่างไร** ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระจากนั้นให้นักเรียนตรวจสอบความคิดของนักเรียนจากการศึกษาในหัวข้อต่อไป

18.1.1 หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต

ครูอาจนำข่าวหรือบทความในหนังสือพิมพ์หรืออินเทอร์เน็ตให้นักเรียนศึกษา โดยตัวอย่างข่าวอาจเป็นดังนี้

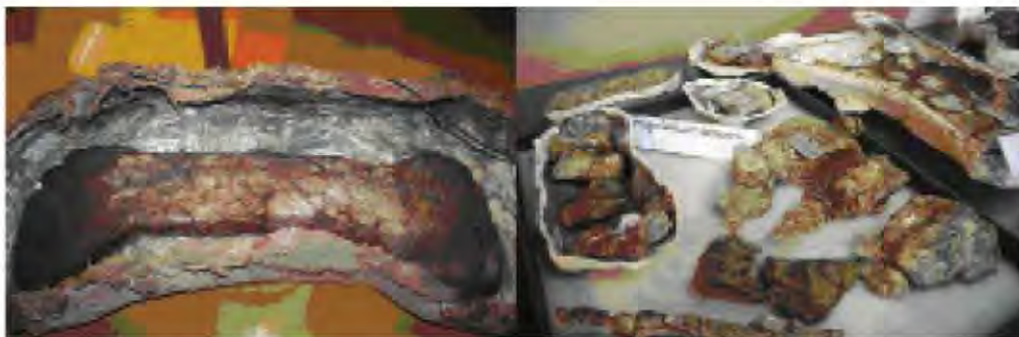


ซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์

เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2553 ที่ห้องประชุมพิพิธภัณฑสถานธรณีวิทยา อ.สหัสขันธ์ จ.กาฬสินธุ์ ได้มีการเปิดโครงการครูวิจัยซากดึกดำบรรพ์ รุ่นที่ 5 โดย ดร.วรารุช สุธีธร ผู้เชี่ยวชาญด้านซากดึกดำบรรพ์ กรมทรัพยากรธรณี แถลงผลการขุดค้นซากดึกดำบรรพ์ ที่ภู่น้อย อ.คำม่วง ว่าก่อนหน้านี้ได้ขุดค้นซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์ที่ภู่น้อย ได้ 64 ชิ้น โดยเฉพาะกระดูกสะโพกที่มีความยาว 150 เซนติเมตร กว้าง 50 เซนติเมตร ทำให้เชื่อว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ขนาดความยาวกว่า 25 เมตร ทั้งนี้ผลการขุดค้นก้าวหน้ามาก นักวิจัยรวบรวมซากดึกดำบรรพ์ได้มากกว่า 200 ชิ้น เมื่อนำมาวิจัยพบว่า ในหลุมขุดค้นเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่มีมากกว่า 2 ตัว มีลักษณะนอนทับถมคล้ายที่ภูมู่ขาว แต่สิ่งที่น่าพิศมัยที่สุดคือ ชิ้นส่วนของหัวกะโหลกขนาดความยาวเกือบ 50 เซนติเมตร กับฟันจำนวน 3-4 ซี่ ซึ่งยังไม่พบว่าตรงกับสายพันธุ์กินพืชที่ใดในโลก จึงยืนยันได้ว่าซากดึกดำบรรพ์ที่พบบริเวณภู่น้อยมีอายุเก่าแก่มากกว่า 150 ล้านปี หรือในยุคจูแรสซิกตอนปลาย

นายอดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์ อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี กล่าวว่า มันใจว่าซากดึกดำบรรพ์ที่พบบริเวณภู่น้อย จะเป็นสายพันธุ์กินพืชขนาดใหญ่ที่เป็นสกุลใหม่ และยังไม่พบที่ใดในโลก จากนี้จะมีการจัดสร้างอาคารคลุมหลุมไดโนเสาร์ และร่วมพัฒนาให้เป็นแหล่งศึกษาและวิจัย ค้นคว้างานทางด้านการศึกษาวิจัยด้านบรรพชีวิน

นายเลิศบุศย์ กองทอง นายอำเภอคำม่วงกล่าวว่า อำเภอและท้องถิ่นจะร่วมกันผลักดันเข้าแผนพัฒนาจังหวัดกาฬสินธุ์ พัฒนาแหล่งขุดค้นให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว หากประสบผลสำเร็จ จังหวัดกาฬสินธุ์จะเป็นแหล่งศึกษาวิจัยและการท่องเที่ยวด้านบรรพชีวินที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก



ที่มา : http://www.matichon.co.th/news_detail.php?newsid=1270553368



ซีลาแคนธ์

ชาวประมงอินโดนีเซียจับ “ซีลาแคนธ์” ปลาตึกดำบรรพ์ที่เชื่อว่าสูญพันธุ์ไปแล้วตั้งแต่ยุคไดโนเสาร์ คาดอาจเป็นบรรพบุรุษสัตว์มีกระดูกสันหลัง แต่น่าสนใจที่ปลาน้ำลึกสามารถอยู่ได้นานบนผิวน้ำหลังถูกจับได้ถึง 17 ชั่วโมง ยูสตินุส ลาฮามา (Yustinus Lahama) ชาวประมงอินโดนีเซียพร้อมลูกชายจับปลาหน้าตาประหลาดยาว 131 เซนติเมตรหนัก 51 กิโลกรัม ได้เมื่อวันที่ 19 พ.ค.ที่ผ่านมา ขณะที่พวกเขาออกหาปลาแถวเกาะสุลาเวสี ใกล้อุทยานแห่งชาติทางทะเลของบุนาเคน (Bunaken National Marine Park) ซึ่งเป็นเขตที่มีความหลากหลายทางชีวภาพทางน้ำสูงสุดแห่งหนึ่งในโลก หลังจาก 2 พ่อลูกนำปลายักษ์ที่เหมือนหินไปให้เพื่อนบ้านดูและเก็บไว้ที่บ้านประมาณ 1 ชั่วโมง พวกเขาก็นำปลาตัวดังกล่าวกลับไปไว้ที่บ่ออนุบาล แต่น่าเสียดายที่ปลาลักษณะคล้ายซากดึกดำบรรพ์โบราณตายลงในอีก 17 ชั่วโมงถัดมา

โดยผู้เชี่ยวชาญระบุว่า เป็นเพราะอยู่ในสภาพที่ยากแก่การดำรงชีวิต “ที่จริงปลาดังนี้น่าจะตายตั้งแต่ 2 ชั่วโมงแรกที่ถูกจับขึ้นมาได้ เพราะปลาสายพันธุ์นี้อาศัยอยู่แต่ในน้ำลึก (ประมาณ 200 ฟุต) และสภาพอากาศหนาวเย็น” ศ.เกรโว กิริง (Grevo Gerung) คณะประมง มหาวิทยาลัยแซมราตูลังกี (Sam Ratulangi University) อินโดนีเซียเผย พร้อมทั้งตั้งข้อสังเกตว่าเหตุใดปลาดังนี้กลับอยู่ได้นานถึง 17 ชั่วโมง ปลาโบราณที่พ่อลูกคู่นี้จับได้คือ “ซีลาแคนธ์” (coelacanth) ซึ่งมีซากดึกดำบรรพ์เก่าแก่อายุ 60 ล้านปีปรากฏอยู่ในพิพิธภัณฑ์ปลาออสเตรเลีย และนักบรรพชีวินวิทยาเชื่อว่าสูญพันธุ์ไปแล้วประมาณ 60 ล้านปีก่อนพร้อมๆ กับยุคไดโนเสาร์ เพราะไม่พบซากดึกดำบรรพ์อายุน้อยกว่านั้น

ทว่ากลับมีการค้นพบซีลาแคนธ์ตัวเป็นๆ ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2382 ในแถบชายฝั่งแอฟริกาสร้างความสนใจไปทั่วโลก จากนั้นก็มีรายงานการพบปลาดังกล่าวเรื่อยๆ แม้กระทั่งในแถบสุลาเวสีเองก็เคยพบมาแล้วเมื่อ 7 ปีก่อน ที่น่าสนใจคือ ซีลาแคนธ์มีรูปร่างของครีบละม้ายคล้ายคลึงกับกระดูกแขนและขาของสัตว์บกมาก มีระบบการสืบพันธุ์ไม่เหมือนปลาชนิดอื่นคือเมื่อซีลาแคนธ์ได้รับการผสมพันธุ์ก็จะฟักตัวเป็นลูกปลาและยังอาศัยอยู่ในท้องของแม่จนกระทั่งคลอดออกมา และไข่ปลาซีลาแคนธ์เป็นไข่ปลาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 9 เซนติเมตร ด้วยลักษณะดังกล่าวทำให้นักชีววิทยาหลายคนมีความคิดว่าซีลาแคนธ์คือบรรพบุรุษของสัตว์โลกที่มีกระดูกสันหลังทุกชนิด



ที่มา : http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=3313&filename=index

(คอลัมน์:วิทยาศาสตร์) ผู้จัดการออนไลน์ 22 พ.ค. 2550

จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นต่างๆ โดยอาจใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- ซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบบอกอะไรแก่นักเรียนได้บ้าง

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบเป็นหลักฐานที่สนับสนุนว่าในอดีตเคยมีสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ แต่ในปัจจุบันอาจสูญพันธุ์ไปหรืออาจมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป

จากนั้นให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดซากดึกดำบรรพ์ และให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- ซากดึกดำบรรพ์เกิดขึ้นได้อย่างไร

- ซากดึกดำบรรพ์มีรูปแบบอะไรบ้าง

จากการสืบค้นและอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรสรุปได้ว่าซากดึกดำบรรพ์คือ ซากหรือร่องรอยของสิ่งมีชีวิตที่ตายไปแล้วอาจจมอยู่ในน้ำและมีโคลนหรือตะกอนทับถมอย่างรวดเร็วทำให้แร่ธาตุในน้ำซึมเข้าสู่กระดูกและฟันหรือเนื้อเยื่อพืช ซากดึกดำบรรพ์อาจปรากฏอยู่ได้หลายลักษณะที่พบในประเทศไทย เช่น โครงกระดูกไดโนเสาร์ที่ขุดพบในจังหวัดขอนแก่น รอยเท้าไดโนเสาร์ที่ภูหลวง จังหวัดเลย ไม้กลายเป็นหินที่จังหวัดนครราชสีมา สุสานหอย 75 ล้านปีที่จังหวัดกระบี่ แมลงในอำพัน ภาพรอยพิมพ์ของโครงกระดูกปลาหรือภาพรอยพิมพ์ใบไม้ เป็นต้น


ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนว่า ซากดึกดำบรรพ์เกิดได้เฉพาะบางบริเวณเท่านั้น เช่น บริเวณที่เป็นหินตะกอน หรือบริเวณแหล่งน้ำมัน หรือบริเวณน้ำแข็งแถบขั้วโลก เป็นต้น การเกิดซากดึกดำบรรพ์อาจเกิดจากแร่ธาตุบางอย่างแทรกเข้าไปในซากสิ่งมีชีวิต หรือเป็นรอยพิมพ์ของซากสิ่งมีชีวิตโดยซากนั้นเป็นเพียงแม่แบบ หรือเบ้าหลอมเท่านั้นขณะที่ตัวของซากสิ่งมีชีวิตเองจะผุพังไปในที่สุด

ครูให้ความรู้แก่นักเรียนเพิ่มเติมว่า สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่พบมาตั้งแต่อดีตและยังคงมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับปัจจุบันทั้งสัตว์และพืช เช่น ปลาซีลาแคนท์ แมงดาทะเล หวายทะเล นอยหญ้าถอดปล้อง และแพะก๊วย เป็นต้น เรียกสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ว่า ซากดึกดำบรรพ์ที่ยังมีชีวิตอยู่ จากนั้นให้นักเรียนศึกษาภาพซากดึกดำบรรพ์ในหินชั้นต่างๆ จากภาพที่ 18-2 ในหนังสือเรียนและตอบคำถามจากภาพและคำถามเพิ่มเติมซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้




ซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหินชั้นใดที่มีอายุมากที่สุด เพราะเหตุใด



 หินชั้นที่ 1 เนื่องจากเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงจะถูกตะกอนทับถมเกิดเป็นชั้นของหินตะกอน ดังนั้น ซากสิ่งมีชีวิตที่ตายลงก่อนจึงถูกทับถมในหินตะกอนชั้นล่างสุด




? เมื่อเปรียบเทียบความซับซ้อนของโครงสร้างซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหินชั้นล่างกับชั้นบนแล้ว มีโครงสร้างซับซ้อนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ?

 จากภาพโครงสร้างซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหินชั้นล่างจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าโครงสร้างซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหินชั้นบน จึงเป็นไปได้ว่าสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในระยะแรกๆ เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยกว่า และสิ่งมีชีวิตที่พบในหินชั้นบนจึงมีลักษณะใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตในปัจจุบันมากกว่า


? นักเรียนคิดว่าระหว่างสัตว์มีกระดูกสันหลังและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง มีโอกาสเกิดซากดึกดำบรรพ์แตกต่างกันอย่างไร ?

 สัตว์มีกระดูกสันหลังมีโอกาสเกิดซากดึกดำบรรพ์ได้มากกว่าเนื่องจากมีโครงกระดูกที่ถุกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยากกว่า

? หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์บอกอะไรได้บ้าง ?

 หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ บอกได้ว่าสิ่งมีชีวิตนี้เคยมีมาในอดีต แสดงลำดับการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและชี้ให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

? ถ้าพบซากดึกดำบรรพ์ในชั้นหิน นักเรียนจะทราบได้อย่างไรว่าซากดึกดำบรรพ์นั้นมีอายุกี่ปี ?

 สามารถประมาณอายุของซากดึกดำบรรพ์จากอายุของชั้นหินที่พบซากดึกดำบรรพ์นั้น โดยการเปรียบเทียบปริมาณสารกัมมันตภาพรังสีกับปริมาณของธาตุที่เกิดจากการสลายของสารกัมมันตภาพรังสีนั้น

ความรู้เสริมสำหรับครู

ปลาซีลาแคนท์ (Coelacanth) จัดเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่มีชีวิต (living fossil) เพราะครั้งหนึ่งเคยมีปลาซีลาแคนท์อยู่มากมายและหลากหลายสายพันธุ์ แต่ไม่ได้มีชีวิตรอดมาจนถึงปัจจุบันได้ทั้งหมด ซึ่งนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าปลาชนิดนี้สูญพันธุ์ไปแล้วตั้งแต่เมื่อสิ้นยุคครีเทเชียส (Cretaceous) คือ เมื่อ 65 ล้านปีก่อน แต่แล้วได้มีการค้นพบปลาซีลาแคนท์อย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2481 ปลาที่ถูกจับได้ที่ปากแม่น้ำซาลัมนา (Chalumna) ทางชายฝั่งตะวันออกของแอฟริกาใต้ โดยกัปตันเฮนดริค กูเซน (Capt. Hendric Goosen) และลูกเรือชาวสก็อตแลนด์ พวกเขาคิดว่าปลาที่จับได้นี้แปลกประหลาดมาก และได้นำปลาที่จับได้มายังท่าเรือของเมืองอีสต์ลอนดอน (East London) ในประเทศแอฟริกาใต้ และแจ้งไปยังพิพิธภัณฑ์ท้องถิ่นในเมืองเล็กๆ ของเมืองลาติเมอร์ (Courtney-Latimer) นักอาร์กซ์ของพิพิธภัณฑ์ที่นั่นได้เห็นปลารูปร่างประหลาด จึงได้แจ้งไปยังศาสตราจารย์ เจ.แอล.บี สมิท (J.L.B Smith) ผู้เชี่ยวชาญเรื่องปลาแห่งมหาวิทยาลัยโรดส์ในประเทศแอฟริกาใต้ แล้วแจ้งไปยังพิพิธภัณฑ์ท้องถิ่นนั้น ให้เก็บรักษาตัวอย่างปลาไว้ แต่ว่าข้อความนั้นมาช้าไปทำให้อวัยวะภายในของปลาซีลาแคนท์นั้นเริ่มเน่าเสีย ต่อมาสมิทได้ออกแถลงการณ์ให้โลกรู้ว่า ปลาน้ำเงินความยาวเกือบสองเมตรนั้นคือปลาซีลาแคนท์ ที่เคยมีชีวิตอยู่เมื่อหลายร้อยล้านปีก่อน สมิทจึงได้ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ของปลาบรรพบุรุษตัวนี้ว่า *Latimeria chalumnae* เพื่อเป็นเกียรติแก่เมืองลาติเมอร์และตำแหน่งที่ค้นพบ คือบริเวณปากแม่น้ำ ซาลัมนา

ปลาซีลาแคนท์ตัวที่สองถูกจับได้โดยกลาสีเรือชื่ออาเหม็ด ฮูเซียน ในบริเวณ Comores Archipelago ที่อยู่ใกล้เกาะมาดากัสกา ในอีก 14 ปีต่อมา และฮูเซียนก็ได้รับเงินรางวัล 50,000 ฟรังก์ ปัญหาการอ้างกรรมสิทธิ์ของปลาที่จับได้ก็เกิดขึ้นระหว่างสมิทกับรัฐบาลฝรั่งเศส เพราะว่าปลาที่ถูกจับได้อยู่ในบริเวณน่านน้ำของเกาะมาดากัสกา ซึ่งอยู่ในความปกครองของฝรั่งเศส แต่สมิทเป็นนักชีววิทยาคนแรกที่อยู่ใกล้ปลานี้ รัฐบาลฝรั่งเศสจึงตัดสินใจว่า หากสมิทสามารถเดินทางมารับซากปลาได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง เขาจะได้เป็นเจ้าของซากปลานั้น แต่สมิทนั้นอยู่ห่างจากฝรั่งเศสถึง 2,400 กิโลเมตร จึงได้ขอร้องนายกรัฐมนตรีนองแอฟริกาใต้ให้จัดเครื่องบินของกองทัพอากาศไปรับซากปลาภายในเวลา 24 ชั่วโมง ได้ทันเวลา และข่าวการพบปลาซีลาแคนท์ตัวที่สองได้แพร่กระจายไปทั่วโลก และโลกก็ประจักษ์ว่าทะเล Comores Archipelago คือถิ่นที่อยู่อาศัยของฝูงปลาซีลาแคนท์ เพราะจับปลานี้ตัวที่ 3 ได้ในอีก 1 ปีต่อมา

ชาวเกาะ Comoran รู้จักปลานี้ในชื่อ Gombessa และทุกๆ ครั้งที่คนเหล่านี้จับปลาซีลาแคนท์ได้ เขาจะปล่อยให้มันกลับลงทะเล เพราะเนื้อมันกินไม่ได้ ในช่วงเวลา 15 ปีที่ผ่านมา ชาวประมงจับปลาซีลาแคนท์ได้โดยบังเอิญอีก 3-12 ตัว นอกจากนี้ปลาซีลาแคนท์ยังพบในอินโดนีเซียเพียงแต่มีลักษณะแปลกกว่าของแอฟริกาเล็กน้อย



เมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2541 ปลาซีลาแคนธ์ถูกจับได้อีกครั้งหนึ่งโดยชาวประมงท้องถิ่นในตาข่ายดักฉลามบริเวณทะเลลึก ห่างจากเกาะภูเขาไฟของ Manado Tua ทางเหนือของสุลาเวสี อินโดนีเซียซึ่งอยู่ทางตะวันออกเฉียงของมหาสมุทรอินเดียตะวันตกไปประมาณ 10,000 กิโลเมตร และพบว่าปลาซีลาแคนธ์แห่งเกาะสุลาเวสีนี้แตกต่างกับปลาซีลาแคนธ์ที่พบที่เกาะ Comoros ที่เห็นได้ชัด คือ สีตัวของปลาโดยที่ Comoros นั้นจะมีสีน้ำเงิน ส่วนที่เกาะสุลาเวสีมีสีน้ำตาล และในปี พ.ศ. 2542 ปลาซีลาแคนธ์แห่งสุลาเวสีนี้จัดเป็นปลาซีลาแคนธ์ชนิดใหม่ โดยมีชื่อว่า *Latimeria menadoensis* จากการพบซีลาแคนธ์ชนิดใหม่นี้ได้ จุดประกายว่าปลาซีลาแคนธ์อาจจะมีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างและมีจำนวนมากกว่าที่ได้เคยคิดกันไว้

ปลาซีลาแคนธ์เป็นสัตว์เพียงไม่กี่ชนิดที่รูปร่างแทบจะไม่ได้เปลี่ยนแปลงเลยในระยะเวลานับหลายร้อยล้านปี แต่ยังคงมีเหมือนกับเมื่อ 140 ล้านปีก่อนทุกประการ ปลาซีลาแคนธ์จัดว่าใกล้เคียงกับ Eusthenopteron ซึ่งเป็นปลาในยุคเริ่มแรกที่มีขา และเริ่มที่จะวิวัฒนาการมาเป็นพวกสัตว์บก แต่ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์มีแนวคิดใหม่ที่ว่าปลาซีลาแคนธ์มีความใกล้เคียงและเกี่ยวข้องกับปลา Rhipidistai มากกว่าสัตว์กลุ่ม Tetrapod อีกทั้งยังมีปลาอีกชนิดหนึ่งที่เป็นปลาตึกดำบรรพ์ด้วยเช่นกันที่มีความเกี่ยวข้องกับ Tetrapod มากกว่าปลาซีลาแคนธ์ ซึ่งก็คือปลาปอด (lung fish) ซึ่งยังหลงเหลือมาถึงปัจจุบันอยู่ 3 สกุล

ซากดึกดำบรรพ์ของปลาซีลาแคนธ์ดึกดำบรรพ์ สามารถพบได้ในทุกทวีปยกเว้นทวีป Antarctica ในช่วง 200 ล้านปีก่อน และมีกันมากกว่า 30 ชนิด ที่อาศัยอยู่ในช่วงเวลานั้น ถือว่าเป็นยุคทองของปลาซีลาแคนธ์ ปลาซีลาแคนธ์ที่พบในยุคปัจจุบันมีความยาวถึง 1.8 เมตร และมีน้ำหนักถึง 150 ปอนด์หรือมากกว่านั้น โดยทั่วไปแล้วปลาซีลาแคนธ์จะมีขนาดเล็กกว่านี้ โดยเฉพาะตัวผู้มีความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.65 เมตร

ในช่วงเริ่มต้นของยุค Devonian ปลาซีลาแคนธ์ยุคนั้นยังเป็นปลากระดูกอ่อน ซึ่งภายในกระดูกสันหลังประกอบด้วยท่อที่เป็นกระดูกอ่อนที่บรรจุของเหลวอยู่ภายใน ซึ่งสามารถโค้งงอได้ (hollow fin spine) ซึ่งพบในซากดึกดำบรรพ์เป็นที่มาของชื่อ ซีลาแคนธ์ (Coelacanth) ซึ่งมีความหมายในภาษกรีกว่า hollow spine ได้มีการเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างจากการที่ไม่มีขากรรไกรมา มีเหงือกแบบบานพับ และมีกะโหลกที่แข็งแรง (ปลาในสมัยก่อนหน้านี้กระดูกจะหุ้มส่วนหัวอยู่ภายนอกจนดูเหมือนในใสเกราะ เพื่อป้องกันส่วนหัวไม่ให้ได้รับอันตราย) ฟันถูกจัดวางบริเวณสันของขากรรไกรล่าง และฟันบนอยู่บริเวณเพดานปาก (ถือได้ว่าเป็นขากรรไกรแท้จริง) สมองมีขนาดเล็กอยู่ภายในกะโหลกแข็ง กระดูกพับบริเวณส่วนกลางช่วยขยายขนาดของปาก เพื่อใช้ในการกินอาหาร (ลักษณะเช่นนี้พบได้ในสัตว์จำพวกกบ) ตาได้ถูกพัฒนาให้ดีขึ้นโดยมีเซลล์สะท้อนแสงที่เรียกว่า tapila เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็นที่มืด หัวของหัวใจเป็นต้นแบบของมนุษย์ยุคปัจจุบัน บริเวณจมูกมีรอยเว้า 3 รอยแต่ละข้าง ซึ่งช่องนี้จะเรียกว่า Rostal Organ ภายในเต็มไปด้วยเจลอวัยวะส่วนนี้ จะทำหน้าที่เป็นเครื่องรับกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของเหยื่อเส้นข้างลำตัวที่



รับแรงสั่นสะเทือนจะพัฒนาไปเป็นส่วนรับสัมผัส ซึ่งใช้ตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่พวกมันอาศัยอยู่

ปลาซีลาแคนธมีครีบหลัง 2 คู่ และยังมีครีบอีก 1 ครีบบริเวณช่วงข้อต่อของส่วนหาง โดยครีบ 2 คู่แรกจะอยู่ตรงครีบอกและครีบตรงเชิงกราน ครีบเหล่านี้จะเป็นลักษณะพู่เมื่อมีกระดูกเป็นแกนอยู่ภายในคล้ายกับ Eusthenopteron ซึ่งต่อมาจะพัฒนาไปเป็นแขนและขาในพวกสัตว์บก อย่างไรก็ตามปลาซีลาแคนธยังไม่สามารถใช้ครีบนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนใหญ่จะใช้ในการเดินใต้พื้นทะเล ครีบอกและครีบบริเวณเชิงกรานจะเป็นรูปแบบ pre-adaptation (รูปแบบดั้งเดิมก่อนจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นอวัยวะที่ใช้เคลื่อนไหวบนบก) การใช้ประโยชน์ครีบเหล่านี้ในน้ำนั้นนอกจากจะใช้เดินใต้พื้นทะเลแล้ว ยังใช้ในการคอยรักษาความนิ่ง ความสมดุล แต่ในกลุ่มของ Eusthenopteron จะทำหน้าที่เหมือนเป็นขาทั้ง 4 ข้าง เพื่อใช้ในการเดิน

เกล็ดของปลาซีลาแคนธมีความหนาและเป็นเส้นโดยวางตัวในลักษณะฟันปลาเรียงกันแน่น การแยกปลาซีลาแคนธออกจากปลาชนิดอื่นทำได้ง่ายเนื่องจากลักษณะหางของปลาซีลาแคนธจะมีลักษณะเป็น 3 พู่

ปลาซีลาแคนธนั้นสามารถกินปลาได้แทบทุกชนิดที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นทะเลรวมทั้งหมึก สีของตัวปลาซีลาแคนธนั้นจะเป็นสีน้ำเงิน มีจุดสีขาวกระจายตามลำตัว และยังมีอีกชนิดที่รูปร่างคล้ายกันแต่ต่างกันตรงที่พื้นสีที่จะเป็นสีน้ำตาลแทนที่จะเป็นสีน้ำเงิน นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าความมีลักษณะเฉพาะตัวของซีลาแคนธ ทำให้มันมีชีวิตรอดได้ยืนยาวกว่า 60 ปี

ปลาซีลาแคนธชอบอาศัยอยู่ในน้ำลึก ตั้งแต่ 150–300 เมตร และสามารถว่ายน้ำถอยหลังได้ และว่ายน้ำแบบหงายท้องก็ได้ นอกจากนี้มันชอบอาศัยอยู่ในถ้ำใต้น้ำ และพักผ่อนในตอนกลางวัน ซีลาแคนธไม่ชอบอพยพไปอยู่ที่อื่นเพราะเครื่องส่งสัญญาณที่ติดตามตัวปลาแสดงให้เห็นว่าปลาซีลาแคนธ ไม่ชอบว่ายน้ำไปไกลจากถิ่นที่อาศัยอยู่มากนัก การที่จำนวนมันลดลงก็เท่ากับว่ามันตายไปแล้วและสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้มันสูญพันธุ์ได้ง่ายก็เพราะว่าวิธีการสืบพันธุ์ของมัน ตัวเมียตามปกติจะอุ้มท้องที่มีไข่ซึ่งถูกผสมพันธุ์แล้วประมาณ 20 ใบ มันจะไม่วางไข่ แต่จะใช้เวลานานถึง 13 เดือน ในการฟักไข่ และไข่ที่ถูกฟักเป็นตัวมีจำนวนประมาณ 5 ฟอง และทันทีที่ลูกปลาออกจากไข่มันจะกินฟองตัวที่อ่อนแอที่สุด

ปัจจุบันปลาซีลาแคนธถูกจัดอยู่ในสัตว์ที่ใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่งยวด โดยเฉพาะถิ่นที่อยู่อาศัยในบริเวณนั้นถูกคุกคามจากการจับทั้งโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจ ซึ่งเมื่อถูกจับขึ้นมาจะถูกทิ้งไว้ที่บริเวณผิวน้ำซึ่งปลาไม่สามารถกลับลงไปในระดับเดิมได้และตายในที่สุด อีกทั้งเชื่อว่าของเหลวในแกนสันหลังของปลาทำยาอายุวัฒนะได้จึงถูกสั่งซื้อโดยประเทศจีนและไต้หวัน ทำให้ปลาซีลาแคนธมีราคาสูงถึง 500–2,000 ดอลลาร์สหรัฐ ในตลาดจีนและไต้หวัน คาดว่าประชากรปลาซีลาแคนธที่เกาะ Grand Comoros มีจำนวนไม่ถึง 100 ตัว แต่อย่างไรก็ตามสมาคมนักอนุรักษ์ทั้งหลายพยายามอนุรักษ์ปลาดีกดำบรรพนี้โดยขอรับรองให้รัฐบาล Comoran



ออกกฎหมายห้ามชาวประมงจับปลาน้ำลึกและให้ธนาคารโลกสนับสนุนโครงการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพใต้น้ำระยะไกลเพื่อจับภาพตามถ้ำที่ปลาน้ำลึกอาศัยอยู่เป็นวิดีโอ นักท่องเที่ยวและนักวิทยาศาสตร์ได้ชมกันแทนที่จะไปดำดูตัวใต้ทะเล แต่ถึงแม้จะได้รับความคุ้มครองเพียงใด ปลาซีลาแคนท์ก็ลดจำนวนเหลือน้อยลงไปทุกที เพราะมีการลักลอบฆ่าเพื่อแลกกับเงิน 10,000–50,000 บาท ในขณะที่รายได้ต่อปีของประชากรชาว Comoran เพียง 10,000 บาทต่อปีเท่านั้น และการที่ชาวเกาะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นก็ทำให้การลักลอบจับซีลาแคนท์มีมากขึ้นตามไปด้วย

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนว่า ซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุมากกว่าจะอยู่ในหินชั้นล่างที่มีอายุมากกว่า และซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุน้อยกว่าจะพบอยู่ในหินชั้นบนที่มีอายุน้อยกว่า นอกจากนี้ซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุน้อยกว่าจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีลักษณะใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตในปัจจุบันมากกว่าซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุมาก ดังนั้นซากดึกดำบรรพ์นอกจากจะเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นลำดับการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตแล้วยังเป็นหลักฐานที่บ่งชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตจากอดีตจนถึงปัจจุบันอีกด้วย

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 18–3 ในหนังสือเรียน ซึ่งแสดงลำดับวิวัฒนาการของม้าจากอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยใช้หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ของม้าที่พบในช่วงเวลาต่างๆ และตอบคำถามซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

จากภาพแสดงวิวัฒนาการของม้า มีลักษณะใดบ้างที่เปลี่ยนแปลงไปและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นใช้เวลานานเท่าใด

ขาของม้าในยุคแรกๆ มีนิ้วเท้า ต่อมานิ้วเท้าลดจำนวนลง แต่มีนิ้วกลางที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ปลายนิ้วพัฒนาเป็นกีบและมีขายาวขึ้น แสดงว่ามีขนาดใหญ่และสูงมากขึ้นได้ดังแสดงในภาพที่ 18–3 ในหนังสือเรียนและการเปลี่ยนแปลงแต่ละขั้นที่เกิดขึ้นใช้เวลานานดังนี้

จีนัสของม้า	ยุค	ช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนยุค
<i>Hyracotherium</i>	อีโอซีน	–
<i>Meshippus</i>	โอลิโกซีน	16 ล้านปี
<i>Merychippus</i>	ไมโอซีน	13 ล้านปี
<i>Pliohippus</i>	พลีโอซีน	18 ล้านปี
<i>Equus</i>	โพลสโตซีน–ปัจจุบัน	4.5 ล้านปี



ครูควรให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนด้วยว่าในการคาดคะเนลักษณะของสิ่งมีชีวิตในอดีตนั้น นักวิทยาศาสตร์ต้องใช้ข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ เช่น ร่องรอย สภาพแวดล้อมของโลกในยุคนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับหน้าที่ และความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมกับสิ่งมีชีวิต เป็นต้น มาประกอบกับข้อมูลของซากดึกดำบรรพ์จึงสามารถคาดคะเนลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นได้

ความรู้เสริมสำหรับครู

การคำนวณอายุซากดึกดำบรรพ์จากคาร์บอน-14

เทคโนโลยีคาร์บอน-14 (C-14) คือวิทยาการหนึ่งที่สามารถไขปริศนาอายุของวัตถุโบราณ บางประเภทได้ นักวิทยาศาสตร์คนแรกที่พบ C-14 และประยุกต์นำไปใช้วัดอายุของวัตถุโบราณ คือ Willard F. Libby โดยในปี พ.ศ. 2492 Libby ซึ่งขณะนั้นทำงานเป็นนักเคมีนิวเคลียร์ที่ Institute for Nuclear Studies ที่มหาวิทยาลัยชิคาโกในสหรัฐอเมริกาตระหนักว่า โลกของเรา ได้รับรังสีคอสมิก ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีพลังงานสูงมหาศาลจากอวกาศตลอดเวลา เมื่อรังสีคอสมิก กระแทบอะตอมของไนโตรเจนในบรรยากาศ อนุภาคนิวตรอนของรังสีคอสมิกจะเปลี่ยนอะตอมของไนโตรเจนให้เป็นอะตอมของ C-14 และอะตอมของไฮโดรเจน จากนั้นอะตอมของ C-14 ที่เกิดขึ้นก็จะรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจนในอากาศเป็นโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ ($^{14}\text{CO}_2$) ที่มีอะตอมของ C-14 เป็นองค์ประกอบ ซึ่งโมเลกุลพิเศษนี้ส่วนน้อยจะปะปนอยู่กับ โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ธรรมดา ($^{12}\text{CO}_2$) ในอากาศแต่ส่วนใหญ่จะละลายหายไป ในทะเล ดังนั้นเมื่อพืชนำแก๊ส $^{14}\text{CO}_2$ นี้เข้าไปเพื่อใช้ในปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วสัตว์ หรือคนกินพืชเข้าไป เนื้อเยื่อในร่างกายของสัตว์และคนก็จะมี C-14 เจือปนทันทีและเมื่อ สิ่งมีชีวิตตาย กระบวนการหายใจหรือบริโภค C-14 เข้าร่างกายก็จะหยุด จากนั้นอะตอมของ C-14 ที่มีอยู่ในร่างกายก็เริ่มสลายตัว โดยจะปลดปล่อยอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีประจุลบ ออกมาแล้วตัวอะตอม C-14 เองก็จะกลายเป็นอะตอมของไนโตรเจนต่อไป

ธาตุ C-14 มีครึ่งชีวิต (half life) เท่ากับ 5,730 ปี ซึ่งหมายความว่าภายในเวลา 5,730 ปี ครึ่งหนึ่งของอะตอม C-14 ที่มีในวัตถุจะสลายตัว และอีก 5,730 ปี ครึ่งหนึ่งของ อะตอม C-14 ที่เหลือซึ่งก็คือ 1 ใน 4 ของของเดิมจะสลายตัว เป็นเช่นนี้ไปทีละครึ่งของที่มี ในทุก 5,730 ปี จนกระทั่งอะตอมของ C-14 สลายตัวหมด และเพราะเหตุว่าความร้อน ความเย็น หรือความดันใดๆ ไม่สามารถชะลอหรือเร่งเวลาในการสลายตัวของอะตอมเหล่านี้ได้เลย ดังนั้นการรู้อัตราการสลายตัวของ C-14 ที่มีในวัตถุ จะทำให้นักวิทยาศาสตร์รู้อายุของวัตถุ นั้นได้ทันที การค้นพบของ Libby ในเรื่องนี้ ทำให้เขาได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีในปี พ.ศ.2503

ในยุคต้นๆ ของการใช้เทคนิค C-14 วัดอายุของวัตถุโบราณ จำเป็นต้องใช้วัตถุที่มี ขนาดใหญ่ เพื่อให้มีจำนวนอะตอมของ C-14 ที่มากพอ แต่ปัจจุบันวัตถุขนาดเล็กที่หนัก เพียงไม่กี่มิลลิกรัม นักวิทยาศาสตร์ก็สามารถวัดอายุของวัตถุนั้นได้แล้ว โดยนำวัตถุมาทำ



ความสะอาดเพื่อกำจัดสารเจือปนหรือสิ่งสกปรก จากนั้นเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส ในหลอดแก้ว แล้วให้แก๊สที่มีอะตอมของ C -14 ผ่านไปในหลอดสุญญากาศที่ภายในมีสารเคมี อยู่ เพื่อให้สารเคมีดูดซับความไม่บริสุทธิ์ต่างๆ แล้วผ่านแก๊สที่ได้ไปยังอุปกรณ์วัดกัมมันตภาพรังสี เพื่อวัดอายุต่อไป ซึ่งตามปกติจะใช้เวลาไม่นานนัก

วิธีดังกล่าวนี้สามารถใช้กำหนดอายุโบราณวัตถุได้ในช่วงประมาณ 500-40,000 ปี หากน้อยหรือมากกว่านี้ ปริมาณ C -14 จะสลายตัวไปน้อยหรือมากเกินไป ทำให้การวัด เกิดการคลาดเคลื่อนได้มาก ไอโซโทปกัมมันตรังสีอื่นๆ ที่ใช้ในการวัดอายุของวัตถุ ได้แก่ โพแทสเซียม 40 และยูเรเนียม 238 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 1,300 ล้านปี และ 4,510 ล้านปี ตามลำดับ เหมาะกับการใช้สำหรับการวัดอายุของก้อนหิน หรือโบราณวัตถุที่ไม่มีอินทรีย์วัตถุเป็น องค์ประกอบ

เทคนิคการวัดอายุด้วย C -14 ได้เปลี่ยนแปลงและพัฒนาวิทยาการด้านต่างๆ มากมาย เช่น นักโบราณคดีได้นำถ้ำถ่านที่พบในบริเวณโกสส์โตนเฮนจ์มาศึกษา และพบว่าอนุสาวรีย์ หินนั้นถูกสร้างขึ้นมา 1,500 ปี ก่อนคริสตกาล หรือการระเบิดของภูเขาไฟ Mazama ที่ทำให้เกิดทะเลสาบ Crater ในรัฐโอเรกอนของสหรัฐอเมริกา ทำให้ต้นไม้ต่างๆ ถูกเผาทำลาย และหินภูเขาไฟที่มีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำได้ทับถมซากต้นไม้เหล่านี้ การวัดอายุ ของต้นไม้ทำให้นักธรณีวิทยาเห็นว่าเหตุการณ์ภูเขาไฟระเบิดได้เกิดขึ้นเมื่อ 6,500 ปีก่อน และที่ถ้ำ Fort Rock ในรัฐโอเรกอน นักโบราณคดีพบร่องเท้าแตะที่ทำด้วยเปลือกไม้ 50 คู่ ถูกฝังอยู่ใต้ลาวาภูเขาไฟ การวัดอายุของร่องเท้าแตะเหล่านั้นได้ทำให้นักโบราณคดีรู้ว่าร่องเท้า นี้มีอายุกว่า 5,000 ปี ดังนั้น Fort Rock จึงถือได้ว่าเป็นโรงงานทำร่องเท้าที่โบราณที่สุดในโลก การวัดอายุของเรือที่ทำด้วยไม้ซีดาร์ ซึ่งถูกฝังอยู่ใต้ทรายในบริเวณนอกตัวพีระมิดที่เมือง Dahshur ในอียิปต์ ทำให้นักประวัติศาสตร์รู้ว่าเรือที่ยาว 10 เมตรนี้ได้เคยเป็นพาหนะนำ พระศพของฟาโรห์ Sesostris ที่ 3 เสด็จสู่ยมโลกเมื่อ 3,850 ปีมาแล้ว ที่ถ้ำ Shanidar ซึ่งตั้งอยู่ทาง ตอนเหนือของประเทศอิรัก นักโบราณคดีพบว่าถ้ำแห่งนี้เคยเป็นที่อยู่ของมนุษย์ Neanderthal เมื่อ 1 แสนปีมาแล้ว เพราะได้พบกะโหลกศีรษะของมนุษย์เหล่านี้ซึ่งมีอายุประมาณ 45,000 ปีและที่กระดูกแขนขวาของมนุษย์ Neanderthal คนหนึ่งมีรอยผ่าตัด เป็นหลักฐานทำให้เราทราบว่า มนุษย์ยุคก่อนประวัติศาสตร์กลุ่มนี้รู้จักการทำศัลยกรรมแล้ว การวิเคราะห์อายุของละอองเกสร ดอกไม้ที่มีอายุนานนับพันปี ซึ่งถูกฝังจมในดินและถูกขุดขึ้นมา ตำแหน่งของละอองเกสรในชั้นดิน คือข้อมูลที่บอกให้เราทราบว่า เมื่อดินชั้นนั้นปรากฏที่ผิวโลก มนุษย์ยุคนั้นปลูกพืชชนิดใด การรู้ชนิด ของพืชจะทำให้เรารู้สภาพดินฟ้าอากาศในยุคนั้นด้วย การขุดพบเมล็ดข้าวในบริเวณเนินดิน ที่หมู่บ้าน Kurdish ทางตอนเหนือของอิรักซึ่งเป็นสถานที่ที่นักมานุษยวิทยาเชื่อว่า เป็นหมู่บ้าน เกษตรกรรมแห่งแรกของโลก เทคโนโลยี C -14 แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวที่พบมีอายุประมาณ 9,000 ปี และคนในหมู่บ้านรู้จักปลูกข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลีใช้เคียวที่ทำด้วยหิน flint เกี่ยวข้าว รู้จักใช้ไม้บดเมล็ดข้าว มีเตาไฟสำหรับใช้ทำอาหาร รู้จักนำแพะแกะ หมู สุนัข วัว และม้ามาเลี้ยง รวมทั้งรู้จักปั้นตุ๊กตาดินเหนียวตัวเล็กๆ ด้วย



นอกจากนี้เทคโนโลยี C -14 ยังช่วยให้นักโบราณคดีรู้อีกว่ากษัตริย์ Hammurabi แห่งกรุงบาบิโลน ผู้ทรงบัญญัติต่อบทกฎหมายฉบับแรกของโลก เคยมีพระชนม์ชีพเมื่อใด เพราะผลการวัดอายุของซากไม้ที่ใช้สร้างพระราชวังของพระองค์ในกรุงบาบิโลน แสดงให้เห็นว่าพระองค์ทรงมีชีวิตอยู่เมื่อ 1,750 ปีก่อนคริสตกาล นอกจากนี้ยังช่วยให้นักโบราณคดีรู้ว่าในทวีปอเมริกาเหนือเมื่อ 12,000 ปีมาแล้ว ชนพื้นเมืองเคยถือหอกที่มีปลายทำด้วยหินแหลมคมล่าช้างแมมมอท วัวป่า ในรัฐแอริโซนา รู้จักทำเกษตรกรรมข้าวโพดในหุบเขา Tehuacan ในเม็กซิโก รวมทั้งรู้จักชุดทองแดงที่ Isle Royale ในมิชิแกนและทะเลสาบซูพีเรีย เมื่อ 4,000 ปีก่อนนี้ด้วย เทคนิค C -14 ยังช่วยให้นักอูนิยมหาวิทยาลัยรู้ว่า ยุคน้ำแข็งสุดท้ายที่มาเยือนโลกได้อุบัติเมื่อ 1 หมื่นปีมาแล้ว และช่วยบริษัทชุดเจาะน้ำมันหาแหล่งน้ำมันโดยการวัดอายุของชั้นแร่ที่ตกตะกอนในดิน ช่วยนักนิเวศวิทยาศึกษาสภาพการสึกกร่อนของผิงทะเล โดยเปรียบเทียบอัตราการสลายของชายฝั่งในอดีตกับปัจจุบัน เป็นต้น

จากนั้นครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะเพื่อสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตที่ค้นพบทั้งในประเทศไทยหรือในต่างประเทศ

กิจกรรมเสนอแนะ ซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ
2. อธิบายสรุปความสำคัญเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ที่นำมาเป็นหลักฐานสนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
3. นำเสนอข้อมูลในชั้นเรียนหรือจัดทำเป็นป้ายนิเทศ

ครูควรให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มในการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ โดยซากดึกดำบรรพ์นั้น ควรมีความหลากหลายและมาจากแหล่งค้นพบต่างๆ ตามความสนใจของนักเรียนแต่ไม่ควรซ้ำกัน และให้นักเรียนอธิบายในประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ซากดึกดำบรรพ์ที่นักเรียนศึกษามีลักษณะใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตกลุ่มใด เพราะเหตุใดจึงจัดอยู่ในกลุ่มของสิ่งมีชีวิตดังกล่าว
- ซากดึกดำบรรพ์ที่นักเรียนศึกษามีลักษณะแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตในกลุ่มที่กล่าวข้างต้นอย่างไร
- ซากดึกดำบรรพ์นี้สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการได้อย่างไร



ครูอาจแนะนำแหล่งเรียนรู้ที่นักเรียนสามารถไปสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ เช่น พิพิธภัณฑ์ไดโนเสาร์ภูเวียง อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น พิพิธภัณฑ์สิรินธร (พิพิธภัณฑ์ไดโนเสาร์ภูเก้า) อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ และพิพิธภัณฑ์ทรัพยากรธรณี ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร เป็นต้น หรืออาจสืบค้นข้อมูลจากเว็บไซต์ต่อไปนี้ เช่น

http://www.dmr.go.th/dmr_data/sirindhorn/sirindhorn_main.html

<http://www.pbs.org/wgbh/evolution/educators/index.html>

<http://www.talkorigins.org/origins/faqs-evolution.html>

<http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072385790/>

หลังจากการอภิปรายควรให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรม มานำเสนอในชั้นเรียนเพื่ออภิปรายแลกเปลี่ยนความรู้กัน หรือจัดทำเป็นป้ายนิเทศ

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้



การศึกษาซากดึกดำบรรพ์เพียงอย่างเดียว สามารถสนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการได้หรือไม่ อย่างไร



หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์เพียงอย่างเดียว อาจไม่เพียงพอที่จะสนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการ เพราะซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบมักไม่ครบสมบูรณ์ อาจเกิดจากการถูกทำลายจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ หรือยังไม่ถูกค้นพบ และมีสิ่งมีชีวิตอีกหลายชนิดที่ไม่มีโอกาสเกิดซากดึกดำบรรพ์ได้

ครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องมีหลักฐานจากประจักษ์พยานอื่นๆ อีกที่สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

18.1.2 หลักฐานจากกายวิภาคเปรียบเทียบ

ครูอาจให้นักเรียนพิจารณาหลักฐานจากกายวิภาคเปรียบเทียบจากภาพที่ 18-4 ในหนังสือเรียน โดยแนะนำให้นักเรียนเปรียบเทียบกระดูกแต่ละช่วงของรยางค์คู่หน้า แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้



โครงสร้างของรยางค์คู่หน้าของสัตว์เหล่านี้มีความคล้ายคลึงกันอย่างไร



โครงสร้างของรยางค์คู่หน้าของสัตว์เหล่านี้มีลักษณะรูปร่างของกระดูกและจำนวนกระดูกที่คล้ายคลึงกัน





นักเรียนคิดว่าความคล้ายคลึงกันเช่นนี้จะบอกถึงความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการหรือไม่ อย่างไร



ความคล้ายคลึงกันของรยางค์คู่หน้านี้ใช้สนับสนุนความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการได้ถึงแม้ว่ารยางค์นั้นจะมีหน้าที่ที่แตกต่างกัน เนื่องจากต้องใช้โครงสร้างนี้ในการดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาและอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรจะสามารถสรุปได้ว่า โครงสร้างของรยางค์คู่หน้าของสัตว์ต่างๆ นี้มีองค์ประกอบของโครงกระดูกแต่ละช่วงคล้ายคลึงกัน แต่อาจเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด เพื่อให้สัมพันธ์กับการทำหน้าที่ที่แตกต่างกันในการดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจึงเป็นหลักฐานสนับสนุนว่า สัตว์มีกระดูกสันหลังเหล่านี้มีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษเดียวกัน และสิ่งมีชีวิตที่มีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการควรมีโครงสร้างของรยางค์แบบฮอมอโลกัส

18.1.3 หลักฐานจากวิทยาเอ็มบริโอเปรียบเทียบ

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาภาพแสดงการเจริญเติบโตในระยะเอ็มบริโอและหลังระยะเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังในภาพที่ 18-5 ในหนังสือเรียน โดยแนะนำให้เรียนพิจารณาเปรียบเทียบช่องเหงือก และหางของเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่างๆ ในระยะเอ็มบริโอ ระยะกลาง และระยะปลาย จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย ซึ่งผลการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า สัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดในภาพมีความคล้ายคลึงกันในระยะเอ็มบริโอ แต่มีความแตกต่างกันในระยะการพัฒนาหลังระยะเอ็มบริโอ จากนั้นใช้คำถามเพิ่มเติมและคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



สัตว์ต่างๆ เหล่านี้มีระยะเอ็มบริโอที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



มีระยะเอ็มบริโอที่เหมือนกัน โดยมีรูปร่างคล้ายกัน มีช่องเหงือกและหางเหมือนกัน



ถ้าพิจารณาเฉพาะรูปร่างลักษณะในระยะหลังเอ็มบริโอ นักเรียนคิดว่าสัตว์ต่างๆ เหล่านี้น่าจะมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการหรือไม่ อย่างไร

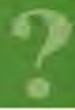


น่าจะมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการ โดยสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและมนุษย์มีระยะการพัฒนาหลังระยะเอ็มบริโอในระยะกลางและระยะปลายที่คล้ายคลึงกันมากกว่าสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ดังนั้นจึงน่าจะมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการ





การเจริญเติบโตในระยะใดที่มีความคล้ายคลึงกันมาก เพราะเหตุใด



การเจริญเติบโตในระยะเอ็มบริโอเนื่องจากมีช่องเหงือกและหางที่เหมือนกัน



พัฒนาการหลังระยะเอ็มบริโอของคนคล้ายคลึงกับสิ่งมีชีวิตใดมากที่สุด



สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม



จากภาพนี้บอกอะไรแก่เราได้บ้าง



การเจริญเติบโตในระยะเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังจะมีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น โดยการเจริญเติบโตในระยะต้นของสัตว์มีกระดูกสันหลังจะมีช่องเหงือกและหางเหมือนกันแต่เมื่อเจริญเติบโตในระยะกลางและระยะปลายจะเห็นได้ว่าช่องเหงือกจะยังมีอยู่ในปลาและซาลาแมนเดอร์ แต่ในสัตว์อื่นจะปรับเปลี่ยนไปในระหว่างการเจริญเติบโต ขณะที่หางยังคงปรากฏอยู่ในสัตว์หลายชนิดยกเว้นคน

18.1.4 หลักฐานด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล

ครูอาจทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนโดยใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้



สารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตคือสารใด



DNA



DNA เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดหรือไม่ อย่างไร



DNA เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ ยกเว้นไวรัสบางชนิดมี RNA เป็นสารพันธุกรรม



สิ่งมีชีวิตมีกลไกการสังเคราะห์ DNA RNA และโปรตีนเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร



สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีกลไกการสังเคราะห์ DNA RNA และโปรตีนแบบเดียวกัน โดยส่วนใหญ่ใช้รหัสพันธุกรรมในการสังเคราะห์โปรตีนแบบเดียวกัน



จากนั้นให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายหลักฐานทางชีววิทยาระดับโมเลกุลที่ใช้ในการสนับสนุนความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการ จากตัวอย่างการเปรียบเทียบจำนวนตำแหน่งกรดอะมิโนในฮีโมโกลบินระหว่างคนกับลิงรีซัส หนู ไก่ กบ และปลาปากกลมที่แตกต่างจากคนในตารางที่ 18.1 ในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามในหนังสือเรียนและคำถามเพิ่มเติมซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



จากตารางนักเรียนจะอธิบายความใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ กับคนได้อย่างไร



คนมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการกับลิงรีซัสมากกว่าหนู ไก่ กบ และปลาปากกลมเนื่องจากมีจำนวนตำแหน่งกรดอะมิโนในฮีโมโกลบินแตกต่างจากลิงรีซัสน้อยกว่าสิ่งมีชีวิตอื่น

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมกับนักเรียนว่า จำนวนตำแหน่งกรดอะมิโนในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ทั้งนี้สามารถทราบได้จากการคำนวณหาระยะเวลาที่คนเริ่มมีฮีโมโกลบินแตกต่างจากลิงรีซัส ซึ่งมีจำนวนตำแหน่งกรดอะมิโนในฮีโมโกลบินแตกต่างจากมนุษย์ 8 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลง 7 ล้านปี ดังนั้นระยะเวลาที่มนุษย์เริ่มมีฮีโมโกลบินแตกต่างจากลิงรีซัส คือ $8 \times 7 = 56$ ล้านปีมาแล้ว ส่วนระยะเวลาที่มนุษย์เริ่มมีฮีโมโกลบินแตกต่างจากหนู ไก่ กบ และปลาปากกลม คือ 189 294 469 และ 875 ล้านปีมาแล้วตามลำดับ จากนั้นครูใช้คำถามถามนักเรียนเพิ่มเติมว่า **หลักฐานจากการศึกษาชีววิทยาระดับโมเลกุลสามารถใช้สนับสนุนเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้หรือไม่ อย่างไร**

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า หลักฐานด้านชีววิทยาระดับโมเลกุลเป็นหลักฐานที่น่าเชื่อถือได้มากและเป็นหลักฐานสำคัญที่ใช้สนับสนุนหลักฐานทางด้านอื่นๆ และทำให้สามารถศึกษาข้ามกลุ่มของสิ่งมีชีวิตได้ ทั้งนี้ครูอาจศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับจำนวนตำแหน่งกรดอะมิโนในฮีโมโกลบินของสิ่งมีชีวิตต่างๆ จากความรู้เสริมสำหรับครู และครูอาจใช้ประกอบคำอธิบายในการตอบคำถามในหนังสือเรียน



ความรู้เสริมสำหรับครู

รูปแสดงการเปรียบเทียบของลำดับกรดอะมิโนจำนวน 142 กรดอะมิโน ของโปรตีนที่เรียกว่า hemoglobin alpha chain ของลิงมีชีวิตต่างๆ ตัวอักษรภาษาอังกฤษแต่ละตัวแทนกรดอะมิโน 1 ชนิด ลำดับกรดอะมิโนของมนุษย์จะอยู่ด้านบนสุดเพื่อให้เป็นดั่งเปรียบเทียบกับกรดอะมิโนที่มาจากลิงมีชีวิตอื่นๆ กรดอะมิโนที่มีลำดับเหมือนกันกับกรดอะมิโนของมนุษย์จะขีดเป็นเส้นประ ส่วนกรดอะมิโนที่แตกต่างกันจะเขียนเป็นตัวอักษรแสดงกรดอะมิโนที่ต่างไปจากกรดอะมิโนของมนุษย์

	10	20	30	40	50	60	70
มนุษย์	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชิมแปนซี	MVLSPADKTNVKAACEKVAHAGEYGAELERMFLSPTTKTYPFHFDLSHGSAQVKCHGKVDALNTA						
อูรังอุตัง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ลิงบาบูนชนิดหนึ่ง	.....D.KH.....E.....I.G.GA.....A.....D.NK.....L.....						
หมู่บ้าน	.....CE...S.I.....I.G.GA.....A.....V.....A.....						
หนูนอร์เวย์	.....A.....I.NC.....I.G.G.....E.Q.....AA.....S.I.V.P.....A.....AK.....						
ไก่	.....A.N...GIFT.IAG.E.T...TTY.P.....I.....VA..IE.....						
วัว	.....A...G...G.A.....C.....A...A...K.....						
ม้า	.....A.....S.G...F.....C.....A...G...L.....						

	70	80	90	100	110	120	130	140
มนุษย์	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชิมแปนซี	AVAHYDDMPNALSALDLHAHKRVDPVAFKLLSGCLLVTLAARLPAEFTPAVHASIDKFLASVSTVLTSKYR							
อูรังอุตัง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ลิงบาบูนชนิดหนึ่ง	.....C.....Q..K.....AG.L.L.G.....S.H.D.....							
หมู่บ้าน	.....AD..E.L.C..T.....F.....C.H.GD...M.....AN.I..IAGT..K.....GQ.F.VV.I.H..AL..E.....CA.G...A.....							
หนูนอร์เวย์	.....E.L.L.G...E.....S.....S...SD.....N.....G.L.L.G...N.....S...V...ND.....S.....							
ไก่	.....						
วัว	.....						
ม้า	.....						

ชนิดของลิงมีชีวิต	จำนวนกรดอะมิโนที่แตกต่างจากลำดับกรดอะมิโนของมนุษย์
มนุษย์	0
ชิมแปนซี	0
อูรังอุตัง	0
ลิงบาบูนชนิดหนึ่ง	11
หมู่บ้าน	19
หนูนอร์เวย์	30
ไก่	42
วัว	17
ม้า	18



ครูอาจใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปรายต่อไปว่า



นักเรียนคิดว่าการศึกษาวิวัฒนาการจากหลักฐานชีววิทยาระดับโมเลกุลมีข้อได้เปรียบกว่าการศึกษาจากหลักฐานอื่นๆ อย่างไร



มีข้อได้เปรียบคือ สามารถใช้ความแตกต่างของตำแหน่งและจำนวนกรดอะมิโนหรือลำดับเบส ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่มเดียวกันและต่างกลุ่มได้ เช่น ในกลุ่มเดียวกันสามารถเปรียบเทียบได้ระหว่างนกกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ซึ่งเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังด้วยกัน หรือระหว่างสัตว์มีกระดูกสันหลังและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น ปลากับแมลง เป็นต้น ทั้งนี้หลักฐานอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วไม่สามารถเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการระหว่างกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ต่างกันได้

18.1.5 หลักฐานทางชีวภูมิศาสตร์

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาภาพการแพร่กระจายของนกฟินช์ในหมู่เกาะกาลาปากอส ในภาพที่ 18-6 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยใช้คำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

- **ลักษณะการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ต่างๆ หรือชีวภูมิศาสตร์ จะบ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้อย่างไร**

การแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตตามชีวภูมิศาสตร์จะบ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตคือ สิ่งมีชีวิตที่แพร่กระจายอาจมีจุดเริ่มของแหล่งที่อยู่อาศัยเดียวกัน เช่น บนแผ่นดินใหญ่ เมื่อกระจายไปอยู่บริเวณต่างๆ เช่น หมู่เกาะใกล้เคียง ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่อาจแตกต่างกัน เวลาที่ผ่านไปนานนับล้านปี สิ่งมีชีวิตจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะและพฤติกรรมเพื่อความอยู่รอดในสภาพแวดล้อมนั้นจนเกิดเป็นวิวัฒนาการ

จากนั้นครูใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปรายต่อไปว่า



นกฟินช์ในหมู่เกาะกาลาปากอสมีความคล้ายคลึงกับนกฟินช์ทวีปอเมริกาใต้หรือไม่



นกฟินช์ในหมู่เกาะกาลาปากอสมีความคล้ายคลึงกับนกฟินช์ในทวีปอเมริกาใต้



ทำไมนกฟินช์ในหมู่เกาะกาลาปากอสจึงมีความแตกต่างกัน



เนื่องจากนกฟินช์อาจมีหลายสปีชีส์จึงทำให้เกิดความหลากหลายของรูปร่างลักษณะดังภาพที่ 18-6 ในหนังสือเรียน จนเกิดเป็นความหลากหลายของนกฟินช์ที่กระจายอยู่บนหมู่เกาะกาลาปากอส



นอกจากนี้ครูอาจสรุปเพิ่มเติมได้ว่า หลักฐานจากการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในบริเวณต่างๆ บนพื้นโลกนี้เป็นหลักฐานที่สนับสนุนว่าสิ่งมีชีวิตที่มีบรรพบุรุษร่วมกัน อาจมีการอพยพแพร่กระจายไปอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน และต่างมีวิวัฒนาการปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ นั่นคือสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการเกิดขึ้นนั่นเอง ดังตัวอย่างการศึกษานกฟินช์ของดาร์วิน

เมื่อเรียนจบหัวข้อนี้แล้วครูอาจให้นักเรียนสรุปความสำคัญที่ได้จากเนื้อหาเพื่อรวบรวมความคิดของนักเรียนให้ยอมรับประจักษ์พยานต่างๆ ที่สนับสนุนว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาซากดึกดำบรรพ์จะช่วยให้ทราบถึงช่วงเวลาโดยประมาณที่สิ่งมีชีวิตนั้นๆ ปรากฏขึ้นในโลก ได้เห็นรูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ในอดีต ซึ่งอาจสืบค้นข้อมูลว่ามี การเปลี่ยนแปลงมาอย่างไรจนถึงปัจจุบัน แต่ช่วงเวลาและการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจตรงหรือไม่ตรงตามความเป็นจริงก็ได้ ทั้งนี้เพราะมีข้อจำกัดในแง่ของความสามารถของซากดึกดำบรรพ์ที่ปรากฏ หรือสิ่งมีชีวิตนั้นอาจเกิดมาก่อนช่วงเวลาในอดีต แต่ไม่พบซากดึกดำบรรพ์หรือไม่เกิดซากดึกดำบรรพ์

2. การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของโครงสร้างของสัตว์บางกลุ่มทำให้มองเห็นความสัมพันธ์ของบรรพบุรุษในอดีตได้

3. เอ็มบริโอและพัฒนาการหลังระยะเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังที่พบอวัยวะบางอย่างในระยะกลางและระยะปลายของสัตว์บางชนิดหรือการมีอวัยวะบางอย่างหลงเหลืออยู่แต่ไม่ได้ทำหน้าที่แล้วนั้นอาจบอกได้ว่า สิ่งมีชีวิตนั้นๆ น่าจะมีบรรพบุรุษร่วมกันในอดีต

4. การศึกษาทางด้านชีวโมเลกุลทำให้ทราบว่าสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มี DNA เป็นสารพันธุกรรมและมีกลไกการสังเคราะห์ DNA RNA และโปรตีนแบบเดียวกัน ดังนั้นการเปรียบเทียบลำดับของกรดอะมิโน หรือลำดับของนิวคลีโอไทด์จะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการ

5. สิ่งมีชีวิตที่มีบรรพบุรุษร่วมกัน อาจมีการอพยพแพร่กระจายไปอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน และต่างมีวิวัฒนาการปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ นั่นคือสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการเกิดขึ้นนั่นเอง

สรุปได้ว่าหลักฐานต่างๆ ที่นำมากล่าวอ้างนี้มีเหตุผลพอที่จะสนับสนุนว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ ซึ่งความคิดในเรื่องที่ว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการนี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต เมื่อมีการศึกษาข้อมูลใหม่เพิ่มเติม



จากหลักฐานต่างๆ ที่สนับสนุนว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการเกิดขึ้น ครูควรถามนำเข้าสู่หัวข้อต่อไปว่า **นักวิทยาศาสตร์ในอดีตมีแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการอย่างไร และในปัจจุบันมีแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการอย่างไร**

18.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และยกตัวอย่างกฎการใช้และไม่ใช้ และกฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่ของลามาร์ก
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย อธิบาย และยกตัวอย่างทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน
3. อภิปรายและเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วิน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยพูดคุยกับนักเรียนว่าประจักษ์พยานจากหลักฐานต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้ทราบว่าสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดวิวัฒนาการ ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ตั้งคำถามที่นักเรียนอยากทราบเกี่ยวกับวิวัฒนาการ ซึ่งคำถามอาจเป็นดังนี้

- สิ่งมีชีวิตในอดีตมีการเปลี่ยนแปลงมาจนเป็นสิ่งมีชีวิตปัจจุบันหรือเกิดวิวัฒนาการได้อย่างไร

ครูชี้แจงเพิ่มเติมว่าคำถามของนักเรียนได้มีนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจมานานแล้ว แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการที่น่าสนใจ และแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการนั้นเป็นอย่างไร นักเรียนจะได้ศึกษาในหัวข้อต่อไป

18.2.1 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์ก

ครูอาจให้นักเรียนไปสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับประวัติและแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กเพื่อวิเคราะห์ว่า มีความน่าเชื่อถือมากน้อยแค่ไหน อย่างไร แล้วอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน สำหรับคำถามในหนังสือเรียนและคำถามเพิ่มเติมมีแนวการตอบดังนี้



- ลามาร์กเชื่อว่าอะไรเป็นแรงผลักดันที่ทำให้สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลง
- สภาพแวดล้อมเป็นแรงผลักดันทำให้สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลง



? นักเรียนยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตเพื่ออธิบายกฎการใช้และไม่ใช้ ได้อย่างไร

ตัวอย่างเช่น นักกีฬาวิ่งแข่งใช้กล้ามเนื้อแขนในการผลักรถวีลแชร์ในการเคลื่อนที่ทำให้แขนมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนกรณีคนไข้ที่ได้รับอุบัติเหตุขาหักต้องเข้าเฝือกขานานหลายเดือนหรือคนที่เป็นอัมพาตไม่สามารถขยับขาเคลื่อนไหวได้เหมือนปกติขาจะลีบเล็กลง

นอกจากนี้ครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 18-8 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นแนวคิดของลามาร์กเกี่ยวกับยีราฟที่มีคอและขายาวแล้วใช้คำถามเพิ่มเติมและคำถามในหนังสือเรียนเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายดังนี้

? นักเรียนคิดว่าสิ่งมีชีวิตที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจากกฎการใช้และไม่ใช้ สามารถถ่ายทอดลักษณะดังกล่าวไปยังรุ่นต่อไปได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงจากกฎการใช้และไม่ใช้ ไม่สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเซลล์ร่างกายไม่ได้เกิดกับเซลล์สืบพันธุ์

? นักเรียนจะใช้แนวคิดของลามาร์กในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยีราฟที่มีลักษณะคอและขายาวขึ้นได้อย่างไร ?

จากหลักฐานซากดึกดำบรรพ์พบว่ายีราฟในอดีตมีลักษณะคอและขาสั้น เมื่ออาหารบริเวณพื้นดินมีไม่เพียงพอทำให้ยีราฟต้องยืดคอและเขย่งขาเพื่อกินใบไม้บนต้นไม้สูงๆ อยู่เสมอ ทำให้มีคอและขายาวขึ้น และลักษณะดังกล่าวนี้มีการถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปทำให้ยีราฟในปัจจุบันมีลักษณะคอและขายาว

? นักเรียนจะออกแบบการทดลองอย่างไรเพื่อพิสูจน์แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์ก ?

ทดลองโดยตัดอวัยวะของสัตว์ที่มีช่วงอายุสั้น เช่น ตัดหางหนูแล้วปล่อยให้หนูที่ถูกตัดหางมีการผสมพันธุ์กันแล้ววัดความยาวของหางรุ่นลูกที่เกิดขึ้น แล้วตัดหางหนูในรุ่นต่อไป และปล่อยให้ผสมพันธุ์กันพร้อมทั้งวัดความยาวของหางรุ่นลูกที่เกิดขึ้นในทุกๆ รุ่น เปรียบเทียบกันหรือการขลิบใบหูในสุนัขบางพันธุ์หลายชั่วรุ่นก็ยังพบว่า ลูกสุนัขที่เกิดใหม่ในทุกชั่วรุ่นยังคงมีลักษณะใบหูเหมือนเดิม ไม่มีลูกสุนัขเกิดใหม่ที่มีใบหูถูกขลิบ



ทั้งนี้ครูควรให้นักเรียนอธิบายเหตุผลประกอบด้วยว่า เพราะเหตุใดจึงเลือกออกแบบโดยใช้สิ่งมีชีวิตนั้นๆ และข้อจำกัดของการใช้สิ่งมีชีวิตนั้นๆ ทดลองว่ามีอะไรบ้าง

จากการอภิปรายและตอบคำถามนักเรียนควรสรุปได้ว่า แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการใช้และไม่ใช้นั้นสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ แต่ลามาร์กเป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ยอมรับว่าสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดวิวัฒนาการขึ้นโดยสภาพแวดล้อมเป็นแรงผลักดันทำให้สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการเกิดขึ้น

18.2.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของดาร์วิน

ครูอาจให้นักเรียนไปสืบค้นข้อมูลการศึกษาต้นควาของดาร์วินในการเดินทางไปกับเรือปีเกิลว่า ดาร์วินมีแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการโดยการคัดเลือกโดยธรรมชาติได้อย่างไร

ซึ่งนักเรียนควรสรุปแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการได้ว่า ประชากรที่อาศัยอยู่รวมกันจะมีความแปรผันทางพันธุกรรมแตกต่างกันไป ลักษณะใดที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะถูกคัดเลือกไว้ แล้วให้กำเนิดลูกหลานต่อมาหลายชั่วรุ่น ทำให้ประชากรรุ่นหลังๆ มีลักษณะแตกต่างจากประชากรในรุ่นแรกๆ จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อตอบคำถามโดยใช้ตัวอย่างคำถามเพิ่มเติมและคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ขณะเดินทางไปกับเรือปีเกิล ดาร์วินได้แนวคิดจากชาลส์ โลเอลล์อย่างไร

โลกเกิดขึ้นมานานและมีการเปลี่ยนแปลงของชั้นหินและเปลือกโลกอย่างค่อยเป็นค่อยไป ดังนั้นสิ่งมีชีวิตบนโลกย่อมมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดวิวัฒนาการขึ้น



สภาพภูมิศาสตร์ของเกาะกาลาปากอสมีลักษณะอย่างไร

หมู่เกาะกาลาปากอสเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ ทำให้เกิดเกาะใหญ่ เกาะเล็กจำนวนหลายเกาะซึ่งมีสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน



นักเรียนคิดว่าสิ่งมีชีวิตบนหมู่เกาะกาลาปากอสมาจากไหน

อพยพมาจากแผ่นดินใหญ่ในประเทศอีเควดอร์




ถ้ามีการอพยพมาจากแผ่นดินใหญ่จะสามารถอพยพมาได้อย่างไร

อาจอพยพมากับสิ่งที่ลอยน้ำได้ เช่น ขอนไม้ ถูกพายุพัดพามาหรือบินมา


ครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 18-10 ในหนังสือเรียนที่แสดงลักษณะจะงอยปากของนกฟินช์ที่พบในหมู่เกาะกาลาปากอสแล้วตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



? ถ้านกฟินช์มาจากบรรพบุรุษเดียวกันและสิ่งมีชีวิตไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะงอยปากของนกฟินช์จะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ?


 นกฟินช์ที่มาจากบรรพบุรุษเดียวกัน และสิ่งมีชีวิตไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจะงอยปากของนกฟินช์ในหมู่เกาะต่างๆ ย่อมมีจะงอยปากที่เหมือนกัน

? นักเรียนจะอธิบายเกี่ยวกับการเกิดนกฟินช์หลายสปีชีส์บนหมู่เกาะกาลาปากอส โดยใช้ทฤษฎีของดาร์วินได้อย่างไร ?

 นกฟินช์ที่อพยพมาจากแผ่นดินใหญ่ไปอาศัยอยู่ตามเกาะต่างๆ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน จึงมีการปรับเปลี่ยนไปใช้ทรัพยากรในการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน ทำให้นกฟินช์ที่มีจะงอยปากเหมาะสมกับทรัพยากรในการดำรงชีวิตในเกาะนั้นๆ มีโอกาสอยู่รอดได้ดีกว่า และมีโอกาสถ่ายทอดลักษณะดังกล่าวไปยังรุ่นต่อไป ทำให้นกฟินช์ในแต่ละเกาะมีลักษณะที่แตกต่างกันมากขึ้นจนกระทั่งเกิดเป็นนกฟินช์หลายๆ สปีชีส์ในปัจจุบัน

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์อีกหลายคนที่สนับสนุนแนวคิดของดาร์วิน แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้


? นักเรียนคิดว่าแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วินเหมือนกัน หรือแตกต่างกันอย่างไร ?


 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วินเหมือนกันคือ สภาพแวดล้อมเป็นแรงผลักดันที่ทำให้สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ โดยมีลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเพื่อการอยู่รอด แต่แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตเป็นผลมาจากการใช้หรือไม่ใช้อวัยวะหรือโครงสร้างนั้นที่สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ ขณะที่แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของดาร์วินกล่าวว่า ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้นั้นเป็นลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ดำรงชีวิตอยู่


นอกจากนี้นักเรียนอาจสรุปต่อไปได้อีกว่า นอกจากดาร์วินแล้ว อัลเฟรด รัสเซล วอลเลซ ยังเป็นนักธรรมชาติวิทยาที่ได้มีแนวคิดตรงกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน โดยนักวิทยาศาสตร์ทั้งสองท่านได้มีแนวคิดแบบเดียวกันแม้ว่าจะศึกษาจากบริเวณที่แตกต่างกันก็ตาม


ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน เป็นทฤษฎีที่มีลักษณะเช่นเดียวกับทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ทั่วไป คือ มีข้อเท็จจริงที่เพียงพอจากแหล่งความรู้ต่างๆ รวมทั้งจากประสบการณ์ของดาร์วินเอง โดยดาร์วินได้รวบรวมหลักฐานข้อเท็จจริงจากการสังเกตสิ่งต่างๆ มากมาย ได้อ่านและรวบรวมความคิดของบุคคลสำคัญๆ ได้ตรวจสอบความคิดและประจักษ์พยานเป็นเวลานานถึง 20 ปี ดาร์วินจึงมีประสบการณ์ที่ลึกซึ้งก่อนที่จะเผยแพร่ความคิดของเขา ดังนั้นความรอบคอบและความระมัดระวังของดาร์วินเช่นนี้ทำให้ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วินเป็นที่ยอมรับอยู่จนถึงปัจจุบัน ถึงแม้ว่าจะมีการวิจารณ์อย่างมากของคนในยุคคนั้น นักเรียนจะเห็นได้ວ່ານักวิทยาศาสตร์นอกจากจะมีผลงานที่ดีและเป็นที่ยอมรับของบุคคลทั่วไปแล้ว วิธีการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ เช่น ความอดทน ความรอบคอบ ความมีเหตุผล เหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สมบูรณ์ของนักวิทยาศาสตร์อีกด้วย


จากการศึกษาของดาร์วิน วิวัฒนาการเป็นการคัดเลือกสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ซึ่งเป็นลักษณะค่อยเป็นค่อยไปตามสภาพแวดล้อม อาจใช้ระยะเวลาหลายชั่วรุ่น แต่มนุษย์สามารถคัดเลือกสิ่งมีชีวิตได้ เพื่อให้มีลักษณะตามความต้องการ เช่น การปรับปรุงพันธุ์ของกะหล่ำปาในภาพที่ 18-12 และภาพที่ 18-13 ในหนังสือเรียนซึ่งแสดงการคัดเลือกพันธุ์สุนัขพันธุ์ต่างๆ จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายสรุปพร้อมกันโดยใช้คำถามเพิ่มเติมซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

 กะหล่ำพันธุ์ใหม่ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากกะหล่ำปาหรือไม่อย่างไร มีการเปลี่ยนแปลงไปคือ ลักษณะ ขนาดลำต้น ใบและดอก จะแตกต่างกัน กะหล่ำพันธุ์ใหม่ที่ได้เช่น กะหล่ำดอก คะน้า กะหล่ำปลี บรอกคอลลี กะหล่ำปม และบรัสเซลสเปราท์ เป็นต้น

 การคัดเลือกพันธุ์โดยมนุษย์เหมือนหรือแตกต่างจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติอย่างไร

 แตกต่างกันคือ การคัดเลือกพันธุ์โดยมนุษย์จะได้ลักษณะของสิ่งมีชีวิตตามความต้องการ และทำให้สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาไม่กี่รุ่น แต่การคัดเลือกโดยธรรมชาติ เป็นการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงเวลาหลายชั่วรุ่น

 การที่สุนัขถูกคัดเลือกพันธุ์โดยมนุษย์ ทำให้เกิดสุนัขพันธุ์ต่างๆ นั้น คิดว่ามีผลดีหรือผลเสียอย่างไร

 มีผลดีคือ ได้สุนัขมีรูปร่าง หน้าตา และนิสัยแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ มนุษย์ปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์สุนัขตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น พุดเดิ้ล



และชีววาเป็นสุนัขพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก นิสัยซุกซน เลี้ยงไว้เพื่อเป็นเพื่อนคลายเหงา ขณะที่โตเบอร์แมนและร็อตไวเลอร์เป็นสุนัขที่มีขนาดใหญ่ มีความอดทนสูง แข็งแรงและแกร่ง สามารถนำมาฝึกให้ทำงาน เช่น การเฝ้ายามได้ดี ไชบีเรียนฮัสกี้ใช้สำหรับลากเลื่อน ส่วนที่มีผลเสียคือสุนัขบางพันธุ์ที่มีรูปร่าง หน้าตา และนิสัยไม่ตรงกับความต้องการของมนุษย์ก็จะสูญพันธุ์ไป ทำให้ความหลากหลายของสุนัขลดลง

ครูอาจให้นักเรียนยกตัวอย่างเกี่ยวกับการคัดเลือกพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตอื่นในห้องเรียนของนักเรียนเพิ่มเติม เช่น การคัดเลือกพันธุ์ข้าว ข้าวโพด การคัดเลือกพันธุ์ไก่ และการคัดเลือกพันธุ์ปลาทับทิม เป็นต้น ดังตัวอย่าง

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเทียน พันธุ์สุโขทัย 1

ข้าวโพดเทียนเป็นข้าวโพดฝักสดที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมากชนิดหนึ่ง พันธุ์ที่เกษตรกรปลูกเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรเก็บเมล็ดพันธุ์เอง และใช้ปลูกต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน ทำให้ลักษณะต่างๆ มีความแปรปรวนสูง ผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ จึงได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเทียนให้มีลักษณะทางการเกษตรดี ผลผลิตสูงและคุณภาพดี

ข้าวโพดเทียนพันธุ์สุโขทัย 1 ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเทียนพันธุ์ T-033 ซึ่งรวบรวมจากจังหวัดเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2526 ในฤดูฝนปี 2531 เริ่มดำเนินการปรับปรุงพันธุ์ที่สถานีทดลองพืชไร่ ศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย โดยปลูกและคัดเลือกต้นที่มีลักษณะดีทำการผสมตัวเอง 1 ครั้ง นำฝักที่ได้มาปลูกผสมข้ามกันอย่างอิสระ และทำการคัดเลือกเพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของลักษณะต่างๆ เช่น ความสูงต้น ความสูงของตำแหน่งฝัก ขนาดฝัก และฝักที่มีเมล็ดสีขาว

ลักษณะเด่นของข้าวโพดเทียนพันธุ์สุโขทัย 1 คือให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมือง น้ำหนักฝักทั้งเปลือกของฝักทั้งหมดสูงกว่าพันธุ์พื้นเมือง มีคุณภาพในการบริโภคดีกว่าพันธุ์พื้นเมือง คือมีรสชาติหวานเล็กน้อยความนุ่มเหนียวดีไม่ติดฟัน และมีกลิ่นหอมชวนรับประทานสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ มีการปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมต่างๆ และให้ผลผลิตสูงมีรสชาติดีกว่าพันธุ์พื้นเมือง

ที่มา : <http://www.doa.go.th/germplasm/rai2.htm>

จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีวิวัฒนาการสังเคราะห์ในการอธิบายกลไกการเกิดวิวัฒนาการโดยให้นักเรียนอภิปรายสรุปร่วมกัน โดยใช้คำถามเพิ่มเติมซึ่งมีแนวการตอบคำถามดังนี้



? เพราะเหตุใดแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของดาร์วินจึงไม่สามารถอธิบายกลไกการเกิดวิวัฒนาการได้

✎ ดาร์วินไม่สามารถอธิบายได้ว่าความแปรผันทางพันธุกรรมของประชากรเกิดขึ้นได้อย่างไร

? ทฤษฎีวิวัฒนาการสังเคราะห์ห่ออธิบายกลไกการเกิดวิวัฒนาการได้อย่างไร

✎ ทฤษฎีวิวัฒนาการสังเคราะห์ให้ความสำคัญกับประชากรซึ่งเป็นหน่วยของวิวัฒนาการ โดยสิ่งมีชีวิตแต่ละตัวในประชากรเดียวกันมีความแปรผันแตกต่างกันลักษณะทางพันธุกรรมใดที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมก็就会被คัดเลือกและประสบความสำเร็จในการสืบพันธุ์ และถ่ายทอดลักษณะดังกล่าวไปยังรุ่นต่อไปทำให้เกิดวิวัฒนาการขึ้น

จากนั้นให้นักเรียนได้ศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ประชากรว่าเกี่ยวข้องกับกลไกการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอย่างไร

18.3 พันธุศาสตร์ประชากร



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายทฤษฎีของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กและภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
2. คำนวณหาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรที่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และประยุกต์ใช้ทฤษฎีของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนได้ทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับความหมายของประชากรที่ได้เรียนมาแล้ว ให้นักเรียนได้อภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับความหมายของประชากรในแง่วิวัฒนาการ จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาทางพันธุศาสตร์ประชากร ให้นักเรียนอภิปรายสรุปพร้อมกันโดยใช้คำถามนำในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? พันธุศาสตร์ประชากรเป็นการศึกษาเกี่ยวกับอะไรและเกี่ยวข้องกับวิวัฒนาการอย่างไร

✎ พันธุศาสตร์ประชากรเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนหรือแอลลีล และการเปลี่ยนแปลงความถี่ของจีโนไทป์ในยีนพูลของประชากร รวมทั้งปัจจัยที่ทำให้ความถี่ของแอลลีลเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดวิวัฒนาการ

? ยีนพูลของประชากรหมายถึงอะไร

✎ ยีนพูลของประชากร คือยีนทั้งหมดที่มีอยู่ในประชากรในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยแอลลีลทุกแอลลีลของสมาชิกทุกตัวในประชากร



จากการอภิปรายร่วมกัน นักเรียนควรสรุปได้ว่าวิชาพัฒนาการเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกลุ่มประชากรไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสมาชิกแต่ละตัวในประชากรนั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงลักษณะใหม่ที่เกิดขึ้นในประชากรจะทำให้เกิดวิวัฒนาการได้นั้นต้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลที่เป็นองค์ประกอบทางพันธุกรรมของประชากร

จากนั้นครูตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า **การศึกษาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรทำได้อย่างไร** แล้วให้นักเรียนได้สืบค้นต่อไปในหัวข้อที่ 18.3.1

18.3.1 การหาความถี่ของแอลลีลในประชากร

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาการหาความถี่ของจีโนไทป์และความถี่ของแอลลีลในประชากร จากตัวอย่างของประชากรไม้ดอกในภาพที่ 18-14 ในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนสรุปซึ่งอาจมีแนวทางในการสรุปได้ดังนี้

ความถี่ของจีโนไทป์ คือ ปริมาณจีโนไทป์ชนิดต่างๆ เมื่อคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละต่อปริมาณจีโนไทป์ทั้งหมดของยีนในตำแหน่งเดียวกันในประชากร

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

$$RR = 640$$

$$Rr = 320 \text{ ต้น}$$

$$rr = 40 \text{ ต้น}$$

ความถี่ของจีโนไทป์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } RR = \frac{\text{จำนวนจีโนไทป์ } RR}{\text{จำนวนจีโนไทป์ทั้งหมด}} = \frac{640}{1,000} = 0.64$$

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } Rr = \frac{\text{จำนวนจีโนไทป์ } Rr}{\text{จำนวนจีโนไทป์ทั้งหมด}} = \frac{320}{1,000} = 0.32$$

$$\text{ความถี่ของจีโนไทป์ } rr = \frac{\text{จำนวนจีโนไทป์ } rr}{\text{จำนวนจีโนไทป์ทั้งหมด}} = \frac{40}{1,000} = 0.04$$

ความถี่ของแอลลีล คือ ปริมาณของแอลลีลชนิดต่างๆ เมื่อคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละต่อจำนวนแอลลีลทั้งหมดของยีนตำแหน่งเดียวกันในประชากร ในกรณีที่ทราบปริมาณจีโนไทป์ชนิดต่างๆ ในประชากรสามารถคำนวณหาความถี่ของแอลลีลแต่ละชนิดได้ จากตัวอย่างของประชากรไม้ดอกที่กล่าวข้างต้น สามารถคำนวณหาความถี่ของแอลลีล R และ r ได้ดังนี้

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

$$\text{จำนวนจีโนไทป์ } RR \text{ 640 ต้น จะมีแอลลีล } R = 640 \times 2 = 1,280 \text{ แอลลีล}$$

$$\text{จำนวนจีโนไทป์ } Rr \text{ 320 ต้น จะมีแอลลีล } R = 320 \text{ แอลลีล}$$

$$\text{และแอลลีล } r = 320 \text{ แอลลีล}$$



จำนวนจีโนไทป์ rr 40 ต้น จะมีแอลลีล $r = 40 \times 2 = 80$ แอลลีล
ความถี่ของแอลลีลสามารถคำนวณได้จาก

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

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

ครูอาจให้นักเรียนคิดวิเคราะห์ต่อไปว่า ถ้าประชากรของไม้ดอกกลุ่มนี้มีโอกาสผสมพันธุ์
ได้เท่าๆ กัน ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรรุ่นต่อไปควรเป็นอย่างไร
จากนั้นครูอาจให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับกฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก ในหัวข้อ 18.3.2


18.3.2 กฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อศึกษาเกี่ยวกับกฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์กจาก
ตัวอย่างของประชากรไม้ดอกในภาพที่ 18-15 ในหนังสือเรียน จากการสืบค้นข้อมูลและการ
อภิปรายร่วมกันนักเรียนควรสรุปได้ว่า ถ้าสมาชิกทุกต้นในประชากรไม้ดอกมีโอกาสผสมพันธุ์
ได้เท่าๆ กัน ดังนั้นเมื่อมีการรวมกันของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้หรือเพศเมียที่มีความถี่ของแอลลีล
 R หรือ r ซึ่งมีความถี่ของแอลลีลเหมือนประชากรในรุ่นพ่อแม่ ดังนั้นประชากรไม้ดอกในรุ่นลูก
จะมีความถี่ของจีโนไทป์และความถี่ของแอลลีลเหมือนประชากรไม้ดอกในรุ่นพ่อแม่
นั่นคือ เมื่อประชากรอยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของ
จีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรจะคงที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะถ่ายทอดพันธุกรรมไป
กี่รุ่นก็ตามหรืออีกนัยหนึ่งคือไม่เกิดวิวัฒนาการ

ควรให้นักเรียนได้ศึกษาสมการของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์กจากตัวอย่างในหนังสือเรียน
และนักเรียนควรสรุปได้ว่าสมการนี้สามารถนำไปใช้หาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของ
จีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรได้


จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายสรุปร่วมกัน แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียนดังนี้

? ถ้ายีนพูลในประชากรหนึ่งเป็นไปตามกฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก นักเรียนคิดว่า
องค์ประกอบทางพันธุกรรมของประชากรมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะเหตุใด ?


 ถ้ายีนพูลในประชากรเป็นไปตามกฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก องค์ประกอบทาง
พันธุกรรมของประชากรจะคงที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมีความถี่ของแอลลีลและ
ความถี่ของจีโนไทป์คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง




? นักเรียนคิดว่าในธรรมชาติความถี่ของแอลลีลในประชากรของสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะเหตุใด ?

 ในธรรมชาติความถี่ของแอลลีลในประชากรของสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากประชากรของสิ่งมีชีวิตอาจมีการอพยพไปมาระหว่างกลุ่มประชากร เกิดมิวเทชัน มีการเลือกจับคู่ผสมพันธุ์กัน มีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ หรืออาจกล่าวได้ว่าประชากรไม่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก

? ประชากรของสัตว์ชนิดหนึ่งที่อาศัยอยู่ในป่าบนเกาะขนาดเล็กกับที่อาศัยอยู่ในป่าบนเกาะขนาดใหญ่ ประชากรของสัตว์บริเวณใดที่โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรมีแนวโน้มที่จะเป็นไปตามภาวะสมดุลของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก ?

 ประชากรของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในป่าขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรจะเป็นไปตามภาวะสมดุลของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก

? นักเรียนคิดว่าในธรรมชาติประชากรจะเกิดภาวะสมดุลของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์กได้หรือไม่ เพราะเหตุใด ?

 ในธรรมชาติประชากรจะเกิดภาวะสมดุลของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์กได้ยาก เนื่องจากประชากรในธรรมชาติอาจไม่ได้อยู่ในเงื่อนไขของภาวะสมดุลของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก กล่าวคือ ประชากรอาจมีขนาดเล็ก มีการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนระหว่างกลุ่มประชากร อาจเกิดมิวเทชัน สมาชิกมีการเลือกคู่ผสมพันธุ์กันและเกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

จากการตอบคำถามและการอภิปรายร่วมกัน นักเรียนควรสรุปได้ว่าประชากรจะอยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์กหรือไม่เกิดวิวัฒนาการ จะต้องมีเงื่อนไขคือ มีประชากรขนาดใหญ่ ไม่มีการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนระหว่างกลุ่มประชากร ไม่เกิดมิวเทชัน สมาชิกทุกตัวมีโอกาสผสมพันธุ์ได้เท่าๆ กัน และไม่เกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

18.3.3 การประยุกต์ใช้กฎของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก

ครูอาจให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลและอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับปัญหาของโรคทางพันธุกรรมและให้นักเรียนได้ศึกษาการนำกฎของฮาร์ดี – ไวน์เบิร์กมาประยุกต์ใช้ในการหาจำนวนประชากรที่เป็นพาหะของโรคทางพันธุกรรม จากตัวอย่างของประชากรทาง



ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจังหวัดหนึ่งที่มีคนเป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ นักเรียนสามารถหาความถี่ของแอลลีลที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ได้จากสมการของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก ดังตัวอย่างในหนังสือเรียน

จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายสรุปร่วมกัน แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียนดังนี้



จากตัวอย่างความถี่ของแอลลีล A ในประชากรนี้คิดเป็นร้อยละเท่าไร



ประชากร 10,000 คน เป็นโรคโลหิตจางชนิดซิกเคิลเซลล์ (aa) 9 คน ดังนั้นความถี่แอลลีล a ในประชากรมีค่าเท่ากับ 0.03 ดังนั้นความถี่ของแอลลีล A สามารถหาได้จากสมการ $p + q = 1$ เมื่อ $q = 0.03$ ดังนั้น $p = 1 - 0.03$ นั่นคือ ความถี่แอลลีล A ในประชากรมีค่าเท่ากับ 0.97



จากตัวอย่างประชากรในรุ่นพ่อแม่ที่เป็นพาหะของโรคมีจำนวนกี่คน



สามารถหาความถี่ของจีโนไทป์ของประชากรที่เป็นพาหะของโรคได้จาก $2pq$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2 \times 0.97 \times 0.03 = 0.0582$ คิดเป็นจำนวนประชากรที่เป็นพาหะเท่ากับ $0.0582 \times 10,000$ มีค่าเท่ากับ 582 คน



ถ้าประชากรนี้อยู่ในสมดุลของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก นักเรียนคิดว่าความถี่ของแอลลีลด้อยในประชากรมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างไรต่อไปอีกใน 50 รุ่น



มีแนวโน้มคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง

จากนั้นให้นักเรียนฝึกคำนวณการใช้กฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์กได้จากกิจกรรมที่ 18.1

กิจกรรมที่ 18.1 การใช้กฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้ นักเรียนสามารถใช้กฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์กในการคำนวณหาความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในประชากรได้

แนวในการตอบคำถามของโจทย์ในกิจกรรมมีดังนี้



1. ในประชากรกลุ่มหนึ่งพบว่า มีประชากรหมู่เลือด Rh^- อยู่ 16 % เมื่อประชากรนี้อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก จงคำนวณหาความถี่ของแอลลีลในประชากรหมู่เลือด Rh^- เป็นลักษณะด้อยจึงมีความถี่ของจีโนไทป์ $q^2 = 16/100 = 0.16$



ดังนั้นความถี่ของแอลลีล q ในประชากรเท่ากับ 0.4 ขณะที่ความถี่ของแอลลีล p เท่ากับ $1 - 0.4 = 0.6$



? 2. ประชากรของหนู ณ ทุ่งหญ้าแห่งหนึ่งอยู่ในสมดุขของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก พบว่า 36% ของประชากรหนูมีขนสีเทาซึ่งเป็นลักษณะด้อย (aa) นอกนั้นเป็นหนูขนสีดำซึ่งเป็นลักษณะเด่น

? 2.1 จำนวนประชากรของหนูที่มีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสเป็นเท่าใด
 ประชากรหนูขนสีเทาที่มีลักษณะด้อยมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ

$q^2 = 36/100 = 0.36$ ดังนั้นความถี่ของแอลลีล q ในประชากรเท่ากับ 0.6 ขณะที่ความถี่ของแอลลีล p เท่ากับ $1 - 0.6 = 0.4$ ดังนั้นสามารถหาความถี่ของจีโนไทป์ของประชากรที่มีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสได้จากค่า $2pq$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2 \times 0.4 \times 0.6 = 0.48$ หรือคิดเป็น 48 % ของประชากรหนูทั้งหมด

? 2.2 ความถี่ของแอลลีล a ในยีนพูลของประชากรเป็นเท่าใด

? ความถี่ของแอลลีล a ในยีนพูลของประชากรเท่ากับ 0.6

? 2.3 ถ้าประชากรหนูมีจำนวน 500 ตัว จะมีหนูที่มีลักษณะขนสีดำที่มีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสกี่ตัว

? ประชากรหนูที่มีลักษณะขนสีดำที่มีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสสามารถหาได้จากค่า p^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.4 \times 0.4 = 0.16$ ถ้าประชากรหนูมีจำนวน 500 ตัว จะมีหนูที่มีลักษณะขนสีดำที่มีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสเท่ากับ $(16/100) \times 500 = 80$ ตัว

ความรู้เสริมสำหรับครู

กรณีที่ลักษณะควบคุมโดยมัลติเปิลแอลลีลก็สามารถใช้แนวคิดฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กได้ เช่น ระบบหมู่เลือด ABO ควบคุมโดย 3 แอลลีล คือ I^A I^B และ i ซึ่งมีความถี่ของแอลลีลเท่ากับ p q และ r ตามลำดับ โดย $p + q + r = 1$

ตัวอย่าง ถ้าความถี่ของ $I^A = 0.27$

ความถี่ของ $I^B = 0.06$

ความถี่ของ $i = 0.67$

ถ้าประชากรนี้อยู่ในสมดุขของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ในประชากร 100,000 คน จะมีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสสำหรับหมู่เลือด A จำนวนกี่คน

$$p + q + r = 1$$



เนื่องจากประชากรอยู่ในสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรจะคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะถ่ายทอดพันธุกรรมไปที่รุ่นก็ตาม และเมื่อเซลล์สืบพันธุ์รวมตัวกัน ความถี่ของจีโนไทป์ในรุ่นต่อไปจะเป็นไปตามกฎของการคูณ

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

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นความถี่ของเลือดหมู่ A (I^Ai) คือ } 2pr &= 2 \times 0.27 \times 0.67 \\ &= 0.3618 \\ &= \frac{36,180}{100,000} \end{aligned}$$

แสดงว่าในประชากรนี้มีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสสำหรับหมู่เลือด A จำนวน 36,180 คน

18.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของวิวัฒนาการระดับจุลภาคและระดับมหภาค
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนกฎของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก ว่ากฎนี้จะเป็นจริงได้ต้องมีเงื่อนไขใดบ้าง ซึ่งนักเรียนควรจะนำความเข้าใจในหัวข้อ 18.3 มาตอบได้

จากนั้นครูนำไปสู่การอภิปรายโดยใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้

- ในธรรมชาติเงื่อนไขดังกล่าวควบคุมได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ถ้าควบคุมไม่ได้จะเกิดผลต่อความถี่ของแอลลีลในประชากรหรือไม่

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ในธรรมชาติไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขดังกล่าวได้ เนื่องจากประชากรมีขนาดเล็กมีการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน อาจเกิดมิวเทชัน มีการเลือกคู่ผสมพันธุ์ และเกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ดังนั้นความถี่ของแอลลีลของประชากรสามารถเปลี่ยนแปลงได้หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก

ครูชี้แจงเพิ่มเติมว่า การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรทำให้โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรเปลี่ยนแปลงนั่นคือการเกิดวิวัฒนาการ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของประชากรที่ละเล็กละน้อยเรียกว่า วิวัฒนาการระดับจุลภาค ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลง



โครงสร้างทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตในระดับสปีชีส์ที่อาจนำไปสู่การเกิดสปีชีส์ใหม่ เช่น การดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรีย การสื่อสารฆ่าแมลงของแมลงบางชนิด แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงนั้นก่อให้เกิดวิวัฒนาการเกิดเป็นสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่หลากหลายสปีชีส์จนนำไปสู่การเกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต เรียกว่า วิวัฒนาการระดับมหภาค เช่น นกฟินช์ ชนิดต่างๆ บนหมู่เกาะกาลาปากอส

จากนั้นครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า

– มีปัจจัยใดบ้างที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร

ครูอาจให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลจากในหนังสือเรียน ซึ่งจากการสืบค้นนักเรียนควรจะสามารถได้ปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ประชากรเกิดวิวัฒนาการได้ คือ

1. การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจง
2. การถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน
3. การเลือกคู่ผสมพันธุ์
4. มิวเทชัน
5. การคัดเลือกโดยธรรมชาติ

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปรายว่า

– ปัจจัยดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรได้อย่างไร จงยกตัวอย่าง

จากการสืบค้นข้อมูลและการอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรสรุปได้ว่า

1. การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจง เป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่งในประชากร เนื่องจากโอกาสของแอลลีลที่จะถูกถ่ายทอดไม่เท่ากัน ถ้าในกลุ่มประชากรแอลลีลใดมีโอกาสถ่ายทอดมากกว่าแอลลีลอื่นๆ หรือแอลลีลใดไม่มีโอกาสถ่ายทอดหรือถูกคัดทิ้งโดยบังเอิญ ทำให้ความถี่ของแอลลีลในรุ่นต่อไปเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ในประชากรเริ่มต้นมีความถี่ของแอลลีล A และ a เท่ากับ 0.4 และ 0.6 ตามลำดับ ความถี่ของแอลลีล A ประชากรรุ่นถัดไป อาจมีการเปลี่ยนแปลงในทางที่มากหรือน้อยกว่าความถี่ของ แอลลีล A และ a ในประชากรเริ่มต้น เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นได้กับประชากรทุกขนาด แต่เห็นชัดเจนและรวดเร็วกับประชากรขนาดเล็ก จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 18-16 ในหนังสือเรียนซึ่งแสดงการเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจงของประชากรไม้ดอก แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้





นักเรียนคิดว่าความถี่ของแอลลีล R และ r ในประชากรรุ่นที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงไปจากรุ่นที่ 1 หรือไม่อย่างไร



ความถี่ของแอลลีล R และ r ในประชากรรุ่นที่ 1 เท่ากับ 0.7 และ 0.3 ตามลำดับ ความถี่ของแอลลีล R และ r ในประชากรรุ่นที่ 3 เท่ากับ 1 และ 0 ตามลำดับ



จากภาพที่ 18-16 นักเรียนจะสรุปได้ว่าอย่างไร



แอลลีล R ถูกคัดเลือกให้ถ่ายทอดไปยังรุ่นที่ 2 และที่ 3 มีมากกว่าแอลลีล r



นักเรียนคิดว่าประชากรของไม้ดอกที่มีจำนวน 1,000 ต้น จะมีการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับภาพที่ 18-16 หรือไม่ เพราะเหตุใด



มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน แต่มีโอกาสน้อยกว่าเนื่องจากมีประชากรมากกว่า



นักเรียนคิดว่ากรณีที่แอลลีลบางแอลลีลที่หายไปจากยีนพูลจะมีผลต่อประชากรนั้นอย่างไร



ทำให้ลักษณะที่ถูกควบคุมโดยแอลลีลนั้นในประชากรหายไป ทำให้ประชากรของสิ่งมีชีวิตนั้น มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ในภาพที่ 18-16 ในหนังสือเรียนประชากรรุ่นที่ 3 จะไม่มีแอลลีล r ทำให้ประชากรไม้ดอกมีแต่ลักษณะดอกสีแดง

แล้วครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม เกี่ยวกับสถานการณ์ที่พบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจงที่พบในธรรมชาติ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจงที่พบในธรรมชาติมี 2 สถานการณ์คือ ผลกระทบจากผู้ก่อตั้งและปรากฏการณ์คอขวด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้



ผลกระทบจากผู้ก่อตั้ง	ปรากฏการณ์คอขวด
1. ประชากรมีการย้ายถิ่น	1. เกิดภาวะวิกฤติกับประชากรที่บริเวณเดิมและเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์
2. ประชากรที่ย้ายถิ่นไปมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับประชากรเดิมที่มีขนาดใหญ่	2. ประชากรเดิมมีขนาดใหญ่ ลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว จนมีขนาดเล็ก
3. ประชากรไปอยู่ในที่แห่งใหม่ แพร่พันธุ์ได้ดีและสะสมแอลลีลในยีนพูล	3. ประชากรที่รอดจากภาวะวิกฤติแพร่พันธุ์ได้ดีและสะสมแอลลีลในยีนพูล
4. ความถี่ของแอลลีลของผู้ก่อตั้งเพิ่มขึ้น	4. ความถี่ของแอลลีลของประชากรที่รอดจากภาวะวิกฤติเพิ่มขึ้น

2. การถ่ายเทเคลื่อนย้ายถิ่น เป็นการเคลื่อนย้ายแอลลีลจากประชากรหนึ่งไปยังอีกประชากรหนึ่งของสปีชีส์เดียวกัน และเกิดการผสมพันธุ์ระหว่างกันขึ้น มีทั้งการเคลื่อนย้ายถิ่นเข้าสู่ประชากรใหม่ หรือเคลื่อนย้ายออกจากประชากรเดิม การเคลื่อนย้ายถิ่นดังกล่าวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล ถ้ามีการพายินบางชนิดออกไปจากประชากรเดิมมาก หรือมีการนำยีนบางชนิดเข้ามาสู่ประชากรเดิมมากขึ้น จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 18-17 ในหนังสือเรียนแล้วตอบคำถาม ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? จากตัวอย่างประชากรไม้ดอกทั้งสองกลุ่มมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรอย่างไร **?**

 ประชากรมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล r ทั้งทางฝั่งด้าน A และ B

? ปัจจุบันมนุษย์มีการอพยพเคลื่อนย้ายและแต่งงานข้ามเชื้อชาติมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้โครงสร้างทางพันธุกรรมของมนุษย์มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร **?**

 ทำให้มีการแพร่กระจายของแอลลีลใหม่ในยีนพูลของประชากรท้องถิ่น มีความแปรผันทางพันธุกรรมในหมู่ประชากรท้องถิ่นเพิ่มมากขึ้น

ครูอาจจะยกตัวอย่างเพิ่มเติมเกี่ยวกับการถ่ายเทเคลื่อนย้ายถิ่นของแมลงที่มีถิ่นอาศัยตามตอสารซ่าแมลง สมาชิกที่มีความต้านทานต่อสารซ่าแมลง เมื่อย้ายออกไปสู่ประชากรกลุ่มใหม่ และผสมพันธุ์กับสมาชิกในประชากรกลุ่มใหม่ก็จะแพร่แอลลีลต้านทานสารซ่าแมลงสู่สมาชิกในประชากรกลุ่มใหม่ที่อาศัยในภูมิภาคอื่น ๆ

3. การเลือกคู่ผสมพันธุ์ ในภาวะสมดุลตามกฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก เน้นถึงปัจจัยการผสมพันธุ์ในรูปแบบสุ่ม ซึ่งหมายถึงเพศผู้ทุกตัวและเพศเมียทุกตัวมีโอกาสเท่าๆ กัน ในการจะเลือกคู่ผสมพันธุ์ จึงเป็นการผสมที่ทุกๆ เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้มีโอกาสเท่าๆ กันที่จะผสมกับทุกๆ เซลล์สืบพันธุ์ของเพศเมีย ซึ่งทำให้ความถี่ของแอลลีลในรุ่นต่อไปไม่เปลี่ยนแปลง แต่การเลือกคู่ผสมพันธุ์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรที่มีขนาดเล็กและไม่มี การอพยพเข้าหรือออก

4. มิวเทชัน เป็นการสร้างแอลลีลใหม่ที่สะสมในยีนพูลของประชากร ทำให้เกิดความแปรผันทางพันธุกรรม มิวเทชันบางลักษณะที่ไม่สอดคล้องกับธรรมชาติจะถูกคัดทิ้ง ทำให้แอลลีลบางแอลลีลไม่มีโอกาสถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไป ส่วนมิวเทชันที่มีลักษณะที่สอดคล้องกับธรรมชาติ จะถูกคัดเลือกไว้และทำให้แอลลีลบางแอลลีลได้ถูกถ่ายทอดจึงมีผลต่อความถี่ของแอลลีลในประชากร

5. การคัดเลือกโดยธรรมชาติ เป็นผลมาจากที่สิ่งมีชีวิตมีความสามารถในการอยู่รอด และให้กำเนิดลูกหลานได้แตกต่างกัน อันเป็นผลเนื่องจากสิ่งมีชีวิตมีความแปรผันทางพันธุกรรม ทำให้มีลักษณะแตกต่างกันลักษณะที่แปรผันนี้ลักษณะใดที่เหมาะสมหรือสอดคล้องกับธรรมชาติ ก็จะถูกคัดเลือกและเกิดลูกหลานได้ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรของสิ่งมีชีวิตนั้น

หลังจากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรมที่ 18.2 ซึ่งเป็นกิจกรรมเกี่ยวกับการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

กิจกรรมที่ 18.2 การคัดเลือกโดยธรรมชาติ

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถสรุปถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล เนื่องจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

กิจกรรมนี้ครูควรให้นักเรียน

1. วิเคราะห์ผลการทดลองว่าเนื่องมาจากสาเหตุใด
2. ความถี่ของแอลลีลในประชากรของผีเสื้อกลางคืน ในเมือง A และ เมือง B จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร
3. ให้นักเรียนยกตัวอย่างที่เกี่ยวกับการคัดเลือกโดยธรรมชาติเพิ่มเติม



ส่วนคำถามท้ายกิจกรรมมีแนวการตอบดังนี้



นักเรียนจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรผีเสื้อในเมือง A และเมือง B อย่างไร



ในเมือง A ความถี่ของแอลลีลที่ควบคุมลักษณะสีเทาของผีเสื้อจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนประชากรผีเสื้อสีเทามากกว่าสีดำ แต่ในเมือง B ความถี่ของแอลลีลที่ควบคุมลักษณะสีดำของผีเสื้อจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนประชากรผีเสื้อสีดำมากกว่าสีเทา



สถานการณ์นี้ธรรมชาติมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลที่ทำให้เกิดการคัดเลือกชนิดพันธุ์ของผีเสื้ออย่างไร



ในธรรมชาติผีเสื้อจะเป็นเหยื่อของนก นกจึงเกี่ยวข้องในการจับผีเสื้อเป็นอาหาร ทั้งนี้ธรรมชาติมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลของผีเสื้อคือ ผีเสื้อไม่ว่าจะอยู่ในเมือง A หรือ B หากมีสีตัวที่กลมกลืนกับสภาพแวดล้อมในเมืองนั้น จะมีโอกาสอยู่รอดมาก ทำให้ผีเสื้อเหล่านั้นถูกคัดเลือกพันธุ์และสามารถอยู่รอดได้ต่อไป และทำให้ความถี่ของแอลลีลของประชากรนั้นมากตามไปด้วย

ส่วนคำถามในหนังสือเรียนจากภาพที่ 18-18 มีแนวในการตอบคำถาม ดังนี้



เพราะเหตุใดตั๊กแตนใบไม้จึงประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมนี้และสิ่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวคัดเลือกที่เกิดขึ้นในธรรมชาติคืออะไร



เนื่องจากตั๊กแตนใบไม้ มีลักษณะรูปร่างและสีที่กลมกลืนกับใบไม้ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย จึงประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตเนื่องจากไม่ถูกล่าเป็นอาหาร ดังนั้นผู้ล่าจึงเป็นตัวคัดเลือกที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ



นักเรียนคิดว่าถ้าสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงเป็นทุ่งหญ้า ความถี่ของแอลลีลในประชากรตั๊กแตนจะยังคงเหมือนเดิมหรือไม่ เพราะเหตุใด



ความถี่ของแอลลีลในประชากรของตั๊กแตนน่าจะเปลี่ยนแปลง เนื่องจากประชากรของตั๊กแตนบางส่วนจะถูกผู้ล่าจับกินได้ง่าย เนื่องจากลักษณะและขนาดของรูปร่างของตั๊กแตน



จะไม่กลมกลืนกับใบหญ้า ทำให้เห็นได้ง่ายกว่าแหล่งที่อยู่เก่า เมื่อประชากรถูกจับกินทำให้บางแอลลีลในประชากรอาจจะถูกคัดทิ้ง

18.5 กำเนิดของสปีชีส์



จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายความหมายของสปีชีส์
2. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์
3. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายการเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ และการเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน
4. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และนำเสนอผลกระทบจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี ต่อการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล ที่นำไปสู่การเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากร การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมที่ทำให้เกิดสปีชีส์ใหม่ เรียกว่า วิวัฒนาการในระดับจุลภาค

18.5.1 ความหมายของสปีชีส์

ครูให้นักเรียนศึกษาภาพที่ 18-19 ในหนังสือเรียนแล้วตั้งคำถามว่า **นกในภาพมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก บอกได้หรือไม่ว่าเป็นสปีชีส์เดียวกันหรือต่างสปีชีส์ เพราะเหตุใด**

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายโดยใช้ความรู้เดิมที่มีอยู่ ซึ่งนักเรียนอาจจะตอบได้ว่าไม่สามารถบอกได้จากลักษณะภายนอก อาจศึกษาจากโครงสร้างทางพันธุกรรม หรืออาจให้นก 2 ตัวนี้ผสมพันธุ์กัน ถ้าให้ลูกที่มีชีวิตและไม่เป็นหมัน แสดงว่าเป็นนกสปีชีส์เดียวกัน แต่ถ้าให้ลูกที่เป็นหมันหรือนก 2 ตัวนี้ไม่สามารถผสมพันธุ์และให้กำเนิดลูกได้ แสดงว่าต่างสปีชีส์กัน จากนั้นครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า แนวคิดเกี่ยวกับความหมายทางสปีชีส์ มี 2 แนวทาง คือ

1. สปีชีส์ทางด้านสัตววิทยา
2. สปีชีส์ทางด้านชีววิทยา

จากนั้นครูตั้งคำถามเพิ่มเติมให้นักเรียนอภิปรายว่า **ไดโนเสาร์ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่สูญพันธุ์ไปแล้ว มีผู้ศึกษาแล้วว่ามีหลายสปีชีส์ ผู้ศึกษาใช้หลักฐานใดในการจัดไดโนเสาร์ออกเป็นสปีชีส์ต่างๆ เพราะเหตุใด**



จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า การจัดไดโนเสาร์ออกเป็นสปีชีส์ต่างๆ น่าจะใช้หลักฐานทางด้านสัณฐานและโครงสร้างทางกายภาพ ซึ่งเป็นการจัดสปีชีส์ทางด้านสัณฐานวิทยา

ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลและการอภิปรายว่า

- ในธรรมชาติมีสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์อยู่ร่วมกันในระบบนิเวศเดียวกันเป็นจำนวนมาก เพราะเหตุใดสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จึงไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อตรวจสอบกลไกการป้องกันการผสมพันธุ์ข้ามสปีชีส์ พร้อมทั้งยกตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตในท้องถิ่นเพิ่มเติมเพื่อประกอบการอภิปราย

จากการสืบค้นข้อมูลและอภิปรายร่วมกัน นักเรียนควรสรุปได้ว่าสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันมีกลไกการป้องกันการผสมพันธุ์ข้ามสปีชีส์ได้ 2 ระดับ คือ กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์ก่อนระยะไซโกต และกลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์หลังระยะไซโกต

กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์ก่อนระยะไซโกต ได้แก่ สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันมีถิ่นที่อยู่อาศัยต่างกัน มีพฤติกรรมในการผสมพันธุ์ต่างกัน มีช่วงเวลาในการผสมพันธุ์ต่างกัน อาจมีโครงสร้างของอวัยวะสืบพันธุ์ หรือสรีรวิทยาของเซลล์สืบพันธุ์แตกต่างกัน ทำให้เซลล์สืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้

กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์หลังระยะไซโกต ทำให้ลูกผสมที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยหรือสืบพันธุ์ต่อไปได้ ได้แก่ ลูกผสมตายก่อนถึงวัยเจริญพันธุ์ ลูกผสมเป็นหมันและลูกผสมล้มเหลว เป็นต้น

ส่วนคำถามในหนังสือเรียนในหัวข้อ 18.5.1 มีแนวในการตอบดังนี้



การศึกษาเพื่อจำแนกสปีชีส์ของซากดึกดำบรรพ์ควรใช้ความหมายของสปีชีส์ตามแนวคิดใด เพราะเหตุใด



ควรใช้ความหมายของสปีชีส์ทางด้านสัณฐานวิทยา เนื่องจากไม่มีโอกาสที่ซากดึกดำบรรพ์จะมาผสมพันธุ์ในธรรมชาติได้



ถ้ามีโครโมโซมจำนวน 64 โครโมโซม ส่วนลามีจำนวนโครโมโซม 62 โครโมโซม นักเรียนคิดว่าล่อควรมีจำนวนโครโมโซมเท่าใด และเพราะเหตุใดล่อจึงเป็นหมัน



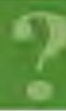
ล่อเกิดจากเซลล์สืบพันธุ์ของม้าที่มีจำนวน 32 โครโมโซม และเซลล์สืบพันธุ์ของลาที่มีจำนวน 31 โครโมโซม ดังนั้นล่อจะมีโครโมโซม 63 โครโมโซม ล่อเป็นหมันเพราะใน



การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โครโมโซมของม้ากับลาจะไม่มาเข้าคู่กัน ทำให้ได้เซลล์สืบพันธุ์ที่ผิดปกติ



นอกจากล่อแล้วมีลูกผสมที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์ชนิดใดอีกบ้าง



เช่น ไทกอน (tigon) เกิดจากเสือเพศผู้ผสมกับสิงโตเพศเมีย และไลเกอร์ (liger) เกิดจากสิงโตเพศผู้ผสมกับเสือเพศเมีย

18.5.2 การเกิดสปีชีส์ใหม่

ครูทบทวนว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของยีนพูลในประชากร ทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดวิวัฒนาการเป็นสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่

ครูตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การค้นคว้าและการอภิปรายว่า

- สปีชีส์ใหม่เกิดได้อย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนได้ศึกษาภาพจากหนังสือเรียนภาพที่ 18-24 การเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ และภาพที่ 18-26 การเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน โดยให้นักเรียนอภิปรายสรุปพร้อมกันโดยใช้ตัวอย่างคำถามดังนี้



เพราะเหตุใดการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์จึงทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่

เนื่องจากอุปสรรคที่มาขวางกั้นทำให้ประชากรที่เคยอาศัยอยู่ในพื้นที่เดียวกันไม่สามารถถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนระหว่างประชากรได้ จนกระทั่งโครงสร้างทางพันธุกรรมมีการปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่จนกระทั่งเกิดวิวัฒนาการเป็นสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กัน



การเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกันเกิดขึ้นได้อย่างไร

เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของประชากรดั้งเดิม ทำให้ไม่สามารถถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนกับประชากรดั้งเดิมได้ จึงเกิดวิวัฒนาการเป็นสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่



จงยกตัวอย่างการเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์และการเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน



การเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ เช่น กระรอก 2 สปีชีส์ที่พบบริเวณแกรนด์แคนยอน สำหรับตัวอย่างของการเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน เช่น การเกิดพอลิพลอยดีของพืช หรือการเปลี่ยนแปลงยีนของตัวต่อ



ส่วนคำถามในหนังสือเรียนมีแนวการตอบดังนี้



เพราะเหตุใดประชากรของสิ่งมีชีวิตที่แยกจากกันในลักษณะนี้ เมื่อกลับมาอยู่รวมกันอีกครั้งจึงไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้อีก



เนื่องจากยีนพูลของประชากรทั้งสองแตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้



นักเรียนคิดว่ากลไกใดที่ทำให้สมาชิกของประชากรเดียวกันและอาศัยอยู่ในพื้นที่เดียวกันไม่สามารถเกิดการถ่ายเทยีนระหว่างกันได้



การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมของประชากร ทำให้ประชากรที่มีจำนวนโครโมโซมเปลี่ยนแปลงไปไม่สามารถผสมพันธุ์กับประชากรดั้งเดิมได้



ปัจจัยใดที่ทำให้ตัวต่อสปิชีส์ใหม่เกิดขึ้นในบริเวณเดียวกัน



เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงยีนในตัวต่อ ทำให้โครงสร้างทางพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงและเกิดเป็นสปิชีส์ใหม่

กิจกรรมเสนอแนะ การปรับปรุงพันธุ์พืชแบบพอลิพลอยดี

จุดประสงค์ของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และสรุปการใช้เทคโนโลยีทางการเกษตรในการปรับปรุงพันธุ์พืชแบบพอลิพลอยดี
2. นำเสนอข้อมูลในชั้นเรียนหรือจัดทำเป็นป้ายนิเทศ

ครูอาจให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มในการสืบค้นข้อมูลอภิปราย และนำเสนอการปรับปรุงพันธุ์พืชแบบพอลิพลอยดีในประเด็นต่อไปนี้


1. ขั้นตอนการทำ
2. ตัวอย่างพืช
3. ประโยชน์

การพัฒนา กับ วิวัฒนาการ

ครูควรให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม อาจส่งผลกระทบต่อมนุษย์ได้ เช่น การใช้สารฆ่าแมลง มีผลทำให้แมลงดื้อสารฆ่าแมลงมากขึ้นหรือการดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรีย เป็นต้น

ส่วนคำถามในหนังสือเรียนนี้มีแนวการตอบดังนี้

? นักเรียนคิดว่าสารฆ่าแมลงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรอย่างไร และสิ่งที่ทำให้เกิดการคัดเลือกในประชากรแมลงคืออะไร **?**

 แมลงที่ไม่มียีนต้านทานสารฆ่าแมลงจะตายไป ส่วนแมลงที่มียีนต้านทานสารฆ่าแมลงก็ยังคงมีชีวิตอยู่ และสืบทอดยีนนี้ให้แก่ลูกหลานต่อไป ดังนั้นยีนบางยีนจึงถูกคัดเลือกที่เหลืออยู่ก็จะมีมากขึ้นในประชากรแมลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร


? ถ้านักเรียนเป็นเกษตรกรจะมีวิธีหลีกเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลงอย่างไร **?**

 ใช้สิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ล่าหรือศัตรูของแมลงนั้นกำจัดแมลง จะทำให้จำนวนของแมลงลดลง เรียกว่า ชีววิธี

? นักเรียนคิดว่าควรปฏิบัติตนอย่างไร เพื่อป้องกันการดื้อยาของแบคทีเรีย **?**

 ทานยาปฏิชีวนะให้ครบตามที่แพทย์สั่งเพื่อป้องกันการดื้อยาของแบคทีเรีย

? นักเรียนคิดว่าการดื้อยาของแบคทีเรียเป็นกลไกการเกิดวิวัฒนาการหรือไม่ เพราะเหตุใด **?**

 เป็นกลไกการเกิดวิวัฒนาการ เนื่องจากแบคทีเรียที่ไม่มียีนต้านทานต่อยาปฏิชีวนะจะตายไป ขณะที่แบคทีเรียที่มียีนต้านทานยาปฏิชีวนะจะยังคงมีชีวิตอยู่และสืบทอดลักษณะดังกล่าวนี้ไปยังรุ่นต่อไป ทำให้แบคทีเรียมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปหรือเกิดวิวัฒนาการ

จะเห็นได้ว่ากระบวนการเกิดวิวัฒนาการเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตทีละน้อยเป็นเวลาหลายชั่วรุ่น โดยผ่านกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ในการคัดเลือกลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม จนกระทั่งเกิดเป็นความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในปัจจุบัน





18.6 วิวัฒนาการของมนุษย์

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับ สายวิวัฒนาการของมนุษย์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลเพื่อศึกษาลำดับการเกิดวิวัฒนาการของมนุษย์จาก ภาพที่ 18-29 ในหนังสือเรียน ลักษณะที่มีวิวัฒนาการเกิดขึ้นจากบรรพบุรุษมนุษย์จนถึงมนุษย์ ในปัจจุบัน ครูควรชี้แนะเพิ่มเติมว่า หลักฐานซากดึกดำบรรพ์เกี่ยวกับวิวัฒนาการของมนุษย์มี มากกว่าที่กล่าวถึงในหนังสือเรียน โดยอาจมีบรรพบุรุษของมนุษย์สปีชีส์อื่นเกิดขึ้นในช่วงเวลา เดียวกัน แต่ในหนังสือเรียนจะกล่าวถึงเฉพาะสายวิวัฒนาการของมนุษย์ที่สำคัญเท่านั้น จากนั้น ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายและตอบคำถาม โดยใช้คำถามเพิ่มเติมและคำถามในหนังสือเรียน ดังนี้



เพราะเหตุใดมนุษย์ในปัจจุบันจึงมีการเรียนรู้และพฤติกรรมที่ซับซ้อนกว่า ลิงไม่มีหาง



มนุษย์ในปัจจุบันมีขนาดความจุของกะโหลกศีรษะมากกว่าลิงไม่มีหาง นั่นคือมีขนาด สมองใหญ่กว่าจึงเกิดพฤติกรรมการเรียนรู้ได้ดีกว่าลิงไม่มีหาง



นักเรียนสามารถเรียงลำดับการเกิดวิวัฒนาการของมนุษย์ได้อย่างไร



ลำดับการเกิดวิวัฒนาการของมนุษย์มีดังนี้ ออสตราโลพิเทคัส และ *Homo* ซึ่งแยกได้ เป็น *H. habilis* *H. erectus* *H. sapiens neanderthalensis* และ *H. sapiens sapiens*



หลักฐานซากดึกดำบรรพ์ของลูซี่ได้ สนับสนุนแนวคิดที่ว่าออสตราโลพิเทคัสเป็น บรรพบุรุษที่มีความคล้ายคลึงกับมนุษย์มากที่สุดอย่างไร



มีการเดิน 2 ขา มีแขนยาวกว่ามนุษย์ปัจจุบัน สามารถเคลื่อนที่ได้ดีทั้งบนพื้นดิน และต้นไม้ มีฟันที่ปรับเปลี่ยนมากินอาหารได้หลายแบบ



H. habilis เริ่มกำเนิดมาประมาณกี่ล้านปีมาแล้ว



ประมาณ 2 ล้านปีที่ผ่านมา




นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดจึงจัดให้ *H. habilis* อยู่ในกลุ่มเดียวกับมนุษย์ และลักษณะเช่นใด ที่ถือว่าเป็นมนุษย์




H. habilis จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับมนุษย์ เพราะมีโครงสร้างคล้ายมนุษย์ อยู่ในจีนัสเดียวกัน และเริ่มมีการใช้สมอง และใช้มือในการประดิษฐ์สิ่งของเครื่องใช้



? นักเรียนคิดว่ามนุษย์ในปัจจุบันแตกต่างจากมนุษย์กลุ่ม *H. habilis* และ *H. erectus* อย่างไร **?**

 มนุษย์ในปัจจุบันมีขนาดความจุของกะโหลกศีรษะมากขึ้น ทำให้มีความคิดสร้างสรรค์มากขึ้น

? มนุษย์นีแอนเดอรัทส์มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างจากมนุษย์ในปัจจุบันอย่างไร **?**
 มนุษย์นีแอนเดอรัทส์มีกระดูกคี่ยื่น จมูกกว้าง คางสั้น


? สมมติฐานทั้งสองนี้แตกต่างกันอย่างไร **?**

สมมติฐานแรกมนุษย์ในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจาก *H. erectus* ในแอฟริกาเมื่อประมาณ 1-2 ล้านปีที่ผ่านมา ขณะที่สมมติฐานที่สองมนุษย์ในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจาก *H. erectus* ในแอฟริกา เมื่อประมาณ 100,000 ปีที่ผ่านมา


? จากสมมติฐานที่สอง *H. sapiens* ในปัจจุบันที่อาศัยอยู่ในเอเชียมีวิวัฒนาการแยกออกมาจาก *H. sapiens* ที่อาศัยอยู่ในยุโรปและออสเตรเลียเมื่อประมาณกี่ปีมาแล้ว **?**

 มีวิวัฒนาการแยกออกมาเมื่อประมาณ 100,000 ปีมาแล้ว

? นักเรียนคิดว่าน้ำหนักสมองมีความสัมพันธ์กับวิวัฒนาการอย่างไร **?**

 มนุษย์ในปัจจุบันมีน้ำหนักสมองมากที่สุดแสดงว่าสมองมีความสัมพันธ์กับวิวัฒนาการ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถใช้สมองในการคิดเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี จึงทำให้มนุษย์สามารถปรับตัวอยู่รอดในสิ่งแวดล้อมได้ดี

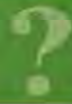
? จากตารางนักเรียนคิดว่าขนาดสมองต่อน้ำหนักตัวของมนุษย์ในปัจจุบันเมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์ที่สูญพันธุ์ไปแล้วและลิงชนิดต่างๆ เป็นอย่างไร **?**


 ขนาดสมองต่อน้ำหนักตัวของมนุษย์ในปัจจุบัน มีสัดส่วนมากกว่ามนุษย์ที่สูญพันธุ์ไปแล้วและลิงชนิดต่างๆ





วัฒนธรรมมีส่วนเกี่ยวข้องกับการอยู่รอดของมนุษย์อย่างไร



 วัฒนธรรมเป็นผลมาจากการที่มนุษย์เริ่มคิดในสิ่งที่เป็ นปรัชญามากขึ้น ซึ่งเป็น พัฒนาการทางสังคมที่สามารถสะสมและถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ การใช้ความคิดของมนุษย์นี้ สามารถทำให้มนุษย์สามารถปรับตัวและหลีกเลี่ยงจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่ไม่เหมาะสมได้ จึงทำให้มนุษย์สามารถอยู่รอดได้และดำรงเผ่าพันธุ์ต่อไป


จากการอธิบายนักเรียนควรสรุปเกี่ยวกับลำดับการเกิดวิวัฒนาการของมนุษย์และ ลักษณะที่มีวิวัฒนาการซับซ้อนมากขึ้นจากอดีตจนถึงปัจจุบัน และครูอาจให้นักเรียนได้ศึกษา สมมติฐานกำเนิดของมนุษย์ในยุคปัจจุบันทั้ง 2 แนวทาง จากการศึกษานักเรียนควรสรุปได้ว่า 2 สมมติฐานนี้ ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามนุษย์ในยุคปัจจุบันมีกำเนิดขึ้นมาได้อย่างไร ซึ่งต้องมีการศึกษาและหาหลักฐานอื่นเพิ่มเติม นอกจากนี้มนุษย์ในยุคปัจจุบันได้มีการสั่งสมวัฒนธรรม จากบรรพบุรุษจนถึงปัจจุบัน ดังนั้นวิวัฒนาการทางวัฒนธรรมจึงมีส่วนช่วยให้มนุษย์ดำรงเผ่าพันธุ์ อยู่ได้




แนวการตอบคำถามท้ายบทที่ 18




? 1. จากคำกล่าวที่ว่า “แมลงที่ได้รับสารฆ่าแมลงทำให้มีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงมากยิ่งขึ้น” นักเรียนเห็นด้วยกับคำกล่าวนี้หรือไม่ ให้เหตุผลประกอบ

 ไม่เห็นด้วย เนื่องจากสารฆ่าแมลงไม่ได้ทำให้แมลงมีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงมากขึ้น แต่แมลงที่มียีนต้านทานสารฆ่าแมลงจะถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติให้มีโอกาสอยู่รอดและให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นต่อไป ทำให้ลูกหลานมีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง


? 2. จงเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวิวัฒนาการระดับจุลภาคกับวิวัฒนาการระดับมหภาค

 วิวัฒนาการระดับจุลภาคเป็นวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของยีนพูลภายในประชากรเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับสปีชีส์เดียวกัน แต่วิวัฒนาการระดับมหภาคเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรที่ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่ ซึ่งนำไปสู่การเกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

? 3. การคัดเลือกโดยธรรมชาติและการคัดเลือกโดยมนุษย์แตกต่างกันอย่างไร

 การคัดเลือกโดยธรรมชาติเป็นการคัดเลือกสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเหมาะสมที่สุดในสภาพแวดล้อมขณะนั้นให้ดำรงชีวิตอยู่ต่อไปเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงเวลาหลายชั่วรุ่น แต่การคัดเลือกโดยมนุษย์เป็นการคัดเลือกลักษณะของสิ่งมีชีวิตตามความต้องการของมนุษย์ เช่น การคัดเลือกพันธุ์ของสุนัขเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาไม่กี่รุ่น

? 4. การแปรผันทางพันธุกรรม มิวเทชันและการคัดเลือกโดยธรรมชาติทำให้เกิดวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิตได้อย่างไร

 มิวเทชัน เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดแอลลีลใหม่ๆ ที่สะสมไว้ในยีนพูลของประชากรที่ทำให้เกิดความแปรผันทางพันธุกรรมของประชากร สิ่งมีชีวิตในประชากรที่มีความแปรผันทางพันธุกรรมสิ่งมีชีวิตใดที่มีลักษณะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในขณะนั้นก็จะถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติ ทำให้เกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต



? 5. ในพื้นที่แห่งหนึ่งมีประชากรจำนวน 400 คน ถ้าประชากรนี้มีความถี่ของยีน $A = 0.6$ และยีน $a = 0.4$ ถ้าประชากรที่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก จงหาจำนวนคนที่มีจีโนไทป์แบบต่างๆ

 ประชากรที่มีจีโนไทป์ AA หรือ $p^2 = 0.6 \times 0.6 = 0.36$

ดังนั้นจำนวนประชากรที่มีจีโนไทป์ $AA = 0.36 \times 400 = 144$ 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


? 6. เพราะเหตุใดการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของสิ่งมีชีวิตจึงมีความสำคัญต่อการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เกิดจากการรวมกันของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย ในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จะมีกระบวนการครอสซิงโอเวอร์ที่ทำให้เกิดการรวมกันใหม่ของยีนในรูปแบบที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแปรผันทางพันธุกรรมซึ่งธรรมชาติจะเป็นตัวคัดเลือกลักษณะทางพันธุกรรมที่เหมาะสมไว้ในประชากร

? 7. ในปัจจุบันยี่ราฟมีคอยาวขึ้นกว่ายี่ราฟในอดีต ลามาร์กและดาร์วินอธิบายปรากฏการณ์นี้อย่างไร

 ลามาร์กอธิบายว่ายี่ราฟในอดีตมีลักษณะคอสั้น เมื่อพืชที่เป็นอาหารบนพื้นดินมีไม่เพียงพอ ทำให้ยี่ราฟต้องยืดคอเพื่อกินใบไม้บนต้นไม้สูงๆ อยู่เสมอ ยี่ราฟในปัจจุบันจึงมีคอยาวกว่ายี่ราฟในอดีต แต่ดาร์วินอธิบายว่ายี่ราฟในอดีตมีทั้งยี่ราฟพันธุ์คอสั้นและพันธุ์คอยาว เมื่อพืชที่เป็นอาหารบนพื้นดินมีไม่เพียงพอ ยี่ราฟพันธุ์คอยาวสามารถกินใบไม้ในที่สูงได้จึงมีชีวิตรอด และสืบทอดลักษณะดังกล่าวไปยังรุ่นต่อไป ทำให้ในปัจจุบันพบเฉพาะยี่ราฟที่มีลักษณะคอยาว

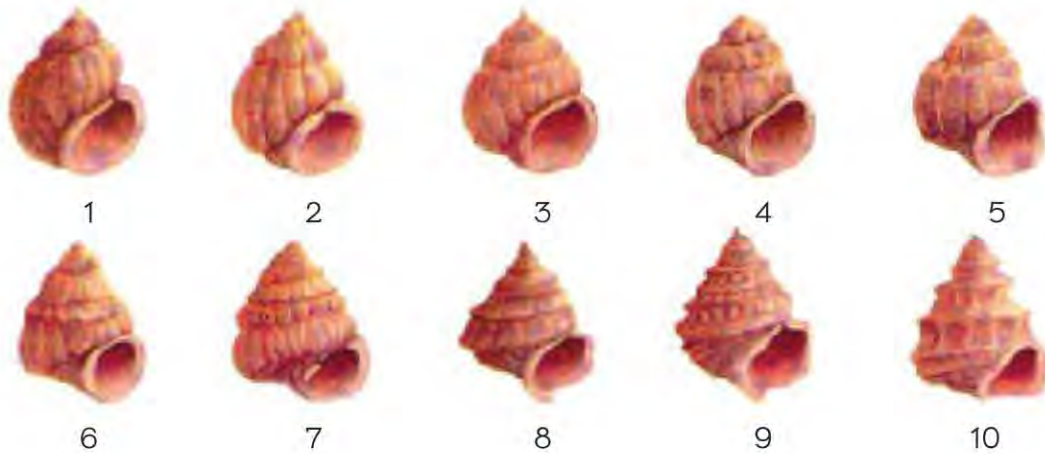
? 8. จงอธิบายว่าเหตุใดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก จึงไม่สามารถผสมพันธุ์กันและให้กำเนิดลูกได้

 สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก แต่ไม่สามารถผสมพันธุ์กันและให้กำเนิดลูกได้ทั้งนั้นเพราะสิ่งมีชีวิตดังกล่าวเป็นสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันมีถิ่นพุ่มต่างกัน จึงไม่สามารถถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนระหว่างประชากรได้



9. จงศึกษาภาพและข้อความข้างล่างนี้ แล้วตอบคำถาม

ภาพข้างล่างนี้เป็นฟอสซิลของหอยโข่ง พบว่าฟอสซิลหอยหมายเลข 1 มีอายุมากที่สุด คือ 10 ล้านปีมาแล้ว และฟอสซิลหอยที่มีอายุน้อยที่สุด คือ หอยหมายเลข 10 ซึ่งมีอายุประมาณ 3 ล้านปีมาแล้ว



ถ้านักเรียนเป็นนักชีววิทยา จงเขียนบทความเพื่อจะตอบคำถามเหล่านี้



9.1 หอยเหล่านี้มีความเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

คำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลายแบบ ลักษณะที่เหมือนกันคือ เปลือกหอยมีลักษณะขดเป็นวงซ้อนกันในรูปแบบบันไดเวียนขวา โดยปลายสุดของเปลือกจะยกสูงขึ้นผิวของเปลือกมีลักษณะนูนเป็นซี่ๆ และมีช่องเปิดของเปลือกเหมือนกัน ลักษณะที่แตกต่างกันคือ จำนวนเกลียวที่ขดซ้อนกันเป็นวงจะมีจำนวนเพิ่มขึ้น เกลียวล่างสุดของเปลือกหมายเลข 1, 2 และ 3 มีลักษณะเรียบ เปลือกหอยหมายเลข 4 และ 5 เริ่มพบลักษณะคล้ายสายสร้อยไข่มุกเรียงซ้อนกันตามขวางและมีขนาดใหญ่ขึ้นในเปลือกหอยหมายเลข 6 และยาวขึ้นในเปลือกหอยหมายเลข 7 และ 8 และกว้างขึ้นในเปลือกหอยหมายเลข 9 และ 10 ขณะที่รูปทรงของเปลือกหอยเปลี่ยนจากรูปกรวยทรงกลมมาเป็นรูปกรวยทรงสามเหลี่ยม




9.2 จากข้อมูลภาพข้างบนนี้แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการอย่างไร

จากข้อมูลภาพข้างบนแสดงให้เห็นลำดับการเกิดวิวัฒนาการของหอยอย่างค่อยเป็นค่อยไปจากเปลือกหอยหมายเลข 1 จนกระทั่งปรากฏเป็นเปลือกหอยหมายเลข 10 ซึ่งเกิดขึ้นในระยะเวลานับล้านปี



? 9.3 ถ้าซากดึกดำบรรพ์ในตัวอย่างหมายเลข 3 4 5 และ 6 ขาดหายไปจากซากดึกดำบรรพ์ที่เหลือ นักเรียนจะสรุปว่าอย่างไร

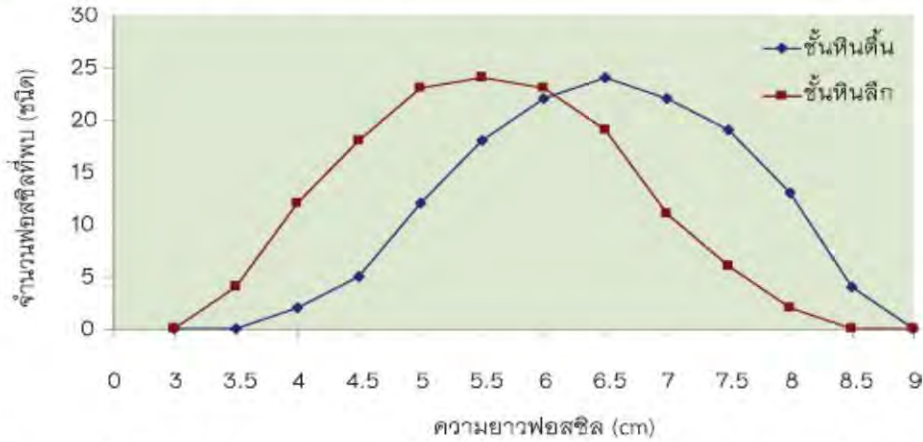
 ถ้าซากดึกดำบรรพ์หมายเลข 3 4 5 และ 6 ขาดหายไป ซากดึกดำบรรพ์ของหอยหมายเลข 1 และ 2 อาจมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันทางวิวัฒนาการ ขณะที่ซากดึกดำบรรพ์หอยหมายเลข 7 8 9 และ 10 อาจมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่แตกต่างกันจากฟอสซิลหมายเลข 1 และ 2

? 10. จงศึกษาข้อมูลจำนวนของฟอสซิลไทรโลไบต์ที่มีความยาวต่างๆ กัน ในชั้นของหินตะกอนที่มีความลึกต่างกันดังในตารางข้างล่างนี้

ความยาวของฟอสซิล (cm)	จำนวนซากดึกดำบรรพ์ที่พบในชั้นหินที่ลึกไม่มาก (ชั้นหินตื้น)	จำนวนซากดึกดำบรรพ์ที่พบในชั้นหินที่ลึกมาก (ชั้นหินลึก)
3.0	0	0
3.5	0	4
4.0	2	12
4.5	5	18
5.0	12	23
5.5	18	24
6.0	22	23
6.5	24	19
7.0	22	11
7.5	19	6
8.0	13	2
8.5	4	0
9.0	0	0

? 10.1 จงนำข้อมูลด้านบนมาเขียนเป็นกราฟ

สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



? 10.2 ไทรโลไบต์ที่มีความยาวเท่าใดที่พบมากทั้งในชั้นหินตื้น และชั้นหินลึก

ไทรโลไบต์ที่พบมากทั้งในชั้นหินตื้นและชั้นหินลึก มีความยาวประมาณ 6 เซนติเมตร

? 11. เหตุใดในทะเลทรายจึงพบหุสน้ำตาลมากกว่าหุสน้ำดำ และลักษณะสีของขนนี้สามารถถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานได้หรือไม่เพราะเหตุใด

หุสน้ำตาลมีลักษณะกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมในทะเลทรายได้ดีกว่าหุสน้ำดำ ทำให้มีโอกาสอยู่รอดจากการล่าของศัตรู เช่น นกเหยี่ยวได้ดีกว่าทำให้มีโอกาสถ่ายทอดลักษณะขนสีน้ำตาลไปยังลูกหลานได้ดีกว่าลักษณะขนสีดำ



แหล่งเรียนรู้



หนังสือประกอบการค้นคว้า

- พัฒนา จันทโรทัย. **วิวัฒนาการความเป็นมาและกระบวนการกำเนิดสิ่งมีชีวิต**. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.
- Albert K., Paul J. H. and Lucy D. **Biology and Everyday Experience**. Glencoe McGraw-Hill. 1999.
- Biggs K. L. **Biology the Dynamics of Life**. Glencoe McGraw-Hill. 1998.
- Eldra P. S., Linda R. B. and Diana W.M. **Biology**. 6th ed. Thomson Learning, Inc. 2002.
- John H. P. and Janet L. H. **The Nature of Life**. 3rd ed. McGraw-Hill, Inc. 1995.
- Kenneth R. M. and Joseph L. **Biology**. 3rd ed. Prentice-Hall, Inc. 1995.
- Scott, F. and Jon C. H. **Evolutionary Analysis**. Prentice-Hall, Inc. Simon&Schuster/ A Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey. 1998.
- Sylvia, S. M. **Biology Part 3 Biology of Evolution and Diversity**. 4th ed. Wm. C. Brown Communications, Inc. 1993.



อินเทอร์เน็ต (Internet)

1. บทเรียนออนไลน์และวีดีโอสำหรับครูและนักเรียน รวมทั้งคู่มือครูในการสอนเรื่องวิวัฒนาการ. (Online) Available: <http://www.pbs.org/wgbh/evolution/educators/index.html>. (Retrieved 20/4/10)
2. วิวัฒนาการ เช่น กำเนิดของสปีชีส์ มีเวชันมีอันตรรกะหรือไม่ ทฤษฎีชาลส์ ดาร์วินและหลักฐานเกี่ยวกับวิวัฒนาการ. (Online) Available: <http://www.talkorigins.org/origins/faqs-evolution.html>. (Retrieved 20/4/10)
3. วิวัฒนาการของมนุษย์ กิจกรรมเรียงลำดับการกำเนิดสิ่งมีชีวิตตั้งแต่อดีตจนถึงมนุษย์. (Online) Available: <http://www.becominghuman.org/>. (Retrieved 20/4/10)
4. ศูนย์ทดสอบออนไลน์พร้อมเฉลยสำหรับนักเรียน และมีเนื้อหาเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับวิวัฒนาการนำเสนอในรูปแบบ powerpoint สำหรับครูผู้สอน. (Online) Available: <http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072385790/>. (Retrieved 20/4/10)





คณะกรรมการปรับปรุงคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 4 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะกรรมการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 4

รศ.ดร. จงกล แก่นเพิ่ม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล	นักวิชาการอิสระ
ผศ.ดร.พัชณี สิงห์อาษา	นักวิชาการอิสระ
นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิสัย	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ดร.สุนัดดา โยมญาติ	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

ดร.พรพรรณ ไททองกูร	ผู้อำนวยการ
	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะกรรมการกิจ

รศ.ดร.ปรินทร์ ชัยวิสุทธิทางกูร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล	นักวิชาการอิสระ
ผศ.ดร.พัชณี สิงห์อาษา	นักวิชาการอิสระ
ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



คณะกรรมการพิจารณาคู่มีออกรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 4 (ฉบับร่าง)

รศ.ดร. จันทร์เพ็ญ จันทร์เจ้า	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปรีนทร์ ชัยวิสุทธิทางกูร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล	นักวิชาการอิสระ
ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา	นักวิชาการอิสระ
ผศ.สาส์ ดั่งคจิวางกูร	นักวิชาการอิสระ
นางสาววิริญญา สุขมี	โรงเรียนพัทลุง จ. พัทลุง
นางเพ็ญจันทร์ โชติรัตน์ศักดิ์	โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี จ. พิษณุโลก
นายอนุกุล ศรีจันทพงศ์	โรงเรียนบุญเหลือวิทยานุสรณ์ จ. นครราชสีมา
นายลิปป์แสง สุขผล	โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบวรนิเวศ ศาลายา จ. นครปฐม
นางเย็นจิตร เหลืองไตรรัตน์	โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จ. ขอนแก่น
นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิสัย	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร
นายณรงค์ พ่วงศรี	โรงเรียนเทพศิลา กรุงเทพมหานคร
ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นายสุทธิพงษ์ พงษ์วร	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาวอรสา ชูสกุล	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นายธีรพัฒน์ เวชประสิทธิ์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาวสาวิณีย์ หมูโสภณ	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ดร.สุนัดดา โยมญาติ	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาววิลาส รัตนานุกูล	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาวนภาพันธุ์ เรืองเสถียรทนต์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาวยุวศรี ต่ายคำ	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี





สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ชีววิทยา เล่ม ๔



ศึกษานิเทศก์พาณิชย์

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
นายสันติภาพ อินทรพัฒน์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา



www.suksapan.or.th