



คำชี้แจง

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรณณ สัตยาลัย

ผู้จัดทำคู่มือ

รองศาสตราจารย์ ดร. ประครอง ตั้งประพจน์กุล

ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	21
ภาคผนวก	22
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน	24



เรื่อง

การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์ : division phase ; meiosis

การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์: division phase ; meiosis 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 อธิบาย เกี่ยวกับลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วง division phase ของการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส กระบวนการที่เกี่ยวข้องซึ่งทำให้ผลของการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสได้ นิวเคลียส 4 นิวเคลียสที่ต่างกันและต่างจากนิวเคลียสเริ่มต้น ตลอดจนทบทวนและตรวจสอบความรู้ ความเข้าใจ

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาจากสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้ว สามารถ

1. อธิบายความหมายของโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome)
2. บอกความหมายของ synapsis
3. อธิบายการเกิด crossing over
4. อธิบายความหมายของ independent assortment
5. บอกความหมายของ ชุดของโครโมโซม (chromosome set)

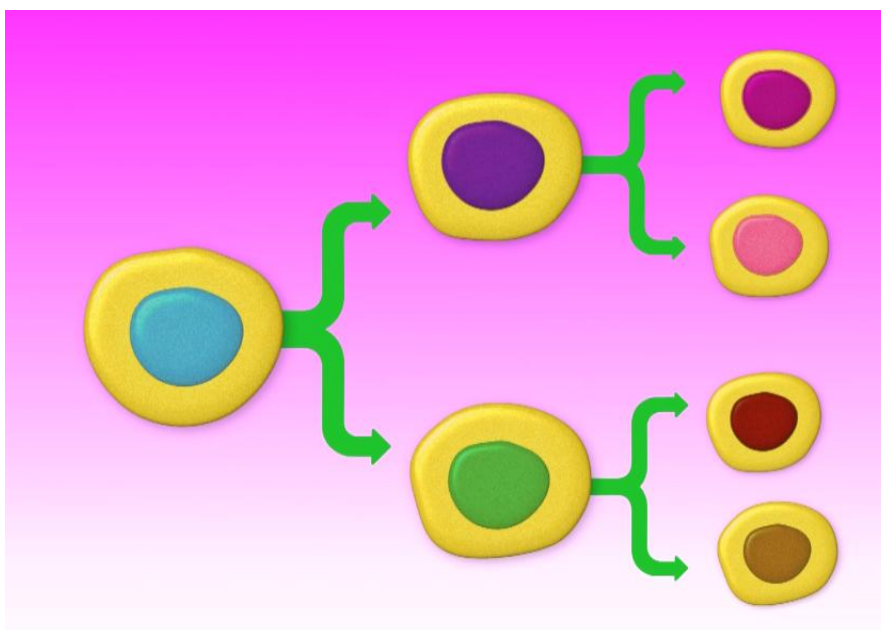


สาระ

การแบ่งนิวเคลียสแบบ meiosis (ไมโอซิส)

เราได้ทราบแล้วว่า การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสมีกลไกใดบ้างที่ทำให้ได้เซลล์ใหม่ที่มีนิวเคลียสเหมือนกัน และเหมือนกับนิวเคลียสของเซลล์เริ่มต้นด้วย

สำหรับในตอนนี้ เราจะศึกษาถึงเรื่องการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส ซึ่งเป็นการแบ่งนิวเคลียสที่เกิดในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เพื่อให้เข้าใจว่า มีขั้นตอนไหน และ กระบวนการใดบ้าง ที่ทำให้จากเซลล์เริ่มต้น 1 เซลล์ เมื่อเกิดการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสจนจบกระบวนการแล้ว จะได้เซลล์ผลลัพธ์ 4 เซลล์ ที่นิวเคลียสของแต่ละเซลล์มีความแตกต่างกัน และยังแตกต่างจากนิวเคลียสของเซลล์เริ่มต้นอีกด้วย (ดังภาพที่ 1)

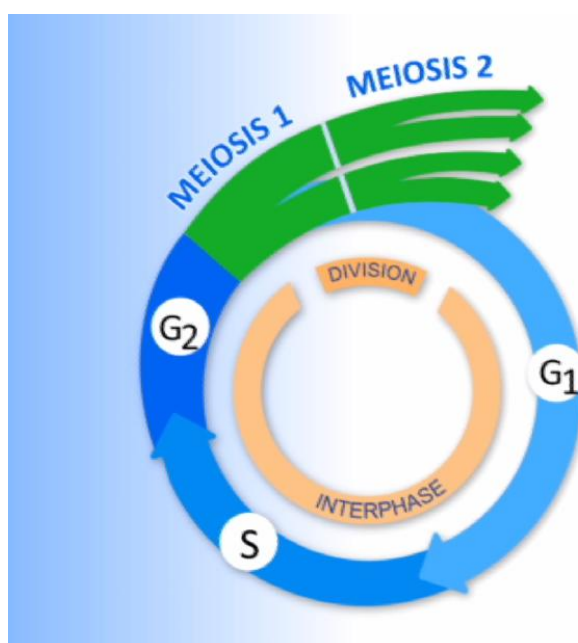


ภาพที่ 1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งนิวเคลียสแบบ meiosis



เซลล์ที่จะเข้าสู่กระบวนการแบ่งนิวเคลียส แบบไมโอซิส มีการผลิตโมเลกุลต่างๆสะสมภายในเซลล์ ในช่วงอินเทอร์เฟส เช่นเดียวกับเซลล์ที่จะแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส นั่นคือ เซลล์เริ่มต้นได้ผ่านระยะ G_1 S และ G_2 มาแล้ว

เซลล์ที่มีการแบ่งแบบไมโอซิสนั้น จะมีแบ่งนิวเคลียสและไซโทพลาซึมเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน 2 รอบ คือ ในช่วง ไมโอซิส 1 และ ช่วงไมโอซิส 2 โดยไม่จำเป็นต้องมีช่วงอินเทอร์เฟสคั่นระหว่าง ช่วงไมโอซิส 1 กับช่วงไมโอซิส 2 (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แสดงช่วง meiosis 1 และ meiosis 2



Meiosis 1 (ไมโอซิส 1)

ในการแบ่งเซลล์ช่วงไมโอซิส 1 จะสามารถแบ่งระยะย่อย โปรเฟส-1 เมทาเฟส-1 แอนาเฟส-1 และ เทโลเฟส-1 เช่นเดียวกับในกระบวนการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส และมีการแบ่งไซโทพลาซึมได้ เซลล์ผลลัพธ์ 2 เซลล์ (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แสดงระยะย่อยของ meiosis 1

เซลล์ผลลัพธ์จากช่วงไมโอซิส 1 ทั้ง 2 เซลล์มีการแบ่งนิวเคลียสเกิดต่อเนื่องในช่วงไมโอซิส 2 ซึ่งแบ่งเป็นระยะย่อย โปรเฟส-2 เมทาเฟส-2 แอนาเฟส-2 และ เทโลเฟส-2 เช่นเดียวกัน เมื่อเกิดการแบ่งไซโทพลาซึม ทำให้สุดท้ายได้เซลล์ผลลัพธ์ 4 เซลล์จากเซลล์เริ่มต้น 1 เซลล์ (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แสดงระยะย่อยของ meiosis 2

Prophase 1 (โปรเฟส 1)

การเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ระยะโปรเฟส 1 มีส่วนที่เกิดขึ้นเหมือนกับการเกิดในโปรเฟสของไมโทซิส ได้แก่

1. การเกิด chromosome condensation ที่ทำให้สามารถสังเกตเห็นโครโมโซมได้ชัดเจนยิ่งขึ้นกว่าในช่วงอินเทอร์เฟส
2. การที่เซนโทรโซมจะแยกไปยังขั้วเซลล์ทั้งสองด้าน และสามารถสังเกตเห็นเส้นใยสปินเดิลได้ชัดเจนขึ้น

ในขณะที่นิวคลีโอลัส พร้อมกับเยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายตัวไป

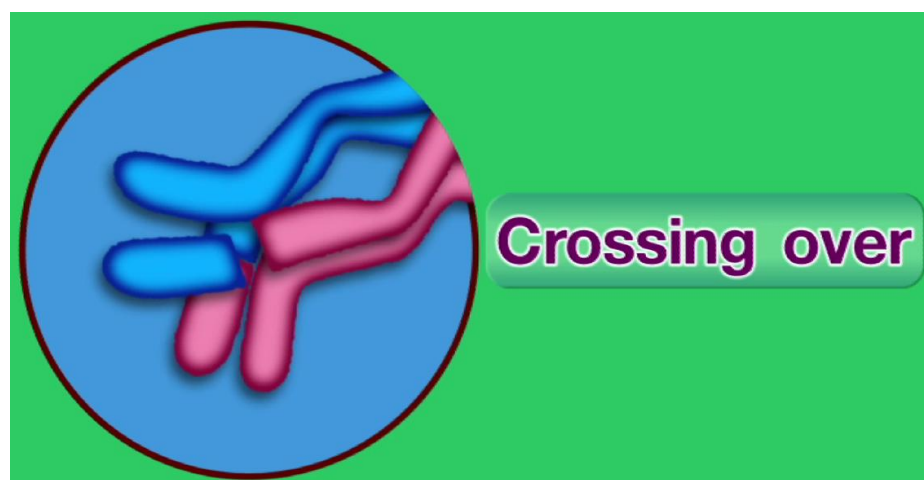
ส่วนการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ที่แตกต่างจากการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส ได้แก่

การที่ “โครโมโซมคู่เหมือน หรือ homologous chromosome (โฮโมโลกัส โครโมโซม)” จะมาเข้าคู่กัน เรียกการเข้าคู่กันเช่นนี้ว่า การเกิด “synapsis” (ดังภาพที่ 5)

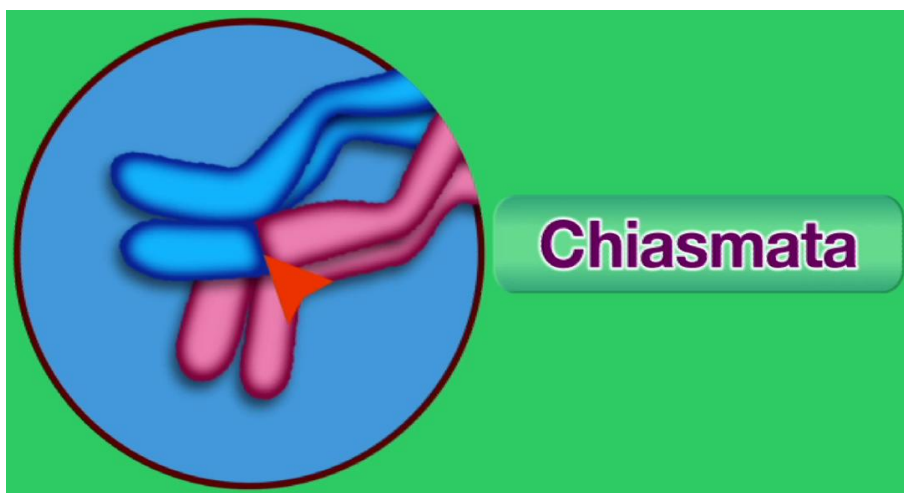


ภาพที่ 5 แสดง synapsis ของ homologous chromosomes

การเข้าคู่กันของโครโมโซมคู่เหมือน จะเป็นการเปิดโอกาสให้มีการแลกเปลี่ยนส่วนของโครมาทิดที่เป็น **non-sister chromatids** ของโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosomes) เรียกการแลกเปลี่ยนส่วนของ non-sister chromatids นี้ว่า “**crossing over (ครอสซิง โอเวอร์)**” (ดังภาพที่ 6) และเรียกตำแหน่งที่เกิด **crossing over** ว่า **chiasmata** (ไคแอสมาตา) (ดังภาพที่ 7)

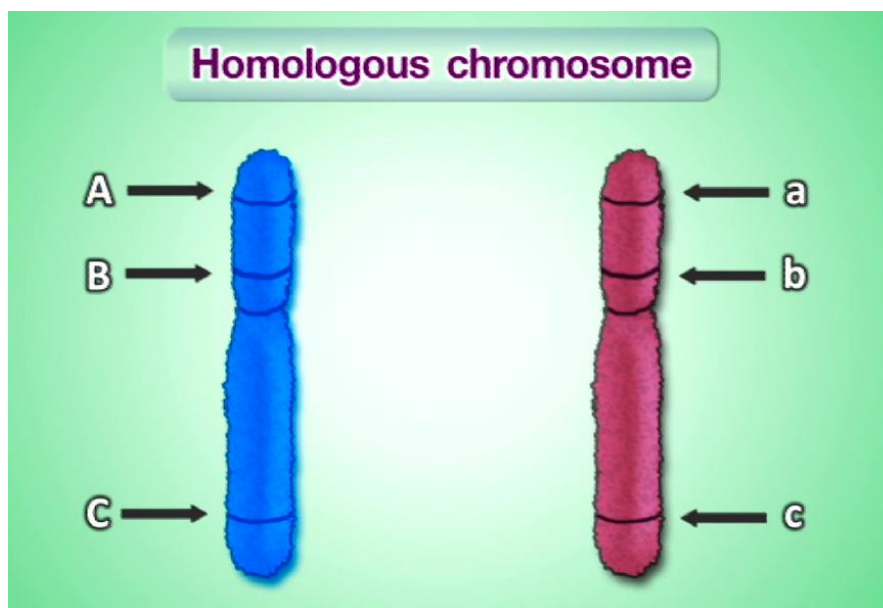


ภาพที่ 6 แสดงการเกิด crossing over ของ non-sister chromatids



ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่ง chiasmata บน non-sister chromatids

คู่ homologous chromosome จะมีตำแหน่งของยีนต่างๆที่ตรงกัน แต่ allele (อัลลีล) ที่อยู่บนคู่ homologous chromosomes นั้นอาจเหมือนหรือแตกต่างกันก็ได้ (ดังภาพที่ 8)

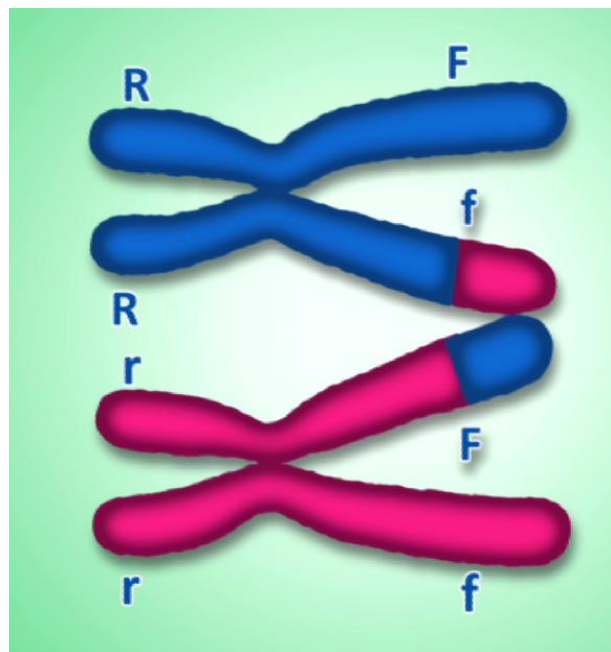


ภาพที่ 8 แสดง allele ที่อยู่บนคู่ homologous chromosome



ดังนั้นหากเปรียบเทียบกับ โครโมโซมที่ไม่ได้เป็นคู่เหมือนกัน (non-homologous chromosomes) จะพบว่า ยีนบน โครโมโซมที่เป็น non-homologous chromosomes กันนั้น จะเป็นคนละชุดกัน

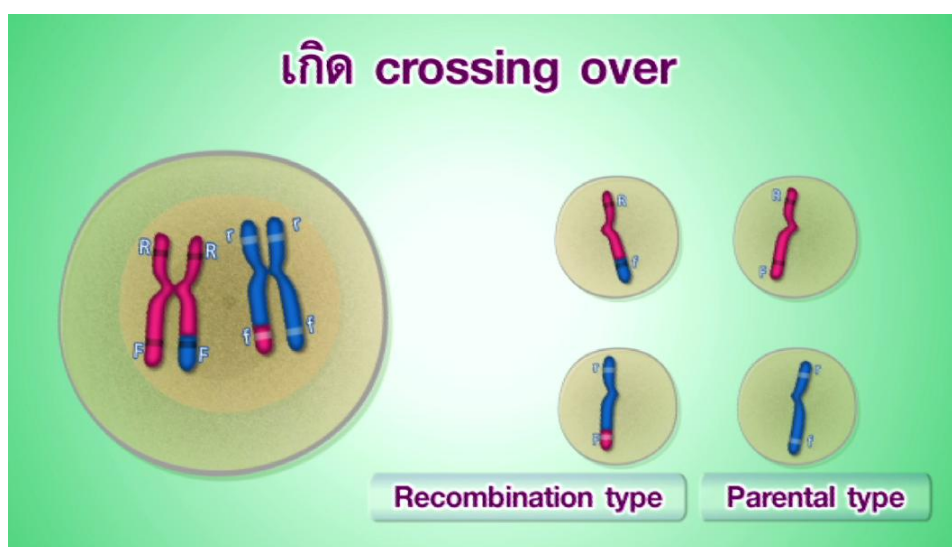
ด้วยเหตุนี้ การเกิด crossing over ระหว่าง non-sister chromatids ของคู่โครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) ส่งผลให้เกิดการสลับ alleles ขึ้น ทำให้องค์ประกอบของ alleles ในแต่ละแท่งโครมาทิดที่เกิด crossing over ต่างไปจากเดิม การเกิด crossing over ดังข้างต้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรม (genetic variation) ในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (ดังภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 แสดงผลจากการเกิด crossing over

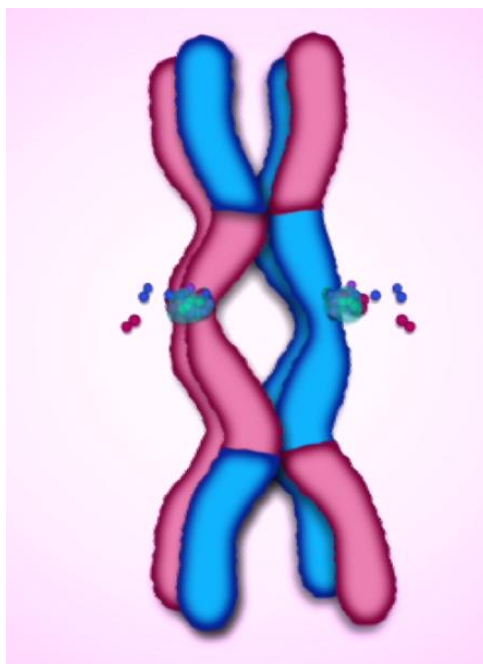


เมื่อเปรียบเทียบการไม่เกิด crossing over ระหว่าง non-sister chromatids ของ homologous chromosomes ดังภาพข้างบน พบว่าเซลล์ผลลัพธ์อาจจะได้โครมาทิดที่เป็นแบบของพ่อ หรือ ที่เป็นแบบของแม่ หรือ เรียกว่าเป็น **parental type** แต่หากเกิด crossing over ดังภาพข้างล่างพบว่าในเซลล์ผลลัพธ์ บางเซลล์ได้โครมาทิดที่เป็น parental type แต่บางเซลล์ได้โครมาทิดที่เป็นผลจากการเกิด crossing over เรียกโครมาทิดแบบนี้ว่าเป็น "แบบ รีคอมบิเนชัน (recombination type)" นั่นคือมี allele ที่อยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกันทั้งที่มาจากพ่อและมาจากแม่ ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรม (genetic variation) เพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 แสดง recombination type และ parental type หลังจากการเกิด crossing over

ในช่วงท้ายของระยะโปรเฟส 1 เกิดการรวมกลุ่มของโปรตีนที่จะมาเป็น kinetochore (ไคนีโทคอร์) ไปเกาะอยู่ที่เซนโทรเมียร์ของแต่ละโครโมโซมเช่นเดียวกับที่เกิดในการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส แต่การเกาะของ kinetochore ที่เซนโทรเมียร์ในช่วงโปรเฟส 1 จะแตกต่างจากระยะโปรเฟสของการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซินั่นคือแทนที่ kinetochore จะเกาะที่ 2 ข้างของเซนโทรเมียร์ของแต่ละโครโมโซม แต่กลับพบว่า **kinetochore** จะเกาะคร่อมเซนโทรเมียร์ของแต่ละ **homologous chromosome** ที่เข้าคู่กันอยู่ ซึ่งลักษณะการเข้าคู่กันของ homologous chromosome และการเกาะของ kinetochore ที่เซนโทรเมียร์นี้ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในระยะถัดไป (ดังภาพที่ 11)



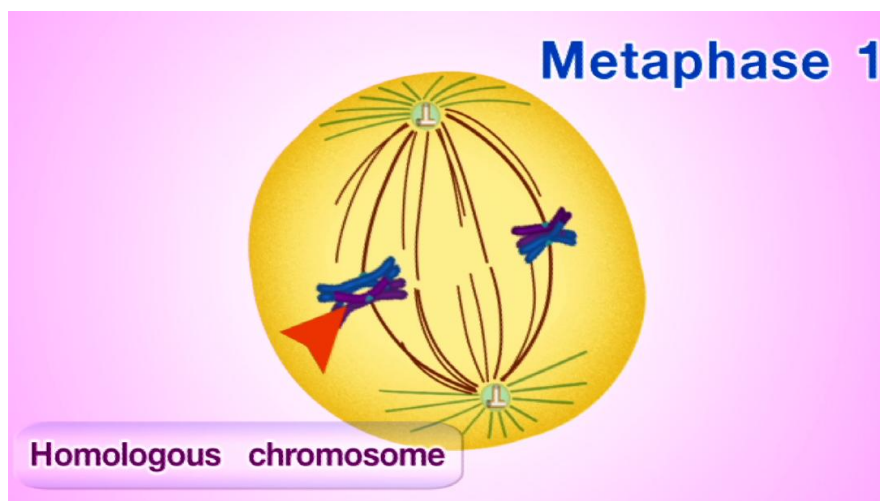
ภาพที่ 11 แสดงการเกาะของ kinetochore

อย่างไรก็ดี kinetochoreจะยังคงทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้เส้นใยสปินเดิลมาจับกับเซนโทรเมอร์ของโครโมโซมได้เช่นเดียวกับในระยะโปรเฟสของไมโทซิส



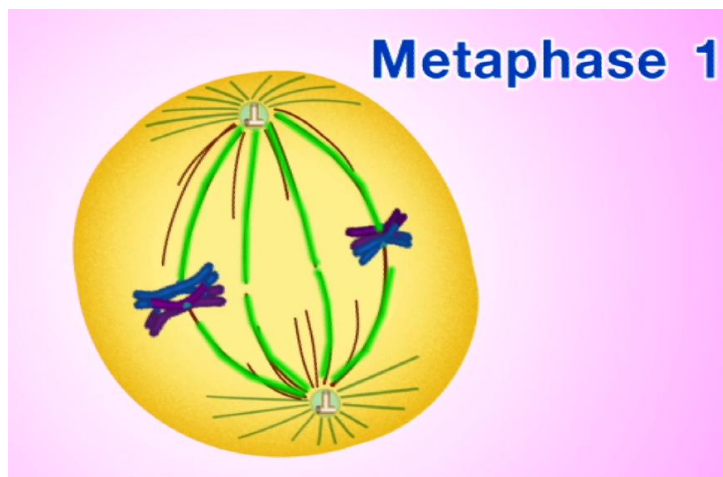
Metaphase 1 (เมทาเฟส 1)

สำหรับในระยะเมทาเฟส 1 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกับเมทาเฟสของไมโทซิส คือจะมีการเรียงตัวของโครโมโซมที่ เมทาเฟส เพลท แต่ลักษณะที่แตกต่างจากการแบ่งนิวเคลียสไมโทซิส ได้แก่ แทนที่จะเป็นโครโมโซมทุกแท่งที่มาเรียงที่แนวเมทาเฟส เพลท กลับเป็นคู่ของ homologous chromosomes ที่ได้ผ่านการเกิด crossing over แล้ว (ดังภาพที่ 12) มาจัดเรียงตัวที่แนวเมทาเฟส เพลท



ภาพที่ 12 แสดงระยะ metaphase 1

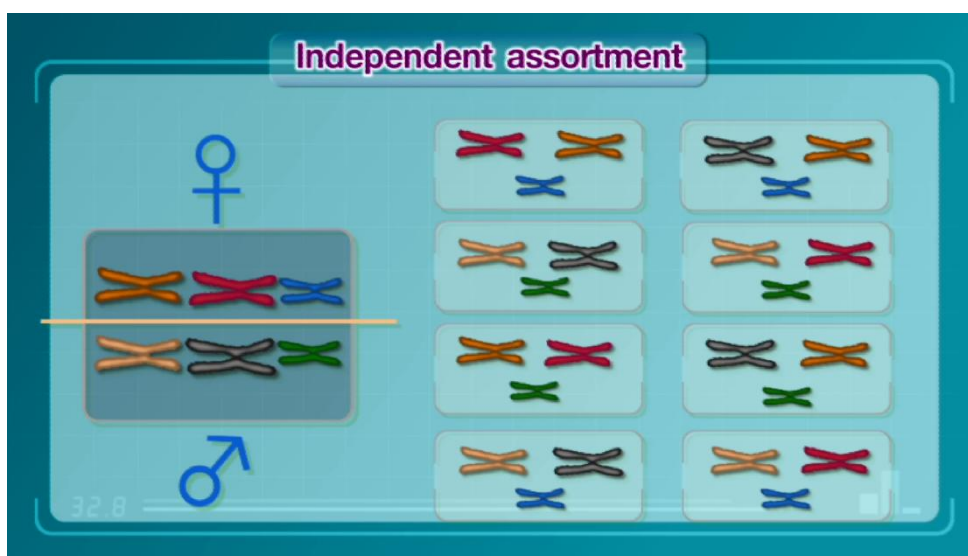
โดยการที่คู่ homologous chromosome ที่มาจัดเรียงตัวที่แนว metaphase plate (เมทาเฟส เพลท) ได้นั้น เกิดจากการทำงานของเส้นใยสปินเดิลเช่นเดียวกับการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส (ดังภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 แสดงคู่ของ homologous chromosome มาจัดเรียงตัวที่แนว metaphase plate

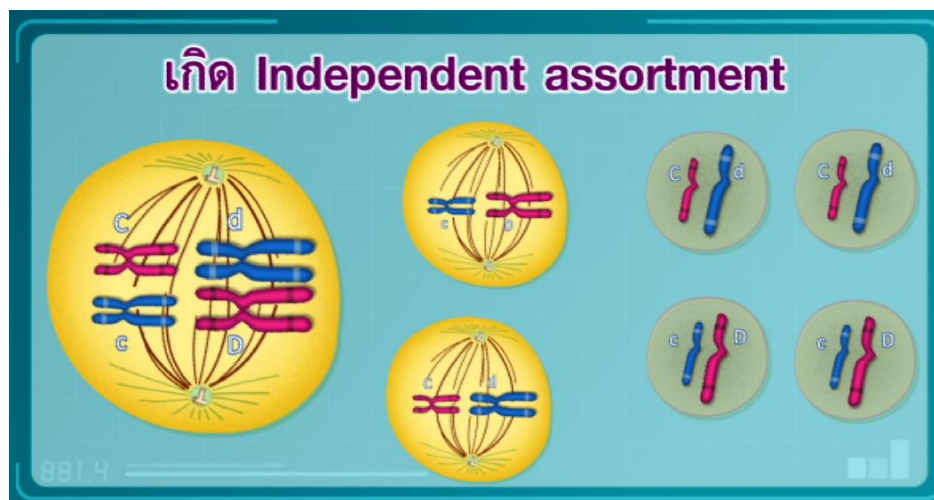


การจัดเรียงตัวของคู่ของ homologous chromosomes ที่เมทาเฟส เฟส นั้นจะเป็นกระบวนการเกิดแบบอิสระ คือ ไม่จำเป็นที่โครโมโซมทุกแท่งซึ่งมาจากพ่อจะเรียงตัวอยู่ทางฝั่งเดียวกันทั้งหมด และโครโมโซมทุกแท่งที่มาจากแม่จะเรียงอยู่ฝั่งตรงกันข้าม การจัดเรียงตัวของ คู่ homologous chromosome จากพ่อและแม่แบบอิสระเช่นนี้ จะส่งผลเพิ่มความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรมในเซลล์ผลลัพธ์ได้อีกทางหนึ่งนอกเหนือจากกระบวนการ crossing over เรียกกระบวนการที่มีการจัดเรียงตัวของคู่ homologous chromosome อย่างเป็นอิสระนี้ว่า “**independent assortment**” (ดังภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการเกิด independent assortment

หากการแยกคู่ของโครโมโซมคู่เหมือนเกิดโดยไม่มี independent assortment นั่นคือ โครโมโซมที่มาจากพ่อทั้งหมดเรียงอยู่ฝั่งหนึ่ง ในขณะที่โครโมโซมที่มาจากแม่เรียงอยู่ฝั่งตรงข้าม เมื่อเสร็จสิ้นการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส จะได้เซลล์ผลลัพธ์ที่ 2 เซลล์ ที่มีโครโมโซมเช่นเดียวกับแม่ และ อีก 2 เซลล์ ที่มีโครโมโซมเช่นเดียวกับพ่อดังเช่นภาพข้างบน แต่หากเกิด independent assortment ขึ้น จะผลได้ดังภาพข้างล่างนั่นคือ เซลล์ผลลัพธ์แต่ละเซลล์ประกอบด้วยโครโมโซมทั้งที่มาจากพ่อและมาจากแม่อยู่รวมในเซลล์เดียวกัน (ดังภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 แสดง chromosome ที่ได้จากการบวนการเกิด independent assortment

สำหรับตัวอย่าง independent assortment ในกรณีที่เซลล์เริ่มต้นมี homologous chromosome อยู่ 2 คู่ จะพบว่าภายหลังจากเกิด independent assortment จะได้นิวเคลียสของเซลล์ผลลัพธ์ที่มีองค์ประกอบของโครโมโซมต่างกัน 4 แบบ ซึ่งเท่ากับ (2^2) หรือในกรณีตัวอย่างของเซลล์เริ่มต้นที่มี homologous chromosome อยู่ 3 คู่ พบว่า ภายหลังจากเกิด independent assortment จะได้นิวเคลียสของเซลล์ผลลัพธ์ที่มีองค์ประกอบของโครโมโซมต่างกันได้ 8 แบบ หรือเท่ากับ (2^3)

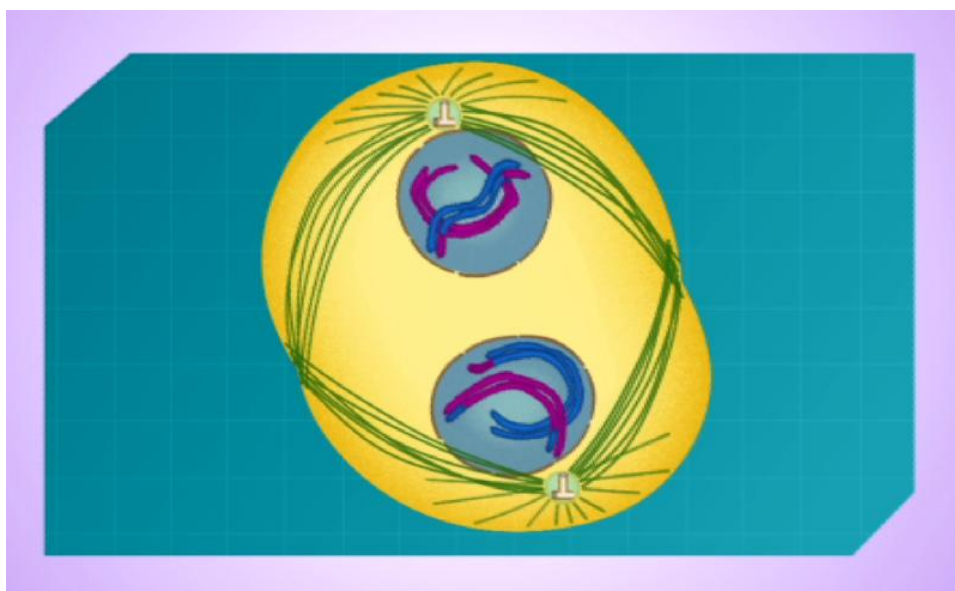
สำหรับมนุษย์ซึ่งมีคู่ของ homologous chromosome 23 คู่ เมื่อเกิด independent assortment จะได้เซลล์ผลลัพธ์ที่มีรูปแบบของการจัดโครโมโซมได้ถึง 2^{23} แบบซึ่งเท่ากับประมาณ 8 ล้านรูปแบบ

Homologous chromosome ก็คือคู่ของโครโมโซมที่มีขนาดเท่ากันและรูปร่างเหมือนกัน โดยโครโมโซมแท่งหนึ่งได้มาจากสเปิร์ม และอีกแท่งที่เหมือนกันนั้นจะได้อีกมาจากไข่ เนื่องจากภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ที่มีโครโมโซม 2 ชุด ($2n$) หรือที่เรียกว่าเป็นเซลล์ดิพลอยด์ (diploid) ดังนั้น เราจะพบ เซลล์ที่มีโครโมโซม 2 ชุด หรือมี homologous chromosome เป็นครั้งแรกสำหรับสิ่งมีชีวิตแต่ละตัวได้ ภายหลังจากการปฏิสนธิระหว่างไข่กับ สเปิร์ม ได้เป็นเซลล์ดิพลอยด์ (เซลล์ที่มีโครโมโซม 2 ชุด) ที่เรียกว่า” **zygote (ไซโกต)**”



Anaphase 1 (แอนาเฟส 1)

ในระยะแอนาเฟส 1 ภายหลังจากที่ homologous chromosome มาเรียงตัวที่เมทาเฟสเพลทแล้ว การทำงานของ kinetochore จะทำให้เส้นใยสปินเดิลจะสั้นลง และทำให้คู่ของ homologous chromosome ถูกแยกออกจากกันไปยังคนละขั้วเซลล์ เซลล์ในระยะเทโลเฟส 1 จะมี 2 นิวเคลียส แต่ทั้ง 2 นิวเคลียสนั้นจะแตกต่างกัน และแตกต่างจากนิวเคลียสของเซลล์เริ่มต้น นั่นคือจำนวนชุดของโครโมโซมจะลดลง จากที่มี 2 ชุดในนิวเคลียสของเซลล์เริ่มต้นเหลือเพียง 1 ชุดในแต่ละนิวเคลียส ทั้งนี้เนื่องจากการแยกคู่ของ homologous chromosome นั้นเอง นอกจากนั้นนิวเคลียสของเซลล์ผลลัพธ์ทั้งสองเซลล์มีพันธุกรรมที่ต่างกัน และ แตกต่างจากเซลล์เริ่มต้น เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการ crossing over และ independent assortment มาแล้ว (ดังภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 แสดงระยะ anaphase 1

ในการแบ่งไซโทพลาซึมเกิดภายหลังจากจบกระบวนการแบ่งนิวเคลียสในช่วงไมโอซิส 1 ซึ่งเกิดในลักษณะเช่นเดียวกับที่เกิดกับเซลล์ที่แบ่งแบบไมโทซิส เห็นได้ว่าการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสในช่วง ไมโอซิส 1 เกิดกระบวนการสำคัญที่มีผลทำให้ได้เซลล์ผลลัพธ์ที่มีสมบัติแตกต่างจาก เซลล์ผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส 2 ประการหลัก ได้แก่

1. มีการลดจำนวนชุดของโครโมโซมและ
2. มีการทำให้เกิดความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรมเกิดขึ้นแล้ว



Meiosis 2 (ไมโอซิส 2)

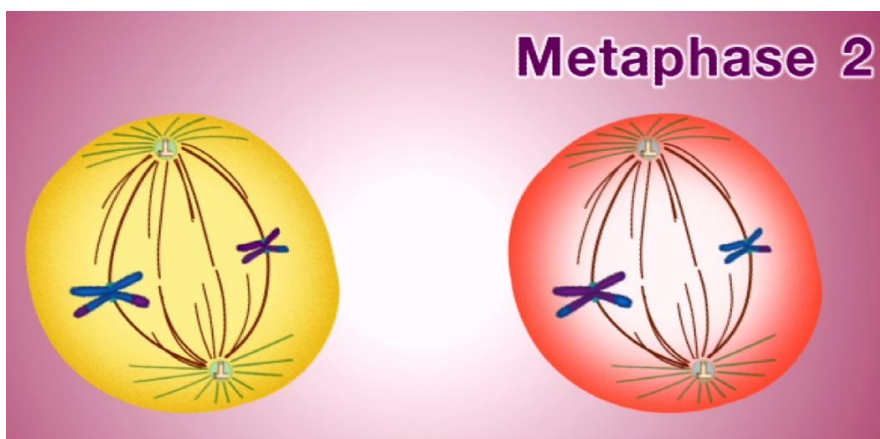
อย่างไรก็ดี ยังต้องมีการแบ่งนิวเคลียสในระยะไมโอซิส 2 ต่อเนื่องจากไมโอซิส 1 อีก เพราะเหตุใด
ถึงยังต้องมีขั้นตอนของไมโอซิส 2 เกิดต่อเนื่องจากไมโอซิส 1 ไมโอซิส 2

Prophase 2 (โปรเฟส 2)

ในระยะโปรเฟส 2 เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับที่เกิดในไมโทซิส เช่น chromosome condensation เซ็นโทรโซมแยกจากกันไปยังคนละขั้วของเซลล์ เส้นใยสปินเดิลปรากฏเห็นชัด นิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายตัวไป แต่เซลล์ในระยะโปรเฟส 2 แตกต่างจากโปรเฟสของไมโทซิส คือเซลล์เริ่มต้นที่มีโครโมโซมเพียง 1 ชุด หรือ $1n$ หรือที่เรียกว่าเป็น “เซลล์แฮพลอยด์ (haploid)” แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด แต่ข้อมูลทางพันธุกรรมของทั้ง 2 โครมาทิดนี้ไม่จำเป็นจะต้องเหมือนกันทุกประการเช่นในกรณีของ sister chromatids ในการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส ทั้งนี้เนื่องจากโครโมโซมบางแท่ง ของเซลล์ในระยะโปรเฟส 2 นี้ อาจได้ผ่านกระบวนการ crossing over มาแล้ว ในช่วง ไมโอซิส 1 ในช่วงปลายของระยะโปรเฟส 2 กลุ่มโปรตีนที่รวมกันเป็น kinetochore ไปเกาะที่ 2 ข้างของเซนโทรเมียร์ของโครโมโซมแต่ละแท่ง ในลักษณะเช่นเดียวกับที่เกิดในโปรเฟสของไมโทซิส

Mataphase 2 (เมทาเฟส 2)

ในระยะเมทาเฟส 2 โครโมโซมมาเรียงตัวที่แนวเมทาเฟส เพลท โดยการทำงานของเส้นใยสปินเดิลในลักษณะเช่นเดียวกับที่เกิดในการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส สิ่งที่แตกต่างกันจากเมทาเฟสของไมโทซิสได้แก่ ในแต่ละนิวเคลียสของระยะเมทาเฟส 2 จะมีโครโมโซมเพียง 1 ชุดเท่านั้น (ดังภาพที่ 17)

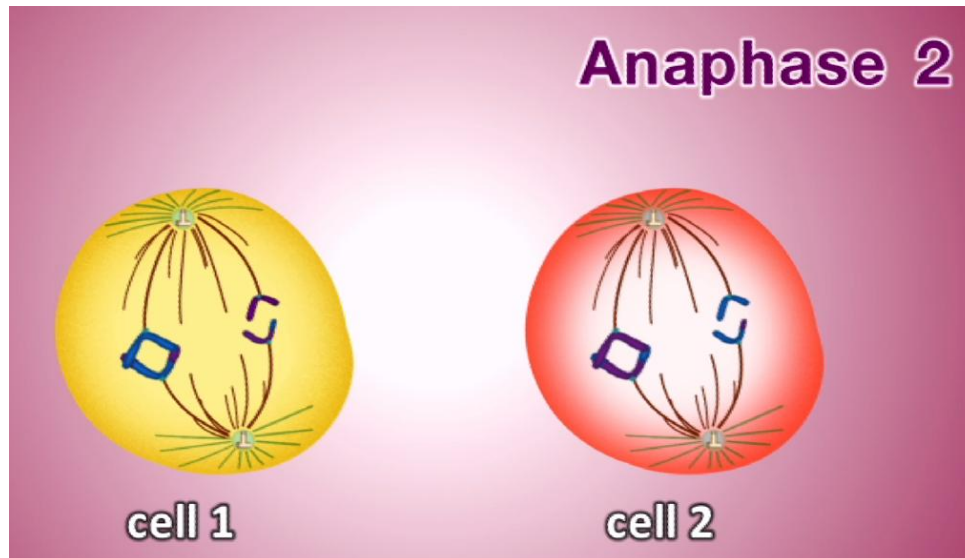


ภาพที่ 17 แสดงระยะ metaphase 2



Anaphase 2 (แอนาเฟส 2)

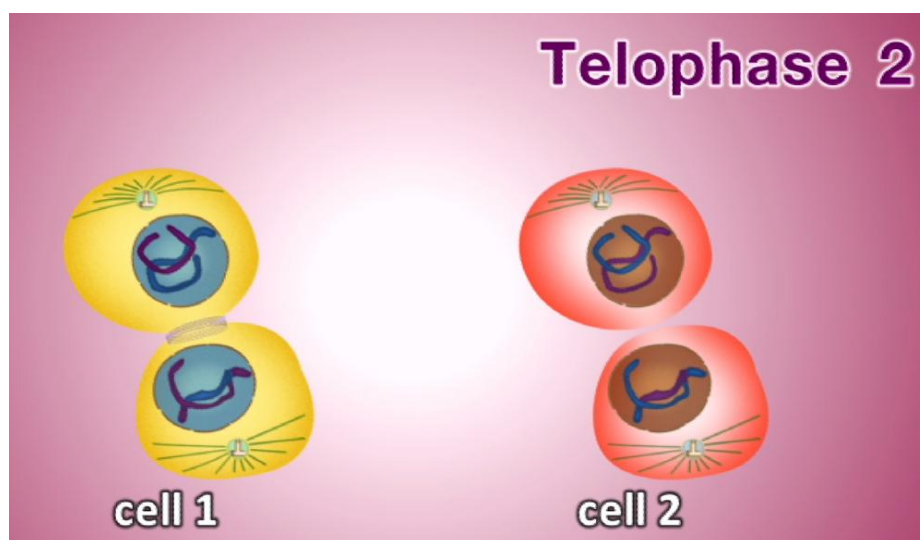
ในระยะแอนาเฟส 2 การที่ kinetochore ทำให้เส้นใย สปินเดิลสั้นลงเป็นแรงที่ดึงให้โครมาทิดแยกจากกัน (ดังภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 แสดงระยะ anaphase 2

Telophase 2 (เทโลเฟส 2)

จากเซลล์เริ่มต้น 2 เซลล์ในระยะเทโลเฟส 1 ในแต่ละเซลล์ จะพบว่ามี 2 นิวเคลียสซึ่งแต่ละนิวเคลียสแตกต่างกัน (ดังภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 แสดงระยะ telophase 2



เมื่อมาถึงระยะนี้จะสามารถเปรียบเทียบเซลล์ในระยะเทโลเฟส 1 และเทโลเฟส 2 ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร โครมาทิดที่ถูกแยกจะไปเป็นโครโมโซมของเซลล์ใหม่

การแบ่งไซโทพลาซึมภายหลังจบขั้นตอนของไมโอซิส 2 จะเกิดขึ้นโดยกลไกและวิธีการเดียวกับที่ภายหลังการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส และภายหลังการแบ่งนิวเคลียสระยะไมโอซิส 1

สรุป

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสพบในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ทั้งในพืชและในสัตว์

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสมีการแบ่งเซลล์เกิดต่อเนื่องกัน 2 รอบได้แก่ ไมโอซิส 1 และไมโอซิส 2 ทำให้ได้เซลล์ผลลัพธ์ 4 เซลล์ที่แตกต่างจากเซลล์เริ่มต้น ซึ่งมีโครโมโซม 2 ชุด ($2n$) หรือเป็นเซลล์ดิพลอยด์ (diploid) ส่วนในเซลล์ผลลัพธ์มีโครโมโซมเพียง 1 ชุด (n) หรือเป็นเซลล์แฮพลอยด์

โดยมีกระบวนการลดจำนวนชุดของโครโมโซมเกิดในช่วงไมโอซิส 1 เนื่องจาก homologous chromosome ที่เข้าคู่กันอยู่เกิดการเคลื่อนที่แยกจากกัน

กระบวนการที่ทำให้เซลล์ผลลัพธ์แต่ละเซลล์มีความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรมซึ่งกันและกัน และแตกต่างจากเซลล์เริ่มต้นเนื่องจากในช่วงไมโอซิส 1 เกิด crossing over และ independent assortment ระหว่างคู่ homologous chromosome

Crossing over เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของ non sister chromatids ของคู่ homologous chromosome ทำให้องค์ประกอบของอัลลีลที่เป็นลักษณะเด่นหรือลักษณะด้อยของยีนต่าง ๆ บน non sister chromatids ที่เกิด Crossing over กัน แตกต่างไปจากเดิม

independent assortment หรือการแยกคู่ homologous chromosome จากพ่อและแม่อย่างเป็นอิสระ ทำให้เกิดการรวมกันของโครโมโซมต่าง ๆ จากพ่อและแม่ มาเป็นโครโมโซม 1 ชุดในเซลล์ผลลัพธ์ได้อย่างเป็นอิสระ และทำให้เกิดความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรม (genetic variation) ได้ แม้ว่า จะไม่ได้เกิด crossing over ในการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสขึ้นเลยก็ตาม

ในช่วงไมโอซิส 2 เกิดการแยกโครมาทิด ด้วยกระบวนการที่คล้ายกับที่เกิดขึ้นในการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส ข้อที่แตกต่างกันได้แก่ เซลล์เริ่มต้นของไมโอซิส 2 มีโครโมโซมเพียง 1 ชุด และโครมาทิดของโครโมโซมแต่ละแท่งไม่ได้ ประกอบด้วย sister chromatids ที่มีข้อมูลทางพันธุกรรมเหมือนกันทุกประการเช่นในไมโทซิส หากแต่โครมาทิดของโครโมโซมในช่วงนี้ได้ผ่านกระบวนการ crossing over มาแล้ว ข้อมูลบนแต่ละโครมาทิดของโครโมโซมแต่ละแท่งก็จะแตกต่างกัน



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่องการสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์: division phase; meiosis ซึ่งเป็นตอนสุดท้ายของการสืบพันธุ์ระดับเซลล์ เน้นให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการที่สำคัญในการแบ่งนิวเคลียสแบบ meiosis ซึ่งมีดังต่อไปนี้

- ก่อนการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสมีช่วง interphase เช่นเดียวกับการแบ่งนิวเคลียสแบบ meiosis
- ในกระบวนการแบ่งนิวเคลียสแบบ meiosis และแบ่งไซโทพลาซึมเกิดขึ้น 2 ครั้งต่อเนื่องกันได้แก่ ไมโอซิส 1 และ ไมโอซิส 2
- ลักษณะของเซลล์ที่สามารถสังเกตได้ก่อนที่จะเข้าสู่ระยะ division phase ของไมโอซิส
- การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่สังเกตได้ เมื่อเข้าสู่ระยะต่างๆ ของไมโอซิส 1 รวมทั้งกิจกรรมในระดับเซลล์ที่ทำให้สามารถสังเกตเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงในระยะต่างๆ
- การแบ่งไซโทพลาซึมของไมโอซิสใช้หลักการเดียวกับไมโทซิส
- สรุปผลที่ได้หลังจากจบกระบวนการ
- การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ในระยะไมโอซิส 2
- สรุปผลที่ได้หลังจากจบกระบวนการไมโอซิส 2



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

Chromosome set	ชุดของโครโมโซม โครโมโซม 1 ชุดจะประกอบด้วยโครโมโซมที่ไม่สามารถมาเข้าคู่กันได้ และเกิดจากการแยกกันโครโมโซมที่เคยเป็นคู่กัน (homologous chromosomes)
Crossing over	กระบวนการที่เกิดการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมที่เป็น non-sister chromatids กัน ทำให้องค์ประกอบของ allele ในโครโมโซมที่เกิด crossing over ต่างไปจากเดิม เป็นการเพิ่มความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรม
Homologous chromosome	โครโมโซมที่มีรูปร่างเหมือนกันและขนาดเท่ากัน
Independent assortment	กระบวนการที่โครโมโซมที่เคยเป็นชุดของสเปิร์มและที่เคยเป็นชุดของไข่ แยกจากกันอย่างอิสระในระยะ metaphase 1 โดยไม่จำเป็นว่าโครโมโซมทุกแท่งที่เคยมาจากสเปิร์มจะต้องแยกไปรวมในเซลล์เดียวกัน เช่นเดียวกับในกรณีของโครโมโซมที่มาจากไข่ ส่งผลให้เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเซลล์ผลลัพธ์จะมีทั้งโครโมโซมที่เดิมมาจากสเปิร์มและโครโมโซมที่เดิมมาจากไข่ รวมกันอยู่ เป็นวิธีการเพิ่มความแตกต่างแปรผันทางพันธุกรรมอีกวิธีหนึ่ง
Non-sister chromatids	chromatids ของโครโมโซมคนละแท่ง
Synapsis	กระบวนการที่ homologous chromosomes มาเข้าคู่กัน โดยตำแหน่งที่มีกลุ่มโปรตีน kinetochore มาจับจะอยู่ด้านนอกของโครโมโซมทั้งคู่



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 9th 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.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะใกล้ในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
15	ทางเดินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
16	การย่อยและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
22	ไต: หน่วยไตและการผลิตปัสสาวะ	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
24	องค์ประกอบของเลือด หมู่เลือด และ การแข็งตัวของเลือด	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
25	การป้องกันตนเองของร่างกาย และ ระบบภูมิคุ้มกัน	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
26	การเคลื่อนที่ของปลา	รศ.วีณา เมฆวิชัย
27	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรรพรรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรรพรรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรรพรรณ สัตยาลัย
37	เซลล์พืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
39	ปากใบและการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
40	การลำเลียงน้ำของพืช	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง
41	พลังงานชีวิต	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
42	ปฏิกิริยาแสง (Light reaction)	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
43	ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C ₄	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง
47	โครงสร้างของดอก (Structure of Flower)	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลนันทน์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ชุมพล คุณวาสี
49	การเกิดและโครงสร้างผล	อ.ดร.สร้อยนภา ญาณวัฒน์
50	การงอกของเมล็ด	รศ.นันทนา อังกินันท์
51	การวัดการเจริญเติบโตของพืช	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
52	ออกซิน	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
53	การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการเกษตร	ผศ.พัชรา ลิ้มปะนะเวช
54	การเคลื่อนไหวของพืช	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
55	ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
56	กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
57	มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชเนกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอรา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญภูเขียว
74	ความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
75	ความหลากหลายของสัตว์มีกระดูกสันหลัง	รศ.วีณา เมฆวิชัย
76	กลไกของพฤติกรรม	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
77	พฤติกรรมการเรียนรู้แบบต่าง ๆ	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
78	การสื่อสารระหว่างสัตว์	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
79	แนวคิดเกี่ยวกับระบบนิเวศ	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
80	ไบโอมบ่นก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบ่นก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่ม ตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา