



## คำชี้แจง

คู่มือการใช้สื่อการสอนวิชาชีววิทยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการใช้ประกอบการสอนวิชาชีววิทยา คู่มือนี้ได้ระบุจุดประสงค์ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาในสื่อ และแนวทางจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ครูเข้าใจเนื้อหาของเรื่องที่สอน สามารถใช้ประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเตรียมตัวและเตรียมแผนการสอนให้เหมาะกับนักเรียนในชั้น คู่มือนี้ยังมีส่วนภาคผนวกที่ประกอบด้วยคำอธิบายศัพท์ และแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะช่วยให้ครูสามารถสอนชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปิดโลกทัศน์ในการเรียนรู้มากขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรณณ สัตยาลย์

ผู้จัดทำคู่มือ

รองศาสตราจารย์ ดร. ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล

ผู้ตรวจคู่มือ



## สารบัญ

|                              | หน้า |
|------------------------------|------|
| 1. จุดประสงค์                | 4    |
| 2. ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง   | 5    |
| 3. สาร (เนื้อหา)             | 6    |
| 4. แนวทางในการจัดการเรียนรู้ | 16   |
| 5. ภาคผนวก                   | 19   |
| ก. คำอธิบายศัพท์             |      |
| ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม    |      |



## เรื่อง

### การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์: division phase; mitosis

การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2: วัฏจักรเซลล์: division phase; mitosis เป็นสื่อประกอบการสอนตอนหนึ่งในชุดของเรื่องการสืบพันธุ์ ซึ่งมีทั้งหมด 8 ตอน ได้แก่

1. การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์: interphase และ division phase
2. การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์: division phase; mitosis
3. การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์: division phase; meiosis
4. รูปแบบของการสืบพันธุ์
5. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและระบบสืบพันธุ์
6. การสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้
7. การสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย
8. การปฏิสนธิ



## จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถ อธิบายกระบวนการการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในวัฏจักรเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis (ไมโทซิส) ซึ่งทำให้ได้เซลล์ใหม่ที่มีนิวเคลียสที่เหมือนกันและเหมือนกับนิวเคลียสของเซลล์เริ่มต้น และสามารถอธิบายผลของการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ และสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว



## ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาจากสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้ว สามารถ

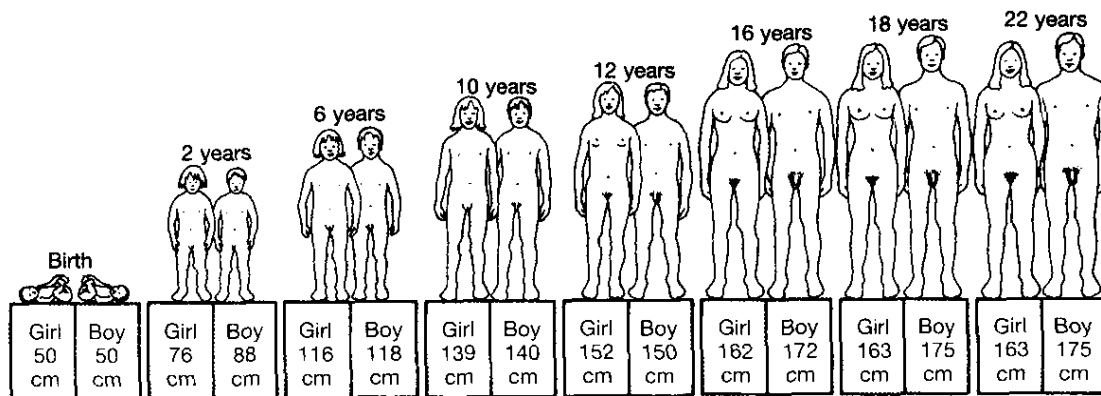
1. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะย่อยของการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis (ไมโทซิส)
2. เชื่อมโยงกิจกรรมที่เกิดขึ้นในช่วง interphase (อินเทอร์เฟส) ที่ส่งผลต่อเนื่องมาถึงลักษณะที่สังเกตได้ในช่วง division phase (ดิวิชัน เฟส)
3. อธิบายได้ถึงกลไกที่เกิดขึ้นในช่วง division phase ของการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ที่ทำให้ได้เซลล์ผลลัพธ์ที่เหมือนกันและเหมือนกับเซลล์เริ่มต้น
4. อธิบายกลไกการแบ่งไซโทพลาซึมที่แตกต่างกันในเซลล์พืชกับเซลล์สัตว์
5. อธิบายผลของการแบ่งเซลล์ที่ใช้การแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ และ สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว



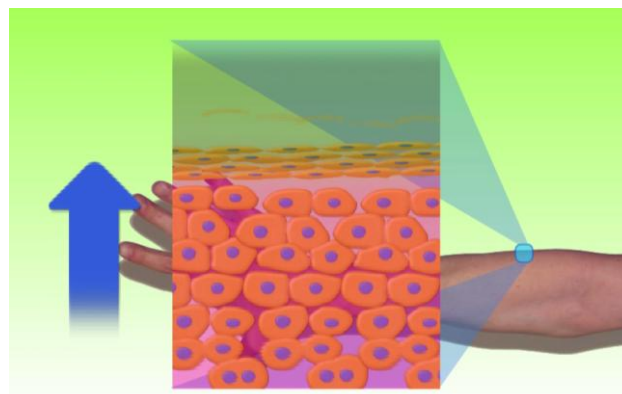
## สาระ (เนื้อหา)

### การแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis (ไมโทซิส)

ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ เซลล์ร่างกาย (somatic cell) เป็นเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis (ไมโทซิส) ทำให้มีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นทำให้เนื้อเยื่อเกิดการเติบโต (growth) ซึ่งส่งผลต่อเนื่องให้สิ่งมีชีวิตเกิดการเติบโต (ดังภาพที่ 1) และการเพิ่มจำนวนเซลล์โดยการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis นี้ยังเป็นการผลิตเซลล์ใหม่มาทดแทนเซลล์ที่เสื่อมสภาพและถูกกำจัดไป เช่น เซลล์เม็ดเลือด เซลล์ผิวหนัง เป็นต้น (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 แสดงการเติบโตของคนซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มจำนวนเซลล์โดยการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis



ภาพที่ 2 แสดงการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ของเซลล์เยื่อบุผิวหนังจากเซลล์ชั้นล่างเพื่อทดแทนเซลล์ชั้นบนที่ตายไป

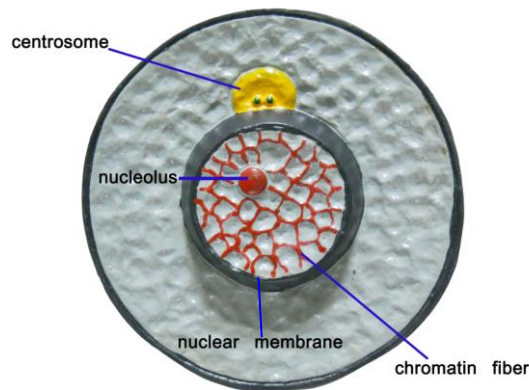


ก่อนที่จะเกิดการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis เซลล์ได้ผ่านช่วง interphase (อินเทอร์เฟส) มาแล้ว โดยเฉพาะได้ผ่านช่วง S ที่มีการจำลอง DNA แบบกึ่งอนุรักษ์ (semiconservative DNA replication) ซึ่งทำให้ DNA ของแต่ละโครโมโซมในนิวเคลียสช่วง  $G_1$  เป็นสายเกลียวคู่เพียงสายเดียว เมื่อจบช่วง S เข้าสู่ช่วง  $G_2$  เป็น DNA สายเกลียวคู่ 2 สายที่ยึดติดกันอยู่ (ดังภาพที่ 3) แต่เราไม่สามารถสังเกตเห็นลักษณะดังกล่าวได้ เนื่องจากในช่วง interphase โครโมโซมอยู่ในลักษณะคลายตัวเป็นร่างแหอยู่ภายในนิวเคลียสที่เรียกว่าเส้นใยโครมาติน (chromatin fiber) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 แสดงการจำลอง DNA แบบกึ่งอนุรักษ์ (semiconservative DNA replication)

เมื่อสังเกตเห็นลักษณะของเซลล์ช่วงก่อนที่จะเกิด mitosis จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) พบว่าภายในนิวเคลียสสามารถสังเกตเห็นเส้นใยโครมาติน และสังเกตเห็น nucleolus (นิวคลีโอลัส) (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นแหล่งที่มีการสังเคราะห์ ribosomal RNA – r RNA (ไรโบโซมอลอาร์เอ็นเอ) โดยมีเอ็นเอที่ประกอบด้วย DNA ที่เป็นแม่พิมพ์สำหรับการสังเคราะห์ r RNA บนโครโมโซมต่างๆ มาเรียงตัวทับกันในบริเวณเดียวกันทำให้สังเกตเห็นเป็น nucleolus ส่วนในไซโทพลาซึมสามารถสังเกตเห็น centrosome (เซนโทรโซม) (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ที่มีบทบาทสำคัญในการจัดเรียงตัวของ microtubule (ไมโครทิวบูล) อยู่ในตำแหน่งใกล้นิวเคลียส



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะของเซลล์ก่อนเข้าสู่ division phase สังเกตเห็น ในนิวเคลียสมีโครโมโซมที่คลายตัวเป็นเส้นใยโครมาติน (chromatin fiber) ที่กายทับกันเป็นร่างแห และสังเกตเห็นนิวคลีโอลัสในไซโทพลาซึมสังเกตเห็น centrosome

Division phase ของการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis แบ่งเป็น 4 ระยะย่อย ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ที่สังเกตได้ ได้แก่

1. ระยะ prophase (โพรเฟส)
2. ระยะ metaphase (เมทาเฟส)
3. ระยะ anaphase (แอนาเฟส)
4. ระยะ telophase (ทีโลเฟส)

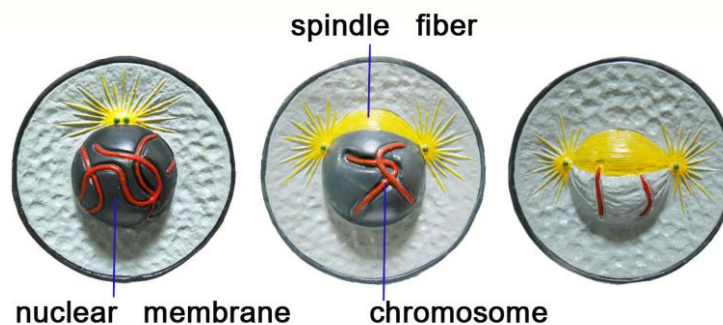
หลังจากจบกระบวนการแบ่งนิวเคลียสแล้ว จึงเกิดกระบวนการแบ่งไซโทพลาซึมตามมา

#### ลักษณะของเซลล์ในระยะ prophase

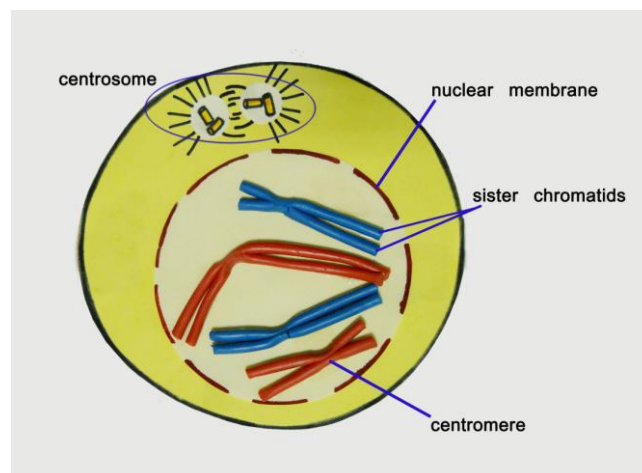
1. สามารถเห็นโครโมโซมหนาตัวชัดเจนกว่าในช่วง interphase (ภาพที่ 5) การสังเกตเห็นโครโมโซมหนาตัวขึ้นเกิดเนื่องจากการบวนการ chromosome condensation (โครโมโซม คอนเดนเซชัน) ทำให้เส้นใยโครมาตินซึ่งเดิมเป็นสาย DNA ที่พันอยู่กับโปรตีนฮิสโตน (histone protein) เกิดการพันทบไปมาหลายชั้นตอนจนสั้นขึ้นกว่าเดิมหลายเท่า ในช่วงท้ายของระยะ prophase สังเกตเห็นโครโมโซม 1 แท่งประกอบด้วย 2 sister chromatids (ซิสเตอร์ โครมาทิดส์) ยึดติดกันที่ตำแหน่ง centromere (เซนโทรเมียร์) (ภาพที่ 6) การสังเกตเห็น 1 โครโมโซมประกอบด้วย 2 sister chromatids เป็นผลของการจำลอง DNA ที่เกิดในช่วง S ดังนั้นข้อมูลทางพันธุกรรมของทั้ง 2 sister chromatids เหมือนกันทุกประการ (ภาพที่ 7)
2. ไม่สามารถสังเกตเห็น nucleolus ได้ เนื่องจาก DNA ที่เคยเป็นแม่พิมพ์สำหรับการสังเคราะห์ r RNA ได้ถูกพันทับกันเป็นโครโมโซมแท่งสั้นเนื่องจากการ chromosome condensation ไปแล้ว
3. centrosome ซึ่งเดิมเห็น 1 อัน ในระยะนี้สังเกตเห็น 2 อัน และแยกห่างจากกันโดยมีเส้นใยสปินเดิล (spindle fiber) เชื่อมระหว่าง centrosome ทั้ง 2 อัน (ภาพที่ 5)



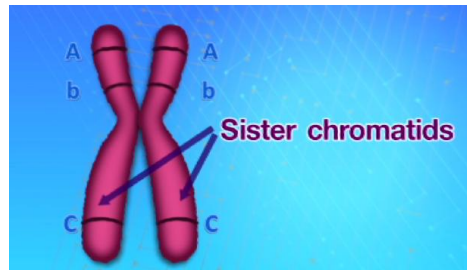
4. เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) เริ่มสลายเป็นชั้นเล็กๆ ทำให้เส้นใยสปินเดิลสามารถไปจับกับโครโมโซมได้ (ภาพที่ 5)
5. ในช่วงท้ายของระยะ prophase เริ่มมีการรวมตัวของกลุ่มโปรตีน kinetochore (ไคนีโทคอร์) ที่ไปจับกับโครโมโซมที่ตำแหน่ง centromere ทั้ง 2 ด้าน kinetochore ช่วยทำให้เส้นใยสปินเดิลจับกับโครโมโซมที่ตำแหน่ง centromere ได้ (ภาพที่ 8)



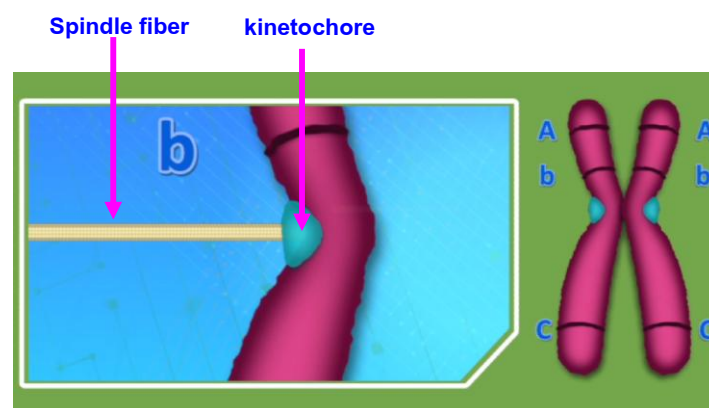
ภาพที่ 5 แสดงเซลล์ในระยะ prophase ที่สามารถสังเกตเห็นโครโมโซมได้ชัดเจนกว่าในช่วง interphase นิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียส สลายไป centrosome เริ่มแบ่งเป็น 2 อัน เคลื่อนแยกจากกันไปยังคนละขั้วเซลล์ และมีเส้นใยสปินเดิล เชื่อมระหว่างทั้งสอง centrosome



ภาพที่ 6 แสดง sister chromatids ที่ยึดติดกันอยู่ที่ตำแหน่ง centromere



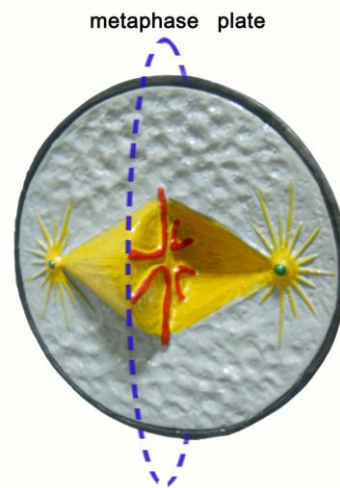
ภาพที่ 7 แสดง sister chromatids ที่มีตำแหน่งของยีนและ alleles (อัลลีล) ที่เหมือนกันทุกประการ



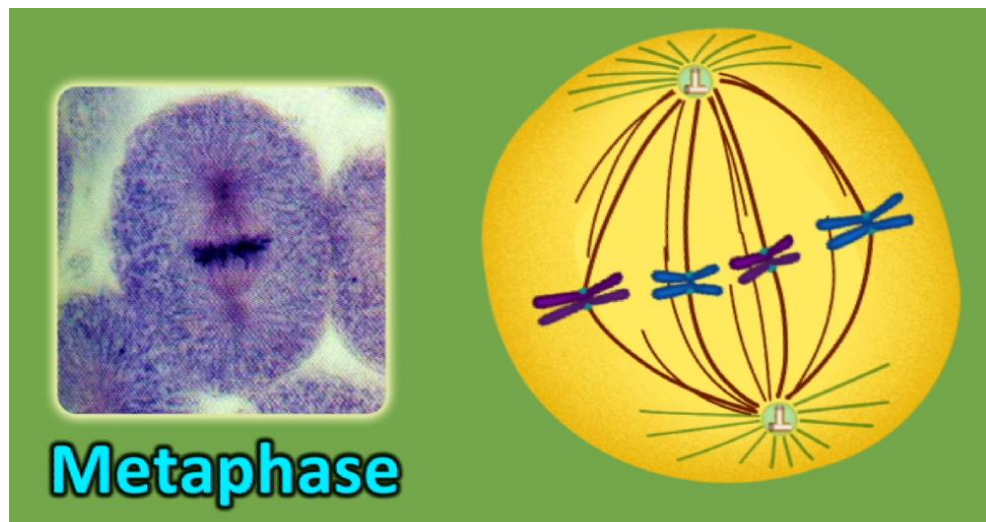
ภาพที่ 8 แสดงการเกาะของ kinetochore ที่ด้านข้างของ centromere และการเกาะของเส้นใยสปินเดิลที่ kinetochore

### ลักษณะของเซลล์ในระยะ metaphase

- centrosome ในระยะนี้เคลื่อนห่างจากกันมาก โดยอยู่ด้านตรงข้ามกันคนละขั้วของเซลล์
- โครโมโซมทุกแท่งมาเรียงตัวที่แนวสมมติเรียกว่า metaphase plate (เมทาเฟส เพลท) (ภาพที่ 9) โดยทั่วไปแนว metaphase plate อยู่กึ่งกลางของเซลล์ ส่งผลให้เมื่อการแบ่งเสร็จสิ้นจะได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ที่มีขนาดเท่ากัน แต่หาก metaphase plate ไม่ได้อยู่กึ่งกลางเซลล์ เซลล์ผลลัพธ์ที่ได้จะมีขนาดแตกต่างกัน ส่วนที่มาเรียงที่ metaphase plate จริงๆนั้นได้แก่ centromere ของทุกๆ โครโมโซม ซึ่งทำให้เมื่อศึกษาเซลล์ในระยะ metaphase จากกล้องจุลทรรศน์จะเห็น chromatids ยื่นออกมาจาก metaphase plate (ภาพที่ 10)
- การเรียงตัวของโครโมโซมที่ metaphase plate เกิดจากการทำงานของเส้นใยสปินเดิล
- เซลล์จะไม่เข้าสู่ขั้นตอนต่อไปหากโครโมโซมทุกแท่งยังไม่มาเรียงตัวที่ metaphase plate



ภาพที่ 9 แสดงการเรียงตัวของโครโมโซมทุกแท่งที่แนว metaphase plate



ภาพที่ 10 แสดงเซลล์ในระยะ metaphase ที่เห็น chromatids ยื่นออกมาจาก metaphase plate

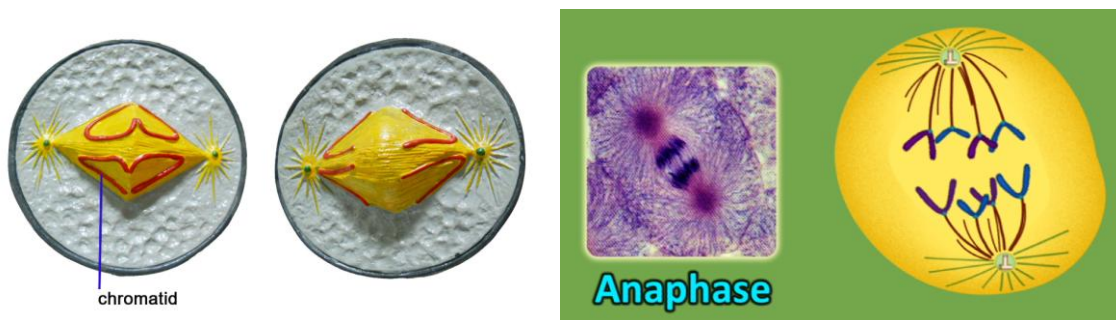
#### ลักษณะของเซลล์ในระยะ anaphase

- เมื่อโครโมโซมทุกแท่งมาเรียงตัวที่ metaphase plate แล้ว centromere ที่ยึด sister chromatids ไว้เกิดแยกจากกัน ทำให้ sister chromatids แยกจากกัน และเคลื่อนแยกจากกันไปยัง centrosome ที่อยู่คนละขั้วเซลล์ (ภาพที่ 11)
- การแยกจากกันของ centromere ที่ส่งผลให้ sister chromatids แยกจากกันนั้น เกิดเนื่องจากการทำงานของกลุ่มโปรตีนใน kinetochore ทำให้โปรตีน tubulin (ทูบูลิน) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของ microtubule ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเส้นใยสปินเดิลถูกดึงหลุดออกมาจากเส้นใยสปินเดิล



มากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้เส้นใยสปินเดิลสั้นลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ sister chromatids เคลื่อนที่แยกไปยังคนละขั้วเซลล์ (ภาพที่ 12)

- ในช่วงท้ายของระยะ **anaphase** ที่แต่ละขั้วเซลล์ประกอบด้วยโครโมโซมที่เป็น 1 chromatid โครโมโซมที่ขั้วเซลล์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ เหมือนกันทุกประการได้แก่ มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน จำนวนชุดของโครโมโซมเท่ากัน และมีข้อมูลทางพันธุกรรมที่เหมือนกัน



ภาพที่ 11 แสดงการแยกจากกันของ sister chromatids ในระยะ anaphase เนื่องจากเส้นใยสปินเดิลที่ยึดโครโมโซม สั้นลงตามลำดับ

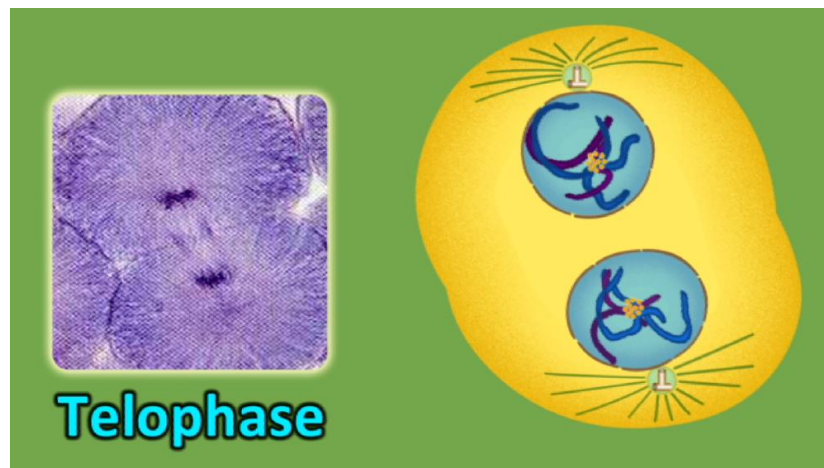


ภาพที่ 12 แสดงกระบวนการที่โปรตีนใน kinetochore ทำให้โปรตีน tubulin ที่เป็นองค์ประกอบของ microtubule ซึ่งจัดระเบียบรวมกันเป็นเส้นใยสปินเดิล ถูกดึงออกมาที่ละโมเลกุล ส่งผลให้เส้นใยสปินเดิลสั้นลง



### ลักษณะของเซลล์ในระยะ telophase

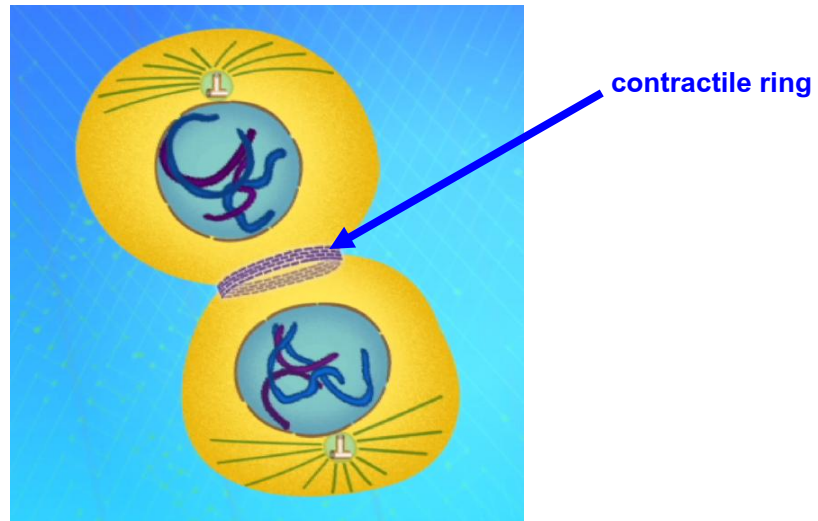
- ในระยะนี้เป็นช่วงที่เซลล์เตรียมตัวเข้าสู่ ช่วง  $G_1$  ของ interphase ดังนั้นจึงพบว่าโครโมโซมที่เคยหนาตัวเห็นชัดเจนเริ่มคลายตัวกลับสภาพเป็นเส้นใยโครมาติน เริ่มสังเกตเห็น nucleolus กลับมาปรากฏ เยื่อหุ้มนิวเคลียสที่เคยสลายไปในระยะ prophase เริ่มปรากฏกลับมาล้อมรอบเส้นใยโครมาติน และพบ centrosome 1 อันอยู่ใกล้แต่ละนิวเคลียส (ภาพที่ 12)
- ในช่วงท้ายของระยะ telophase สามารถสังเกตเห็นว่าเซลล์มี 2 นิวเคลียส ซึ่งเมื่อจบ mitosis แล้วเกิดการแบ่งไซโทพลาซึมตามมาทำให้ได้เซลล์แต่ละเซลล์ที่มี 1 นิวเคลียส



ภาพที่ 12 แสดงเซลล์ในระยะ telophase

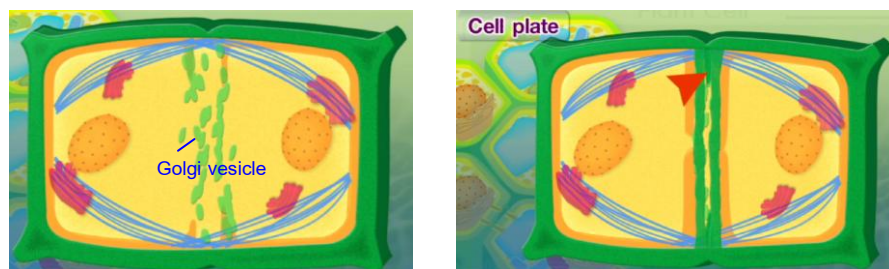
### การแบ่งไซโทพลาซึม

- เกิดในแนวที่เคยเป็น metaphase plate
- ในเซลล์สัตว์เกิด contractile ring (คอนแทรคไทล์ รিং) ซึ่งประกอบด้วย microfilament (ไมโครฟิลาเมนต์) ในแนวที่เคยเป็น metaphase plate การหดตัวของ contractile ring ซึ่งเกิดจากการเลื่อนผ่านกันของ microfilament จะดึงเยื่อหุ้มเซลล์ให้เกิดการหดตัวแคบลงตามลำดับ จนในที่สุดได้ 2 เซลล์แยกจากกัน (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 แสดงการแบ่งไซโทพลาซึมในเซลล์สัตว์

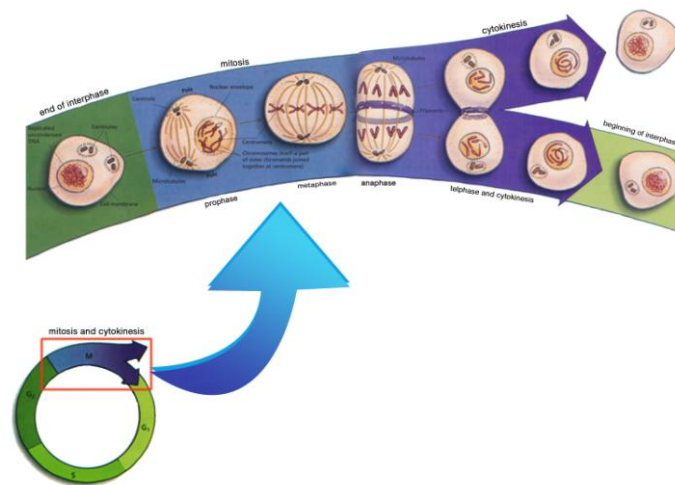
- ในเซลล์พืชการแบ่งไซโทพลาซึมเกิดในตำแหน่งที่เคยเป็น metaphase plate เช่นกัน แต่ใช้ออร์กาเนลล์ที่ต่างกัน เนื่องจากเซลล์พืชมีผนังเซลล์ การแบ่งไซโทพลาซึมในเซลล์พืชต้องมีการสร้างผนังเซลล์ด้วย ดังนั้นในเซลล์พืชจึงพบมี Golgi vesicle ( โกลจิ เวซิเคิล) ซึ่งเป็นถุงเล็กๆที่มีเยื่อหุ้ม ภายในบรรจุสารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น cellulose (เซลลูโลส) และโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ชนิดอื่นๆ เคลื่อนมารวมตัวกันที่แนว metaphase plate Golgi vesicle แตกออกปล่อยองค์ประกอบของผนังเซลล์ออกมาเกิดเป็น cell plate (เซลล์เพลท) ส่วนเยื่อหุ้ม มาเชื่อมต่อกันเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ใหม่อยู่ทั้งสองด้านของ cell plate (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 แสดงการแบ่งไซโทพลาซึมที่เกิดในเซลล์พืช

### สรุป

การแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis และการแบ่งไซโทพลาซึมเกิด 1 ครั้ง ใน 1 วัฏจักรเซลล์ และได้เซลล์ผลลัพธ์ 2 เซลล์ที่มีข้อมูลทางพันธุกรรมที่เหมือนกันทุกประการและเหมือนกับเซลล์เริ่มต้น (ดังภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 แสดงการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ที่เกิด 1 ครั้งต่อ 1 วัฏจักรเซลล์

การแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ที่เกิดเป็นครั้งแรกในร่างกายเรา เกิดหลังจากการปฏิสนธิของ sperm กับไข่ได้ zygote ดังนั้นเซลล์ร่างกายของเราทุกเซลล์จึงมีข้อมูลทางพันธุกรรมที่เหมือนกัน

ยูคาริโอท (eukaryote) เซลล์เดียวที่มีการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ต่อเนื่อง มีผลทำให้ได้กลุ่มเซลล์ที่มีองค์ประกอบทางพันธุกรรมที่เหมือนกัน

โปรคาริโอท (prokaryote) ไม่มีเยื่อหุ้ม DNA ไร้ให้เห็นเป็นนิวเคลียส DNA ของ prokaryote ต่อกันเป็นวงและไม่ได้พันอยู่กับโปรตีนฮิสโตน อาจเรียกว่าเป็น DNA เปลือย อย่างไรก็ตาม prokaryote ก็มีการจำลอง DNA แบบ semi-conservative เพื่อผลิต DNA ที่เป็นวง 2 โมเลกุล ก่อนจะเกิดการแบ่งเซลล์ ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าการแบ่งเซลล์ที่ใช้การแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis (ภาพที่ 16) การแบ่งเซลล์ของ prokaryote ส่งผลเช่นเดียวกับการเกิด mitosis ใน eukaryote เซลล์เดียว



ภาพที่ 16 แสดงการแบ่งเซลล์ใน prokaryote



## การจัดการเรียนรู้

สิ่งสำคัญที่คุณครูจะต้องแสดงให้นักเรียนเข้าใจได้แก่ กระบวนการที่ทำให้เซลล์ใหม่ทั้ง 2 เซลล์ที่ได้จากการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis นั้นเหมือนกันทุกประการ และเหมือนกับเซลล์เริ่มต้นด้วย ซึ่งกลไกดังกล่าวสัมพันธ์กับกระบวนการที่เกิดขึ้นในช่วง interphase ได้แก่ การจำลองตัวเองของ DNA ทำให้เมื่อจบช่วง S แต่ละโครโมโซมจึงประกอบด้วย DNA 2 โมเลกุลที่มีข้อมูลทางพันธุกรรมที่เหมือนกัน ยึดติดกันอยู่

ดังนั้นเมื่อเกิดกระบวนการ chromosome condensation ในระยะ prophase จึงทำให้เห็น 1 โครโมโซมประกอบด้วย 2 sister chromatids

การที่ kinetochore เกาะที่ 2 ข้างของ centromere และการจัดเรียงตัวของโครโมโซมที่ metaphase plate มีบทบาทสำคัญต่อการที่ sister chromatids จะแยกจากกันในระยะ anaphase

การแยกจากกันของ sister chromatids ในระยะ anaphase ทำให้นิวเคลียสใหม่ที่ได้เหมือนกันทุกประการ ทั้งยังเหมือนกับนิวเคลียสของเซลล์เริ่มต้นเดิมด้วย

**คุณครูอาจจัดกิจกรรมให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในกระบวนการและผลของการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ได้โดย**

ใช้ดินน้ำมันปั้นแทนโครโมโซม หรือกระดาษสีตัดเป็นแทนโครโมโซม โดยอาจกำหนดให้ เซลล์ร่างกายที่มีโครโมโซม 2 ชุด หรือ  $2n = 4$  ให้แต่ละชุดประกอบด้วยโครโมโซมแท่งขนาดสั้น กับ แท่งขนาดยาว และให้โครโมโซมแต่ละชุดเป็นคอนละสี ((ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 17)

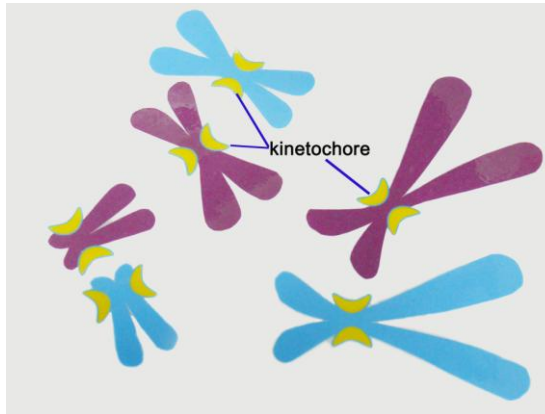


ภาพที่ 17 การใช้กระดาษตัดเพื่อแสดงประกอบการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ( $2n = 4$ )

หากจะใช้โครโมโซม  $2n = 6$  โครโมโซมแต่ละชุดประกอบด้วยโครโมโซม แท่งขนาดสั้น แท่งขนาดกลาง และแท่งขนาดยาว ใช้ดินน้ำมันสีที่ 3 แทน kinetochore หากใช้กระดาษตัดก็สามารถใช้สีที่



3 แทน kinetochore แต่การใช้ดินน้ำมันจะมีประโยชน์ในการช่วยให้นักเรียนเห็นโครโมโซมในลักษณะ 3 มิติ และแสดงการแยก sister chromatids ได้สะดวก



ภาพที่ 18 การใช้กระดาษตัดแสดงโครโมโซม  $2n = 6$

คุณครูสามารถตั้งคำถามได้ว่าเพราะเหตุใดโครโมโซมแต่ละชุดจึงใช้เป็นคนละสี และให้นักเรียนลองจัดกลุ่มว่าโครโมโซม 1 ชุด ควรเป็นอย่างไร และจะสลับสีกันบ้างได้หรือไม่เพราะเหตุใด

ให้นักเรียนแสดงการเรียงตัวของโครโมโซมซึ่งมี kinetochore เกาะอยู่ 2 ข้างของ centromere ที่ metaphase plate และให้นักเรียนแสดงการแยก sister chromatids เมื่อแยก sister chromatids ไปยังคนละขั้วเซลล์แล้ว คุณครูให้นักเรียนนับจำนวนโครโมโซมที่แต่ละขั้วเซลล์ และสรุปว่านิวเคลียสที่แต่ละขั้วเซลล์มีโครโมโซมกี่ชุด

**คำถามที่สำคัญสำหรับการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ได้แก่**

1. กระบวนการในขั้นตอนใดบ้างที่ทำให้ เมื่อจบการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis แล้วได้นิวเคลียส 2 นิวเคลียสที่เหมือนกันและเหมือนกับนิวเคลียสของเซลล์เริ่มต้นด้วย

ตอบ การจำลอง DNA ในช่วง S ของ interphase และการแยกจากกันของ sister chromatids ในระยะ anaphase

2. chromosomal condensation มีบทบาทในการแบ่งนิวเคลียสอย่างไร

ตอบ เมื่อโครโมโซมสั้นมากขึ้น การแยก sister chromatids จะเกิดได้ง่ายขึ้น

3. เพราะเหตุใดทุกโครโมโซมจึงต้องมาเรียงที่แนว metaphase plate ก่อนจะเข้าสู่ระยะ anaphase

ตอบ การเรียงตัวของทุกโครโมโซมที่แนว metaphase plate จะช่วยจัดระเบียบในการแยก sister chromatids ทำให้ sister chromatids ของทุกโครโมโซมถูกแยกออกจากกัน หากทุกโครโมโซมไม่มาเรียงตัวที่แนว metaphase plate จะทำให้เมื่อเข้าสู่ระยะ anaphase และ telophase เซลล์บางเซลล์อาจจะได้รับโครโมโซมจำนวนมากเกินไปหรือน้อยเกินไปได้



### ข้อเสนอแนะ

นักเรียนอาจจะคุ้นเคยกับการเห็นภาพ 1 โครโมโซมประกอบด้วย 2 sister chromatids แท้จริงแล้วหากเราสามารถทำให้โครโมโซมของเซลล์ในช่วง  $G_1$  เกิด chromosome condensation แล้ว เราจะได้ 1 โครโมโซมประกอบด้วย 1 chromatid เช่นเดียวกันหากเราสามารถทำให้โครโมโซมของเซลล์ในช่วง  $G_2$  เกิด chromosome condensation เราจะได้ 1 โครโมโซมประกอบด้วย 2 sister chromatids



## ภาคผนวก

### ก. คำอธิบายศัพท์

|                                                                     |                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| การจำลอง DNA แบบกึ่งอนุรักษ์<br>(semi-conservative DNA replication) | -กระบวนการสังเคราะห์ DNA ที่ทำให้ได้ DNA ใหม่ 2 โมเลกุลที่เหมือนกันทุกประการ                     |
| เส้นใยโครมาติน (chromatin fiber)                                    | -โครโมโซมในสภาพคลายตัว ไม่เกิด chromosome condensation                                           |
| เส้นใยสปินเดิล (spindle fiber)                                      | -เกิดจากการรวมตัวของ microtubule ทำหน้าที่ยึดระหว่าง centrosome กับ โครโมโซม                     |
| anaphase                                                            | -ระยะในการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ที่ sister chromatids แยกจากกัน                               |
| cell plate                                                          | -แนวผนังเซลล์ที่เกิดในการแบ่งไซโทพลาซึมในเซลล์พืช                                                |
| cellulose                                                           | -สารคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์                                                    |
| centromere                                                          | -ตำแหน่งที่ sister chromatids ยึดติดกัน                                                          |
| centrosome                                                          | -กลุ่มโปรตีนในตำแหน่งใกล้นิวเคลียสที่มีบทบาทในการจัดระเบียบ microtubule                          |
| chromosome condensation                                             | -กระบวนการที่ทำให้สังเกตเห็นโครโมโซมได้ชัดเจนขึ้นเนื่องจากการพันทับกันหลายลำดับของเส้นใยโครมาติน |
| contractile ring                                                    | -การจัดเรียงตัวของ microfilament เป็นวงรอบแนวที่เคยเป็น metaphase plate                          |



|                   |                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| division phase    | -ช่วงระยะเวลาในวัฏจักรเซลล์ที่เกิดกิจกรรมการแบ่งเซลล์                                                                                                                              |
| Golgi vesicle     | -ถุงมีเยื่อหุ้มบรรจุสารอยู่ภายในเปลี่ยนแปลงมาจาก Golgi apparatus                                                                                                                   |
| interphase        | -ช่วงระยะเวลาในวัฏจักรเซลล์ที่เซลล์ไม่มีกิจกรรมการแบ่งเซลล์                                                                                                                        |
| kinetochore       | -กลุ่มโปรตีนที่ปรากฏในระยะ prophase ช่วงทำยพบเกาะ 2 ข้าง centromere ในการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ช่วยให้เส้นใยสปินเดิลสามารถมาเกาะกับ centromere และช่วยทำให้เส้นใยสปินเดิลสั้นลง |
| metaphase         | -ระยะในการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ที่มีการจัดเรียงตัวของโครโมโซมที่แนว metaphase plate                                                                                            |
| metaphase plate   | -แนวสมมติที่มีการจัดเรียงตัวของโครโมโซมในระยะ metaphase                                                                                                                            |
| microfilament     | -ออร์กาเนลล์ของเซลล์ที่จัดเรียงตัวติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ มีบทบาทในการเปลี่ยนรูปร่างของเซลล์                                                                                          |
| microtubule       | -ออร์กาเนลล์ของเซลล์ที่จัดระเบียบเป็นเส้นใยสปินเดิล และเส้นใยแอสเตอร์                                                                                                              |
| mitosis           | - การแบ่งนิวเคลียสแบบที่ทำให้ได้นิวเคลียสใหม่เหมือนกันและเหมือนกับนิวเคลียสเริ่มต้น                                                                                                |
| prophase          | -ระยะในการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ที่เกิด chromosome condensation                                                                                                                 |
| Sister chromatids | -ส่วนของโครโมโซมที่เกิดจากการจำลอง DNA และ                                                                                                                                         |



## chromosome condensation

telophase

-ระยะในการแบ่งนิวเคลียสแบบ mitosis ที่สังเกตเห็น  
เซลล์มี 2 นิวเคลียส

tubulin

-โปรตีนหน่วยย่อย ที่เมื่อมีการจัดระเบียบรวมตัวกัน  
ได้ microtubule

## ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. and Jackson, R.B. 2011. Campbell Biology 9<sup>th</sup> Edition., Pearson, USA.
2. Postlethwait, J.H., Hopson, J.L and Veres, R.C 1991. Biology : Bringing Science to Life. McGraw Hill, Inc., New York.