

บทที่ 2

โครงสร้างทางกายภาพ และการแบ่งเซลล์ (Physical Basis and Cell Division)

2.1 โครงสร้างทางกายภาพ

เซลล์ คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ตั้งแต่พืช สัตว์ สาหร่าย รา รวมทั้งจุลินทรีย์ต่างๆ ยกเว้นไวรัส สิ่งมีชีวิตอาจประกอบด้วยหนึ่งเซลล์ (unicellular organism) หรือหลายเซลล์ (multicellular organism)

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั้งเซลล์เดียว และสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เซลล์ชนิดโปรคาริโอต (prokaryote) ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่ายสีน้ำเงินและไมโครพลาสมา และเซลล์ชนิดยูคาริโอต (eukaryote) ได้แก่ พืช สัตว์ สาหร่าย และโปรโตซัว

ขนาด และรูปร่างของเซลล์

- เซลล์โปรคาริโอตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1-10 ไมครอน
- เซลล์ยูคาริโอตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 10-100 ไมครอน

ดังนั้นเซลล์ยูคาริโอตจึงมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์โปรคาริโอต ประมาณ 10-20 เท่า

2.1.1 เซลล์ของสิ่งมีชีวิต (the cell) แบ่งเป็น 2 ชนิด

2.1.1.1 เซลล์โปรคาริโอต เช่น แบคทีเรีย (รูปที่ 2.1) ประกอบด้วย

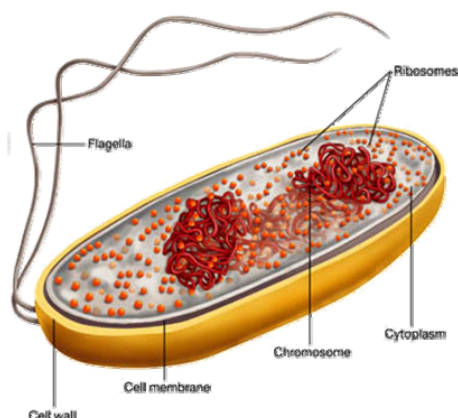
- ผนังเซลล์ (cell wall) ผนังเซลล์เป็นสารประเภทเปปทิโดไกลเคน (peptidoglycan) ซึ่งประกอบมาจากโมเลกุลของน้ำตาล และกรดอะมิโนมาต่อกันเป็นสายยาว นอกจากนี้อาจพบไขมัน ฟอสฟอรัส และเกลืออนินทรีย์เป็นองค์ประกอบอีกด้วย ส่วนประกอบของผนังเซลล์ของโปรคาริโอตกับยูคาริโอตนั้นแตกต่างกัน เนื่องจากผนังเซลล์ของพืช และรา ซึ่งเป็นยูคาริโอตนั้นประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) และไคติน (chitin) ตามลำดับ หน้าที่ของผนังเซลล์ คือ ให้ความแข็งแรง และคงรูปร่างให้กับเซลล์

- เยื่อหุ้มล้อมรอบเซลล์ (plasma membrane หรือ cell membrane) ประกอบด้วยโปรตีน และไขมัน ทำหน้าที่ป้องกัน และควบคุมการผ่านเข้าออกของโมเลกุลต่างๆ ภายในเซลล์

- ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ภายในมีของเหลวที่เรียกว่า ไซโตซอล (cytosol) ซึ่งประกอบมาจากน้ำ เกลือ สารอินทรีย์โมเลกุล และเอนไซม์ชนิดต่างๆ ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ภายในไซโตพลาสซึมของโปรคาริโอตยังแตกต่างกับยูคาริโอตด้วยเนื่องจากไม่มีออร์แกเนลล์ (organelle) ได้แก่ กอลจิ บอดี (golgi bodies) เอนโดพลาสมิก เรติคูลัม (endoplasmic reticulum) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) คลอโรพลาสต์ (chloroplast) และนิวเคลียส (nucleus)

เนื่องจากไซโตพลาสซึมของโปรคาริโอตไม่มีนิวเคลียส ดังนั้นดีเอ็นเอ (DNA) ของสิ่งมีชีวิตพวกโปรคาริโอตจึงลอยลอยอยู่ในไซโตพลาสซึม และมีชื่อเรียกว่า นิวคลีโอยด์ (nucleoid) นอกจากนี้ภายในไซโตพลาสซึมของโปรคาริโอตยังมีอาร์เอ็นเอ (RNA) ไรโบโซม (ribosome) โปรตีน (protein) และโมเลกุลเล็กๆลอยอยู่อีกด้วย สำหรับโปรคาริโอตบางชนิดที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ อาจพบส่วนที่เรียกว่า โครมาโทฟอร์ (chromatophore) ซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อหุ้มเรียงเป็นชั้น เรียก ลามেলা (lamella) หรืออาจอยู่ในรูปท่อ หรือถุง ซึ่งภายในมีรงควัตถุที่ใช้ในการดูดกลืนแสงอยู่ เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์

- แฟลกเจลลา (flagella) เจริญมาจากไซโตพลาสซึม แล้วยื่นทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์ ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโปรคาริโอตบางชนิด เช่น แบคทีเรีย แต่โปรคาริโอตบางชนิดก็ไม่มีแฟลกเจลลา เช่น สาหร่ายสีน้ำเงิน ดังนั้นสาหร่ายสีน้ำเงินจึงเคลื่อนที่โดยการคืบคลาน นอกจากนี้โปรคาริโอตบางชนิดอาจมีพิลัส (pilus) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแฟลกเจลลา แต่มีขนาดเล็ก และจำนวนมากกว่า เชื่อว่ามีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเกาะติดกับพื้นผิว หรือแบคทีเรียอื่น

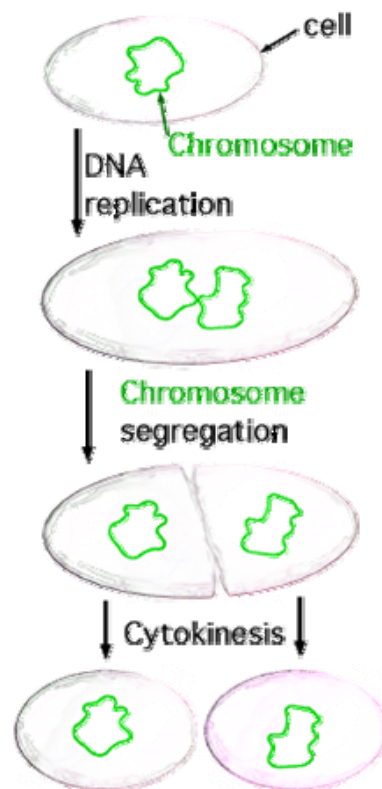


รูปที่ 2.1 เซลล์โปรคาริโอตชนิดแบคทีเรีย

(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

การสืบพันธุ์ของโปรคาริโอต เช่น แบคทีเรีย

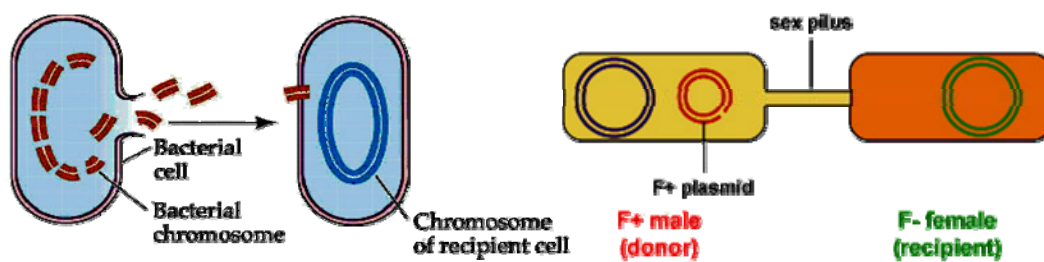
การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) ได้แก่ กระบวนการไบนารี ฟิสชัน (binary fission) ซึ่งเป็นการแบ่งเซลล์จากเซลล์เริ่มต้น (parent cell) 1 เซลล์ให้ได้เป็นเซลล์ใหม่เกิดขึ้น 2 เซลล์ เรียกว่า เซลล์ลูก (daughter cell) ที่มีสารพันธุกรรมเหมือนกับเซลล์เริ่มต้น (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 กระบวนการแบ่งเซลล์แบบไบนารี ฟิสชัน

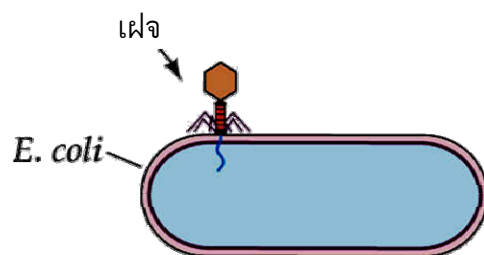
(แหล่งที่มา: http://www.biologydaily.com/biology/upload/0/00/Binary_fission.png)

แต่อย่างไรก็ดีสารพันธุกรรมของโปรคาริโอตสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากการกลายพันธุ์ (mutant) หรือการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมซึ่งกัน และกัน โดยผ่านกระบวนการทรานสฟอร์มเมชัน (transformation)หรือกระบวนการคอนจูเกชัน (conjugation) หรือกระบวนการทรานสดักชัน (transduction) เป็นต้น (รูปที่ 2.3)



ก

ข



ค

รูปที่ 2.3 การแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมซึ่งกัน และกันของเซลล์ชนิดโพรคาริโอต

(ก) กระบวนการทรานสเฟอร์เมชัน (ข) กระบวนการคอนจูเกชัน

(ค) กระบวนการทรานสดักชัน

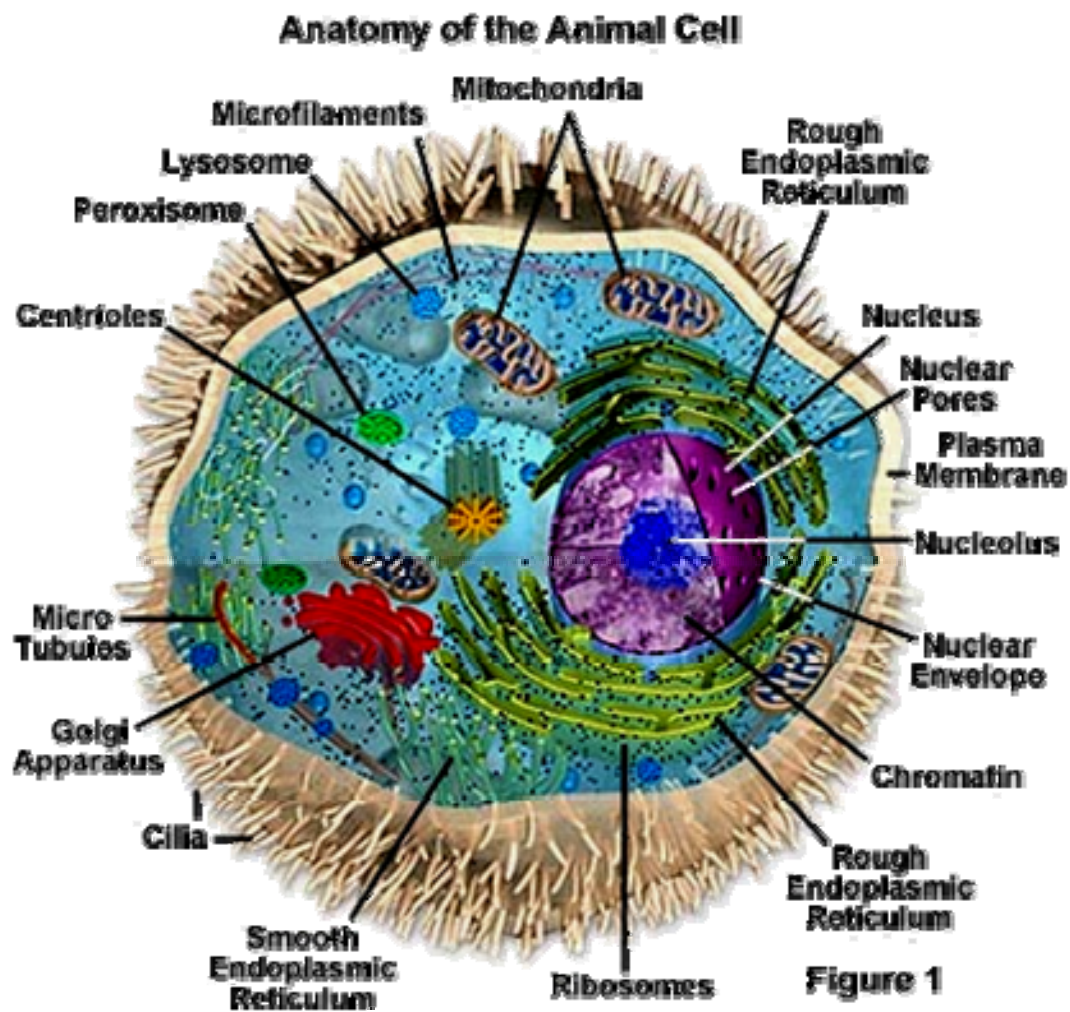
(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

2.1.2.2 เซลล์ยูคาริโอต เช่น รา เซลล์สัตว์ และเซลล์พืช เป็นต้น (รูปที่ 2.3 และ 2.4) ประกอบด้วย

- ผนังเซลล์ พบในเซลล์พืชเท่านั้น ประกอบด้วยเซลลูโลส (ซึ่งมีสารประเภทโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ และอาจพบโปรตีนบ้าง) หน้าที่ของผนังเซลล์ คือ เพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์พืช และทำให้เซลล์พืชคงรูป

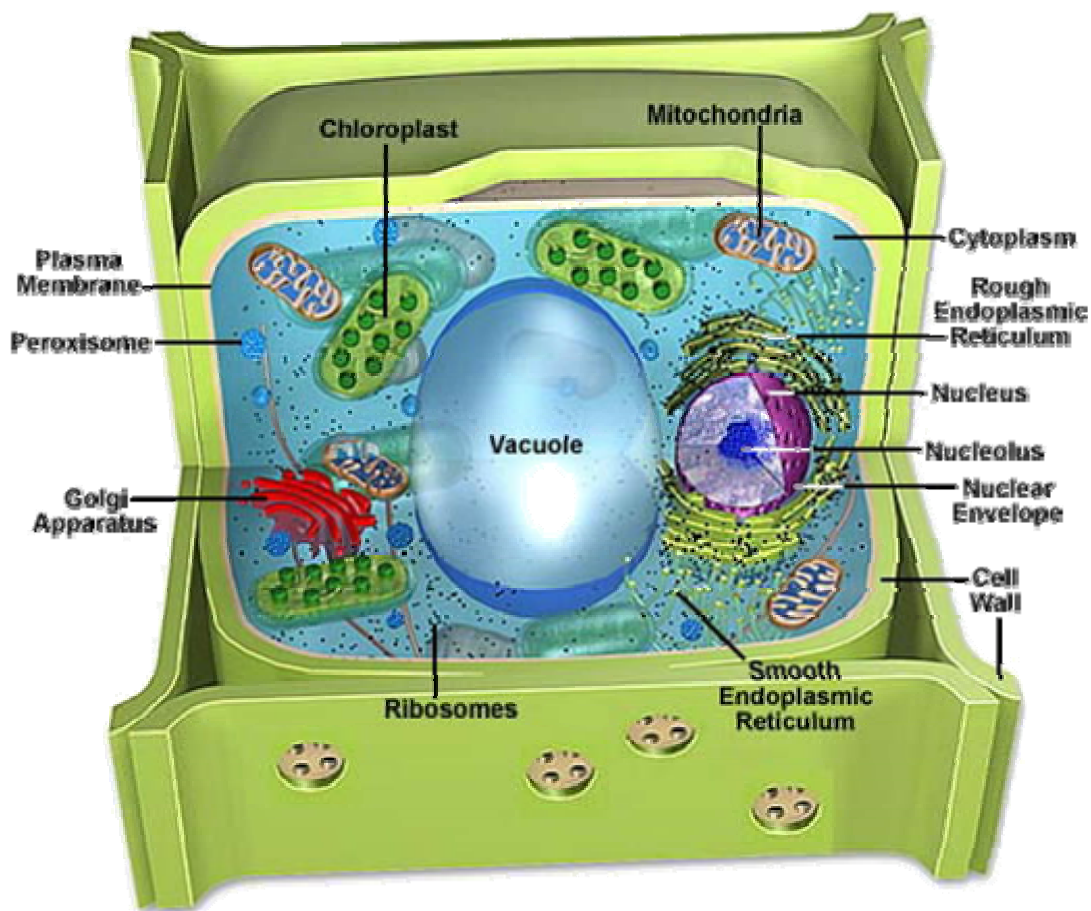
- เยื่อหุ้มล้อมรอบเซลล์ ประกอบด้วยโปรตีน และไขมัน ทำหน้าที่ ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารโมเลกุลต่างๆภายในเซลล์

- ไซโตพลาสซึม ภายในมีของเหลวที่เรียกว่า ไซโตซอล (cytosol) ซึ่งประกอบมาจากน้ำ เกลือ สารอินทรีย์โมเลกุล และเอนไซม์ชนิดต่างๆ ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ภายในไซโตพลาสซึมของยูคาริโอตยังมีออร์แกเนลล์ (organelle) ต่างๆ ได้แก่ ไมโทคอนเดรีย



รูปที่ 2.3 เซลล์สัตว์

(แหล่งที่มา: <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/animals/animalmodel.html>)



รูปที่ 2.4 เซลล์พืช

(แหล่งที่มา: <http://www.molecularexpressions.com/cells/plants/images/plantcell.jpg>)

ลักษณะ และหน้าที่ของออร์แกเนลล์ต่างๆ มีดังนี้

- ไมโทคอนเดรีย เป็นออร์แกเนลล์ ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น และมี DNA เป็นของตัวเอง เยื่อหุ้มชั้นนอกมีลักษณะเรียบ และชั้นในมีลักษณะขดยื่นเข้าไป เรียกว่า คริสตี (cristae) ภายในมีของเหลว เรียก เมทริกซ์ (matrix) นอกจากนี้ยังมีไรโบโซมอยู่ปะปนอีกด้วย หน้าที่ของไมโทคอนเดรีย คือ สังเคราะห์พลังงาน (ATP) เพื่อใช้ในปฏิกิริยาต่างๆ ของเซลล์ เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงไขมันให้เป็นคาร์โบไฮเดรต และกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระ และสารพิษ

- เอนโดพลาสมิก เรติคูลัม เป็นออร์แกเนลล์ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะเล็ก ท่อ และถุงแบน เยื่อหุ้มประกอบด้วยไขมันชนิดฟอสโฟลิพิด และโปรตีนซึ่งส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์ไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ คอเลสเทอรอล เป็นต้น ออร์แกเนลล์นี้สามารถแบ่งเป็น

- ชนิดขรุขระ (Rough ER) เป็นเอนโดพลาสมิก เรติคูลัมที่มีไรโบโซมเกาะอยู่ ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของโปรตีนให้อยู่ในรูปร่างที่เหมาะสมกับการทำงาน
- ชนิดเรียบ (Smooth ER) เป็นเอนโดพลาสมิก เรติคูลัมที่ไม่มีไรโบโซมเกาะอยู่ ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการสังเคราะห์ไขมันหลายชนิด เช่น ไตรกลีเซอไรด์ คอเลสเทอรอล และการกำจัดสารพิษ เป็นต้น

- ไรโบโซม เป็นออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม ประกอบด้วย rRNA และโปรตีน ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน

- กอลจิ คอมเพล็กซ์ เป็นออร์แกเนลล์ที่มีลักษณะเป็นถุงเยื่อหุ้มแบนหลายถุงเรียงซ้อนกัน แต่ละถุงเรียกว่า ซิสเทิร์น (cisterny) และจะพบกระเปาะเล็กๆ อยู่ร่วมกับซิสเทิร์นนี้ หน้าที่ของกอลจิ คอมเพล็กซ์ คือ จัดแปลงโปรตีน ให้อยู่ในรูปที่สามารถทำงานได้ และนำโปรตีนเหล่านั้นไปอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

- ไลโซโซม เป็นออร์แกเนลล์ที่มีลักษณะเป็นถุง ภายในมีเอนไซม์ ทำหน้าที่ทำลายสิ่งแปลกปลอม และย่อยออร์แกเนลล์ที่หมดหน้าที่แล้ว

- แวกคิวโอล เป็นออร์แกเนลล์ที่มีลักษณะเป็นถุง ภายในมีของเหลวเรียกว่า เซลล์แซป (cell sap) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการย่อยโปรตีน การสะสมอาหาร และการกำจัดน้ำออกนอกเซลล์

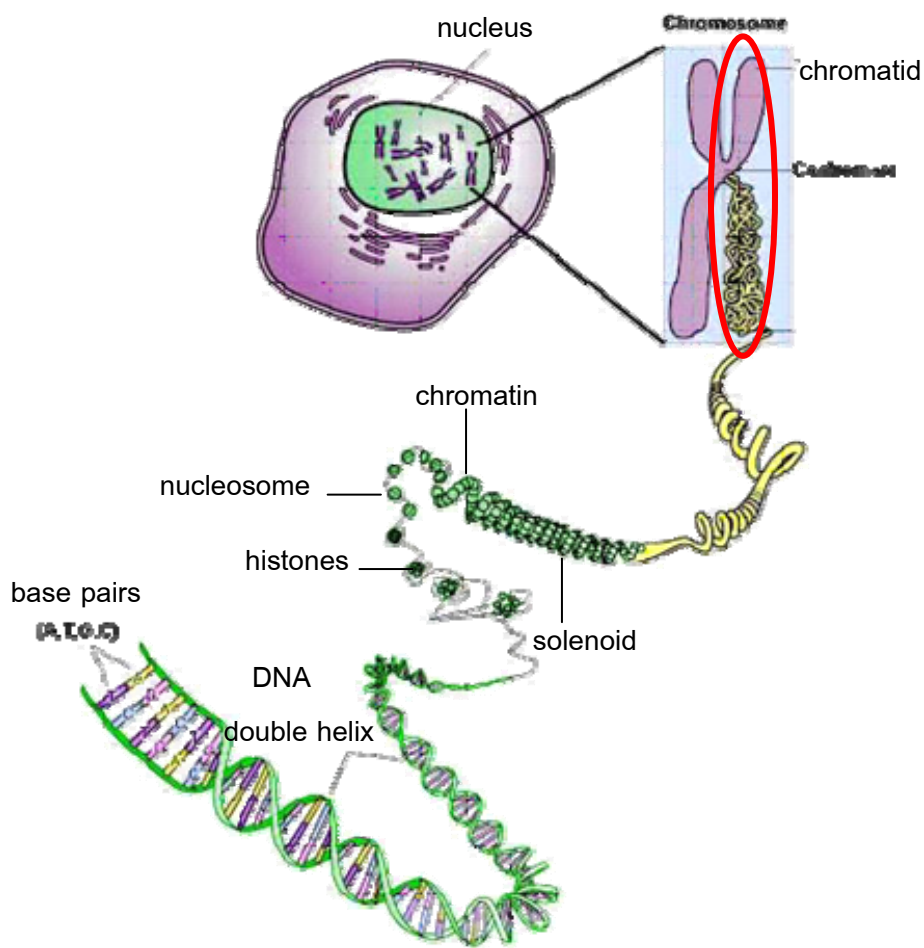
- นิวเคลียส เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น แต่มีลักษณะที่ไม่แน่นอน ซึ่งอาจเป็นลักษณะกลม หรือไข่ เป็นต้น บริเวณเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) จะมีช่องให้โมเลกุล RNA ผ่านออกได้ เรียกช่องนี้ว่า นิวเคลียร์ พอร์ (nuclear pore) ภายในนิวเคลียสมีของเหลวที่เรียกว่า นิวคลีโอพลาสซึม (nucleoplasm) หน้าที่ของนิวเคลียส คือ เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของเซลล์ร่วมกับไซโตพลาสซึม และมีบทบาทเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ภายในนิวเคลียสยังเป็นที่มีการจำลองโมเลกุลของสารพันธุกรรม (DNA replication) เพื่อเพิ่มจำนวน DNA และการถอดรหัสพันธุกรรม (transcription) เพื่อสังเคราะห์ RNA

สิ่งที่อยู่ภายในนิวเคลียส ได้แก่ โครโมโซม (chromosome) นิวคลีโอลัส (nucleolus) RNA และโปรตีนชนิดต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- โครโมโซม โครงสร้างของโครโมโซม ประกอบด้วย DNA อยู่รวมกับโปรตีนประเภทฮิสโตน (histone) 5 ประเภทด้วยกัน คือ H_1 H_2A H_2B H_3 และ H_4 ฮิสโตนมีอยู่ในเซลล์ยูคาริโอตทุกชนิด ยกเว้นในสเปิร์ม ซึ่งจะมีสารพวกโปรตามีน (protamine) มาแทนที่ ในโครโมโซม DNA มีประจุลบจะอยู่ร่วมตัวกับฮิสโตนซึ่งมีประจุบวกโดยพันธะไอออนิก (ionic) ในลักษณะที่มี H_2A H_2B H_3 และ H_4 อย่างละ 2 ชุด รวมเป็น 8 โมเลกุล (octamer) ของฮิสโตน ลักษณะการรวมตัวระหว่าง DNA กับฮิสโตนดังกล่าวเรียกว่า นิวคลีโอโซม (nucleosome) เมื่อนิวคลีโอโซมแต่ละหน่วยต่อเข้าด้วยกัน โดยการประสานของช่วง DNA กับฮิสโตนประเภท H_1 ทำให้เกิดเป็นสายยาวที่เรียกว่า สายโครมาทิน (chromatin fiber) ซึ่งมีลักษณะคล้ายลูกประคำที่ร้อยอยู่กับเส้นด้าย ซึ่งลักษณะเช่นนี้พบในนิวเคลียสของเซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ แต่ถ้าเซลล์เริ่มมีการแบ่งตัวสายโครมาทินจะม้วนตัวเองเข้าทบเป็นชั้นๆ อย่างมีระบบจนมีความหนามากขึ้น และลักษณะคล้ายขดลวดสปริง เรียกว่า โซลินอยด์ (solenoid) และจะมีการม้วนเป็นโครงสร้างที่หนามากขึ้นจนเห็นเป็นรูปร่างโครโมโซม ในสภาวะปกติโครโมโซมจะมีเพียง 1 โครมาทิด (chromatid) เท่านั้น (รูปที่ 2.5) แต่ถ้าโครโมโซมเข้าสู่ระยะการแบ่งเซลล์จะมีการกระบวนการจำลองโมเลกุล DNA ส่งผลให้โครโมโซมมี 2 โครมาทิด และรูปร่างโครโมโซมจะเห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ ช่วงระยะเมทาเฟส (metaphase) ของการแบ่งเซลล์ โครโมโซมแต่ละแท่งจะต้องมีโครงสร้างที่เรียกว่า เซนโทรเมียร์ (centromere) อยู่ 1 เสมอ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นรอยคอดของโครโมโซม และทำหน้าที่เป็นจุดยึดของเส้นใยสปินเดิล เพื่อให้โครโมโซมสามารถเคลื่อนที่ได้ในกระบวนการแบ่งเซลล์ นอกจากนั้นยังเป็นจุดยึดโครมาทิด (chromatid) ทั้งสองของโครโมโซมแต่ละแท่งให้อยู่ติดกันจนกว่าจะถูกดึงแยกออกจากกันในกระบวนการแบ่งเซลล์ระยะอะนาเฟส (anaphase) โครโมโซมที่ไม่มีเซนโทรเมียร์จะไม่สามารถดำรงอยู่ได้

- นิวคลีโอลัส เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้าง rRNA ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปลรหัสพันธุกรรมเพื่อสังเคราะห์โปรตีน

- RNA และโปรตีนชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจำลองโมเลกุล DNA กระบวนการถอดรหัสพันธุกรรม และกระบวนการแปลรหัสพันธุกรรม เป็นต้น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของโครโมโซม

(แหล่งที่มา: <http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/images/chromosome.jpg>)

- พลาสติด เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ภายในมี DNA เป็นของตัวเอง และทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงเพื่อสังเคราะห์อาหาร และเกี่ยวข้องกับการสะสมอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนอีกด้วย ออร์แกเนลล์ชนิดนี้มักพบเฉพาะในเซลล์พืช และเซลล์สาหร่าย แต่ไม่พบในเซลล์สัตว์

ชนิดของพลาสติด แบ่งเป็น

- คลอโรพลาสต์ เป็นพลาสติดที่มีสีเขียว เนื่องจากภายในมีรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์อยู่มาก และพบแคโรทีนอยด์ด้วย ทำหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง มักพบ พลาสติดชนิดนี้ในบริเวณเนื้อเยื่อพืชที่มีสีเขียว

- โครโมพลาสต์ เป็นพลาสต์ที่มีสีส้ม แดง เหลือง เนื่องจากภายในมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ พบมากในผลไม้สุก เช่น มะละกอ และมะเขือเทศ เป็นต้น

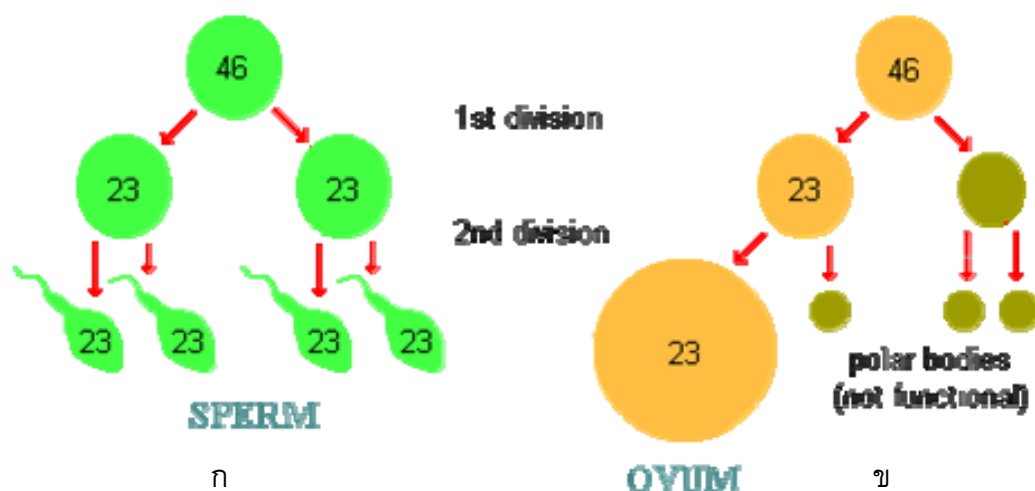
- ลิวโคพลาสต์ เป็นพลาสต์ที่ไม่มีสี เนื่องจากไม่มีรงควัตถุใดๆอยู่ ทำหน้าที่สะสมอาหาร เช่น แป้ง โปรตีน และไขมัน ทำให้มีชื่อเรียกลิวโคพลาสต์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารเหล่านี้ว่า อะไมโลพลาสต์ โปรตีนพลาสต์ และอีไลโอพลาสต์ ตามลำดับ

พลาสต์ทั้งสามจะเปลี่ยนแปลงมาจากโพรพลาสต์ (proplastid) ซึ่งพบมากในเซลล์ของต้นอ่อนของราก ลำต้น และใบ เมื่อต้นกล้าได้รับแสง โพรพลาสต์จะเจริญเป็นคลอโรพลาสต์ แต่ถ้าต้นกล้าเจริญในที่มืด โพรพลาสต์จะเจริญเป็นอีไลโอพลาสต์ แต่ถ้าหากได้รับแสงอีไลโอพลาสต์จะสามารถเจริญเป็นคลอโรพลาสต์ได้

- เซนทริโอล เป็นออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม ในแต่ละเซลล์มีเซนทริโอล 2 อันวางตั้งฉากมุมขวาอยู่ใกล้กับนิวเคลียส หน้าที่ของเซนทริโอลนั้นเกี่ยวข้องกับการสร้างเส้นใยสปินเดิลในกระบวนการแบ่งเซลล์ของเซลล์สัตว์ และการสร้างแฟลกเจลลาในการเคลื่อนที่ของโปรโตซัว สำหรับออร์แกเนลล์ชนิดนี้จะไม่พบในเซลล์พืช

การสืบพันธุ์ของยูคาริโอต เช่น เซลล์สัตว์ เซลล์พืช รวมทั้งคนด้วย

ส่วนใหญ่เป็นการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) โดยมีการปฏิสนธิระหว่างเซลล์สืบพันธุ์จากพ่อ และแม่ คือ สเปิร์ม และไข่ ตามลำดับ ซึ่งเซลล์สืบพันธุ์ดังกล่าวได้มาจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 กระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในเซลล์สัตว์ (ก) สร้างสเปิร์ม (ข) สร้างไข่
(แหล่งที่มา: http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/489/501016/CDA45_1.jpg)

2.2 การแบ่งเซลล์ (cell division)

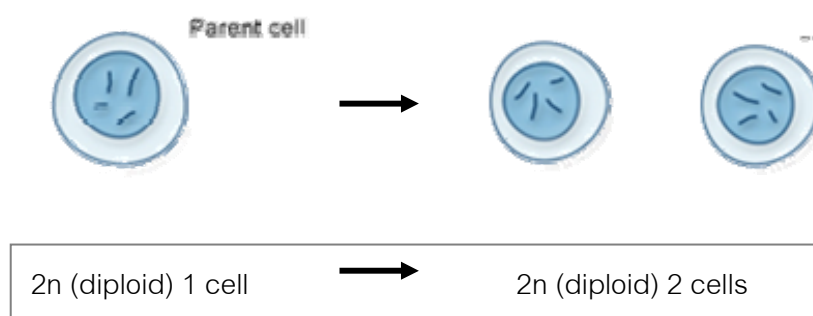
สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะเริ่มต้นจากเซลล์เดี่ยวทั้งนั้น เช่น มนุษย์ เริ่มจากการปฏิสนธิระหว่างสเปิร์มกับไข่ เกิดเป็นไซโกต ซึ่งเป็นเซลล์เดี่ยว จากนั้นจึงมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์มากมายหลายล้านเซลล์ และเมื่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ถึงช่วงวัยเจริญพันธุ์ ก็จะมีการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ เพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนประชากร เช่น เพศหญิงจะมีการสร้างไข่ และเพศชายจะมีการสร้างสเปิร์ม เป็นต้น ดังนั้นการแบ่งเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบดังนี้

2.2.1 ไมโทซิส (mitosis) พบในกระบวนการสร้างเซลล์ร่างกายของยูคาริโอต และกระบวนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดี่ยวบางชนิด เช่น แบคทีเรีย ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยจำนวนโครโมโซมยังคงเท่ากับของเซลล์เริ่มต้น

2.2.2 ไมโอซิส (meiosis) พบในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะมีจำนวนโครโมโซมเพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนโครโมโซมของเซลล์ร่างกายพ่อแม่ และแม่

2.2.1 ไมโทซิส (mitosis) หรือ วงชีวิตเซลล์แบบไมโทซิส (mitotic cell division)

หลักการ: เซลล์เดิม 1 เซลล์ ผ่านกระบวนการแบ่งเซลล์ได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ ที่มีองค์ประกอบพันธุกรรมเหมือนกันทุกประการ และจำนวนโครโมโซมที่ได้มีจำนวนเท่ากับโครโมโซมเริ่มต้น (รูปที่ 2.7) เช่น



รูปที่ 2.7 หลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

(แหล่งที่มา : <http://ghr.nlm.nih.gov/handbook/illustrations/mitosismeiosis.jpg>)

ไมโทซิส (mitosis) หรือ mitotic cell division สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. อินเทอร์เฟส (interphase) (รูปที่ 2.8)

อินเทอร์เฟสเป็นขั้นตอนที่สังเกตเห็นนิวเคลียสได้ชัดเจนที่สุด ภายในนิวเคลียสจะพบเส้นใยโครมาตินขนาดเล็กและบางเต็มไปหมด ในขั้นตอนอินเทอร์เฟสเป็นขั้นตอนยาวนานที่สุดในวงจรชีวิตของเซลล์ และมีกระบวนการเมแทบอลิซึม รวมถึงกิจกรรมต่างๆของเซลล์มากที่สุดอีกด้วย เพราะเป็นขั้นตอนที่มีการเตรียมสะสมวัตถุดิบที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์สารต่างๆ รวมทั้งออร์แกเนลล์เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการแบ่งเซลล์ ขั้นตอนอินเทอร์เฟสสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

- ระยะ G_1 (first gap):

เซลล์ในระยะนี้ยังไม่มีการสังเคราะห์ DNA เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นระยะต่อเนื่องหลังจากเสร็จสิ้นการแบ่งเซลล์ ระยะ G_1 จะใช้เวลานานแตกต่างกันออกไปในเซลล์ชนิดต่างๆ ของยูคาริโอต ซึ่งอาจยาวนานเป็นนาที เป็นชั่วโมง หรืออาจเป็นเดือนหรือเป็นปีก็ได้ ทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความคิดเห็นว่าจะมีอีกระยะหนึ่งคือ ระยะ G_0 (zero gap) อยู่ในช่วงระยะของ G_1

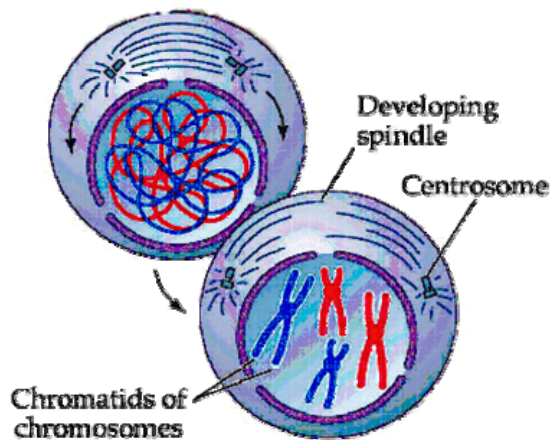
เซลล์ในระยะ G_0 หรือระยะพัก สามารถแบ่งได้ 2 แบบ

- พักชั่วคราว: เซลล์พักจนกว่าจะได้รับสิ่งกระตุ้น เช่น การบาดเจ็บ หรือ growth factors

- พักถาวร: เซลล์จะไม่มีการแบ่งเซลล์อีกต่อไป ระยะพักเช่นนี้มักเกิดกับเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และการทำงานเพื่อไปทำหน้าที่เฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือที่เรียกว่า differentiation cell เช่น เซลล์ประสาท เซลล์กล้ามเนื้อของสัตว์ และของคนที่โตเต็มวัย

- ระยะ S (synthesis): เป็นระยะที่เริ่มมีการจำลองโมเลกุล DNA (DNA replication) ทำให้ปริมาณ DNA เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งจะส่งผลให้โครโมโซม 1 แท่งมี 2 โครมาทิด (chromatid) เนื่องจากสภาวะปกติที่ไม่มีการแบ่งเซลล์โครโมโซม 1 แท่งมีเพียง 1 โครมาทิด นอกจากนี้ในระยะนี้ยังมีการเพิ่มจำนวนของเซนโทรโซม (centrosome) จาก 1 เซนโทรโซม เป็น 2 เซนโทรโซมอีกด้วย

- ระยะ G_2 (second gap): เซลล์เตรียมตัวเข้าสู่การแบ่งเซลล์



รูปที่ 2.8 ระยะอินเทอร์เฟส

(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

2. ไมโทซิส สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ดังนี้

2.1 กระบวนการแบ่งนิวเคลียส (karyokinesis) สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ

(รูปที่ 2.9) คือ

- โพรเฟส (prophase) เป็นระยะที่เส้นใยโครมาทินเริ่มหดตัวมากขึ้นจนปรากฏเป็นรูปร่าง โครโมโซม แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด เนื่องจากโครโมโซมผ่านการจำลองโมเลกุล DNA ในระยะ S ของขั้นตอนอินเทอร์เฟส จากนั้นเซนโทรโซมทั้งสองที่อยู่ในไซโทพลาสซึมใกล้บริเวณขอบนิวเคลียสจะแยกกันไปอยู่คนละขั้วของเซลล์ ช่วงท้ายของระยะนี้ นิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) เริ่มสลายตัวไป ทำให้โครโมโซมทั้งหมดกระจายออกทั่วเซลล์ และในขณะเดียวกันจะปรากฏเส้นใยสปินเดิล (spindle fiber) ออกมาจากเซนทริโอลของแต่ละเซนโทรโซมที่อยู่บริเวณขั้วเซลล์ เพื่อไปจับบริเวณเซนโทรเมียร์ (centromere) ของแต่ละโครโมโซม (รูปที่ 2.9 ก)

- เมทาเฟส (metaphase) เป็นระยะที่โครโมโซมหดตัวสั้นมากที่สุด ทำให้เห็นโครโมโซมมี 2 โครมาทิดชัดเจนที่สุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาคาร์ิโอไทป์ (karyotype) ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในขณะเดียวกันเส้นใยสปินเดิลที่จับบริเวณเซนโทรเมียร์ของแต่ละโครโมโซม จะส่งผลให้โครโมโซมทั้งหมดไปเรียงรายกันอยู่บริเวณแนวกลางเซลล์ เรียกว่า อีควาโทเรียลเพลต (equatorial plate) (รูปที่ 2.9 ข)

ะกลายเป็นโครโมโซมใหม่ (daughter chromosome) ระยะนี้จึงเป็นระยะที่สั้นที่สุดของกระบวนการแบ่งเซลล์ (รูปที่ 2.9 ค)

- เทโลเฟส (telophase) เป็นระยะที่เส้นใยสปินเดิลเริ่มสลายตัว พร้อมทั้งโครโมโซมใหม่เริ่มคลายตัวจนกลายเป็นเส้นใยโครมาทิน ในขณะเดียวกันเซลล์เริ่มมีการสร้างนิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียสอีกครั้งทำให้เกิดนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส ที่มีองค์ประกอบของสารพันธุกรรมเหมือนกันทุกประการ (รูปที่ 2.9 ง)

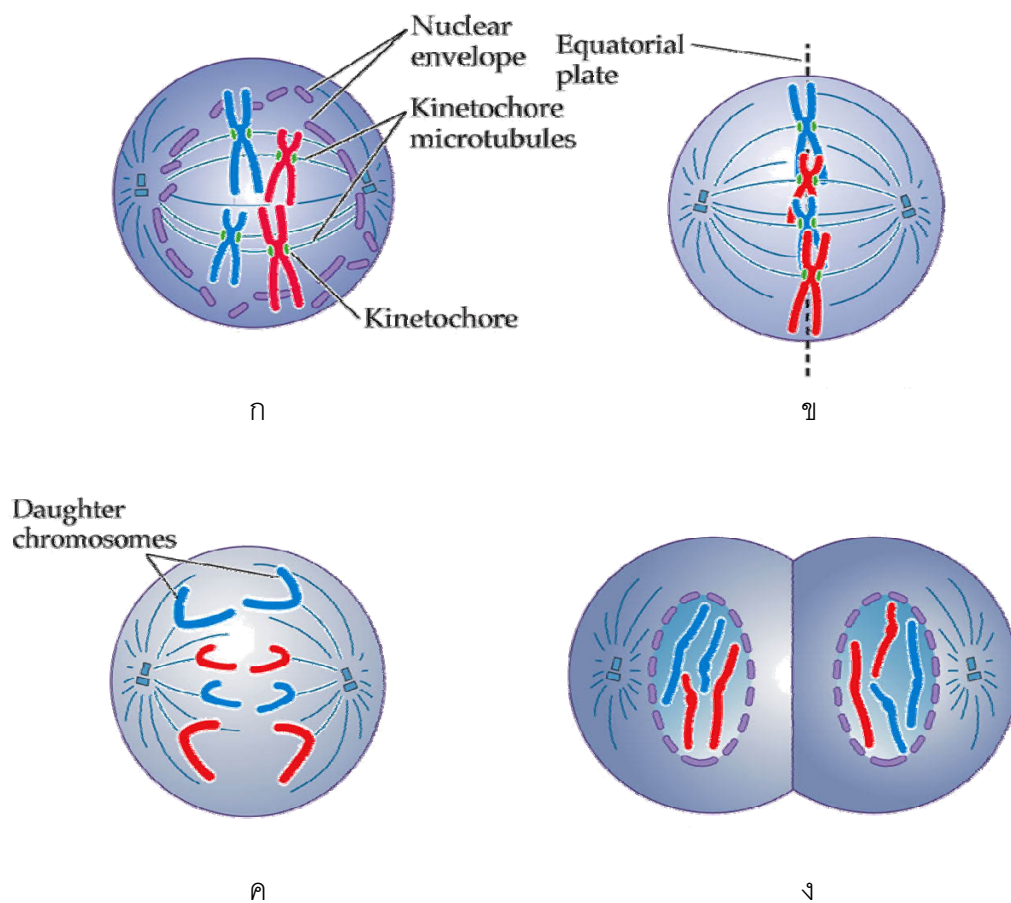
2.2 กระบวนการแบ่งไซโตพลาสซึม (cytokinesis) แตกต่างกันระหว่างเซลล์สัตว์และเซลล์พืช (รูปที่ 2.10)

ในเซลล์สัตว์ระหว่างการแบ่งไซโตพลาสซึมเพื่อแบ่งเซลล์ จะเริ่มมีรอยคอดเกิดขึ้นบริเวณแนวกลางเซลล์ จากนั้นรอยคอดจะรัดเข้ามากขึ้นจนไซโตพลาสซึมถูกแบ่งแยกออกเป็นสองส่วน เรียกว่า cleavage furrow และกลายเป็นเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ (daughter cell) (รูปที่ 2.10 ก)

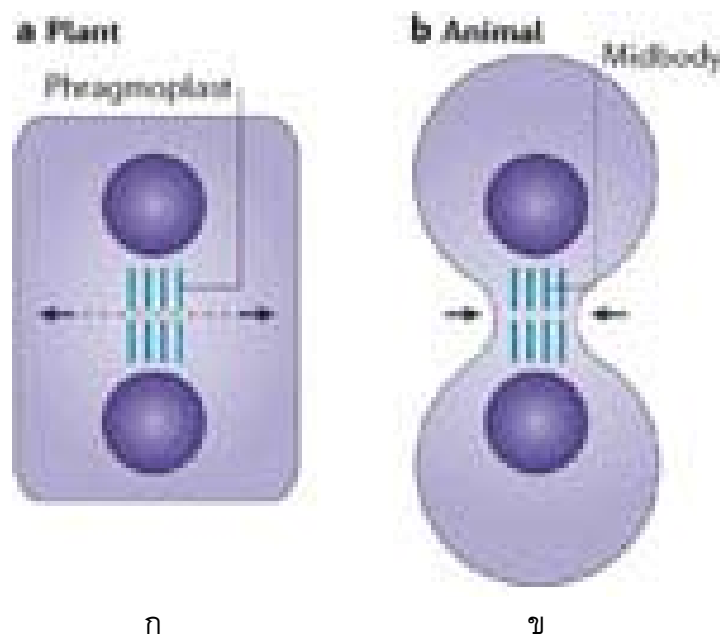
ในขณะที่เซลล์พืชมีการไซโตพลาสซึมเพื่อแบ่งเซลล์ จะเริ่มมีการสร้างเซลล์เพลต (cell plate) ที่บริเวณจุดแนวกลางเซลล์ และขยายยาวออก ทำให้ได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ สำหรับเซลล์เพลตจะเจริญกลายเป็นผนังเซลล์ (cell wall) ของแต่ละเซลล์ต่อไป (รูปที่ 2.10 ข)

ข้อสำคัญของไมโทซิส

1. การสร้างเซลล์ร่างกาย (somatic cell) ของยูคาริโอต เพื่อการเติบโตของอวัยวะต่างๆ และเพื่อเป็นการทดแทนเซลล์เดิมที่เสียหาย หรือถูกทำลาย
2. กระบวนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิด เช่น ยีสต์



รูปที่ 2.9 กระบวนการแบ่งนิวเคลียส แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ
 (ก) โพรเฟส (ข) เมทาเฟส (ค) อะนาเฟส (ง) เทโลเฟส
 (แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)



รูปที่ 2.10 กระบวนการแบ่งไซโทพลาสซึม (ก) เซลล์สัตว์ (ข) เซลล์พืช
(แหล่งที่มา: www.nature.com/.../v7/n2/thumbs/nrm1831-f5.jpg)

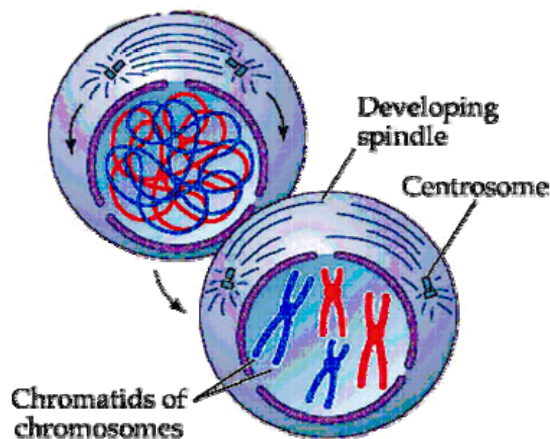
2 ไมโอซิส (meiosis) หรือ meiotic cell division

หลักการ: เซลล์สืบพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง เนื่องจากการแบ่งนิวเคลียสเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน แต่พบการแบ่งแยกโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว

ไมโอซิส (meiosis) หรือ meiotic cell division สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. อินเทอร์เฟส (รูปที่ 2.11)

ระยะอินเทอร์เฟสของไมโอซิส และไมโทซิสจะคล้ายกันมาก เนื่องจากมีระยะ G_1 , S และ G_2 เช่นเดียวกัน แต่ระยะ S ของอินเทอร์เฟสในไมโอซิสจะยาวนานกว่าในไมโทซิส เนื่องจากนักวิทยาศาสตร์มีความคิดเห็นว่าจุดที่กระตุ้นการจำลองโมเลกุล DNA (DNA replicon) ของไมโทซิสอาจมีหลายจุด นอกจากนี้ยังอาจมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ฮอร์โมน เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



รูปที่ 2.11 อินเทอร์เฟส

(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

2. ไมโอซิส สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

2.1 ไมโอซิส I (meiosis I) (รูปที่ 2.12)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการแบ่งนิวเคลียสซึ่งจะส่งผลให้เซลล์ที่ได้มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง เช่น ถ้าเซลล์เป็นพloid (2n) หลังจากจบขั้นตอนนี้จะได้เซลล์ที่เป็นแฮพลอยด์ (n) เนื่องจากโครโมโซมคู่เหมือนกันแยกออกจากกันไปอยู่ในนิวเคลียสใหม่ สำหรับขั้นตอนไมโอซิส I สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะดังนี้

- โปรเฟส I สามารถแบ่งออกเป็นระยะย่อยๆ อีก 3 ระยะ (รูปที่ 2.12 ก) ได้แก่

เออร์ลีย์โปรเฟส I (early prophase I) เป็นระยะที่เส้นใยโครมาทินเริ่มหดตัวมากขึ้นจนปรากฏเป็นรูปร่าง โครโมโซม แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด เนื่องจากโครโมโซมผ่านการจำลองโมเลกุล DNA ในระยะ S ของขั้นตอนอินเทอร์เฟส

มิดโปรเฟส I (mid prophase I) เป็นระยะที่โครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) เริ่มเข้าคู่แนบชิดกันโดยเริ่มต้นจากบริเวณเซนโทรเมียร์เสมอ เรียกการเข้าคู่แนบชิดนี้ว่า ซิแนปซิส (synapsis) และเมื่อโครโมโซมคู่เหมือนเข้าคู่กันสนิทจะเรียกโครโมโซมคู่นี้ว่า ไบวาเลนต์ (bivalent) หรืออาจเรียกว่า เทตราดโครโมโซม (tetrad chromosome) เพราะโครโมโซมคู่เหมือนที่จับกันเป็นไบวาเลนต์ประกอบด้วย 4 โครมาทิด

เลทโปรเฟส I (late prophase I) เป็นระยะที่โครโมโซมคู่เหมือนเริ่มแยกออกจากกัน แต่บางครั้งอาจมีการไขว้ระหว่างโครมาทิดของโครโมโซมคู่เหมือนแต่ละแท่ง เรียกการไขว้ว่า

การ

กว่า

ne

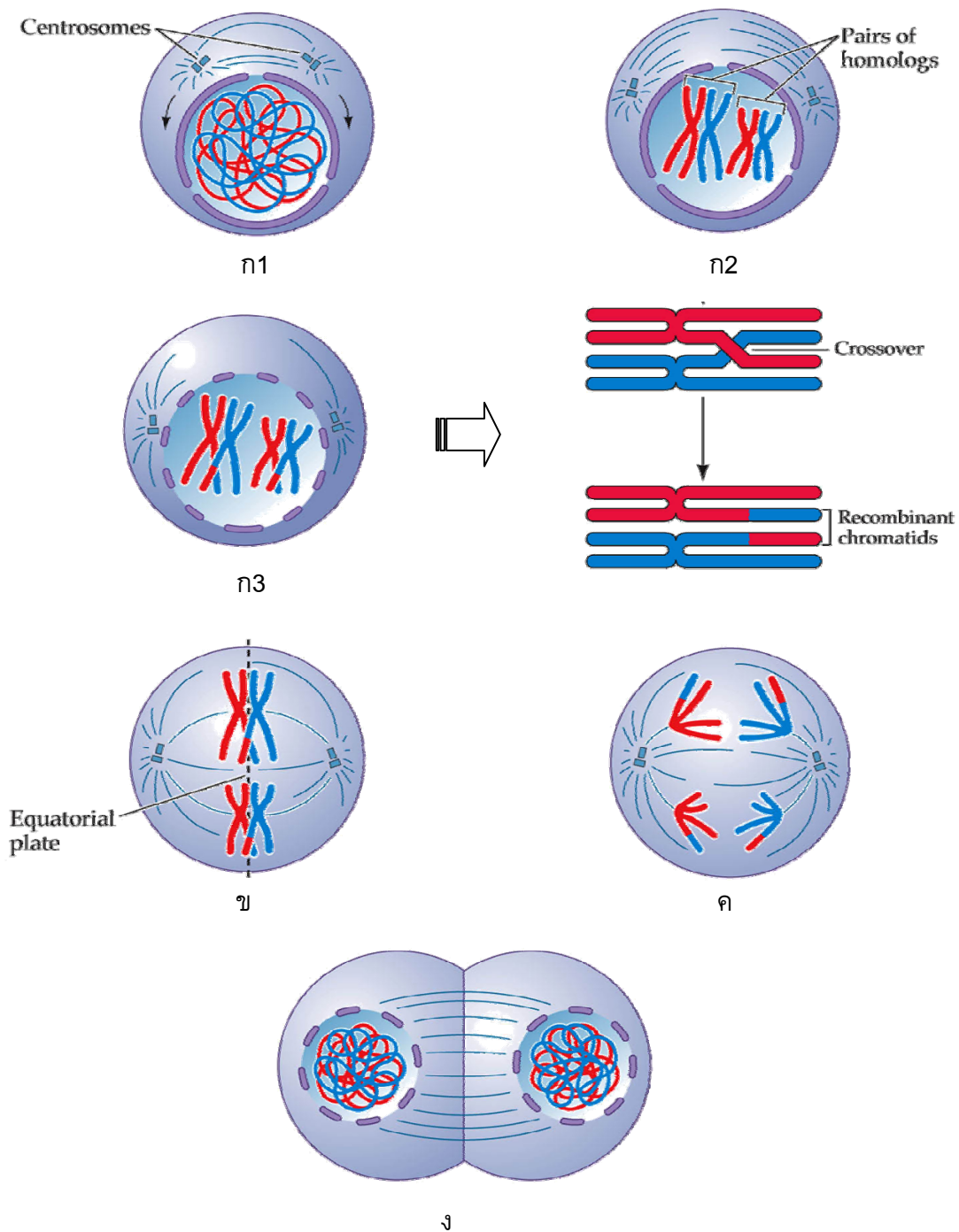
recombination) จากนั้นเซนโตรโซมทั้งสองที่อยู่ในไซโทพลาสซึมใกล้บริเวณขอบนิวเคลียสจะแยกกันไปอยู่คนละขั้วของเซลล์ และในช่วงท้ายของระยะนี้นิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียสจะเริ่มสลายตัวไป ทำให้โครโมโซมคู่เหมือนกระจายออกทั่วเซลล์ และในขณะเดียวกันจะปรากฏเส้นใยสปินเดิลออกมาจากเซนทริโอลของแต่ละเซนโตรโซมที่อยู่บริเวณขั้วเซลล์ เพื่อไปจับบริเวณเซนโตรเมียร์ของแต่ละโครโมโซมของโครโมโซมคู่เหมือน

- เมทาเฟส I เป็นระยะที่โครโมโซมหดตัวสั้นมากที่สุด ทำให้เห็นโครโมโซมมี 2 โครมาทิดชัดเจนที่สุด ในขณะเดียวกันเส้นใยสปินเดิลที่จับบริเวณเซนโตรเมียร์ของแต่ละโครโมโซมของโครโมโซมคู่เหมือน จะส่งผลให้โครโมโซมคู่เหมือนกันไปเรียงรายกันอยู่บริเวณแนวกลางเซลล์ เรียกว่า อีควาทอเรียลเพลต (รูปที่ 2.12 ข)

- อะนาเฟส I เป็นระยะที่เส้นใยสปินเดิลดึงแยกโครโมโซมของแต่ละโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกันไปอยู่คนละขั้วของเซลล์ เรียกโครโมโซมแต่ละแท่งที่แยกออกจากกัน และยังประกอบด้วย 2 โครมาทิดนี้ว่า ยูนิวาเลนต์ (univalent) ซึ่งการแยกตัวของโครโมโซมคู่เหมือนนั้นเป็นไปแบบสุ่ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการหมุนเรียงตัวของโครโมโซมคู่เหมือนแต่ละคู่ (ระยะนี้โครมาทิดของแต่ละโครโมโซมที่เป็นโครโมโซมคู่เหมือนจะไม่แยกออกจากกัน) (รูปที่ 2.12 ค)

- เทโลเฟส I เป็นระยะที่เส้นใยสปินเดิลเริ่มสลายตัว พร้อมทั้งโครโมโซมที่เป็น ยูนิวาเลนต์เริ่มคลายตัวจนกลายเป็นเส้นใยโครมาทิน ในขณะเดียวกันเซลล์เริ่มมีการสร้าง นิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียสอีกครั้งทำให้เกิดนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส ซึ่งแต่ละนิวเคลียสจะมีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง (รูปที่ 2.12 ง)

กระบวนการแบ่งไซโทพลาสซึม มักเกิดขึ้นหลังจากการกระบวนการเทโลเฟสเสมอ และเมื่อจบกระบวนการแบ่งไซโทพลาสซึมจะได้เซลล์ใหม่เกิดขึ้น 2 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะมีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งเสมอ



รูปที่ 2.12 ไมโอซิส I (ก) โพรเฟส I แบ่งออกเป็น (ก1) เออร์ลีย์โพรเฟส I (ก2) มิดโพรเฟส I (ก3) เลทโพรเฟส I (ข) เมทาเฟส I (ค) อะนาเฟส I (ง) เทโลเฟส I
(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

2.2 ไมโอซิส II (meiosis II) (รูปที่ 2.13)

กระบวนการแบ่งนิวเคลียสของการแบ่งเซลล์ระยะนี้เหมือนกับการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส แต่ว่าต่างกันที่เซลล์เริ่มต้นของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II มีจำนวนโครโมโซมเพียงครึ่งเดียว และเมื่อแบ่งเซลล์เสร็จสมบูรณ์ จะได้เซลล์ใหม่เกิดขึ้นจำนวน 4 เซลล์ และแต่ละเซลล์จะมีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้ก่อนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II จะไม่มีระยะอินเทอร์เฟส เนื่องจากแต่ละโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการไมโอซิส I นั้นมี 2 โครมาทิดเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนไมโอซิส II สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะดังนี้

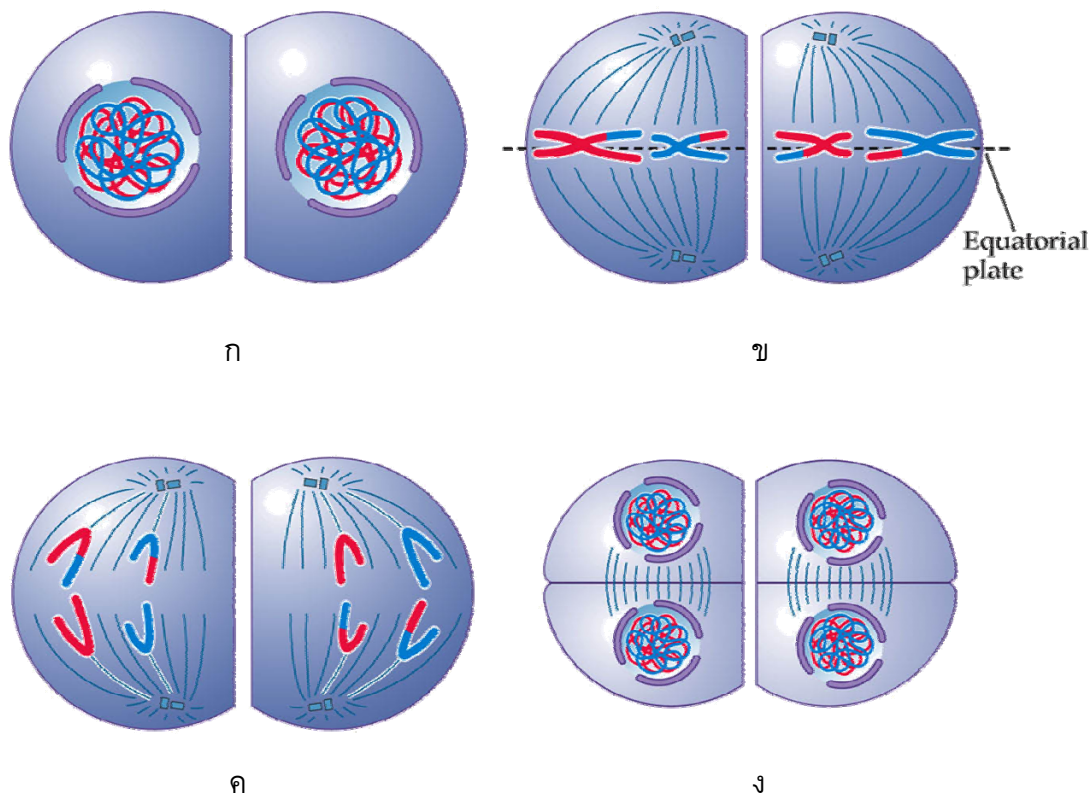
- โพรเฟส II เป็นระยะที่เส้นใยโครมาทินเริ่มหดตัวมากขึ้น จนปรากฏเป็นรูปร่างโครโมโซม แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด จากนั้นเซนโทรโซมทั้งสองที่อยู่ในไซโทพลาสซึมใกล้บริเวณขอบนิวเคลียสจะแยกกันไปอยู่คนละขั้วของเซลล์ ช่วงท้ายของระยะนี้ นิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) เริ่มสลายตัวไป ทำให้โครโมโซมทั้งหมดกระจายออกทั่วเซลล์ และในขณะเดียวกันจะปรากฏเส้นใยสปินเดิลออกมาจากเซนทริโอลของแต่ละเซนโทรโซมที่อยู่บริเวณขั้วเซลล์ เพื่อไปจับบริเวณเซนโทรเมียร์ของแต่ละโครโมโซม (รูปที่ 2.13 ก)

- เมทาเฟส II เป็นระยะที่โครโมโซมหดตัวสั้นมากที่สุด ทำให้เห็นโครโมโซมมี 2 โครมาทิดชัดเจนที่สุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาคาร์ิโอไทป์ (karyotype) ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในขณะเดียวกันเส้นใยสปินเดิลที่จับบริเวณเซนโทรเมียร์ของแต่ละโครโมโซม จะส่งผลให้โครโมโซมทั้งหมดไปเรียงรายกันอยู่บริเวณแนวกลางเซลล์ เรียกว่า อีเควทอเรียลเพลต (รูปที่ 2.13 ข)

- อะนาเฟส II เป็นระยะที่เส้นใยสปินเดิลดึงแยกโครมาทิดของแต่ละโครโมโซมออกจากกันไปยังขั้วตรงข้ามอย่างรวดเร็ว และกลายเป็นโครโมโซมใหม่ (daughter chromosome) ระยะนี้จึงเป็นระยะที่สั้นที่สุดของกระบวนการแบ่งเซลล์ (รูปที่ 2.13 ค)

- เทโลเฟส II เป็นระยะที่เส้นใยสปินเดิลเริ่มสลายตัว พร้อมทั้งโครโมโซมใหม่เริ่มคลายตัวจนกลายเป็นเส้นใยโครมาทิน ในขณะเดียวกันเซลล์เริ่มมีการสร้างนิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียสอีกครั้งทำให้เกิดนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส ที่มีองค์ประกอบของสารพันธุกรรมเหมือนกับเซลล์ที่ได้จากไมโอซิส I ทุกประการ (รูปที่ 2.13 ง)

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการแบ่งเซลล์ในขั้นตอนเทโลเฟส II เซลล์จะเข้าสู่กระบวนการแบ่งไซโทพลาสซึม ทำให้สุดท้ายได้เซลล์ใหม่เกิดขึ้นทั้งหมด 4 เซลล์



รูปที่ 2 ไมโอซิส II (ก) โพรเฟส II (ข) เมทาเฟส II (ค) อะนาเฟส II (ง) เทโลเฟส II
(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

สรุปไมโอซิส: เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์

- เพศเมีย สร้างเซลล์สืบพันธุ์ (ไข่) โดยกระบวนการ oogenesis
- เพศผู้ สร้างเซลล์สืบพันธุ์ (สเปิร์ม) โดยกระบวนการ spermatogenesis

1. จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง เช่น $(2n \rightarrow n)$ ในขั้นตอนแรกของการแบ่งนิวเคลียสของไมโอซิส I ทั้งนี้เพื่อรักษาจำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดให้มีจำนวนคงที่

2. การลดจำนวนโครโมโซมไม่ได้เป็นแบบสุ่ม แต่เป็นการแยกคู่โครโมโซมคู่เหมือนออกไปอยู่ในเซลล์ใหม่แต่ละเซลล์ ดังนั้นเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้จึงมีโครโมโซมเท่ากันทุกเซลล์

3. การที่โครโมโซมคู่เหมือนแนบชิดกันทำให้มีโอกาสเกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนระหว่างโครโมโซมคู่เหมือนโดยกระบวนการครอสซิงโอเวอร์ ทำให้เกิดการสลับที่ของยีนที่อยู่

บนโครโมโซมคู่เหมือน หรือที่เรียกว่า ยีนรีคอมบิเนชัน ซึ่งสามารถถ่ายทอดผ่านเซลล์สืบพันธุ์ไปยังรุ่นลูกได้ และยังเป็นผลดีต่อความหลากหลายทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

หลักความน่าจะเป็นไปได้ (probability)

การแยกโครโมโซมคู่เหมือนในกระบวนการไมโอซิสเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นการคาดคะเนจีโนไทป์หรือฟีโนไทป์ในรุ่นลูกอาจคำนวณได้ตามหลักความน่าจะเป็นไปได้ ซึ่งมีหลักสำคัญ 2 ประการ

1. ถ้ามีเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ ซึ่งเป็นอิสระต่อกันและกัน ทำให้โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ทั้งสองพร้อมๆ กัน จะมีค่าเท่ากับผลคูณของความน่าจะเป็นไปได้ของแต่ละเหตุการณ์ เช่น การโยนลูกเต๋าสองลูกพร้อมกัน และต้องการให้ลูกหนึ่งขึ้นหน้า 3 กับอีกลูกหนึ่งขึ้นหน้า 4 โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์นี้มีเท่าไร

ตอบ การโยนลูกเต๋าสองครั้ง โอกาสที่จะเกิดหน้าใดหน้าหนึ่งเท่านั้นจากทั้งหมดหกหน้า ดังนั้นอัตราส่วนการโยนลูกเต๋าสองครั้ง จำนวนหนึ่งครั้ง คือ $1/6$

ดังนั้นโอกาสที่ลูกเต๋าลูกหนึ่งจะขึ้นหน้า 3 จึงมีค่าเท่ากับ $1/6$ และโอกาสที่ลูกเต๋าลูกหนึ่งจะขึ้นหน้า 4 จึงมีค่าเท่ากับ $1/6$ การโยนลูกเต๋าสองลูกพร้อมกันจึงมีโอกาสร่วมกันขึ้นหน้า 3 และหน้า 4 ได้พร้อมกัน ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ข้างต้น คือ $1/6 \times 1/6 = 1/36$

2. เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละครั้ง ถ้าเกิดครั้งหนึ่งแล้ว ทำให้เหตุการณ์อื่นที่อาจเป็นไปได้หมดโอกาสไปจะมีค่าเท่ากับผลบวกของความน่าจะเป็นไปได้ของแต่ละเหตุการณ์ เช่น การโยนลูกเต๋าสองครั้ง หรือ 1 ครั้ง ถ้าต้องการให้ลูกเต๋าสองครั้งขึ้นหน้า 3 หรือหน้า 5 ก็ได้ จะมีโอกาสเกิดขึ้นเท่าไร

ตอบ การโยนลูกเต๋าสองครั้ง โอกาสที่จะเกิดหน้าใดหน้าหนึ่งเท่านั้นจากทั้งหมดหกหน้า ดังนั้นอัตราส่วนการโยนลูกเต๋าสองครั้ง จำนวนหนึ่งครั้ง คือ $1/6$ ในการโยนลูกเต๋าสองครั้ง จะไม่มีโอกาสขึ้นหน้า 3 และหน้า 5 ได้พร้อมกัน ดังนั้นโอกาสของทั้งสองเหตุการณ์จึงไม่เป็นอิสระต่อกัน ทำให้โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ข้างต้น คือ $1/6 + 1/6 = 2/6 = 1/3$

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ตาสีฟ้าคุมด้วยยีนด้อย b , ตาสีน้ำตาลคุมด้วยยีนเด่น B ซึ่งอยู่ในออโทโซม ถ้าพ่อแม่มีจีโนไทป์แบบ Bb (ตาสีน้ำตาล) โอกาสที่ลูกจะมีตาสีน้ำตาลมีเท่าไร
2. ตาสีฟ้าคุมด้วยยีนด้อย b , ตาสีน้ำตาลคุมด้วยยีนเด่น B ซึ่งอยู่ในออโทโซม ถ้าพ่อแม่มีจีโนไทป์แบบ Bb (ตาสีน้ำตาล) ถ้ามีลูก 6 คนโอกาสที่ลูกจะมีตาสีน้ำตาล 4 คน กับสีฟ้า 2 คน มีเท่าไร

