

ชุดกิจกรรม

เล่ม 1

โครโมโซม

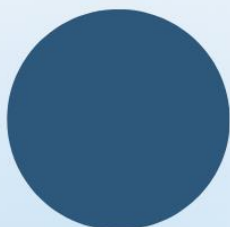
ชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E)



chromosome

จัดทำโดย

นางสุภาภรณ์ รอดเที่ยง
บ้านด่านลานหอยวิทยา



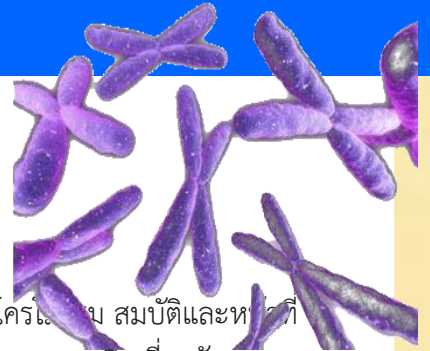
ชื่อ.....

เลขที่.....ชั้น.....



เล่มที่ 1

โครโมโซม



สาระชีววิทยา

2. เข้าใจการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม สมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม การเกิดมิวเทชัน เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ หลักฐานข้อมูลและแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก การเกิดสปีชีส์ใหม่ ความหลากหลายทางชีวภาพ กำเนิดของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต และอนุกรมวิธาน รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายสมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA และสรุปการจำลองดีเอ็นเอ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบของโครโมโซมและหลักการจำแนกโครโมโซมของโครโมโซม
2. อธิบายและสรุปความสัมพันธ์ในเชิงโครงสร้างระหว่างยีน DNA และโครโมโซม

สาระสำคัญ

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



แบบทดสอบก่อนเรียน
เล่มที่ 1 โครโมโซม

รายวิชาชีววิทยา รหัส ว30241
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

คำชี้แจง

1. แบบทดสอบเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ 10 คะแนน ใช้เวลา 10 นาที
2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ในกระดาษคำตอบ

1. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับลักษณะโครโมโซมของมนุษย์
 - ก. โครโมโซมมีลักษณะเป็นแท่งตลอดเวลา
 - ข. โครโมโซมในระยะเริ่มแบ่งเซลล์ 1 แท่ง จะประกอบด้วย 2 โครมาทิด
 - ค. โดยปกติโครโมโซมมีลักษณะเป็นสายยาวคล้ายเส้นด้าย เรียกว่า โครมาทิน
 - ง. เซนโทรเมียร์ อยู่บริเวณรอยคอดของโครโมโซมซึ่งอาจอยู่ตรงกลางหรือค่อนไปทางปลาย
2. ข้อใดกล่าวถูกต้อง
 1. ฮอโมโลกัสโครโมโซม คือ โครโมโซมคู่เหมือนซึ่งพบได้ในเซลล์สืบพันธุ์เท่านั้น
 2. ในเซลล์ร่างกายมีโครโมโซมเป็น $2n$ หรือจำนวนดิพลอยด์
 3. ในเซลล์สืบพันธุ์มีโครโมโซมเป็น n หรือจำนวนแฮพลอยด์
 - ก. ข้อ 1 และ ข้อ 2
 - ข. ข้อ 1 และ ข้อ 3
 - ค. ข้อ 2 และ ข้อ 3
 - ง. ข้อ 1 ข้อ 2 และ ข้อ 3
3. โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบโครโมโซมเรียกว่าอะไร
 - ก. โปรตีนฮิสโตน
 - ข. โปรตีนกลูเทลิน
 - ค. โปรตีนอัลบูมิน
 - ง. โปรตีนโกลบูลิน
4. เซลล์ในระยะใดเหมาะต่อการศึกษารูปร่าง ลักษณะของโครโมโซมมากที่สุด
 - ก. ระยะปกติที่ยังไม่มีการแบ่งเซลล์
 - ข. ระยะเมทาเฟสซึ่งโครโมโซมเรียงอยู่ตรงกลางเซลล์
 - ค. ระยะโปรเฟสซึ่งกำลังเกิดกระบวนการ คrossover (crossing over)
 - ง. ระยะอินเตอร์เฟสซึ่งมีการสะสมสารต่าง ๆ สำหรับการแบ่งเซลล์
5. โครโมโซมที่มีลักษณะเป็นเส้นเล็กลายขดพันกันอยู่ภายในนิวเคลียส เรียกว่าอะไร
 - ก. โปรตีน
 - ข. ดีเอ็นเอ
 - ค. โครมาทิน
 - ง. เซนโทรเมียร์

6. ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. สัตว์แต่ละชนิดจะมีโครโมโซมที่ไม่เท่ากัน แต่มีโครโมโซมรูปร่างคล้ายกัน
- ข. สัตว์ต่างชนิดกันอาจจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันได้ แต่มีลักษณะของโครโมโซมที่มีรูปร่าง ต่างกัน
- ค. สัตว์แต่ละชนิดจะมีจำนวนโครโมโซมที่เท่ากัน และมีลักษณะของโครโมโซมที่มีรูปร่างเหมือนกัน
- ง. ไม่มีข้อใดถูก

7. สารพันธุกรรมทั้งหมดของโครโมโซม 1 ชุดของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง ๆ เรียกว่าอะไร

- ก. เซลล์
- ข. จีโนม
- ค. ฮิสโตน
- ง. นิวคลีโอโซม

8. สิ่งมีชีวิตมีโครโมโซมของเซลล์ร่างกายมีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เรียกว่า

- ก. ชุดโครโมโซม
- ข. แฮพลอยด์
- ค. ดิพลอยด์
- ง. นิวคลีโอไทด์

9. นิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์เป็นสายยาว เรียกว่าอะไร

- ก. นิวคลีโอติก
- ข. โอลิโกนิวคลีโอไทด์
- ค. โอลิโกนิวคลีโอไทด์
- ง. พอลินิวคลีโอไทด์

10. ข้อใดหมายถึงโครโมโซม

- ก. ลักษณะซึ่งถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปสู่รุ่นหนึ่ง
- ข. เป็นสารประเภทที่อยู่ในบางที่พวกโปรตีนอัดแน่น
- ค. โครโมโซมไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
- ง. สารพันธุกรรมซึ่งกำหนดลักษณะต่าง ๆ

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียน
เรื่อง โครโมโซม

รายวิชาชีววิทยา รหัส ว30241

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ชื่อ - สกุล เลขที่

ข้อที่	คำตอบ			
	ก	ข	ค	ง
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				



คะแนนเต็ม	10 คะแนน
ได้	

ลงชื่อ (ผู้ประเมิน)

.....

(...../...../.....)



โครโมโซม

บัตรคำสั่ง

บัตรคำสั่ง



นักเรียนต้องสำรวจ ค้นหา และทำความเข้าใจในประเด็นหรือคำถามที่สนใจจะศึกษามีการวางแผน การสำรวจ ตรวจสอบ ตั้งสมมติฐาน กำหนดทางเลือก ลงมือปฏิบัติเพื่อเก็บข้อมูลสารสนเทศหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยการปฏิบัติดังนี้

1. นักเรียนอ่านเนื้อหาความรู้เรื่อง โครโมโซม โดยมีหัวข้อย่อยดังนี้
 - 1.1 ใบความรู้ที่ 1 การถ่ายทอดยีน
 - 1.2 ใบความรู้ที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างยีนและโครโมโซม
 - 1.3 ใบความรู้ที่ 3 โครโมโซม
 - 1.3.1 รูปร่าง ลักษณะและจำนวนโครโมโซม
 - 1.3.2 ส่วนประกอบของโครโมโซม
2. นักเรียนทำกิจกรรมที่ 1 เรื่อง การจัดเรียงโครโมโซม
3. นักเรียนทำแบบฝึกหัด เพื่อทบทวนความรู้
4. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อประเมินผลทางการเรียน

ใบความรู้ที่

การถ่ายทอดยีน

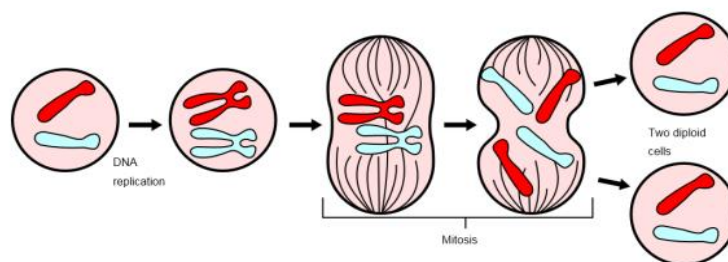
1



สิ่งมีชีวิตมีโครโมโซมซึ่งเป็นสารพันธุกรรมทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเซลล์ และถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิตสู่ลูกหลานต่อไป

การถ่ายทอดยีนและโครโมโซม

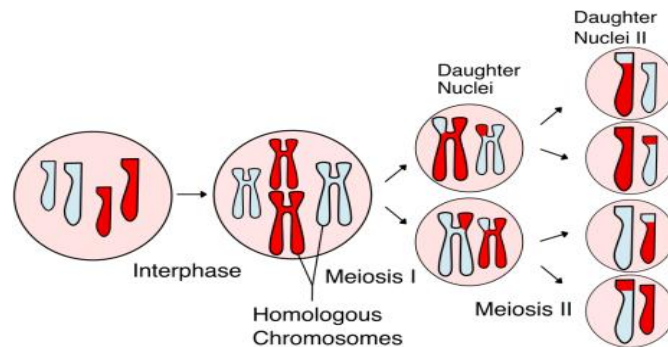
สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่แต่ละชนิดประกอบด้วยเพศที่แตกต่างกัน คือ เพศผู้และเพศเมียในกระบวนการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตเพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตรุ่นใหม่เกิดขึ้น จะเกิดจากการปฏิสนธิระหว่างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ คือ สเปิร์มและเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย คือ เซลล์ไข่ แล้วได้เป็นไซโกต ซึ่งจะมีการเจริญเติบโตและพัฒนาต่อไป ดังนั้น ยีนจากพ่อและแม่จะมีการส่งถ่ายสู่ลูก ด้วยกระบวนการดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์ได้ตั้งข้อสังเกตนี้มาตั้งแต่ศตวรรษที่ 17 นับตั้งแต่มีการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ เห็นการรวมตัวกันของสเปิร์มและเซลล์ไข่ของกบและหอยเม่น ต่อมาเมื่อมีการค้นพบสีย้อมนิวเคลียสในปี พ.ศ. 2423 จึงพบว่าในนิวเคลียสมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้น เรียกว่า **โครโมโซม** สีย้อมดังกล่าวทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมขณะที่มีการแบ่งเซลล์ และทำให้รู้จักการแบ่งเซลล์ 2 แบบ คือ การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ซึ่งพบว่ากระบวนการนี้เซลล์ลูกที่เกิดขึ้นจะมีโครโมโซมเหมือนกันทั้งหมด และมีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์เริ่มต้นที่ เรียกว่า **เซลล์ดิพลอยด์** และการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสที่มีผลทำให้เซลล์ลูกที่เกิดขึ้นมีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เริ่มต้น เรียกว่า **เซลล์แฮพลอยด์** ดังภาพประกอบภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ภาพแสดงการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/ไมโทซิส>

สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พ.ค.2564

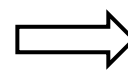


ภาพที่ 2 ภาพแสดงการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Meiosis> สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พ.ค.2564

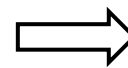
สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดที่พบเห็นได้ในธรรมชาติพบว่า มีรูปร่างลักษณะภายนอกที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว เช่น นกทุกชนิดมีปีกเป็นรยางค์ติดจากกระดูกช่วงอก แต่ในมนุษย์จะมีรยางค์เป็นแขนแทน ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันไปหรือแม้กระทั่งในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน ก็ยังมีความหลากหลายที่พบได้ในกลุ่มประชากรอีกด้วย เช่น มนุษย์ เราพบว่า มนุษย์มีทั้งผิวขาว ผิวเหลืองและผิวดำหรือพิจารณาจากเส้นผม ก็พบว่า มีทั้งที่เป็นเส้นผมตรง เส้นผมหยักศกและเส้นผมหยิก ลักษณะเฉพาะตัวของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดถูกกำหนดมาจากสารพันธุกรรมที่บรรจุไว้ภายในนิวเคลียสของเซลล์แต่ละเซลล์ สารพันธุกรรมดังกล่าวอยู่ในรูปของโครโมโซมคอยควบคุมการทำงานของเซลล์ กำหนดลักษณะของเซลล์และถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิตจากรุ่นพ่อแม่สู่ ลูกหลานต่อไป ที่กล่าวมานี้ ทำให้เข้าใจบทบาทของสารพันธุกรรมหรือโครโมโซมว่าเป็นตัวกำหนดลักษณะของสิ่งมีชีวิตอย่างไรและสามารถกำหนดลักษณะของสิ่งมีชีวิตได้อย่างไร ลักษณะดังกล่าวถูกถ่ายทอดจากสิ่งมีชีวิตรุ่นพ่อแม่ไปสู่ลูกหลานได้อย่างไร แล้วถ้าโครโมโซมเกิดผิดปกติไปจะส่งผลอย่างไรต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้น ในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจะมีหน่วยควบคุมลักษณะ (genetic unit) ควบคุม สิ่งมีชีวิตให้มีรูปร่างและลักษณะเป็นไปตามเผ่าพันธุ์ของพ่อแม่ เรียกว่า ยีน (gene) ดังนั้น ยีนจึงทำหน้าที่ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ จากบรรพบุรุษไปสู่รุ่นหลาน

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ลูกที่เกิดขึ้นจะมีโครโมโซมเหมือนกันทั้งหมด และมีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์เริ่มต้น



เซลล์ดิพลอยด์

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เซลล์ลูกที่เกิดขึ้นมีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เริ่มต้น

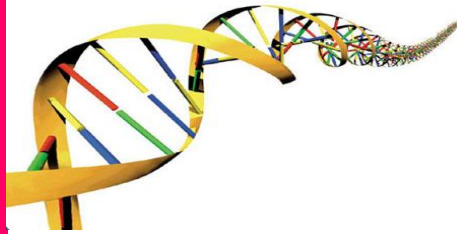


เซลล์แฮพลอยด์

ใบความรู้ที่

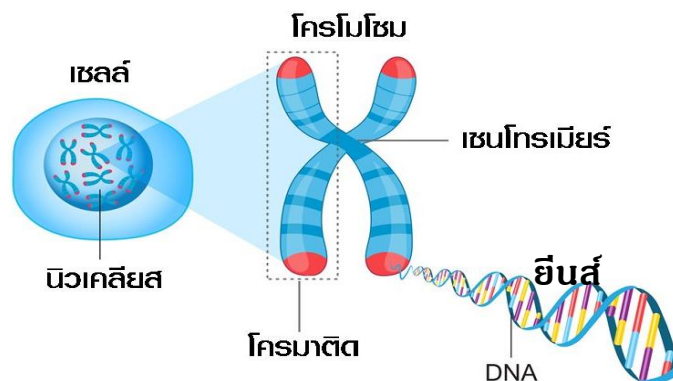
2

ความสัมพันธ์ระหว่างยีนและโครโมโซม



ซัตตัน เป็นบุคคลแรกที่เสนอทฤษฎีโครโมโซมในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยเสนอว่าสิ่งที่เรียกว่า แฟกเตอร์ ที่เมนเดลเคยเสนอนั้น ซึ่งต่อมาเรียกว่า ยีน โดยยีนน่าจะเป็นส่วนหนึ่งของโครโมโซม เพราะมีเหตุการณ์หลายอย่างที่ยีนและโครโมโซมมีความสอดคล้องกัน ดังนี้

1. ยีนมี 2 ชุด และโครโมโซมก็มี 2 ชุด
2. ยีนและโครโมโซมสามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกหลาน
3. ขณะที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส โครโมโซมมีการเข้าคู่กันและต่างแยกจากกันไปยังเซลล์ลูกที่เกิดขึ้นคนละเซลล์ ซึ่งลักษณะเดียวกันนี้ก็เกิดขึ้นได้กับยีนโดยมีการแยกตัวของแอลลีลทั้งสองไปยังเซลล์สืบพันธุ์
4. การแยกตัวของโครโมโซมที่เป็นคู่กันไปยังขั้วเซลล์ขณะที่มีการแบ่งเซลล์นั้นแต่ละคู่เกิดอย่างอิสระเช่นเดียวกับการแยกตัวของแต่ละแอลลีลไปยังเซลล์สืบพันธุ์
5. ขณะเกิดการสืบพันธุ์ การรวมตัวของเซลล์ไข่และสเปิร์มเกิดเป็นไซโกตเป็นไปอย่างสุ่ม ทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างชุดโครโมโซมจากเซลล์ไข่และสเปิร์มเป็นไปอย่างสุ่มด้วย ซึ่งเหมือนกับการที่ชุดของแอลลีลที่เกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อกลับมารวมกันอีกครั้งกับแอลลีล ในเซลล์สืบพันธุ์ของแม่ เมื่อมีการสืบพันธุ์ก็เป็นไปอย่างสุ่มเช่นกัน
6. ทุกเซลล์ที่พัฒนามาจากไซโกตจะมีโครโมโซมครึ่งหนึ่งจากแม่และอีกครึ่งหนึ่ง จากพ่อ ซึ่งยีนครึ่งหนึ่งก็มาจากแม่และอีกครึ่งหนึ่งก็มาจากพ่อเช่นกัน ทำให้ลูกที่เกิดมามีลักษณะแปรผันไปจากพ่อและแม่



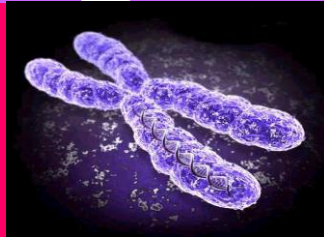
ภาพที่ 3 ยีน DNA และโครโมโซม

ที่มา : [https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/65256/-scibio-sci-](https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/65256/-scibio-sci-สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564)
สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

ใบความรู้ที่

โครโมโซม

3



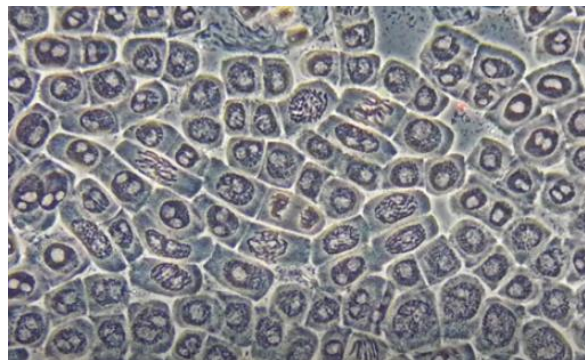
หลังจากที่เราเคยศึกษาเรื่องการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ถ้านำเซลล์รากหอมมาศึกษา จะเห็นโครโมโซมในเซลล์ทุกเซลล์หรือไม่



ภาพที่ 4 รากหอมที่ได้จากการเพาะ

ที่มา : http://smp-yru.blogspot.com/2019/11/blog-post_12.html

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

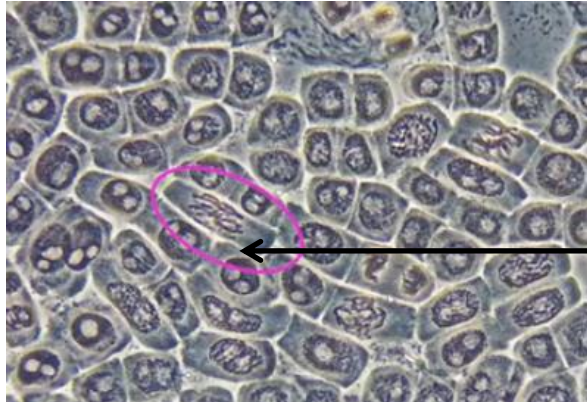


ภาพที่ 5 เซลล์ปลายรากหอมที่เรานำมาใช้ศึกษาเรื่องการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

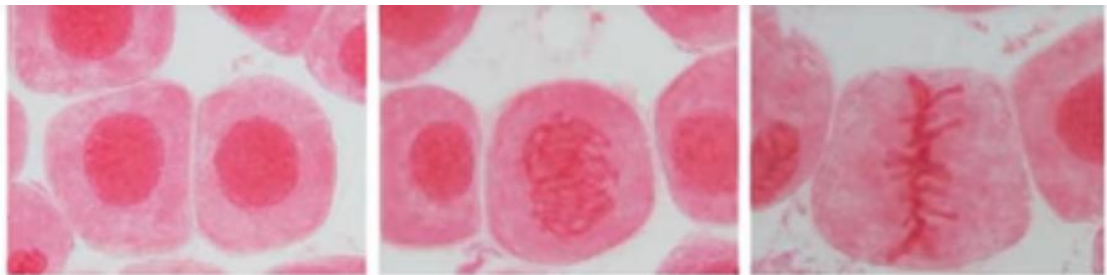
สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

เซลล์รากหอมจะเห็นโครโมโซมในเซลล์บางเซลล์เท่านั้น ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่แล้วไม่สามารถเห็นโครโมโซมภายในเซลล์ได้ นั่นขึ้นอยู่กับว่าเซลล์แต่ละเซลล์นั้นอยู่ในระยะใดของการแบ่งเซลล์



เซลล์ที่มองเห็นโครโมโซม

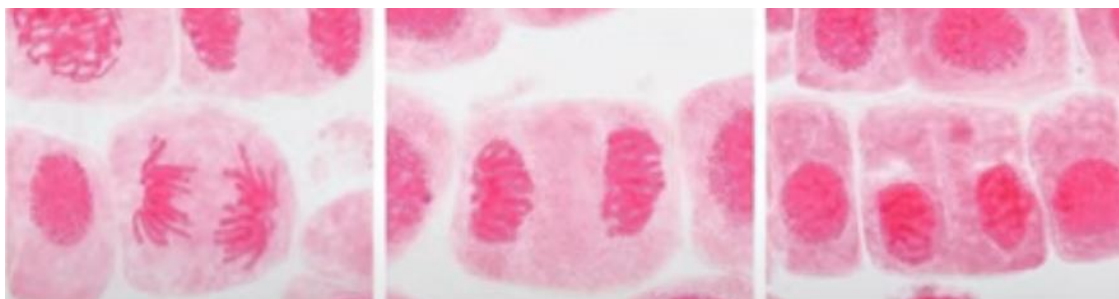
เริ่มเห็นโครโมโซมในระยะใดของการแบ่งนิวเคลียส



อินเทอร์เฟส

โพรเฟส

เมทาเฟส



แอนาเฟส

เทโลเฟส

การแบ่งไซโตพลาสซึม

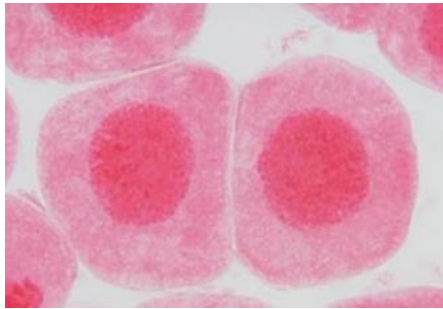
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในนิวเคลียสระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส บริเวณปลายรากหอม

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

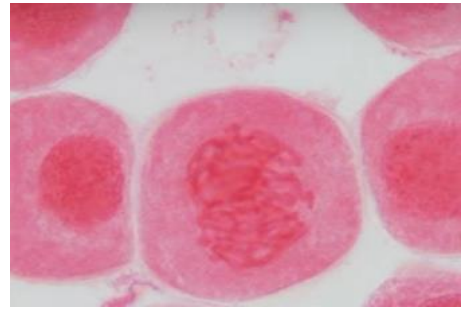
สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

เราจะเห็นโครโมโซมในระยะโพรเฟส ของการแบ่งนิวเคลียส

สำหรับเซลล์ยูคาริโอตในระยะอินเทอร์เฟสจะมองเห็นโครมาตินในนิวเคลียส และเมื่อมีการแบ่งเซลล์ในระยะโพรเฟส โครมาตินจะมีการหดตัว ทำให้หนาขึ้นและสั้นลง จึงทำให้เรามองเห็นเป็นโครโมโซม



ระยะอินเตอร์เฟส

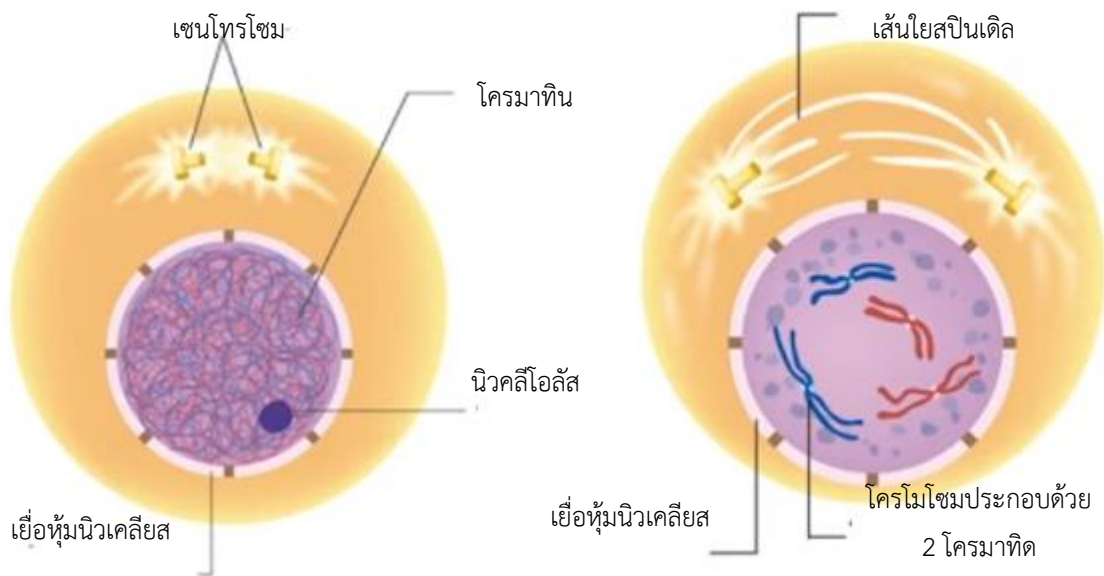


ระยะโปรเฟส

ภาพที่ 7 เซลล์ปลายรากหอม

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564



ภาพที่ 8 ภาพวาดเซลล์สัตว์

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

การแบ่งเซลล์

การแบ่งเซลล์ กระบวนการสืบพันธุ์ การเจริญเติบโตและซ่อมแซม เนื่องจากทั้ง 3 กระบวนการนี้ล้วนอาศัยการเพิ่มจำนวนของเซลล์ผลของการแบ่งเซลล์ทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลง แต่มีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้สิ่งมีชีวิตนั้นโตขึ้น

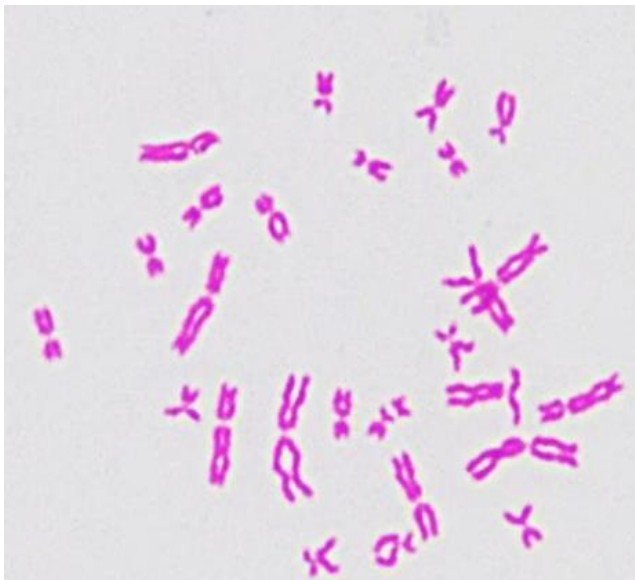
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส และไมโอซิส

ลักษณะสำคัญของไมโทซิส และไมโอซิส	
ไมโทซิส (Mitosis)	ไมโอซิส (Meiosis)
1. จำนวนโครโมโซมหลังการแบ่งยังเท่าเดิม	1. จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง เนื่องจาก การแยกตัวของโฮโมโลกัสโครโมโซม
2. กระบวนการแบ่งเซลล์เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว โดยมีการจำลองตัวเองของโครโมโซม แล้วแยกไป ยังขั้วเซลล์ทั้งสอง จากนั้นแบ่งไซโทพลาซึมได้เป็น 2 เซลล์	2. กระบวนการแบ่งเซลล์มี 2 ครั้ง ครั้งแรกแบ่ง เพื่อแยกโฮโมโลกัสโครโมโซม ครั้งที่ 2 จะแบ่งเพื่อ แยกโครมาทิดและหลังมีการแบ่ง นิวเคลียสและ แบ่งไซโทพลาซึมทั้ง 2 ครั้งแล้วจะได้เซลล์ใหม่ 4 เซลล์
3. โครโมโซมไม่มีการเข้าคู่กันไม่มีการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนของโฮโมโลกัสโครโมโซม	3. เกิดการเข้าคู่กันของโฮโมโลกัสโครโมโซมทำให้ เกิด crossing overและมีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน ของโครโมโซม
4. องค์ประกอบทางพันธุกรรมและโครโมโซม ของเซลล์ใหม่ทั้งสองเซลล์จะเหมือนกัน	4. องค์ประกอบทางพันธุกรรมและโครโมโซม ใน เซลล์ใหม่อาจแตกต่างกันบ้าง เนื่องจากมี การ crossing over
5. จำนวนโครโมโซมในเซลล์ทั้งสองจะเท่ากับ เซลล์เดิม	5. จำนวนโครโมโซมของเซลล์ใหม่จะมีเพียง ครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม
6. เซลล์ใหม่ที่ได้แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้อีก	6. เซลล์ใหม่ที่ได้ไม่สามารถแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ได้อีกแต่อาจแบ่งแบบไมโทซิสได้
7. โดยปกติจะเกิดที่เซลล์ร่างกายของสัตว์และ เนื้อเยื่อเจริญของพืช	7. เกิดกับเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นเซลล์สืบพันธุ์ เท่านั้น
8. กระบวนการจะเกิดตั้งแต่ไซโกตหรือเอ็มบริโอ ไปเรื่อย ๆ	8. กระบวนการจะเกิดในพืชหรือสัตว์ที่สืบพันธุ์ ได้แล้วเท่านั้น

โครโมโซม

โครโมโซม (Chromosome) เป็นที่เก็บของหน่วยพันธุกรรม ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและถ่ายทอดข้อมูล เกี่ยวกับลักษณะทางพันธุกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะของเส้นผม ลักษณะดวงตา เพศ และสีผิว

จากที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์มาแล้วนั้น เซลล์ยูแคริโอตในระยะอินเตอร์เฟสจะเห็นโครมาตินอยู่ในนิวเคลียส เมื่อมีการแบ่งนิวเคลียสในระยะโพรเฟส โครมาตินจะมีการขดตัวทำให้นานขึ้นหรือสั้นลง เรียกว่า **โครโมโซม**



ภาพที่ 9 โครโมโซมของกบนา



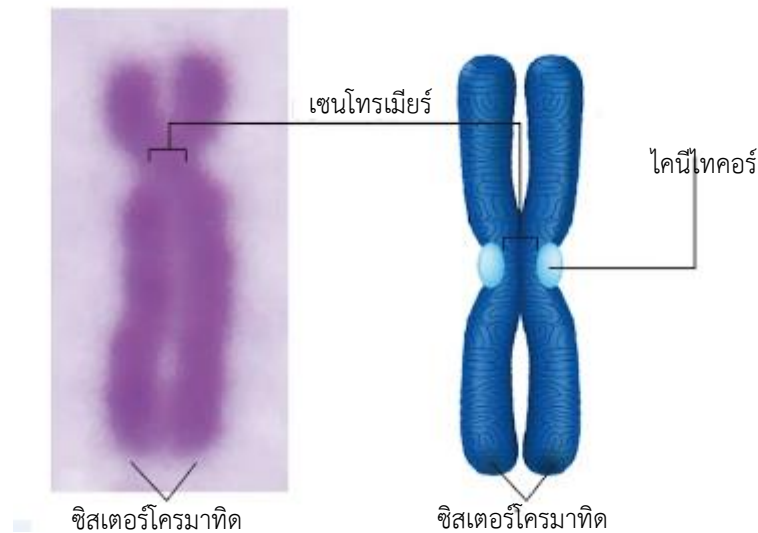
ภาพที่ 10 โครโมโซมของมนุษย์

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

โครโมโซมของกบนา (*Haplochromis rugulosus*) มีจำนวน 26 โครโมโซม โครโมโซมของมนุษย์มี 46 โครโมโซม พบว่ามีโครโมโซมของกบนาจะมีขนาดที่แตกต่างกัน มีทั้งขนาดแท่งยาวและสั้น ส่วนของมนุษย์จะมีลักษณะแท่งยาวและสั้นกว่า

แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด ซึ่งเราเรียกว่า **ซิสเตอร์โครมาทิด** เชื่อมต่อกันตรงบริเวณเซนโทรเมียร์



ภาพที่ 11 โครงสร้างของโครโมโซม
ที่มา : <http://www.Google.site.com>
สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

คำถามชวนคิด



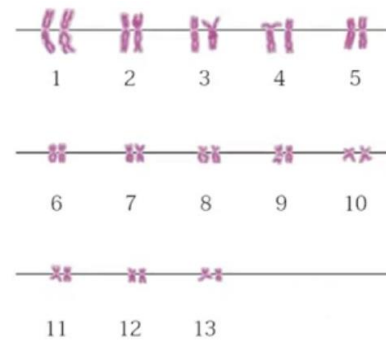
❶ สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันจะมีจำนวนโครโมโซมต่างกันเสมอหรือไม่ และมีรูปร่างลักษณะของโครโมโซมแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไรและใช้อะไรเป็นเกณฑ์

❷ รูปร่างลักษณะของโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

จากคำถามทั้ง 2 ข้อ สรุปได้ว่า สิ่งมีชีวิต 2 สปีชีส์นี้มีจำนวนโครโมโซมที่ต่างกัน คือ กบนา มี 26 โครโมโซม ส่วนมนุษย์มี 46 โครโมโซม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากขนาดของโครโมโซม และตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ พบว่า โครโมโซมของกบนาและมนุษย์มีรูปร่างลักษณะทั้งที่คล้ายกัน และแตกต่างกันและเมื่อพิจารณาโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตหนึ่ง ๆ พบว่ามีขนาดและรูปร่างลักษณะที่คล้ายกันและแตกต่างกันด้วย

รูปร่าง ลักษณะ และจำนวนโครโมโซม

โดยปกติแล้วเมื่อนำเซลล์มาย้อมดูโครโมโซมจะพบเซลล์ทั่วไปอยู่ในระยะของการแบ่งเซลล์ หากพิจารณารูปร่างของโครโมโซมตั้งแต่เริ่มกระบวนการแบ่งเซลล์ หรือในระยะอินเตอร์เฟส เซลล์จะมีการขยายขนาดใหญ่ขึ้น DNA จะจับกับก้อนโปรตีนมองเห็นเป็นลักษณะเส้นยาวขดพัน กันไปมาแต่ไม่เป็นรูปแท่ง เรียกว่า **โครมาติน (Chromatin)** สายโครมาตินที่เห็นจะเริ่มทำการขดพันกันแน่นมองเห็นลักษณะเป็นแท่งเกิดขึ้น ลักษณะดังกล่าวคือ โครโมโซม (Chromosome)



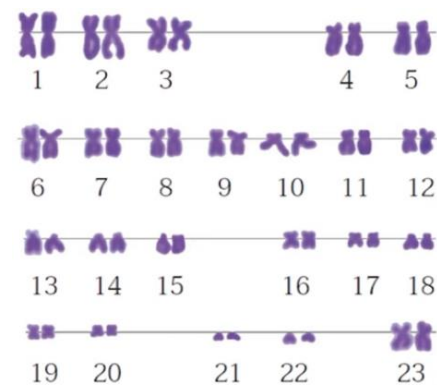
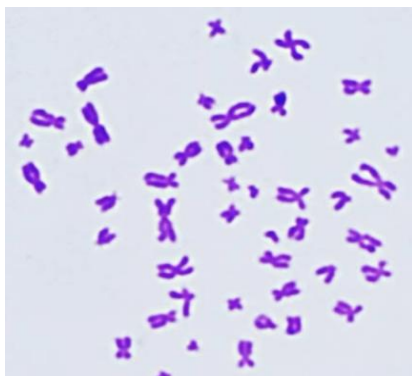
ภาพที่ 12 โครโมโซมของกบนา

ภาพที่ 13 แคริโอไทป์ของกบนา

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

จากภาพโครโมโซมของกบนา เมื่อจัดเรียงโครโมโซมตามขนาดและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ หรือที่เรียกว่าการจัดทำ **แคริโอไทป์ (karyotype)** การจัดทำแคริโอไทป์จะนิยมใช้โครโมโซมใน **ระยะเมตาเฟส** เนื่องจากโครโมโซมจะมีการขดตัวและมีขนาดใหญ่ขึ้นและสั้นลง จึงเป็นระยะที่มองเห็นโครโมโซมได้ชัดเจนที่สุด การจัดเรียงโครโมโซมของกบนาจะได้ทั้งหมด 13 คู่



ภาพที่ 14 โครโมโซมของมนุษย์

ภาพที่ 15 แคริโอไทป์ของมนุษย์

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

โครโมโซมของมนุษย์จาก 46 โครโมโซม สามารถนำมาจัดเรียงแคริโอไทป์ได้ 23 คู่ ซึ่งการจับคู่ของโครโมโซมจะนำลักษณะโครโมโซมที่มีรูปร่างลักษณะเหมือนกันมาวางไว้เป็นคู่กัน เราเรียกโครโมโซมแต่ละคู่ว่า **ฮอโมโลกัสโครโมโซม (homologous chromosome)**

เราสามารถจำแนกโครโมโซมได้ตามขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ โดยโครโมโซมอาจมีรูปร่างได้หลายแบบ

ตามขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์

เมื่อพิจารณาดำแหน่งของเซนโทรเมียร์ พบว่า

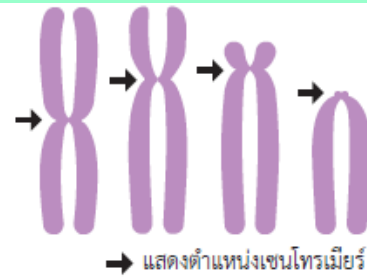
สิ่งมีชีวิตสปีชีส์หนึ่งอาจมีโครโมโซมที่มีรูปร่าง

แบบเดียวหรือหลายแบบก็ได้

สิ่งมีชีวิตที่เป็นดิพลอยด์จะมีโครโมโซม

ในเซลล์ร่างกายเหมือนกัน 2 ชุด ($2n$) โดยทั่วไป

สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีจำนวนโครโมโซมคงที่



→ แสดงตำแหน่งเซนโทรเมียร์

ภาพที่ 16 โครโมโซมแบบต่าง ๆ

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พ.ค.2564

เซลล์ดิพลอยด์ คือ เซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับจำนวน
เซลล์เริ่มต้น ซึ่งเป็นผลมาจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ตารางที่ 1 จำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่าง ๆ

สัตว์	จำนวน โครโมโซม ($2n$)	พืช	จำนวน โครโมโซม ($2n$)
สุนัข (Canis familiaris)	78	ฝ้าย (Gossypium hirsutum)	52
ไก่ (Gallus domesticus)	78	ยาสูบ (Nicotiana tabacum)	48
ม้า (Equus calibus)	64	มันฝรั่ง (Solanum tuberosum)	48
ลา (Equus asinus)	62	สน (Pinus ponderosa)	24
มนุษย์ (Homo sapiens)	46	มะเขือเทศ (Lycopersicon esculentum)	24
หนู (Mus musculus)	40	ข้าว (Oryza sativa)	24
แมว (Felis domesticus)	38	แตงโม (Citrullus vulgaris)	22
ผึ้ง (Apis mellifera)	32	ข้าวโพด (Zea mays)	20
กบ (Rana pipiens)	26	กะหล่ำปลี (Brassica oleracea)	18
แมลงวัน (Musca domestica)	12	มะละกอ (Carica papaya)	18
แมลงหวี่ (Drosophila melanogaster)	8	หอม (Allium cepa)	16
ยุงก้นปล่อง (Anopheles dirus)	6	ถั่วลันเตา (Pisum sativum)	14

คำถามชวนคิด



1 นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้จำนวนโครโมโซมในการระบุพืชของสิ่งมีชีวิตได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

2 ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในตาราง มีจำนวนโครโมโซมที่เป็นเลขคู่เพราะเหตุใด

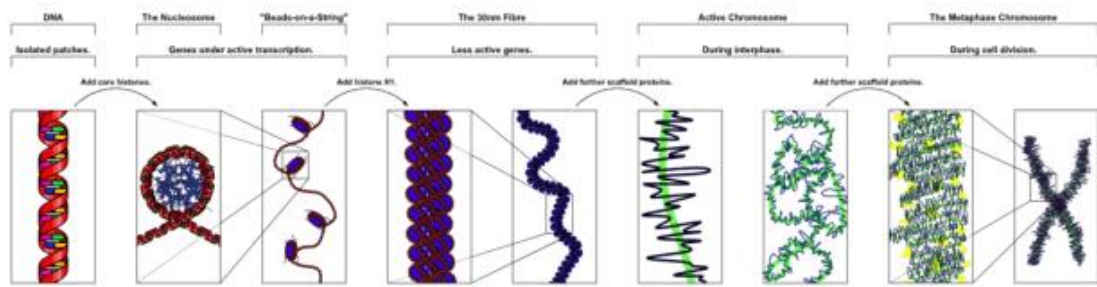
สปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตได้ เพราะสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันอาจมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันก็ได้ เช่น สุนัขเห็บเทศ และข้าว มีความจำนวนโครโมโซม 24 โครโมโซมเท่ากัน จากตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในตารางเป็นจำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่เป็น diploid ($2n$) สิ่งมีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้รับโครโมโซมชุดหนึ่งมาจากพ่อและอีกชุดหนึ่งมาจากแม่ จำนวนโครโมโซมจึงเป็นเลขคู่เสมอ

ส่วนประกอบของโครโมโซม

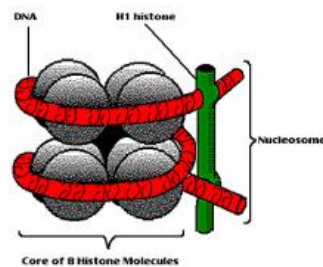
โครโมโซมเกิดจากขดตัวพันกันแน่นของสายโครมาติน และสายโครมาตินเกิดจากการพันกันของสายดีเอ็นเอกับก้อนโปรตีน ดังนั้นหากนำเอาโครโมโซมมาพิจารณาถึงส่วนประกอบแล้วจะพบว่าโครโมโซมของยูแคริโอตประกอบด้วย

- 1 ใน 3 ส่วนเป็น DNA
- 2 ใน 3 ส่วนเป็นโปรตีน
 - ฮิสโตน (histone) ส่วนใหญ่เป็นไลซีนและอาร์จินีน
 - นอนฮิสโตนโปรตีน (non-histone protein)

จากการศึกษาพบว่า ฮิสโตนเป็นโปรตีนที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดแอมิโนที่มีประจุบวก เช่น ไลซีนและอาร์จินีน เนื่องจากสายดีเอ็นเอ จะมีประจุเป็นลบจากหมู่ฟอสเฟตใน โครงสร้างจึงทำให้สามารถยึดจับกับโปรตีนฮิสโตนที่มีประจุบวกได้เป็นอย่างดีเกิดเป็นโครมาตินเกิดขึ้น สายดีเอ็นเอในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงบางชนิดมีความยาวรวมกว่า 1 เมตร สามารถพันเก็บอยู่ในนิวเคลียสของเซลล์ได้โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 1 ไมโครเมตร



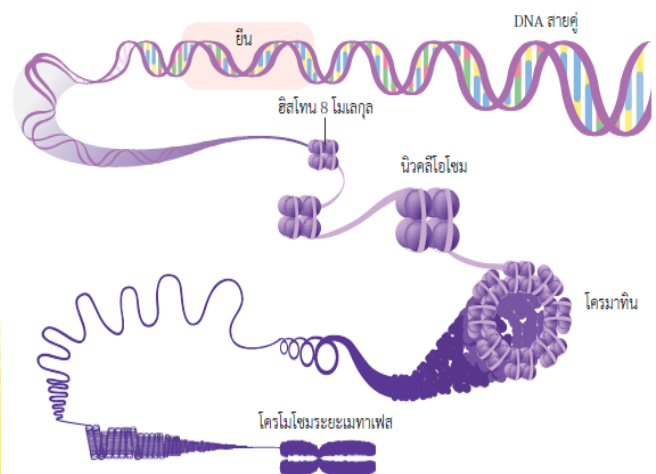
ภาพที่ 17 ภาพแสดงโครงสร้างของโครโมโซมในนิวเคลียส
ที่มา : <https://th.wikipedia.org> สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ค.2564



ภาพที่ 18 ภาพแสดงลักษณะของนิวคลีโอโซม
ที่มา : <https://www.thaibiotech.info/what-is-nucleosome.php>
สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ค.2564

ส่วนโปรตีนนอน-ฮิสโตนมีจำนวนมากหลายชนิดโดยจะเป็นโปรตีนที่มีความสามารถในการเข้าจับกับสายดีเอ็นเอได้เหมือนกัน แต่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโปรตีนแกนให้สายดีเอ็นเอมาพันติด แต่จะทำหน้าที่อื่น ๆ แทน เช่น ทำหน้าที่เป็นแกนหลัก ในการเกิดโครงสร้างโครโมโซม โดยช่วยในเรื่องการขดตัวของนิวคลีโอโซม

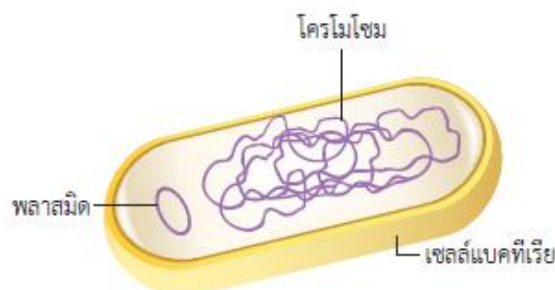
DNA เป็นเส้น (linear DNA) สายคู่ 1 เส้น พันรอบกลุ่มฮิสโตน 8 โมเลกุล ทำให้มีรูปร่างคล้ายลูกปัด เรียกโครงสร้างนี้ว่า **นิวคลีโอโซม (nucleosome)** และนิวคลีโอโซมม้วนพันกันเป็น **โครมาติน** โครมาตินในระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียสจะมีการขดตัวทำให้หนาขึ้นและสั้นลงมองเห็นเป็นโครโมโซม



ภาพที่ 19 ส่วนประกอบโครโมโซมของยูแคริโอต
ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>
สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ค.2564

สาย DNA บางช่วงทำหน้าที่กำหนดลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งเรียก DNA ช่วงนั้นว่า **ยีน (gene)** ในเซลล์ยูแคริโอตนอกจากพบ DNA ในนิวเคลียสแล้ว ยังพบ DNA ในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ อีกด้วย

โครโมโซมของเซลล์โพรแคริโอต เช่น แบคทีเรีย มีจำนวนโครโมโซมชุดเดียว และมีโครโมโซมเป็นวงอยู่ในไซโทพลาสซึม โครโมโซมของแบคทีเรียประกอบด้วย DNA สายคู่ที่เป็นวง 1 โมเลกุลและโครโมโซมนี้จะไม่มีฮิสโตนเป็นองค์ประกอบ แต่มีโปรตีนชนิดอื่นที่คล้ายฮิสโตนช่วยในการขดตัวแน่น นอกจากนี้ในแบคทีเรียบางชนิดยังมีพลาสมิด (plasmid) ซึ่งเป็น DNA สายคู่ที่เป็นวงขนาดเล็กอยู่นอกโครโมโซมของแบคทีเรีย อีกด้วย



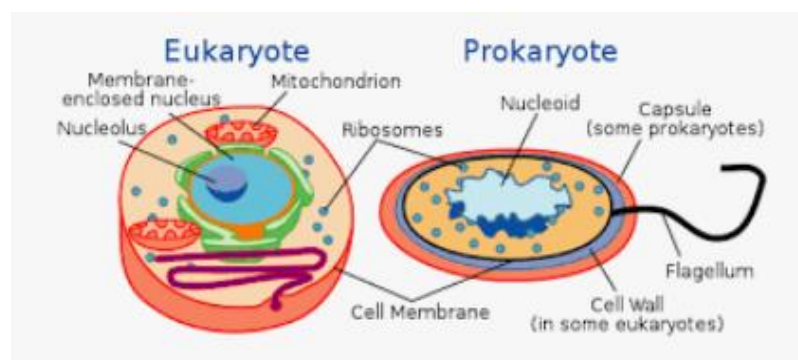
ภาพที่ 20 โครโมโซมและพลาสมิดภายในเซลล์แบคทีเรีย

โพรแคริโอต (Prokaryote)

เป็นสิ่งมีชีวิตที่ประกอบด้วย ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม ไม่มีนิวเคลียส มักเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ตัวอย่างของโพรแคริโอต ได้แก่ แบคทีเรีย อาร์เคีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ยูแคริโอต (Prokaryote)

เป็นสิ่งมีชีวิตที่เซลล์มีนิวเคลียสและออร์แกเนลล์อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวหลายชนิดเป็นยูแคริโอต เช่น โปรโตซัว แต่สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ทุกชนิด เป็น ยูแคริโอต ซึ่งได้แก่ สัตว์ พืช และเห็ดรา



ภาพที่ 21 จำลองสิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอต และโพรแคริโอต

ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/> สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ค.2564



โครโมโซมของยูแคริโอตประกอบด้วย DNA 1 ใน 3 และอีก 2 ใน 3 เป็นโปรตีน ได้แก่ ฮิสโตนและนอนฮิสโตนโปรตีน นิวคลีโอโซมเป็นโครงสร้างของโครโมโซมของยูแคริโอต ประกอบด้วยฮิสโตน 8 โมเลกุล มี DNA ยาวประมาณ 150 คู่เบสพันรอบเป็นเกลียว แต่ละนิวคลีโอโซมเชื่อมกันด้วย DNA ความยาวประมาณ 50 คู่เบส โครโมโซมของยูแคริโอตจะมีลักษณะเป็นแท่ง แต่โครโมโซมของโพรแคริโอตจะมีลักษณะเป็นวงและมีขนาดเล็ก

สารพันธุกรรมที่พบในนิวเคลียสสำหรับเซลล์ยูคาริโอตหรือในนิวคลีโออยด์สำหรับโพรแคริโอตทั้งหมดของโครโมโซม 1 ชุด ของสิ่งมีชีวิตหนึ่ง ๆ เรียกว่า **จีโนม (Genome)** สาย DNA ที่เป็นแหล่งเก็บข้อมูลทางพันธุกรรมของจีโนมจึงถูกเรียกว่า **จีโนมดีเอ็นเอ (Genome DNA)** จากการศึกษาสิ่งมีชีวิตบางสปีชีส์พบว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีขนาดของจีโนม จำนวนโครโมโซมและจำนวนยีนแตกต่างกัน มีการศึกษาจีโนมเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งของยีน ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนและหน้าที่ของยีนเพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ

แต่เดิม จีโนม หมายถึง ข้อมูลทางพันธุกรรมทั้งหมดของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง โดยใช้กับไวรัสและโพรแคริโอต ส่วนในยูแคริโอตนั้น จีโนม หมายถึง ข้อมูลทางพันธุกรรมของเซลล์แฮพลอยด์ แต่ในปัจจุบัน จีโนมอาจหมายถึง สารพันธุกรรมทั้งหมดภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยสารพันธุกรรมในนิวเคลียส ไมโทคอนเดรีย และคลอโรพลาสต์

ตาราง 2 แสดงขนาดของจีโนม จำนวนโครโมโซมและจำนวนยีนของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่าง ๆ

สิ่งมีชีวิต	ขนาดของจีโนม (ล้านคู่เบส)	จำนวนโครโมโซม	จำนวนยีน
มนุษย์	3,000	46	25,000
หนู	3,100	40	25,000
ต้นอะราบิดอพซิส	120	10	25,000
ยีสต์	15	32	6,000
แบคทีเรีย	4	1	4,000

จากข้อมูลในตารางเกี่ยวกับขนาดของจีโนม จำนวนโครโมโซม และจำนวนยีนโดยประมาณของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีขนาดของจีโนมแตกต่างกัน สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น ยีสต์และแบคทีเรียจะมีขนาดของจีโนมค่อนข้างเล็ก

คำถามชวนคิด



1 ยูแคริโอตเซลล์เดียวและหลายเซลล์มีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนที่แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

2 เพราะเหตุใดมนุษย์จึงมีจำนวนยีนมากกว่ายีสต์และแบคทีเรีย

ยูแคริโอตเซลล์เดียวและหลายเซลล์จะมีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนที่แตกต่างกัน ยูแคริโอตเซลล์เดียว เช่น ยีสต์จะมีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนน้อยกว่ายูแคริโอตหลายเซลล์ และมนุษย์มีจำนวนยีนมากกว่ายีสต์และแบคทีเรีย เพราะมนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความซับซ้อนมากกว่า จึงต้องการโปรตีนเพื่อใช้เป็นโปรตีนโครงสร้าง และเอนไซม์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ มากกว่า



เพิ่มเติมเสริมความรู้



Arabidopsis thaliana เป็นพืชต้นแบบในการศึกษาพันธุกรรมพืช เนื่องจากมีลักษณะเหมาะสมในการศึกษา คือ เป็นพืชดอกขนาดเล็กเจริญเติบโตเร็ว วัฏจักรชีวิตสั้นจีโนมมีขนาดเล็กประมาณ 135 ล้านคู่เบส และทราบลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนมแล้ว

ภาพที่ 22 ต้นอะราบิโดพซิส

ที่มา : <https://www.constantinealexander.net/2012/05/how-plants-chill-out.html>

สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ค.2564

กิจกรรมที่ 1

เรื่อง การจัดเรียงโครโมโซม

จุดประสงค์ของกิจกรรม

ทดลองจัดเรียงตัวอย่างโครโมโซม พร้อมทั้งอธิบายลักษณะของโครโมโซมได้

อุปกรณ์

กรรไกร และกา

คำชี้แจง

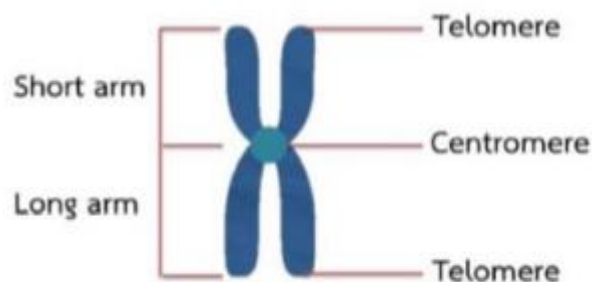
1. ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของโครโมโซมจากเนื้อหาด้านล่างนี้
2. ตัดภาพตัวอย่างโครโมโซมของมนุษย์ แล้วจับคู่โครโมโซมในช่อง (ก) กับ (ข)

โดยพิจารณาจากลักษณะและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ แล้วจัดเรียงลงในตารางบันทึกผลกิจกรรม จากคู่ที่ใหญ่ที่สุดไปเล็กที่สุดเรียงลำดับต่อจากที่มีในตาราง



ลักษณะของโครโมโซม

โครโมโซม (Chromosome) คือ สารพันธุกรรมซึ่งกำหนดลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต พบในนิวเคลียสของเซลล์ การศึกษาจำนวนและรูปร่างของโครโมโซมจะนิยมศึกษาจากเซลล์ที่กำลังแบ่งตัวอยู่ในระยะเมทาเฟส ซึ่งโครโมโซมหดตัวแน่นที่สุดทำให้เห็นโครโมโซมแต่ละแท่งชัดเจน ลักษณะของโครโมโซมประกอบด้วย 1) เซนโทรเมียร์ 2) แขนของโครโมโซม และ 3) ส่วนปลายของโครโมโซม หรือ เทโลเมียร์ (Telomere) เซนโทรเมียร์ เป็นบริเวณที่โครมาทิดเชื่อมต่อกันเกิดเป็นรอยคอดเข้าและเป็นตำแหน่งที่แบ่งแขนของโครโมโซมออกเป็นสองส่วน คือ แขนข้างสั้น (Short arm) และแขนข้างยาว (Long arm)



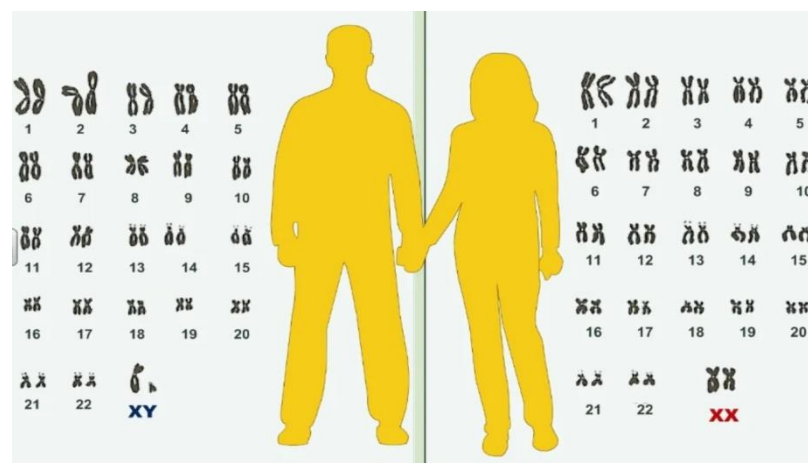
ภาพที่ 23 โครงสร้างของโครโมโซม

ที่มา : <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/65256/-scibio-sci->
สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ค.2564

โครโมโซมสามารถจำแนกโดยใช้ตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ที่แตกต่างกันเป็น 4 แบบ ดังภาพ

			
Metacentric Chromosome เซนโทรเมียร์ อยู่กึ่งกลางโครโมโซม ทำให้แขนทั้งสองข้าง ของโครโมโซม มีความยาวเท่ากัน	Submetacentric Chromosome เซนโทรเมียร์ อยู่ค่อนข้างใกล้ด้านใดด้าน หนึ่งของโครโมโซม ทำให้เกิดเป็นแขนข้าง สั้นและแขนข้างยาว	Acrocentric Chromosome เซนโทรเมียร์ อยู่เกือบปลายสุดของ โครโมโซม ทำให้แขน ข้างสั้นมีขนาดสั้นมาก และแขนข้างยาวมี ความยาวมากกว่า แขนที่สั้นมาก	Telocentric Chromosome เซนโทรเมียร์ อยู่ปลายสุดของ โครโมโซม ทำให้ โครโมโซม มีแขนข้าง ยาวเพียงอย่างเดียว

มนุษย์มีโครโมโซม 23 คู่ จัดเป็นโครโมโซมร่างกาย (Somatic chromosome) หรือออโตโซม (Autosome) 22 คู่ ออโตโซมเป็นโครโมโซมที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของร่างกายและจะมีเหมือนกันทั้งเพศชายและเพศหญิงอีก 1 คู่เป็นโครโมโซมเพศ (Sex chromosome) หรือ อัลโลโซม (Allosome) มี 2 แบบ คือ โครโมโซม X และโครโมโซม Y เพศหญิงจะมีโครโมโซม X 1 คู่ (XX) ส่วนเพศชายจะมีทั้งโครโมโซม X และโครโมโซม Y (XY)

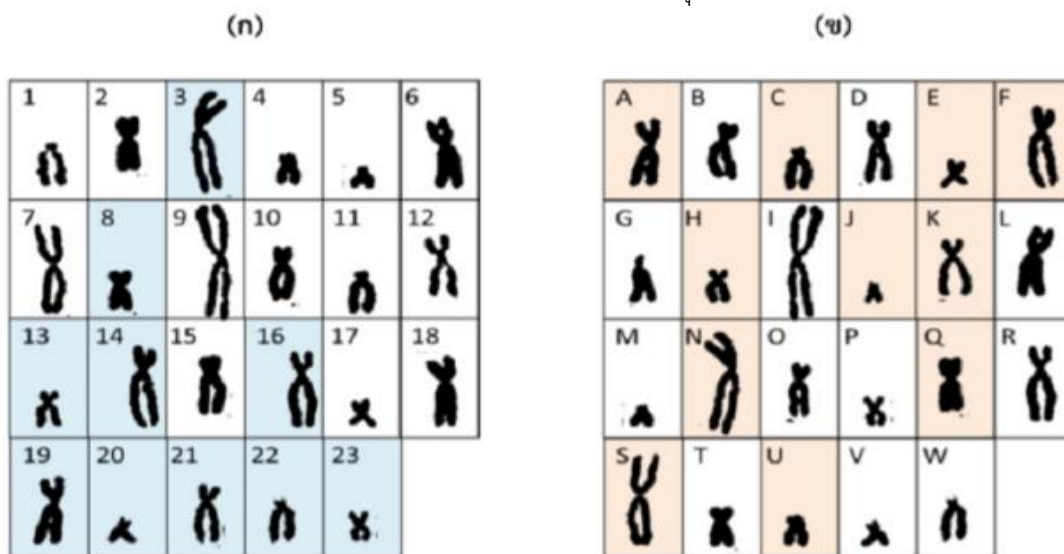


ภาพที่ 24 โครโมโซมของมนุษย์เพศหญิง (XX) และเพศชาย (XY)

ที่มา : <http://www.guam.net/pub/>

สืบค้นเมื่อวันที่ 11 พ.ค.2564

ภาพตัวอย่างโครโมโซมของมนุษย์



ตัดช่องที่แรเงา



ไปจัดเรียงในตารางบันทึกผลกิจกรรม

(ดัดแปลงกิจกรรมจาก : พิมพ์ฉัตร เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข. 2546 : 20-22)

ตารางบันทึกผลกิจกรรม

9I		7		R	6L
คู่ที่ 1	คู่ที่ 2	คู่ที่ 3	คู่ที่ 4	คู่ที่ 5	คู่ที่ 6
	15B	12D		2	10O
คู่ที่ 7	คู่ที่ 8	คู่ที่ 9	คู่ที่ 10	คู่ที่ 11	คู่ที่ 12
W	1G	11	T		4
คู่ที่ 13	คู่ที่ 14	คู่ที่ 15	คู่ที่ 16	คู่ที่ 17	คู่ที่ 18
P	17	5M	V	18	
คู่ที่ 19	คู่ที่ 20	คู่ที่ 21	คู่ที่ 22	X Y คู่ที่ 23	

คำถามท้ายกิจกรรม

1. จากตัวอย่างโครโมโซมของมนุษย์ในตารางบันทึกผลกิจกรรม มีโครโมโซมทั้งหมด คู่ แบ่งจำนวน คู่ และมีโครมาทิดทั้งหมด โครมาทิด
2. โครโมโซมร่างกาย ได้แก่ โครโมโซมคู่ใดบ้าง
โครโมโซมเพศ ได้แก่ โครโมโซมคู่ใด และบ่งชี้ว่าเป็นเพศใด
3. โครโมโซมที่เป็น Metacentric chromosome ได้แก่
โครโมโซมที่เป็น Submetacentric chromosome ได้แก่
โครโมโซมที่เป็น Acrocentric chromosome ได้แก่

สรุปความรู้



1. การจำแนกโครโมโซมสามารถทำได้โดยใช้ขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งเซนโทรเมียร์
 2. DNA พันรอบกลุ่มฮิสโตน 8 โมเลกุลได้เป็นนิวคลีโอโซม และนิวคลีโอโซมม้วนพันกันเป็นโครมาทิน โครมาทินมีการขดตัวทำให้หนาขึ้นและสั้นลงมองเห็นเป็นโครโมโซม
- DNA บางช่วงจะทำหน้าที่กำหนด

แผนผังความคิด (Mind mapping)
เรื่อง โครโมโซม

ชื่อ-สกุล เลขที่

แบบฝึกหัดที่ 1

คำชี้แจง ให้นักเรียนกา ✓ หน้าข้อความที่ถูก และกา X หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง (10 คะแนน)

- ☐ 1. โครโมโซมของเซลล์ยูแคริโอตประกอบด้วย DNA และโปรตีน
- ☐ 2. ซิสเตอร์โครมาทิดยึดติดกันที่ตำแหน่งของเซนโทเมียร์
- ☐ 3. สิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซมของเซลล์ร่างกายมีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เรียกว่า ดิพลอยด์
- ☐ 4. ฮอมอโลกัสโครโมโซมแยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส II
- ☐ 5. ระยะที่มองเห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดคือ ระยะเมทาเฟส
- ☐ 6. ฮอมอโลกัสโครโมโซมเป็นการนำโครโมโซมมาเรียงเป็นคู่ ๆ แต่ละคู่มีรูปร่างลักษณะที่เหมือนกัน
- ☐ 7. DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย
- ☐ 8. การเปลี่ยนแปลงของยีนหรือโครโมโซมไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต
- ☐ 9. ยูแคริโอตเซลล์เดียวจะมีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนมากกว่ายูแคริโอตหลายเซลล์
- ☐ 10. นิวคลีโอโซมเป็นโครงสร้างของโครโมโซมของยูแคริโอต ประกอบด้วยฮิสโตน 8 โมเลกุล มี DNA ยาวประมาณ 150 คู่เบสพันรอบเป็นเกลียว

แบบฝึกหัดที่ 2

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามให้ถูกต้อง (10 คะแนน)

1. ยีนมีความสำคัญอย่างไร

.....

.....

2. เซลล์ลูกที่ได้จากกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสแตกต่างกันอย่างไร

.....

.....

3. ทำไมสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจึงมีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกัน

.....

.....

4. เซลล์แฮพลอยด์ คืออะไร

.....

.....

5. เซลล์ดิพลอยด์ คืออะไร

.....

.....

6. ยีนและโครโมโซมมีความสอดคล้องกันอย่างไร

.....

.....

7. จำนวนโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตในแต่ละชนิดเท่ากันหรือไม่

.....

.....

8. โครมาติน (chromatin) คือ อะไร

.....

.....

9. การจำแนกโครโมโซมสามารถจำแนกได้อย่างไร

.....

.....

10. ฮิสโตนเป็นโปรตีนที่มีลักษณะอย่างไร

.....

.....



แบบทดสอบหลังเรียน
เล่มที่ 1 โครโมโซม

รายวิชาชีววิทยา รหัส ว30241
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

- คำชี้แจง** 1. แบบทดสอบเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ 10 คะแนน ใช้เวลา 10 นาที
2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ในกระดาษคำตอบ

- เซลล์ในระยะใดเหมาะต่อการศึกษารูปร่าง ลักษณะ ของโครโมโซมมากที่สุด
 - ระยะปกติที่ยังไม่มีการแบ่งเซลล์
 - ระยะเมทาเฟสซึ่งโครโมโซมเรียงอยู่ตรงกลางเซลล์
 - ระยะโพรเฟสซึ่งกำลังเกิดกระบวนการ ครอสซิงโอเวอร์ (crossing over)
 - ระยะอินเตอร์เฟสซึ่งมีการสื่อสารต่าง ๆ สำหรับการแบ่งเซลล์
- โครโมโซมที่มีลักษณะเป็นเส้นเล็กลายาวขดพันกันอยู่ภายในนิวเคลียส เรียกว่าอะไร
 - โปรตีน
 - ดีเอ็นเอ
 - โครมาทิน
 - เซนโทรเมียร์
- ข้อใดต่อไปนี้กล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับลักษณะโครโมโซมของมนุษย์
 - โครโมโซมมีลักษณะเป็นแท่งตลอดเวลา
 - โครโมโซมในระยะเริ่มแบ่งเซลล์ 1 แท่ง จะประกอบด้วย 2 โครมาทิด
 - เซนโทรเมียร์ อยู่บริเวณรอยคอดของโครโมโซมซึ่งอาจอยู่ตรงกลางหรือค่อนไปทางปลาย
 - โดยปกติโครโมโซมมีลักษณะเป็นสายยาวคล้ายเส้นด้าย เรียกว่า โครมาทิน
- ข้อใดกล่าวถูกต้อง
 - ฮอโมโลกัสโครโมโซม คือ โครโมโซมคู่เหมือนซึ่งพบได้ในเซลล์สืบพันธุ์เท่านั้น
 - ในเซลล์ร่างกายมีโครโมโซมเป็น $2n$ หรือจำนวนดิพลอยด์
 - ในเซลล์สืบพันธุ์มีโครโมโซมเป็น n หรือจำนวนแฮพลอยด์
 - ข้อ 1 และ ข้อ 2
 - ข้อ 1 และ ข้อ 3
 - ข้อ 2 และ ข้อ 3
 - ข้อ 1 ข้อ 2 และ ข้อ 3
- โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบโครโมโซมเรียกว่าอะไร
 - โปรตีนอัลบูมิน
 - โปรตีนโกลบูลิน
 - โปรตีนฮิสโตน
 - โปรตีนกลูเตลิน

6. นิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์เป็นสายยาว เรียกว่าอะไร
- ก. นิวคลีโอติก
 - ข. พอลินิวคลีโอไทด์
 - ค. โฮโมโลกัสโครโมโซม
 - ง. โฮโมไซกัสโครโมโซม
7. ข้อใดหมายถึงโครโมโซม
- ก. ลักษณะซึ่งถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปสู่รุ่นหนึ่ง
 - ข. เป็นสารประเภทที่อยู่ในบางที่พวกโปรแคริโอตเท่านั้น
 - ค. โครโมโซมไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
 - ง. สารพันธุกรรมซึ่งกำหนดลักษณะต่าง ๆ
8. สารพันธุกรรมทั้งหมดของโครโมโซม 1 ชุดของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง ๆ เรียกว่าอะไร
- ก. เซลล์
 - ข. จีโนม
 - ค. ฮิสโตน
 - ง. นิวคลีโอโซม
9. สิ่งมีชีวิตมีโครโมโซมของเซลล์ร่างกายมีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เรียกว่า
- ก. ชุดโครโมโซม
 - ข. แฮพลอยด์
 - ค. ดิพลอยด์
 - ง. นิวคลีโอไทด์
10. ข้อใดกล่าวถูกต้อง
- ก. สัตว์แต่ละชนิดจะมีโครโมโซมที่ไม่เท่ากัน แต่มีโครโมโซมรูปร่างคล้ายกัน
 - ข. สัตว์ต่างชนิดกันอาจจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันได้ แต่มีลักษณะของโครโมโซมที่มีรูปร่างต่างกัน
 - ค. สัตว์แต่ละชนิดจะมีจำนวนโครโมโซมที่เท่ากัน และมีลักษณะของโครโมโซมที่มีรูปร่างเหมือนกัน
 - ง. ไม่มีข้อใดถูก

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน

เรื่อง โครโมโซม

รายวิชาชีววิทยา รหัส ว30241

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ชื่อ - สกุล เลขที่

ข้อที่	คำตอบ			
	ก	ข	ค	ง
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				



คะแนนเต็ม	10 คะแนน
ได้	

ลงชื่อ (ผู้ประเมิน)

.....

(...../...../.....)

ภาคผนวก



เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เรื่อง โครโมโซม

รายวิชาชีววิทยา รหัส ว30241

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ก่อนเรียน					หลังเรียน				
ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง
1			X		1		X		
2	X				2			X	
3	X				3				X
4		X			4	X			
5			X		5			X	
6		X			6		X		
7		X			7				X
8			X		8		X		
9				X	9			X	
10				X	10		X		

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

1. จากตัวอย่างโครโมโซมของมนุษย์ในตารางบันทึกผลกิจกรรม มีโครโมโซมทั้งหมด 46 แท่ง
จำนวน 23 คู่ และมีโครมาทิดทั้งหมด 92 โครมาทิด
2. โครโมโซมร่างกาย ได้แก่ โครโมโซมคู่ใดบ้าง คู่ที่ 1 – 22
โครโมโซมเพศ ได้แก่ โครโมโซมคู่ใด คู่ที่ 23 และบ่งชี้ว่าเป็นเพศใด เพศหญิง
3. โครโมโซมที่เป็น Metacentric chromosome ได้แก่ คู่ที่ 1 3 19 20
โครโมโซมที่เป็น Submetacentric chromosome ได้แก่ คู่ที่ 5 6 8 9 11 12 29
โครโมโซมที่เป็น Acrocentric chromosome ได้แก่ คู่ที่ 13 14 15 16 18 21 22

เฉลยแบบฝึกหัดที่ 1

คำชี้แจง ให้นักเรียนกา ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และกา X หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง (10 คะแนน)

- ☒ 1. โครโมโซมของเซลล์ยูแคริโอตประกอบด้วย DNA และโปรตีน
- ☒ 2. ซิสเตอร์โครมาทิดยึดติดกันที่ตำแหน่งของเซนโทเมอร์
- ☒ 3. สิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซมของเซลล์ร่างกายมีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เรียกว่า ดิพลอยด์
- ☐ 4. สอมอโลกัสโครโมโซมแยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส II
- ☒ 5. ระยะที่มองเห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดคือ ระยะเมทาเฟส
- ☒ 6. สอมอโลกัสโครโมโซมเป็นการนำโครโมโซมมาเรียงเป็นคู่ ๆ แต่ละคู่มีรูปร่างลักษณะที่เหมือนกัน
- ☒ 7. DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย
- ☒ 8. การเปลี่ยนแปลงของยีนหรือโครโมโซมไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต
- ☐ 9. ยูแคริโอตเซลล์เดียวจะมีขนาดของจีโนมและจำนวนยีนมากกว่ายูแคริโอตหลายเซลล์
- ☐ 10. นิวคลีโอโซมเป็นโครงสร้างของโครโมโซมของยูแคริโอต ประกอบด้วยฮิสโตน 8 โมเลกุล มี DNA ยาวประมาณ 150 คู่เบสพันรอบเป็นเกลียว

เฉลยแบบฝึกหัดที่ 2

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามให้ถูกต้อง (10 คะแนน)

1. ยีนมีความสำคัญอย่างไร

ยีนมีหน้าที่ในการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมต่าง ๆ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่ถ่ายทอดจากบรรพบุรุษไปสู่รุ่นลูกหลาน

2. เซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสแตกต่างกันอย่างไร

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเซลล์ลูกที่เกิดขึ้นจะมีโครโมโซมเหมือนกันทั้งหมด และมีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์เริ่มต้น เรียกว่า เซลล์ดิพลอยด์ แต่การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเซลล์ลูกที่เกิดขึ้นมีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เริ่มต้น เรียกว่า เซลล์แฮพลอยด์

3. ทำไมสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจึงมีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกัน

เนื่องจากลักษณะเฉพาะตัวของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดถูกกำหนดมาจากสารพันธุกรรมที่บรรจุไว้ภายในนิวเคลียสของเซลล์แต่ละเซลล์ สารพันธุกรรมดังกล่าวอยู่ในรูปของโครโมโซมคอยควบคุมการทำงานของเซลล์ กำหนดลักษณะของเซลล์ และถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิตจากรุ่นพ่อแม่สู่ลูกหลานต่อไป

4. เซลล์แฮพลอยด์ คืออะไร

เซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เริ่มต้น ซึ่งเป็นผลจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

5. เซลล์ดิพลอยด์ คืออะไร

เซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับจำนวนเซลล์เริ่มต้น ซึ่งเป็นผลมาจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

6. ยีนและโครโมโซมมีความสอดคล้องกันอย่างไร

1. ยีนมี 2 ชุด โครโมโซมมี 2 ชุด

2. ยีนและโครโมโซมสามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกหลานได้

7. จำนวนโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตในแต่ละชนิดเท่ากันหรือไม่

จำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิต มีจำนวนโครโมโซมที่คงที่และเท่ากันเสมอ แต่ถ้าสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันจะมีจำนวนโครโมโซมที่แตกต่างกัน จำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายและโครโมโซมในเซลล์สืบพันธุ์จะแตกต่างกัน โดยโครโมโซมในเซลล์สืบพันธุ์จะมีเพียงครึ่งหนึ่งของเซลล์ร่างกาย

8. โครมาติน (chromatin) คือ อะไร

สายของดีเอ็นเอ (DNA) สายยาวเพียงสายเดียวที่พันตัวรอบโปรตีนที่ชื่อ “ฮิสโตน (histone)” เอาไว้ ทำให้รูปร่างของโครมาติน (chromatin) มีรูปร่างคล้ายลูกปัดที่มีลักษณะ เรียงต่อ ๆ กัน โดยมีสายของดีเอ็นเอ (DNA) พันรอบลูกปัดนั้นอยู่

9. การจำแนกโครโมโซมสามารถจำแนกได้อย่างไร

จำแนกตามขนาดของโครโมโซมและตำแหน่งของเซนโทรเมียร์

10. ฮิสโตนเป็นโปรตีนที่มีลักษณะอย่างไร

ฮิสโตนเป็นโปรตีนที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดอะมิโนที่มีประจุบวก เช่น ไลซีน และอาร์จินีน ทำให้มีสมบัติในการจับกับ DNA ซึ่งมีประจุเป็นลบได้ดี

บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2553). **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- ประดิษฐ์ เหล่าเนตร์ และคณะ. (2553). **หนังสือเรียนวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์รัตนธรรการพิมพ์ จำกัด.
- พจน์ แสงมณี และขวัญสุตา ประวะภูโต. (2552). **Compact ชีววิทยา ม.6 เล่ม 5.** กรุงเทพมหานคร: แม็ค.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2556). **หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6.** (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- (2561). **คู่มือรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 2 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- (2561). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). **ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

แหล่งอ้างอิงออนไลน์

- ภาพที่ 1 ภาพแสดงการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ไมโทซิส> (วันที่ 5 พฤษภาคม.2564)
- ภาพที่ 2 ภาพแสดงการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://en.wikipedia.org/wiki/Meiosis> (วันที่ 5 พฤษภาคม.2564)
- ภาพที่ 3 ยีน DNA และโครโมโซม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.truelookpanya.com/knowledge/content/65256/-scibio-sci-> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 4 รากหอมที่ได้จากการเพาะ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://smp-yru.blogspot.com/2019/11/blog-post_12.html

บรรณานุกรม

- ภาพที่ 5 เซลล์ปลายรากหอมที่เรานำมาใช้ศึกษาเรื่องการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส [ออนไลน์].
เข้าถึงได้จาก <https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs>
(วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในนิวเคลียสระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์
แบบไมโทซิสบริเวณปลายรากหอม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 7 เซลล์ปลายรากหอม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 8 ภาพวาดเซลล์สัตว์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 9 โครโมโซมของกบนา [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 10 โครโมโซมของมนุษย์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 11 โครงสร้างของโครโมโซม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.Google.site.com>
(วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 12 โครโมโซมของกบนา [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 13 แคริโอไทป์ของกบนา [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 14 โครโมโซมของมนุษย์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 15 แคริโอไทป์ของมนุษย์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 16 โครโมโซมแบบต่าง ๆ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 6 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 17 ภาพแสดงโครงสร้างของโครโมโซมในนิวเคลียส [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://th.wikipedia.org> (วันที่ 10 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 18 ภาพแสดงลักษณะของนิวคลีโอโซม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.thaibiotech.info/what-is-nucleosome.php> (วันที่ 10 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 19 ส่วนประกอบโครโมโซมของยูแคริโอต [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.youtube.com/watch?v=FyB20UbQcWs> (วันที่ 10 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 20 โครโมโซมและพลาสมิดภายในเซลล์แบคทีเรีย [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<http://en.wikipedia.org/wiki/> (วันที่ 10 พฤษภาคม 2564)

บรรณานุกรม

- ภาพที่ 21 จำลองสิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอต และโพรแคริโอต [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<http://en.wikipedia.org/wiki/> (วันที่ 10 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 22 ต้นอะราบิโดพซิส [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.constantinealexander.net/2012/05/how-plants-chill-out.html>
(วันที่ 10 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 23 โครงสร้างของโครโมโซม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.truelookpanya.com/knowledge/content/65256/-scibio-sci->
(วันที่ 10 พฤษภาคม 2564)
- ภาพที่ 24 โครโมโซมของมนุษย์เพศหญิง (XX) และเพศชาย (XY) [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
<http://www.guam.net/pub/> (วันที่ 11 พฤษภาคม 2564)