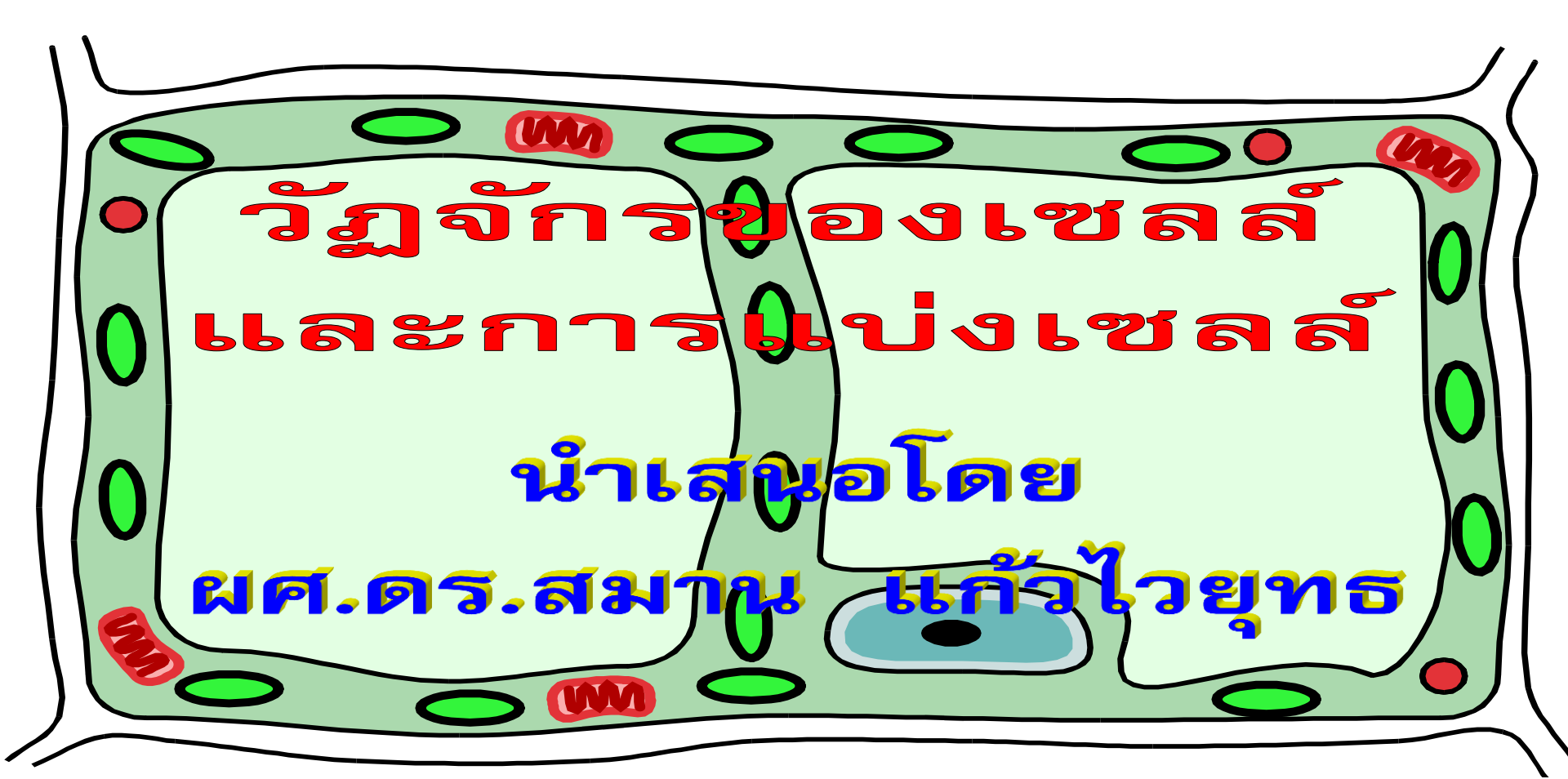

วัฏจักรของเซลล์
และการแบ่งเซลล์
นำเสนอโดย
ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

วัฏจักรของเซลล์ (cell cycle)

วัฏจักรของเซลล์ → ช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ ในขณะที่เซลล์มีการแบ่งตัว

→ ประกอบด้วยการเตรียมตัวให้พร้อมที่จะแบ่งตัว และกระบวนการแบ่งเซลล์

1. ระยะอินเตอร์เฟส (Interphase)

ระยะนี้เป็นระยะเตรียมตัว ที่จะแบ่งเซลล์ในวัฏจักรของเซลล์ แบ่งออกเป็น 3 ระยะย่อย คือ

ระยะ G_1 เป็นระยะก่อนการสร้าง DNA ซึ่งเซลล์มีการเติบโตเต็มที่ ระยะนี้จะมีการสร้างสารบางอย่าง เพื่อใช้สร้าง DNA ในระยะต่อไปใช้เวลานานประมาณ 4 ชั่วโมง

ระยะ S เป็นระยะสร้าง DNA (DNA replication) โดยเซลล์มีการเติบโต และมีการสังเคราะห์ DNA อีก 1 ตัว หรือมีการจำลองโครโมโซม อีก 1 เท่าตัว แต่โครโมโซมที่จำลองขึ้น ยังติดกับท่อนเก่า ที่ปมเซนโทรเมียร์ (centromere) หรือไคเนโตคอร์ (kinetochore) ระยะนี้ใช้เวลานานที่สุดประมาณ 10 ชั่วโมง

ระยะ G_2 เป็นระยะหลังสร้าง DNA ซึ่งเซลล์มีการเติบโต และเตรียมพร้อมที่จะแบ่งโครโมโซม และไซโทพลาสซึมต่อไปใช้เวลานานประมาณ 4 ชั่วโมง

2. ระยะ M (M-phase)

☞ ระยะ M (M-phase) เป็นระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียส

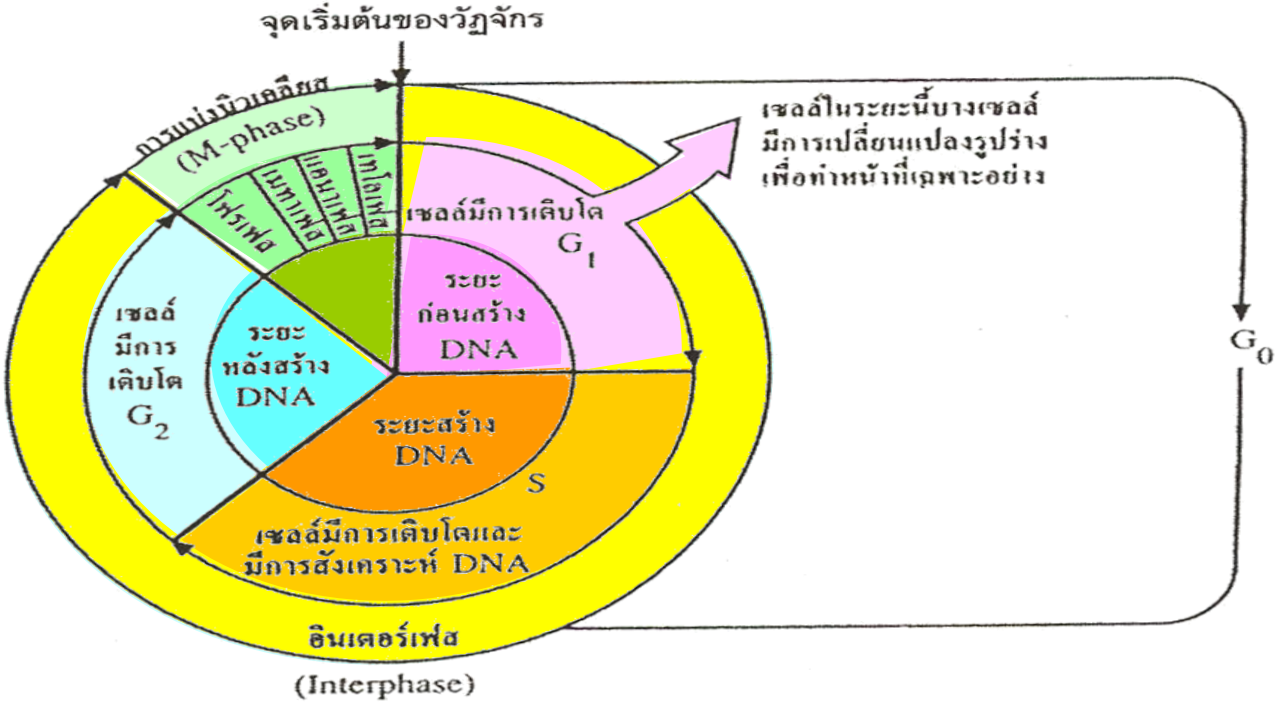
☞ โครโมโซมจะมีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน ก่อนที่จะถูกแบ่งแยกออกจากกัน

☞ ประกอบด้วย 4 ระยะย่อย คือ โพรเฟส เมทาเฟส แอนาเฟส และเทโลเฟส

✡ ในเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์เนื้อเยื่อเจริญของพืช เซลล์ไขกระดูกเพื่อสร้างเม็ดเลือดแดง เซลล์บุผิว พบว่าเซลล์จะมีการแบ่งตัวอยู่เกือบตลอดเวลา จึงกล่าวได้ว่าเซลล์เหล่านี้อยู่ในวัฏจักรของเซลล์ตลอด

✡ เซลล์บางชนิด เมื่อแบ่งเซลล์แล้ว จะไม่แบ่งตัวอีกต่อไป นั่นคือ เซลล์จะไม่เข้าสู่วัฏจักรของเซลล์อีก เข้าสู่ G_0 จนกระทั่งเซลล์ชราภาพ (cell aging) และตายไป (cell death) ในที่สุด

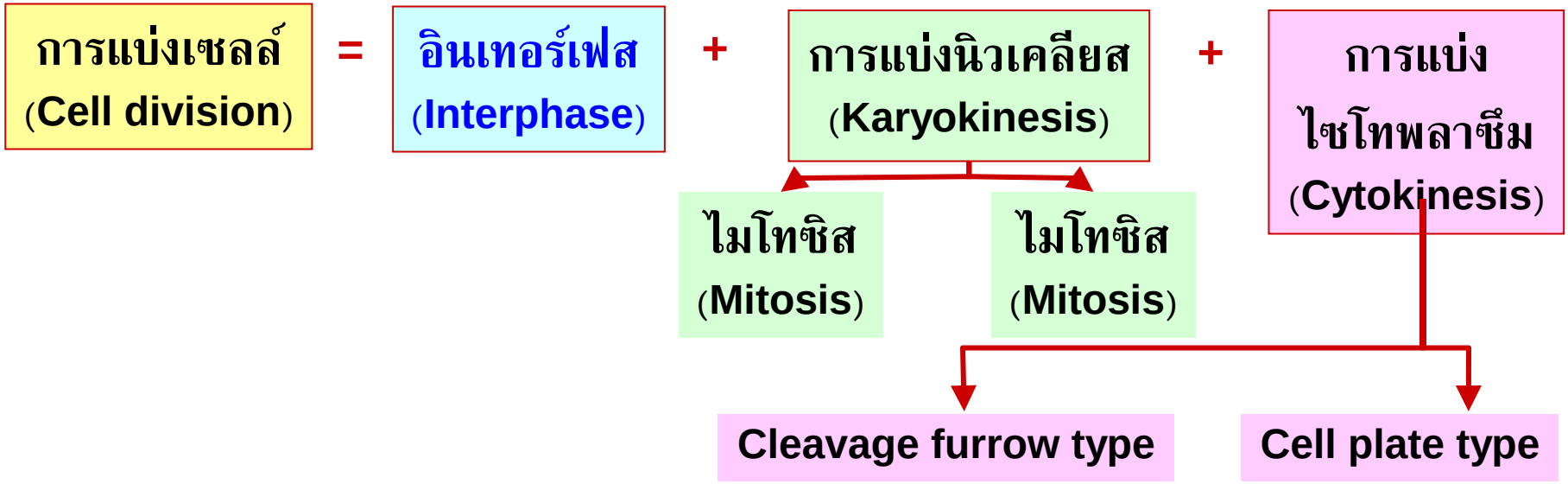
✡ เซลล์บางชนิด จะพักตัวหรืออยู่ใน G_0 ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ถ้าจะกลับมาแบ่งตัวอีก ก็จะเข้าวัฏจักรของเซลล์ต่อไป

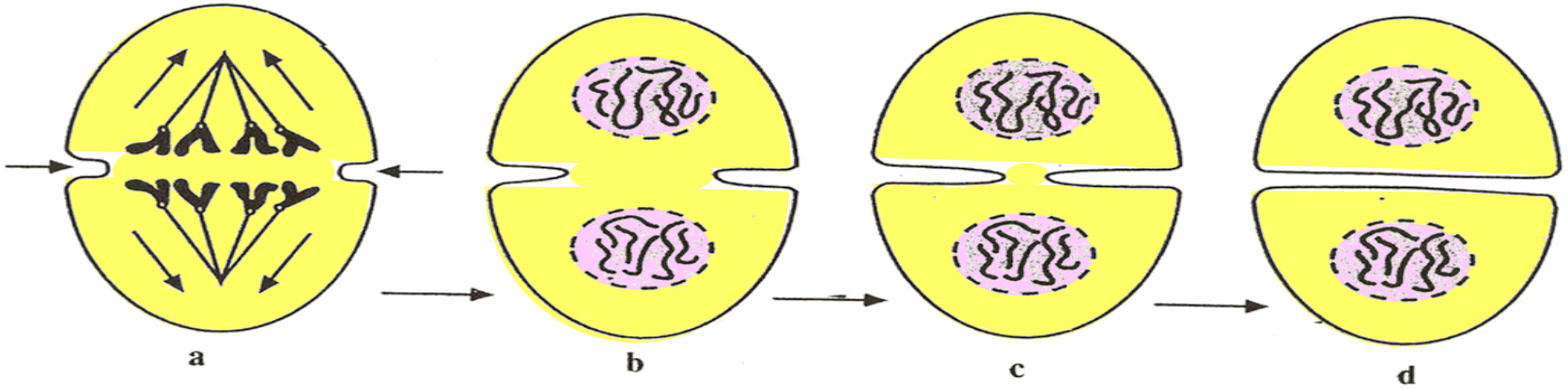


วัฏจักรของเซลล์แสดงระยะต่าง ๆ และกระบวนการที่เกิดขึ้น
ขั้นตอนต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส

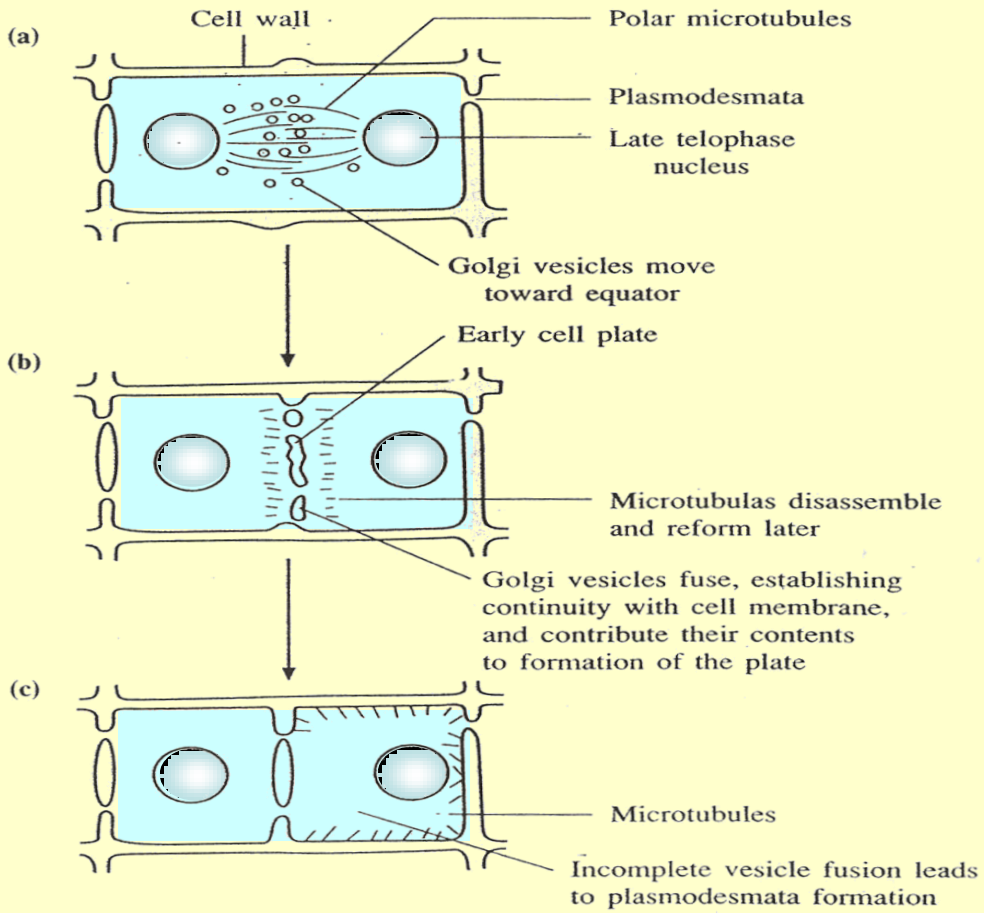
การแบ่งเซลล์ (cell division)

- การแบ่งเซลล์ จะมี 3 ขั้นตอน คือ
  - ⇨ อินเทอร์เฟส (Interphase)
  - ⇨ การแบ่งนิวเคลียส (Karyokinesis)
  - ⇨ การแบ่งไซโทพลาซึม (Cytokinesis)
- การแบ่งนิวเคลียสจะมี 2 แบบ คือ การแบ่งแบบไมโทซิส (Mitosis) และการแบ่งแบบไมโอซิส (Meiosis)
- การแบ่งไซโทพลาซึม จะมี 2 แบบ คือ
  - ⇨ แบบที่เยื่อหุ้มเซลล์คอดกิ่วจาก 2 ข้าง เข้าใจกลางเซลล์เรียกว่า เป็นแบบ Cleavage furrow type ซึ่งพบในเซลล์สัตว์
  - ⇨ แบบที่มีการสร้างเซลล์เพลท (Cell plate) มาก่อตัวบริเวณกึ่งกลางเซลล์ขยายไป 2 ข้างของเซลล์ เรียกว่า เป็นแบบ Cell plate type ซึ่งพบในเซลล์พืช


การแบ่งเซลล์
(Cell division)
=
อินเทอร์เฟส
(Interphase)
+
การแบ่งนิวเคลียส
(Karyokinesis)
+
การแบ่ง
ไซโทพลาซึม
(Cytokinesis)
ไมโทซิส
(Mitosis)
ไมโทซิส
(Mitosis)
Cleavage furrow type
Cell plate type



การแบ่งไซโทพลาซึมของเซลล์สัตว์โดยรอยคอดจะเริ่มต้นที่แนวกลางเซลล์ตรงตำแหน่งสูตร และเว้าเป็นร่องแคบลึกเข้าไปในไซโทพลาซึม โดยการแบ่งนี้เกิดจากแถบไมโครฟิลาเมนต์ที่ยื่นออกมารอบ ๆ เซลล์ตรงรอยคอด



แผนภาพแสดงการแบ่งเซลล์พืช
โดยการสร้างเซลล์เพลทขึ้นกลางเซลล์

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis)

➡ เป็นการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ของร่างกายในการเจริญเติบโตในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์

➡ เป็นการแบ่งเซลล์เพื่อการสืบพันธุ์ ในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (Binary fission)

➡ เป็นการแบ่งเนื้อสร้างเซลล์พันธุ์ในพืช

☞ ไม่มีการลดจำนวนชุดโครโมโซม ($2n \rightarrow 2n$ หรือ $n \rightarrow n$)

☞ เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์จะได้ 2 เซลล์ใหม่ที่มีโครโมโซม เท่า ๆ กัน และเท่ากับเซลล์ตั้งต้น

☞ พบที่เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด, ปลายราก, แคมเบียม ของพืชหรือเนื้อเยื่อบุผิว, ไขกระดูกในสัตว์, การสร้างสเปิร์ม และไข่ของพืช

☞ มี 5 ระยะคือ อินเตอร์เฟส (interphase)

โพรเฟส (prophase)

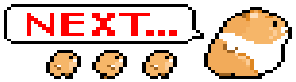
เมทาเฟส (metaphase)

แอนาเฟส (anaphase)

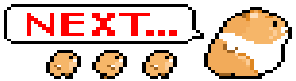
เทโลเฟส (telophase)

สรุปขั้นตอนการแบ่งแบบไมโทซิส

ระยะการแบ่ง	การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
อินเตอร์เฟส (Interphase)	➡ เพิ่มจำนวนโครโมโซม (Duplication) ขึ้นมาอีกชุดหนึ่ง และติดกันอยู่ที่เซนโทรเมียร์ (1 โครโมโซม มี 2 โครมาทิด) ➡ มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีมากที่สุด (metabolic stage) ➡ เซนตริโอ แบ่งเป็น 2 อัน ➡ ใช้เวลานานที่สุด, โครโมโซมมีความยาวมากที่สุด



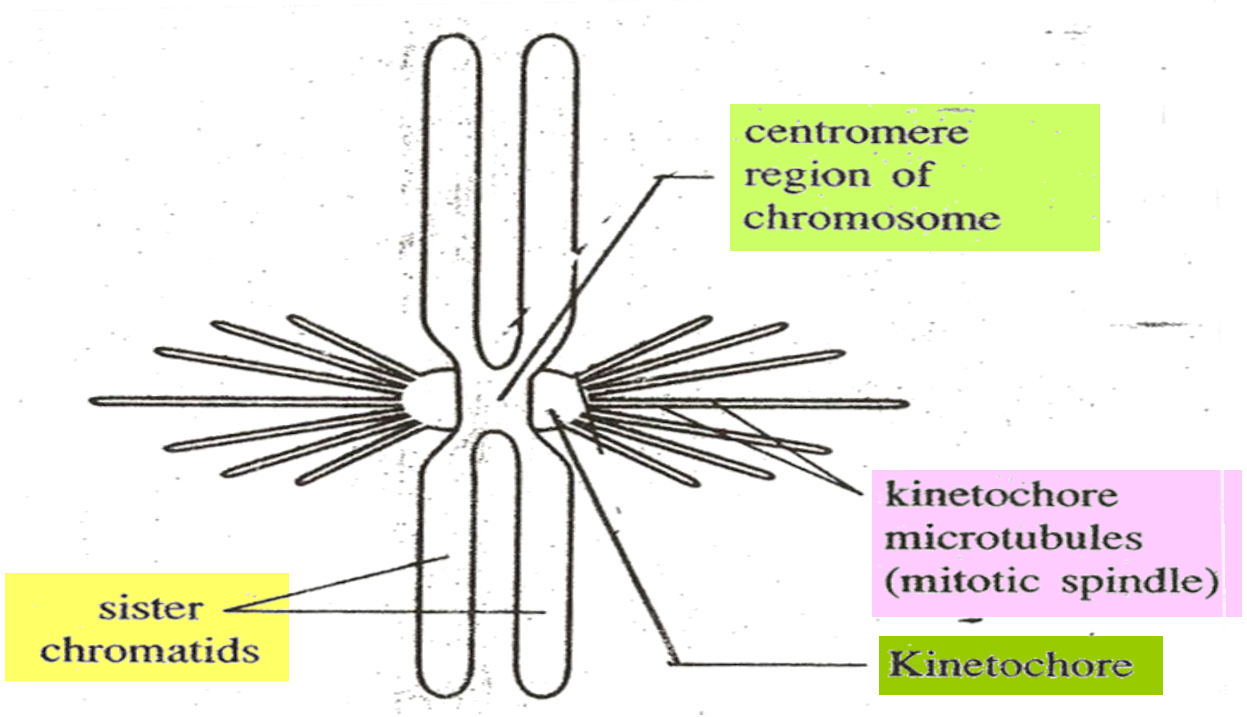
ระยะการแบ่ง	การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
โพรเฟส (Prophase)	☞ โครมาทิดหดสั้น ทำให้มองเห็นเป็นแท่งชัดเจน ☞ เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสหายไป ☞ เซนตริโอลเคลื่อนไป 2 ข้างของเซลล์ และสร้างไมโทติก ☞ สปินเดิลไปเกาะที่เซนโทรเมียร์ ระยะนี้จึงมีเซนตริโอล 2 อัน



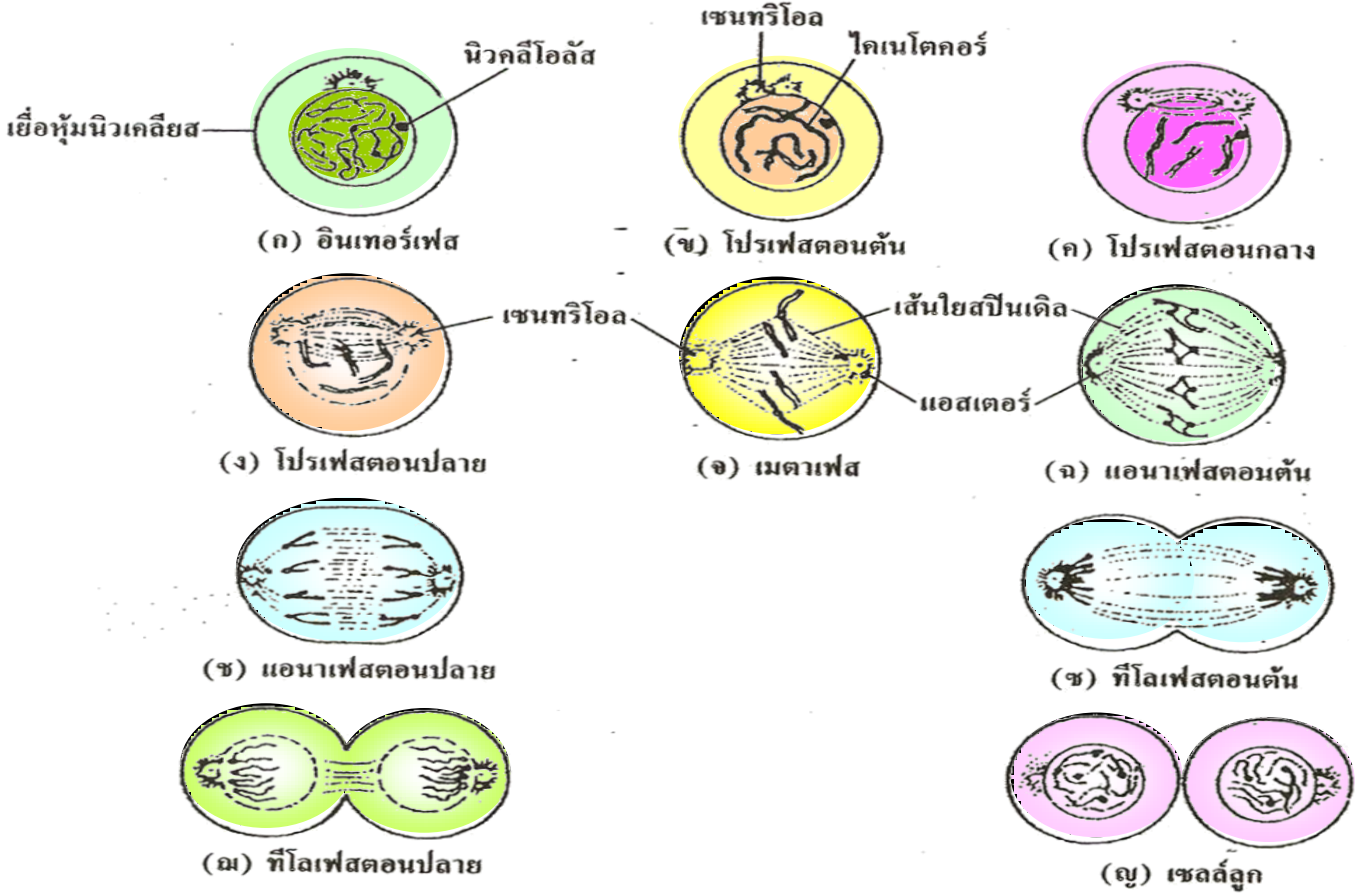
ระยะการแบ่ง	การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
เมตาเฟส (Metaphase)	❍ โครโมโซมเรียงตัวตามแนวกึ่งกลางของเซลล์ ❍ เหมาะต่อการนับโครโมโซม และศึกษารูปร่างโครงสร้างของโครโมโซม ❍ เซนโทรเมียร์จะแบ่งครึ่ง ทำให้โครมาทิดเริ่มแยกจากกัน ❍ โครโมโซมหดสั้นมากที่สุด สะดวกต่อการเคลื่อนที่

ระยะการแบ่ง	การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
แอนาเฟส (Anaphase)	❑ โครมาทิดถูกดึงแยกออกจากกัน กลายเป็นโครโมโซมอิสระ ❑ โครโมโซมภายในเซลล์เพิ่มเป็น 2 เท่าตัว หรือจาก 2n เป็น 4n (tetraploid) ❑ มองเห็นโครโมโซม มีรูปร่างคล้ายอักษรรูปตัว V , J , I ❑ ใช้เวลาสั้นที่สุด

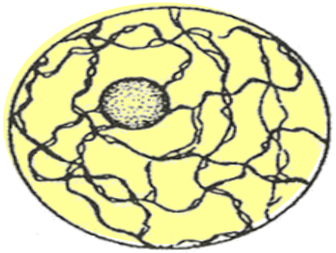
ระยะการแบ่ง	การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
เทโลเฟส (Telophase)	✡ โครโมโซมลูก (daughter chromosome) จะไปรวมอยู่ขั้วตรงข้ามของเซลล์ ✡ เยื่อหุ้มนิวเคลียส และนิวคลีโอลัสเริ่มปรากฏ ✡ มีการแบ่งไซโทพลาสซึม เซลล์สัตว์ เยื่อหุ้มเซลล์คอดเข้าไป บริเวณกลางเซลล์ เซลล์พืชเกิดเซลล์เพลท (Cell plate) กั้นแนวกลางเซลล์ ขยายออกไปติดกับผนังเซลล์เดิม ✡ ได้ 2 เซลล์ใหม่ เซลล์ละ 2n เหมือนเดิมทุกประการ



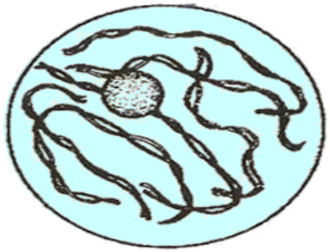
โครโมโซมเมทาเฟส แสดงตำแหน่งไคเนโตคอร์ และซิสเตอร์โครมาติด



(ก) การแบ่งเซลล์ไมโทซิลของเซลล์สัตว์



(ก) อินเทอร์เฟส



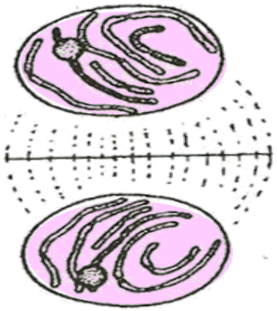
(ข) โปรเฟสตอนต้น

(ค) โปรเฟสตอนปลาย

(ง) เมตาเฟส

(จ) แอนาเฟส

(ฉ) แอนาเฟสตอนปลาย



(ช) ทีโลเฟส

(ซ) อินเทอร์เฟส

(ข) การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของเซลล์พืช

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis)

➡ การแบ่งเซลล์มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสเป็นการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสัตว์ ซึ่งเกิดในวัยเจริญพันธุ์ ของสิ่งมีชีวิต โดยพบในอัณฑะ (testes), รังไข่ (ovary),

➡ เป็นการแบ่ง เพื่อสร้างสปอร์ (spore) ในพืช ซึ่งพบในอับละอองเรณู (pollen sac) และอับสปอร์ (sporangium) หรือโคน (cone) หรือในออวุล (ovule)

➡ มีการลดจำนวนชุดโครโมโซมจากดิพลอยด์ไปเป็นแฮพลอยด์ (2n→n) ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งที่ช่วยให้จำนวนชุดโครโมโซมคงที่ ในแต่ละ สปีชีส์ ไม่ว่าจะเป็นโครโมโซม ในรุ่นพ่อ–แม่ หรือรุ่นลูก–หลานก็ตาม

➡ มี 2 ขั้นตอน คือ

1. ไมโอซิส I (Meiosis – I หรือ First meiotic division)

ไมโอซิส I (Meiosis – I) หรือ Reductional division ขั้นตอนนี้จะมีการแยก homologous chromosome ออกจากกันมี 5 ระยะย่อย คือ

1.1 Interphase – I

1.2 Prophase - I

1.3 Metaphase – I

1.4 Anaphase - I

1.5 Telophase – I

2. ไมโอซิส II (Meiosis – II หรือ Second meiotic division)

ไมโอซิส II (Meiosis - II) หรือ Equational division ขั้นตอนนี้จะมีการแยกโครมาทิด ออกจากกันมี 4 – 5 ระยะย่อย คือ

2.1 Interphase - II

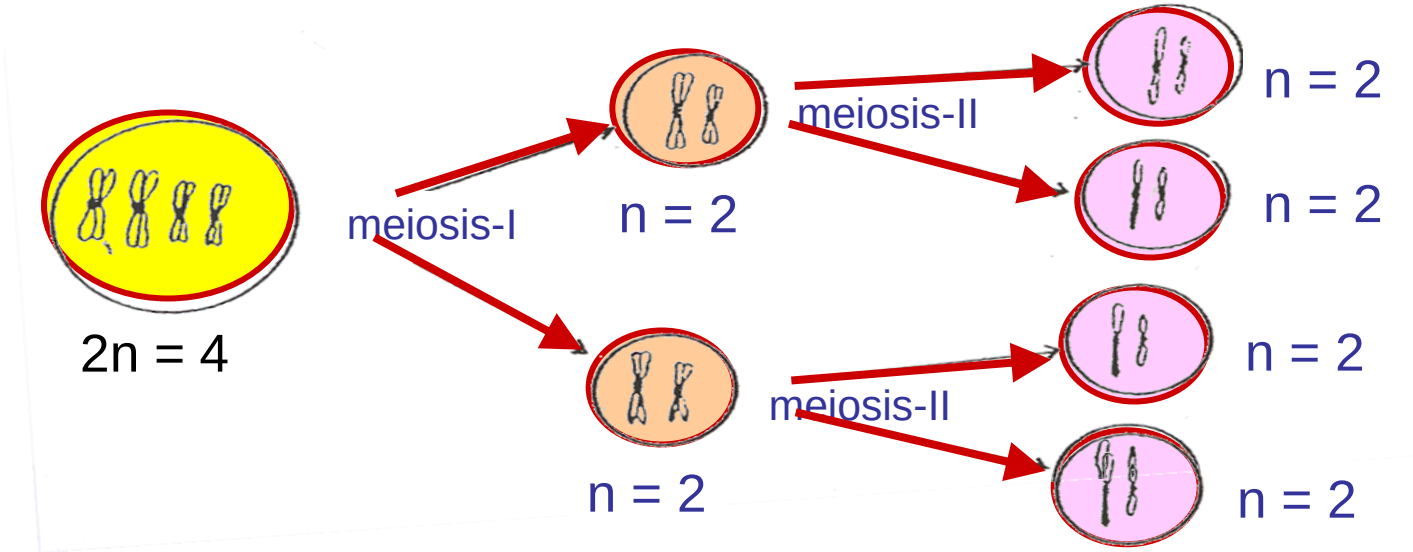
2.2 Prophase - II

2.3 Metaphase - II

2.4 Anaphase - II

2.5 Telophase - II

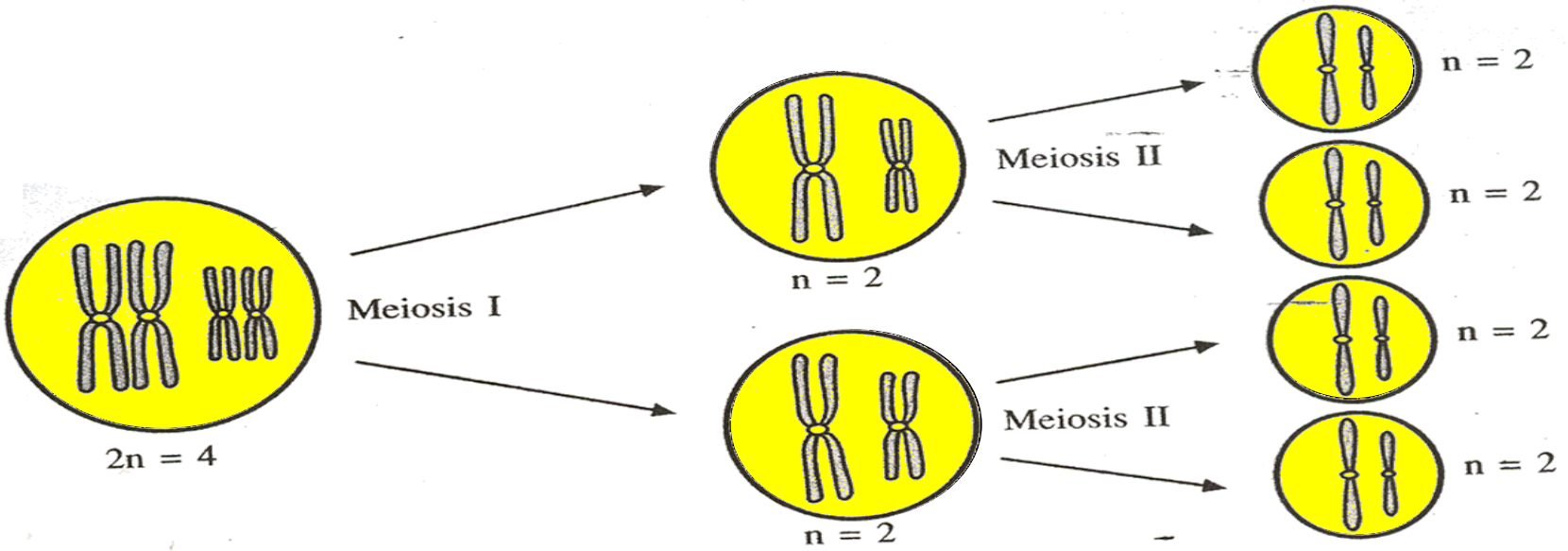
เมื่อสิ้นสุดการแบ่งจะได้ 4 เซลล์ที่มีโครโมโซมเซลล์ละ n (**Haploid**) ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์ตั้งต้น และเซลล์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน



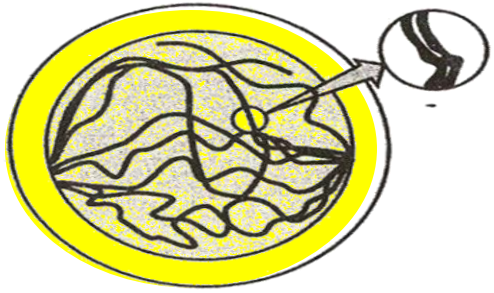
สรุปการเปลี่ยนแปลงสำคัญที่เกิดขึ้นในการแบ่งเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส

ระยะ		การเปลี่ยนแปลงสำคัญ
ไมโอซิส I	อินเตอร์เฟส I	– จำลองโครโมโซมขึ้นมาอีก 1 เท่าตัว แต่ละโครโมโซม ประกอบด้วย 2 โครมาทิด
	โปรเฟส I	– โฮโมโลกัส โครโมโซม มาจับคู่แนบชิดกัน (synapsis) ทำให้มีกลุ่มโครโมโซมกลุ่มละ 2 ท่อน (bivalent) แต่ละกลุ่ม ประกอบด้วย 4 โครมาทิด (tetrad) – เกิดการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนของโครมาทิด (crossing over)
	เมตาเฟส I	- คู่ของโฮโมโลกัส โครโมโซม เรียงตัวอยู่ตามแนวศูนย์ กลางของเซลล์
	แอนาเฟส I	- โฮโมโลกัส โครโมโซม แยกคู่ออกจากกัน ไปยังแต่ละข้างของขั้วเซลล์
	ทีโลเฟส I	– เกิดนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส แต่ละนิวเคลียส มีจำนวนโครโมโซม เป็นแฮพลอยด์ (n)

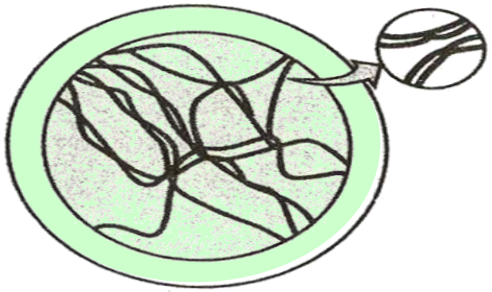
ระยะ		การเปลี่ยนแปลงสำคัญ
ไมโอซิส II	อินเตอร์เฟส II	– เป็นระยะพักชั่วครู่ แต่ไม่มีการจำลอง โครโมโซมขึ้นมาอีก
	โปรเฟส II	– โครโมโซมหดสั้นมาก ทำให้เห็นแต่ละโครโมโซม มี 2 โครมาทิด
	เมตาเฟส II	– โครโมโซมจะมาเรียงตัว อยู่แนวศูนย์กลางของเซลล์
	แอนาเฟส II	– เกิดการแยกของโครมาทิด ที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกัน ไปยังขั้วแต่ละข้างของเซลล์ ทำให้โครโมโซม เพิ่มจาก **n** เป็น **2n**
	ทีโลเฟส II	– เกิดนิวเคลียสใหม่เป็น 4 นิวเคลียส และแบ่ง ไซโทพลาสซึม เกิดเป็น 4 เซลล์ สมบูรณ์ แต่ละเซลล์ มีจำนวนโครโมโซม เป็นแฮพลอยด์ (n) หรือ เท่ากับครึ่งหนึ่ง ของเซลล์เริ่มต้น



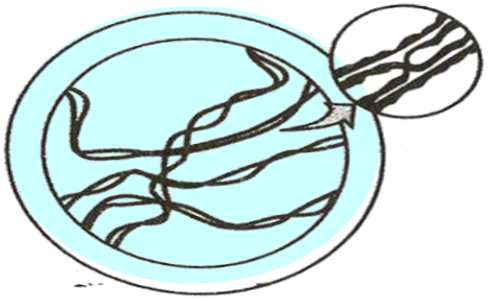
เซลล์ตั้งต้นและผลลัพธ์ของการแบ่งไมโอซิส



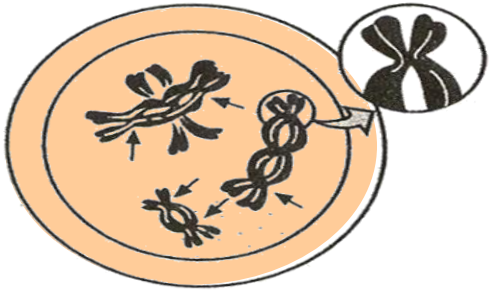
leptoptene
a



zygotene
b



pachytene
c



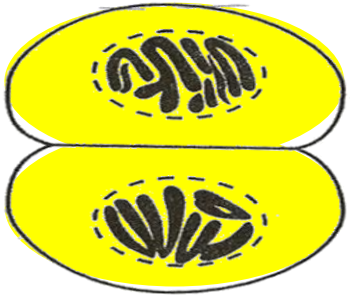
diploptene
d

diakinesis
e

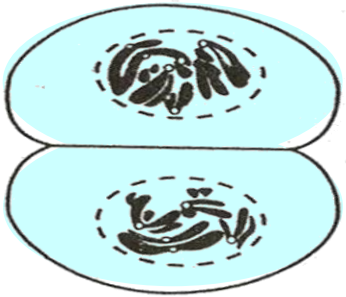
metaphase I
f

ภาพแสดงขั้นตอนการแบ่งไมโอซิส

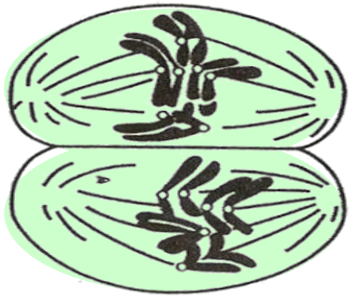
anaphase I
g



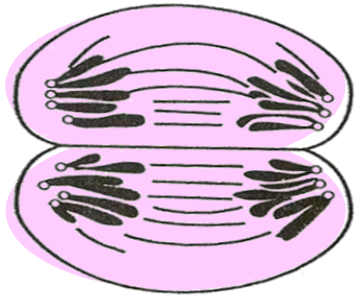
telophase I
h



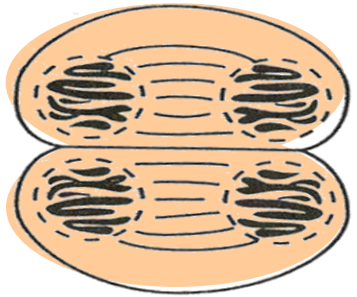
prophase II
i



metaphase II
j



anaphase II
k



telophase II
l

ภาพแสดงขั้นตอนการแบ่งไมโอซิส (ต่อ)

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ : วัฏจักรของเซลล์และการแบ่งเซลล์

จงศึกษาข้อความข้างล่างนี้ แล้วตอบคำถาม 1 – 2

จากการศึกษาวัฏจักรของเซลล์แบ่งเป็นระยะต่าง ๆ ดังนี้

I เป็นระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียส

II เป็นระยะที่มีการสร้างออร์แกเนลล์เพิ่มขึ้น

III เป็นระยะที่มีการสร้าง DNA

IV เป็นระยะหลังการสร้าง DNA

1. ระยะที่ I ถึง IV ใช้เวลาแตกต่างกันข้อใดแสดงถึงเวลาที่ใช้ในวัฏจักรของเซลล์มนุษย์ถูกต้อง

	เวลาเป็นชั่วโมง			
	ระยะที่ I	ระยะที่ II	ระยะที่ III	ระยะที่ IV
1.	6.3	7.0	2.0	0.7
2.	6.3	4.9	2.0	0.7
3.	0.7	6.3	7.0	2.0
4.	0.7	6.3	2.0	7.0

เฉลยคำถาม

1. เฉลยข้อ 1

เหตุผล ระยะแบ่งนิวเคลียสจะใช้เวลาน้อยที่สุด และเซลล์ส่วนใหญ่จะมีระยะสร้าง DNA ยาวนานกว่าระยะสร้างออร์แกเนลล์ และระยะหลังการสร้าง DNA

2. ระยะใดเป็นระยะอินเตอร์เฟส

1. I กับ II
2. II กับ III
3. I กับ II
4. II กับ III และ IV

เฉลยคำถาม

2. เฉลยข้อ 4

เหตุผล ถ้าระยะที่ I เป็นระยะ mitosis (แบ่งนิวเคลียส)

ระยะ II, III, IV ต้องเป็นระยะ Interphose

3. การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์อยู่ในระยะใด และสิ่งมีชีวิตนี้มีจำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายเท่าใด

1. anaphase, 2n = 4
2. anaphase, 2n = 2
3. anaphase I, 2n = 2
4. anaphase I, 2n = 4

เฉลยคำถาม

3. เฉลยข้อ 4

เหตุผล เซลล์มีโครโมโซม 2n = 4 โดยโครโมโซมในภาพมีการแยก homologous chromosome ออกจากกัน เป็นระยะ anaphase – I

4. ข้อความใดถูกต้องเกี่ยวกับกระบวนการแบ่งเซลล์

1. ครอสซิงโอเวอร์เกิดขึ้นระหว่าง non-sister chromatid ของ non-homologous chromosome
2. เซนทริโอล (centriole) เป็นออร์แกเนลล์ยึดเส้นใยสปินเดิลเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ของโครโมโซมพืช
3. เซนโทรเมียร์ (centromere) คือจุดที่ไขว้กันระหว่าง non-sister chromatid ของ non-homologous chromosome
4. ระยะแอนาเฟสเส้นใยสปินเดิลหดสั้นดึง chromatid ของแต่ละโครโมโซมแยกไปอยู่คนละขั้วของเซลล์

เฉลยคำถาม

4. เฉลยข้อ 4

เหตุผล centriole พบในเซลล์สัตว์ สร้าง centromore เป็นโครงสร้างยึด sister chromatid ของโครโมโซม และ crossing over เกิดระหว่าง non-sister chromatid ระหว่าง homologous chromosome

5. ในระยะ Anaphase ของ mitosis มี DNA มากเป็นกี่เท่าของสเปิร์ม (1) และมีจำนวนชุดโครโมโซมมากเป็นกี่เท่าของเซลล์ร่างกายปกติที่ไม่แบ่งเซลล์ (2)

	(1)	(2)
1.	2	1
2.	2	2
3.	4	2
4.	4	4

เฉลยคำถาม

5. เฉลยข้อ 3

เหตุผล ระยะ Anaphose มี DNA มากเป็น 4 เท่าของสเปิร์ม และมีโครโมโซมเป็น 4n ส่วนเซลล์ร่างกายปกติที่ไม่แบ่งเซลล์มีโครโมโซม 2n