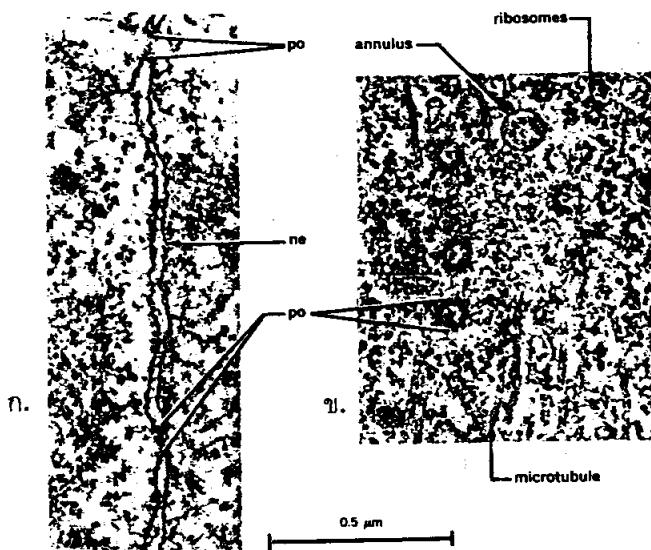


รูปที่ 5-9 แสดงใบยางอินเดีย (*Ficus elastica*) ตัดตามขวาง ขยายเซลล์ในชั้น epidermis แสดงผลึกพอก cystolith

หรือไม่มีรูปร่างก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับรูปร่างและหน้าที่ของเซลล์ที่นิวเคลียสนั้นประกอบอยู่ ขนาด กิมภากจะขึ้นกับขนาดของเซลล์ด้วย คือ ในเซลล์ที่ยังอ่อนอยู่ นิวเคลียสมักจะมีขนาดเล็ก มีรูปร่างกลมและลอยอยู่กลางเซลล์ แต่เมื่อเซลล์เติบโตขึ้น นิวเคลียสก็อาจเปลี่ยนตำแหน่งขนาดและรูปร่างไปได้ นิวเคลียสประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้ คือ

1. เยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear membrane) เป็นเยื่อบาง ๆ ที่หนา 2 ชั้น และมีรูเล็ก ๆ ติดต่อกันใช้ในการซึมภายนอกได้โดยการแพร่ (รูปที่ 5-10) มักมี ER มาเชื่อมต่อกับเยื่อหุ้มนิวเคลียส



รูปที่ 5-10 แสดงรูปในผนังนิวเคลียส (ne) จากเซลล์พาราเรน ไกมาในก้านใบของต้นไม้ยราฟ *Mimosa pudica* แสดงรู (po) ตามยาว (รูป ก.) และตามขวางเห็นเป็นรูปกลม (รูป ข.) (จาก Esau 1977)

2. Nucleoplasm หรือ Karyolymph เป็นส่วนที่ใส ไม่มีสี กระจายเต็มอยู่ภายในเยื่อหุ้มนิวเคลียส ประกอบด้วยเม็ดสารเล็ก ๆ ที่ไม่มีรูปร่าง รวมทั้ง RNA และ Hydrolytic enzymes เช่น Ribonuclease และ alkaline phosphatase

3. นิวคลีโอสัส พนเป็นเม็ดเล็ก ๆ มีจำนวนหนึ่งถึงมากกว่า ยังไม่รู้หน้าที่แน่นอนแต่มีความเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ มีลักษณะเป็น colloidal structure ถ้ามีโปรดินมากจะค่อนข้างแข็ง

4. ร่างแหนนิวเคลียส (Chromonemata) มีลักษณะเป็นเส้นที่สานกันเป็นร่างแท้ในระยะปกติ เมื่อเซลล์มีการแบ่งตัว ร่างแหนนิวเคลียสจะเปลี่ยนไปเป็นส่วนของโครโนโซม หน้าที่ของนิวเคลียส นิวเคลียสจัดเป็นส่วนที่มีหน้าที่สำคัญที่สุดของเซลล์ คือ ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของเซลล์ร่วมกับไซโทพลาซึม และมีบทบาทเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ ถ้าไม่มีนิวเคลียส เซลล์จะไม่แบ่งตัว ได้มีผู้ทดลองโดยนำเอาตัวอวัยวะมาเขย่าเออนิวเคลียสออก พนว่า อวัยวะจะหยุดเจริญ สามารถเคลื่อนตัวได้ช้า ๆ ไม่สืบพันธุ์และไม่นานจะตาย นอกจากนี้ นิวเคลียสยังเป็นสื่อทางกรรมพันธุ์ คือ เป็นตัวถ่ายทอดลักษณะทางกรรมพันธุ์จากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลาน

## การแบ่งเซลล์ (CELL DIVISION)

สิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดจะเริ่มต้นชีวิตจากเซลล์เซลล์เดียวทั้งนั้น ยกตัวอย่างเช่น มนุษย์ จะเริ่มต้นชีวิตด้วยไข่ที่ได้รับการผสมแล้วเพียงใบเดียว คือ เซลล์เดียว เรียกว่าไซโ哥ต (Zygote) ไซโ哥ตจะแบ่งตัวเป็นหลาย ๆ เซลล์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเกิดเป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ ประกอบด้วยเซลล์มากมายหลายล้านเซลล์ สิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดต้องมีความสามารถในการสร้างเซลล์ใหม่ได้ไม่เช่นนั้นไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แม้แต่พวกลัตัวเซลล์เดียวที่ทั้งตัวประกอบด้วยเซลล์เดียว ที่ทำหน้าที่ทุกอย่างรวมทั้งเพิ่มจำนวนด้วย อย่างไรก็ตาม พวกลัตัว Moneran Protist และพังไจ จะมีเซลล์ที่มีความสามารถแตกต่างกันหลายอย่าง แต่เซลล์ทั้งหลายจะมาเหมือนกันตรงที่เซลล์ทุกเซลล์สามารถสร้างเซลล์ใหม่ที่เหมือนตัวเองได้

การสืบพันธุ์ คือ การสร้างเซลล์ใหม่ขึ้น การสร้างเซลล์ใหม่มี 2 แบบต่างกันขึ้นกับชนิดของเซลล์ คือ ถ้าเป็น procaryotic cell จะมีการแบ่งเซลล์แบบง่าย ๆ โดยการแบ่งครึ่งเซลล์ เรียกกระบวนการนี้ว่า Fission โดยเริ่มจากมีการสะสมสารประกอบนิวเคลียสเพิ่มขึ้นเท่าตัว

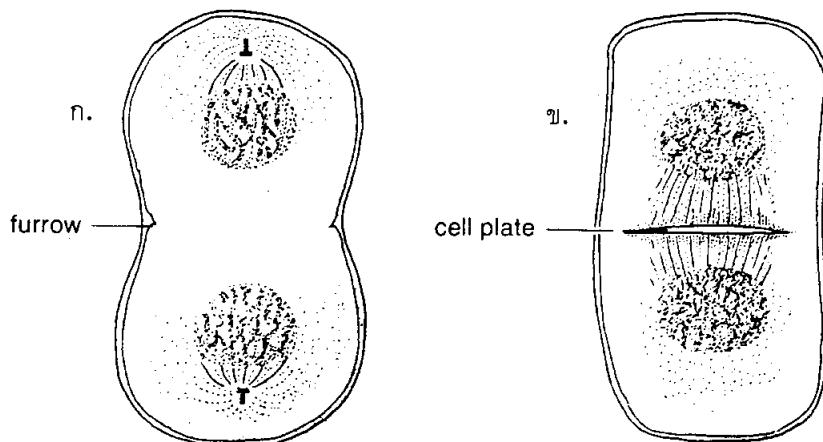
แล้วเริ่มมี fission โดยใช้โทพลาซึมและสารประกอบนิวเคลียสจะแบ่งครึ่งเป็น 2 เซลล์ที่มีขนาดเท่ากัน โดยวิธีนี้ เซลล์ที่ได้ใหม่แต่ละเซลล์จะมีปริมาณของสารประกอบนิวเคลียสเท่ากับเซลล์ก่อนการแบ่งตัว การแบ่งแบบนี้จะเกิดเร็วมาก เช่น ที่พบในแบคทีเรีย ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม fission จะเกิดได้ทุก ๆ 20 นาที

พาก eukaryotic cell จะประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ นิวเคลียส ที่อยู่บริเวณกลางเซลล์ และใช้โทพลาซึมที่ล้อมอยู่โดยรอบนิวเคลียส ในการแบ่งเซลล์นั้น จึงต้องประกอบด้วยการแบ่งของส่วนทั้งสองของเซลล์ คือ แบ่งทั้งใช้โทพลาซึม (Cytokinesis) และแบ่งนิวเคลียส (Karyokinesis) ซึ่งอาจจะเกิดไปพร้อม ๆ กัน หรือไม่พร้อมกันก็ได้ ในการแบ่งนิวเคลียสนั้น ในเซลล์ต่างชนิดกัน เช่น เซลล์เพศกับเซลล์ร่างกาย จะมีการแบ่งตัวแตกต่างกันออกไป ซึ่งของการแบ่งเซลล์ก็ตั้งตามแบบชื่อของการแบ่งนิวเคลียสด้วย ส่วนการแบ่งใช้โทพลาซึมนั้น ต่างกันเฉพาะในเซลล์พีชกับเซลล์สัตว์เท่านั้น ซึ่งจะกล่าวถึงก่อน

## Cytokinesis

การแบ่งใช้โทพลาซึม ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่การแบ่งนิวเคลียสเสร็จแล้ว ในเซลล์ของสัตว์ซึ่งมีผนังเซลล์ที่อ่อนนุ่ม การแบ่งใช้โทพลาซึมจะเกิดขึ้นโดยผนังเซลล์เดิม คอดเข้ามาจนเซลล์เดิมถูกแบ่งออกเป็น 2 เซลล์ (รูปที่ 5–11 ก.)

ส่วนการแบ่งใช้โทพลาซึมในพืชนั้น เนื่องจากผนังเซลล์ที่มาประกอบเป็นเซลล์ของพืช ค่อนข้างแข็ง ไม่สามารถคอดเข้ามาได้ จึงมีการสร้างผนังเซลล์ใหม่ขึ้นระหว่างนิวเคลียสที่เกิดใหม่ เรียก Cell plate (รูปที่ 5–11 ข.) เกิดจากการรวมกันของเส้นใยโปรตีนที่อยู่บริเวณ



รูปที่ 5–11 แสดง Cytokinesis ในเซลล์สัตว์ ก. และเซลล์พืช ข. (Bauer et al., 1981)

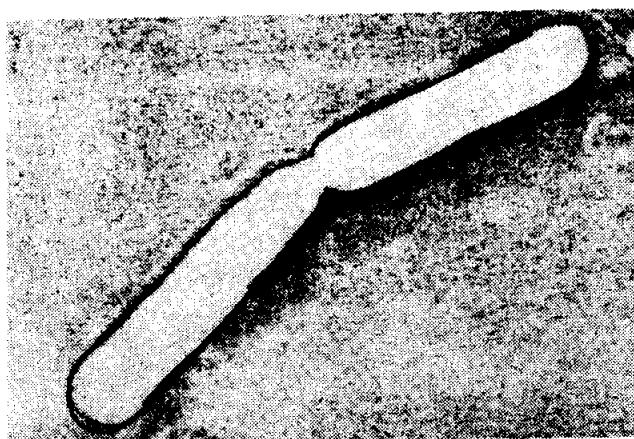
อิคิวเตอร์ของเซลล์กับเม็ดสารเล็ก ๆ ที่มีลักษณะเป็นถุงอยู่ริม ๆ Golgi bodies ขยายใหญ่ขึ้น เคลื่อนไปอยู่ตรงอิคิวเตอร์ของเซลล์ รวมกันเป็น plate และจะขยายไปเรื่อย ๆ จนไปจัดผนังเซลล์เดิม เกิดเป็นผนังเซลล์ใหม่เรียกว่า **Middle lamella** ต่อมาจะมีสารพากเซลลูโลสmapอก 2 ข้างของ middle lamella ทำให้เกิดผนังเซลล์เพิ่มอีกชั้น คือ ชั้น **Primary wall** จึงสรุปได้ว่า การแบ่งไซโทพลาซึมในเซลล์สัตว์เริ่มจากภายนอกเซลล์ ส่วนในเซลล์พืชเริ่มจากตรงกลางเซลล์

## Karyokinesis

การแบ่งนิวเคลียสมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบพบในเซลล์ต่างชนิดกัน และมีวิธีการแบ่งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยทั่วไปพบมี 3 แบบ คือ แบบ **ไมโครซิส** **ไมโครซิส** และ **ไมโอซิส** ซึ่งซึ่งกัน 3 นี้ดังเป็นชื่อของการแบ่งเซลล์ด้วย

### ไมโครซิส (Amitosis)

เป็นการแบ่งนิวเคลียสอย่างง่าย ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในนิวเคลียส แบบนี้เกิดโดยการที่นิวเคลียสยึดยาวออกจากกันเป็นห่อน ๆ และในขณะเดียวกัน ไซโทพลาซึม ก็คัดเข้าจนหลุดออกจากกัน (รูปที่ 5-12) มักพบในเซลล์ของพืชและสัตว์ชั้นต่ำ เช่น แบคทีเรีย พรอโทซัว ยีสต์ หรืออาจพบในเซลล์ที่ผิดปกติ ที่ต้องการการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว เช่น กลุ่มเซลล์ที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น การแตกหน่อของยีสต์ Binary fission ที่เกิดขึ้นในแบคทีเรีย ก็จัดเป็นไมโครซิสอย่างหนึ่ง



รูปที่ 5-12 แสดงการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis*) แบบ Binary fission

## ไมโทซิส (Mitosis)

เป็นการแบ่งเซลล์ของเซลล์ร่างกาย (Somatic cells) พบรูปแบบที่เซลล์มีการแบ่งตัวตลอดเวลา เช่น ที่ปลายยอดหรือปลายรากของต้นไม้ หรือกลุ่มเซลล์ที่ต่อไปจะเปลี่ยนไปเป็นอวัยวะต่างๆ ในร่างกายของสัตว์ การแบ่งแบบนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสเกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสจะเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องกัน เริ่มจากเซลล์มีการสะสมอาหาร จึงดูเหมือนเซลล์กำลังพักตัวเพื่อสะสมอาหารอยู่ระยะหนึ่งก่อน แล้วนิวเคลียสจะเริ่มแบ่งตัวติดต่อกันไปโดยไม่มีการหยุดพัก จนได้นิวเคลียสรึเซลล์ใหม่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในนิวเคลียสออกเป็น 5 ระยะ แต่ละระยะกินเวลาไม่เท่ากัน (ตารางที่ 5-3) ดังจะกล่าวต่อไป ส่วนเซลล์พืชและสัตว์จะมีความแตกต่างกันในเรื่องรายละเอียดบางอย่าง เท่านั้น

ระยะที่ 1 Interphase หรือ Resting stage (Between phase) ระยะนี้มองเห็นเหมือนนิวเคลียสกำลังพักตัว ไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลง โดยโครโมโซมยังอยู่ในลักษณะเป็นร่างแท และย้อมดิดสีเข้มเป็นจุด ๆ จะเห็นนิวเคลียสโอลัสมีขนาดใหญ่ขึ้น ย้อมสีเห็นเข้ม จัดเป็นระยะที่เซลล์มีการเจริญเติบโตเต็มที่ มีการสะสมสารที่จะใช้ในการแบ่งเซลล์ เซลล์จะใช้ชีวิตส่วนใหญ่อยู่ในระยะนี้ เซลล์จะทำหน้าที่ทุกอย่างของชีวิตยกเว้นการสืบพันธุ์ Organelles อื่น ๆ สามารถพบรูปในเซลล์ด้วย พบรูป centrioles อยู่ใกล้เยื่อหุ้มนิวเคลียส ในกลางระยะโครโมโซมจะเพิ่มตัวเอง

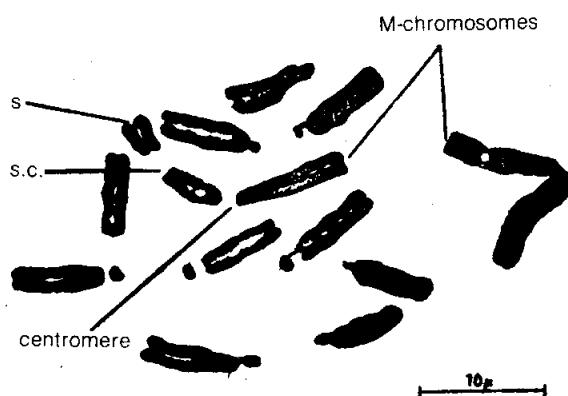
ตารางที่ 5-3 จำนวนโครโนโซมในเซลล์ของพืชและสัตว์บางชนิด (Strickberger, 1968)

ชื่อสามัญ	Species	จำนวนโครโนโซม	
		ดิพloid	แอฟพอloid
คน	<i>Homo sapiens</i>	46	23
สุนัข	<i>Canis familiaris</i>	78	39
ไก่	<i>Gallus domesticus</i>	78	39
กบ	<i>Rana pipiens</i>	26	13
ไฮดราน้ำจืด	<i>Hydra vulgaris attenuata</i>	32	16
ราเมือก	<i>Dicystostelium discoideum</i>	—	7
รา (Fugus)	<i>Aspergillus nidulans</i>	—	4 หรือ 8
ข้าว	<i>Oryza sativa</i>	24	—
ยาสูบ	<i>Nicotiana tabacum</i>	48	—

(Duplicate) เกิดเป็นโครโนซมลูกที่เหมือนกันติดกันอยู่กับโครโนซมเดิมเรียกโครโนซมแม่ ในปลายระยะ centriole จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 อัน และเริ่มเคลื่อนที่ออกจากกัน

ระยะที่ 2 Prophase (Beginning phase) โครโนซมที่เดิมมีลักษณะเป็นเส้นยาวจะหดสั้น หนาเข้า และขาดออกเป็นห่อๆ (รูปที่ 5-13) แต่ละห่อเรียกโครโนซม ซึ่งจำนวนโครโนซมที่เกิดขึ้นในเซลล์แต่ละชนิดจะมีจำนวนแหน่งอน (ตารางที่ 5-3)

แต่ละโครโนซมจะประกอบด้วยเส้น 2 เส้นที่มีลักษณะเหมือนกัน แต่ละเส้นถูกเรียกว่า โครมาติด (Chromatid) โครมาติดมีลักษณะเป็นเส้นที่ขัดเป็นเกลียวคล้ายลวดสปริง เรียงขนานกันตามแนวแกน เชื่อมติดกันด้วยจุดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า centromere Centromere นี้ไม่จำเป็นต้องอยู่ตรงกลางของโครโนซม มักจะพนอยู่ใกล้ไปทางปลายของโครโนซม (รูปที่ 5-13)



รูปที่ 5-13 โครโนซมจากเซลล์ปลายรากถั่ว แสดงโครโนซมคู่ที่เหมือนกัน (Homologous chromosome) ได้แก่ M-โครโนซม สังเกตเห็นแต่ละโครโนซมประกอบด้วย 2 โครมาติดเรียงคู่กันอยู่จะติดกันเฉพาะตรง centromere

ในเซลล์ของสัตว์ ขณะที่นิวเคลียสรีเมบเบิร์งตัว คือ ระยะต้นของระยะ prophase centriole จะเริ่มเคลื่อนที่แยกออกจากกัน เริ่มมีกลุ่มเส้นไขไฟเบอร์เกิดขึ้น เส้นไขนี้จะกระจายออกโดยรอบ centriole ในแนวรัศมี (รูปที่ 5-11 ก.) เรียก Aster (มาจากภาษากรีกแปลว่าดาว) เส้นไขไฟเบอร์ที่เกิดขึ้นนี้ดูเหมือนจะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโครโนซม โดยจะเชื่อมระหว่าง centrioles ทั้งสอง Centrioles จะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ จนไปอยู่ในแนวตรงข้ามกันของนิวเคลียส ตำแหน่งนี้เรียกว่าข้อของเซลล์ (Poles) เป็นตำแหน่งที่โครโนซมจะเคลื่อนที่ไปรวมเป็นนิวเคลียสใหม่ ในตอนปลายระยะผนังนิวเคลียสจะค่อยๆ หักสลายไป และนิวเคลียสจะเริ่มหายไปด้วย ขณะนี้จะเห็นเส้นไขที่เชื่อมระหว่าง centriole จะไปออกเป็นรูปโค้ง คล้าย

ลูกพุตบอลเรียก **spindle** ปลาย spindle เรียกว่า **Pole** กึ่งกลางระหว่างขั้วเรียก **equator** บางส่วนของเส้นไขจจะโยงติดกับ centromeres (รูปที่ 5-13)

ในเซลล์พีชจะต่างจากเซลล์ของสัตว์ คือ เซลล์พีชจะไม่มี centriole มีแต่เส้นไขไฟเบอร์ เกิดขึ้นเช่นเดียวกับเซลล์ของสัตว์ ซึ่งนักชีววิทยาบางท่านคิดว่า่าจะมี structure อะไรบางอย่าง เกิดขึ้นในเซลล์ของพีชแทน เซลล์พีชบางชนิดพบมีขั้วของเซลล์ให้เห็นเหมือนกัน เช่น ในสเปร์ม ของเพร์น

ส่วนประกอบของเส้นไขไฟเบอร์นี้ยังไม่เป็นที่รู้จักกันดี แต่ดูเหมือนจะเกิดจากการ รวมตัวของไมเลกุลของโปรตีน และเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน มองเห็นมีลักษณะ เป็นห่อคลุมคล้ายไฟเบอร์ที่ประกอบเป็น flagella (Curtis, 1968)

**ระยะที่ 3 Metaphase** (Middle phase) นิวเคลียสและผนังนิวเคลียสจะหายไปหมด เส้นไขไฟเบอร์ที่โยงติดกับ centromeres จะนำให้โครโมโซมไปเรียงกันอยู่ตรงกลางเซลล์ (รูปที่ 5-14 ง. และ จ.) Centromeres ของโครโมโซมแต่ละคู่จะเชื่อมติดกับเส้นไขไฟเบอร์ที่ equator Centromeres จะมาเรียงกันที่ equator

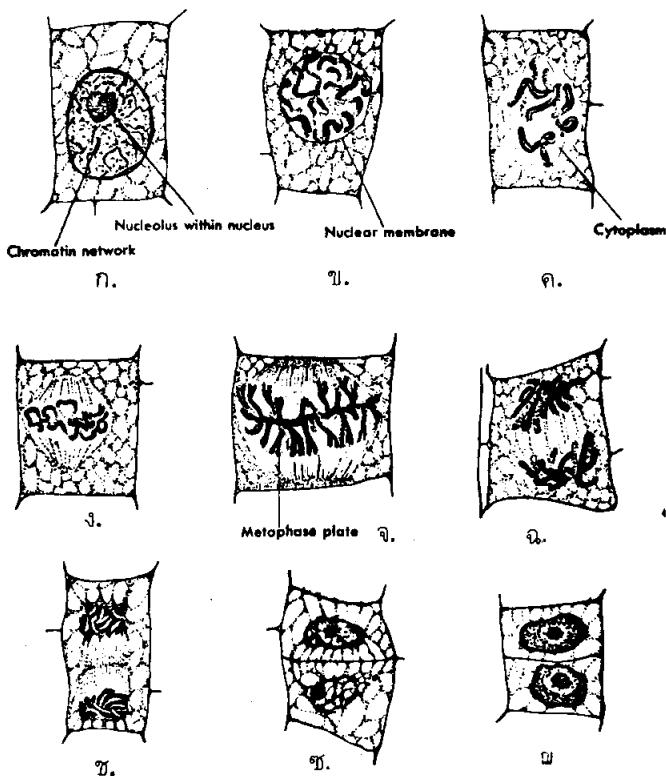
**ระยะที่ 4 Anaphase** (Movement phase) เป็นระยะที่กินเวลาสั้นที่สุด (ตารางที่ 5-4) ระยะนี้ centromeres เริ่มแยกตัวและยังคงยึดติดกับเส้นไขไฟเบอร์ และดูเหมือนว่าเส้นไขจะดึง centromeres ไปยังขั้วของเซลล์ โครโมโซมจะถูกดึงไปด้วย ในการเคลื่อนที่นั้น centromere จะเคลื่อนนำไปก่อนในขณะที่แขนงสองของโครโมโซมลาก (เมื่อ centromere แบ่งตัวแล้ว

ตารางที่ 5-4 แสดงระยะเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (Strickberger, 1968)

ชื่อสิ่งมีชีวิต	อุณหภูมิ °C	ระยะเวลา (นาที)			
		Prophase	Metaphase	Anaphase	Telophase
หู (spleen)	38	21	13	5	4
กลูกไก่ (mesenchyme cells)	39	30-60	2-10	3-7	2-10
กบ (fibroblasts เลี้ยงในห้องทดลอง)	20-24	32	20-29	6-11	
ตั๊กแตน (neuroblasts)	38	102	13	9	57
ตัวอ่อนของ sea urchin	12	19	17	12	18
ปลายรากหอม	20	71	6.5	2.4	3.8
ปลายรากถั่ว	20	78	14.4	4.2	13.2

โครมาติดจะไม่เรียกว่าโครมาติดต่อไป คือจะถูกจัดว่าเป็นโครโนซอม เรียกว่าโครโนซอมลูก หรือ Daughter chromosomes) จะถูกลากตามไป (รูปที่ 5–14 น.) ในขณะนี้แต่ละ centriole ที่ข้างทั้งสองของเซลล์จะมีการเพิ่มตัวเอง (Replicate)

ระยะที่ 5 Telophase (End phase) เป็นระยะสุดท้ายของการแบ่งเซลล์ เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ย้อนรอยของระยะ prophase คือ โครโนซอมในขณะนี้จะอยู่ที่ข้างของเซลล์จะเริ่มคลายเกลียวอย่างรวดเร็วจนเป็นเส้น เส้นใยไฟเบอร์เริ่มแตกสลาย โครโนซอมเริ่มรวมกันโดยการพองออกหรือโดยการแตกสาขาออกไป ไปสานกันเป็นร่างแหหนิวเคลียส มีผนังนิวเคลียสมาน้ำมันิวเคลียสเกิดขึ้น เกิดเป็นนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส (รูปที่ 5–14 ช.–ณ.)



รูปที่ 5–14 แสดงการแบ่งเซลล์แบบไม่ใช้ระยะต่าง ๆ ในพืช ก. Early prophase (โครมาตินเริ่มขาดตัวนิวเคลียสยังอ่อน) ข. Medium prophase (หินโครโนซอมเกิดขึ้น นิวเคลียสอยู่ทางไป) ค. Late prophase (ผนังนิวเคลียสหายไป มีเส้นใยไฟเบอร์เกิดขึ้น) จ. Early metaphase (โครโนซอมเริ่มแยกกันที่บริเวณกลางกลุ่มเส้นใยไฟเบอร์) ก. Late metaphase (โครโนซอมแยกกันตามยาวตลอด) ช. Anaphase (โครโนซอมเคลื่อนที่ไปยังข้างสองของเซลล์) ฉ. Early Telophase (โครโนซอมมาเรียงตัวกันที่ข้างของเซลล์ มี cell plate เกิดขึ้น) ญ. Late telophase (เกิดมีผนังนิวเคลียสใหม่มาทั้ม นิวเคลียสอยู่ทางไป) ญ. เกิดเซลล์ลูกใหม่ 2 เซลล์

ในขณะที่นิวเคลียสมีการแบ่งตัวนั้น พ ragazzi organelles ต่าง ๆ เช่น คลอโรพลาสต์ ไมโგ-ค่อนเดรีย รวมทั้ง centrioles จะมีการเพิ่มตัวเอง ซึ่ง organelles เหล่านี้พบว่ามีสารพาก genetic material (DNA) เมื่อนำ入นิวเคลียส สารเหล่านี้จะไม่พบที่อื่นอีก ในไซโทพลาซึม (Curtis, 1968)

Cytokinesis อาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการแบ่งนิวเคลียส หรือเกิดหลังจากนิวเคลียส แบ่งตัวเรียบร้อยแล้วก็ได้ เชลล์บางชนิดอาจจะมีการแบ่งนิวเคลียสต่อไปอีกด้วยไม่มี cytokinesis เกิดขึ้น ทำให้ได้เชลล์ที่มีหลายนิวเคลียส

ผลจากการแบ่งตัวแบบนี้จะได้เชลล์ใหม่เกิดขึ้น 2 เชลล์ที่มีลักษณะเหมือนกัน และเหมือนกับเชลล์เดิม จำนวนครอโนโซมของเชลล์ใหม่ก็เท่ากับเชลล์เดิมด้วย

### ไมโอชิส (Meiosis)

ก่อนอื่นต้องเข้าใจเรื่องการสืบพันธุ์ก่อน คือ การสืบพันธุ์มี 2 ชนิด คือ แบบไม่มีเพศ และแบบมีเพศ การสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศเกิดจากเชลล์แม่เพศเดียว ส่วนแบบมีเพศเกิดจากเชลล์แม่ 2 เพศ แบบหลังนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะบางอย่างของลูกไปจากพ่อและแม่ การสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศ ได้แก่ Fission ในแบคทีเรีย Budding ในยีสต์ หรือ vegetative reproduction เช่น การเจริญจากไหล (Stolons) เหง้า (Rhizomes) หัว (Tubers) หรือ bulbs เป็นต้น ส่วนการสืบพันธุ์แบบมีเพศต้องมีการผสมพันธุ์กันของ germ cells

Germ cells คือ เชลล์สืบพันธุ์ เชลล์สืบพันธุ์นี้ถ้าเกิดในการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศเรียกว่า spores แต่ถ้าเป็นเชลล์สืบพันธุ์ของการสืบพันธุ์แบบมีเพศเรียกว่า gametes (แกมีต) แกมีตตัวผู้ได้แก่ สเปร์ม ส่วนแกมีตตัวเมียคือไข่ เมื่อเชลล์ทั้ง 2 รวมกันจะเกิดเป็นไซโgot ไซโgot จะเจริญเติบโตแบ่งตัวต่อไปเป็นเอมบริโอและเป็นตัวแก่ต่อไป

ไมโอชิสเป็นการแบ่งเชลล์ที่พบเฉพาะในอวัยวะเพศเท่านั้น เชลล์ที่ได้จากการแบ่งตัวจะเจริญไปเป็นไข่หรือสเปร์มได้ เป็นการแบ่งเชลล์ที่มีการลดจำนวนครอโนโซม (Reduction division) ได้ haploid cells โดยทั่วไปจำนวนของครอโนโซมในเชลล์จะมีจำนวนเป็นคู่ เนื่องจากครอโนโซมจะมีลักษณะและส่วนประกอบคล้ายคลึงกันเป็นคู่ ๆ จำนวนของครอโนโซมทั้งหมดเรียกว่าจำนวนดิพโลยด์ ( $2n$ ) ส่วนจำนวนคู่ของครอโนโซมเรียกว่าจำนวนแฮพโลยด์ ( $n$ ) ตัวอย่างเช่น ในเชลล์ของคน (ตารางที่ 5-3)

$$\text{จำนวน ดิพโลยด์} = 46$$

$$\text{จำนวน แฮพโลยด์} = 23$$

จำนวนแฮพโลยด์นอกจากจะเป็นจำนวนคู่ของครอโนโซมแล้ว ยังเป็นจำนวนครอโนโซมของ germ cells ด้วย

ผลที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไม่โอดีสันนี้ต่างจากการแบ่งเซลล์แบบไม่โอดีสอยู่ 2 ข้อคือ ข้อแรก จำนวนโครโมโซมของเซลล์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบนี้จะมีจำนวนเป็นครึ่งหนึ่ง เป็นโครโมโซมที่ได้มาจากการแยกตัวออกจากโครโมโซมคู่ที่เหมือนกัน (Homologous pair) ข้อสอง การผลัดออกจากกันของโครโมโซมอาจมีการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมเกิดขึ้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในรุ่นใหม่เมื่อมีการผสมพันธุ์เกิดขึ้น

การแบ่งเซลล์แบบนี้จะมีการแบ่งนิวเคลียสเกิดขึ้นเป็น 2 ขั้นตอน ที่เกิดติดต่อ กันไม่มี การหยุดพัก ดังแผนผังข้างล่าง

### แผนผังขั้นตอนในการแบ่งเซลล์แบบไม่โอดีส

**Meiotic division I** (Reduction division) เป็นการแบ่งนิวเคลียสที่มีการลดโครโมโซมแบ่ง เป็นระยะตั้งนี้

Interphase I

- Prophase I
  - Leptonene
  - Zygotene
  - Pachytene
  - Diplotene
  - Diakinesis

Metaphase I

Anaphase I

Telophase I หรือ Interphase II ได้นิวเคลียสใหม่เกิดขึ้น 2 นิวเคลียส

**Meiotic division II** (เหมือน Mitosis) จะมีการแบ่งเซลล์คล้ายแบบไม่โอดีส ประกอบด้วย ระยะต่าง ๆ ดังนี้

Interphase II

Prophase II

Metaphase II

Anaphase II

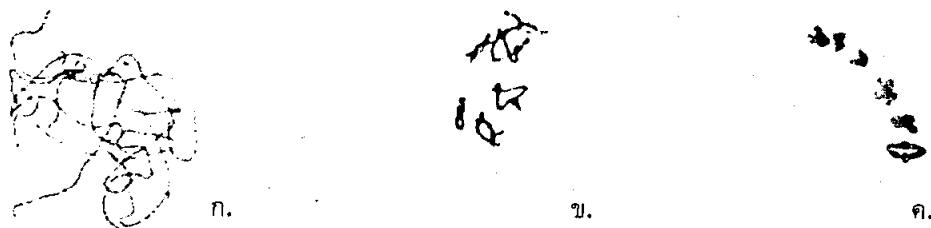
Telophase II

ผลได้เซลล์ใหม่เกิดขึ้น 4 cell ที่แต่ละเซลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นเซลล์เพศ ต่อไป การเปลี่ยนแปลงรูปร่างในเซลล์เพศตัวผู้เรียกว่า **Spermatogenesis** ส่วนในเซลล์เพศตัวเมีย เรียกว่า **Oogenesis**

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงแต่ขั้นตอนที่ 1 ของการแบ่งเซลล์แบบไมโครซิส

**Meiotic division I** เป็นการแบ่งนิวเคลียสออกเป็น 2 นิวเคลียส ที่แต่ละนิวเคลียสจะมีโครโมโซมเป็นจำนวนแพลลอยด์ เริ่มด้วยระยะ Interphase I ที่เหมือนในไมโทซิส แล้วก็เข้าระยะ Prophase I ที่ต่างจาก prophase ในไมโทซิสตรงที่โครโมโซมคู่ที่เหมือนกัน (Homologous chromosome) จะเคลื่อนที่มาเข้าคู่กันเรียกว่า **Synapsis** มีการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะดังนี้

ระยะที่ 1 **Leptonene** เป็นระยะที่ร่างแหนิวเคลียสริ่มมาต่อกันเป็นเส้นยาว มองเห็นเป็นปมเล็ก ๆ จำนวนมาก (รูปที่ 5—15 ก.) ต่อมากจะดัดออกเป็นโครโมโซมที่มีลักษณะยาว บาง มีปมจำนวนมากปมเรียกว่า chromomeres



รูปที่ 5—15 แสดงการแบ่งเซลล์แบบไมโครซิสของ *Microspozocytes* ของ *Podophyllum* ในระยะ Leptotene II. diakinesis ข. และ metaphase I ค.

ระยะที่ 2 **Zygotene** โครโมโซมที่มีลักษณะคล้ายกัน (Homologous chromosome) จะมาเข้าคู่กัน มองเห็นเป็นเส้นคู่ (Bivalent) ซึ่งต่อมาแต่ละโครโมโซมจะเพิ่มตัวเองเป็นคู่ ทำให้เห็นแต่ละคู่เป็น 4 เส้น (Tetrad)

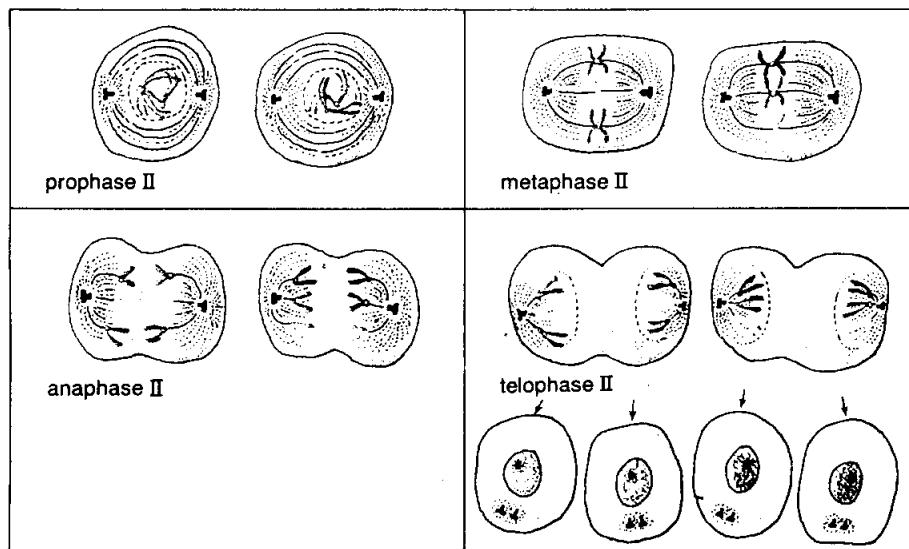
ระยะที่ 3 **Pachytene** โครโมโซมเริ่มหดสั้นลง มองเห็น tetrad ชัด และ chromatid ของแต่ละโครโมโซมใน bivalent จะมีการไขว้กัน (Crossing over) จุดที่ไขว้กันเรียกว่า **Chiasma** อาจมีการไขว้กันทั้งโครโมโซม หรือไขว้กันเฉพาะโครมาติดก์ได้

ระยะที่ 4 **Diplotene** โครโมโซมหดสั้นมาก และเริ่มผละออกจากกัน จึงเห็นเป็นรูปต่าง ๆ เช่น X, O, V

ระยะที่ 5 **Diakinesis** Bivalent เริ่มกระจายไปอยู่ใกล้ผนังนิวเคลียส มองเห็นโครโมโซมในลักษณะตัว X, O, V ชัดเจนขึ้น (รูปที่ 5—15 ข.) นับเป็นระยะสุดท้ายของ prophase

ซึ่งผ่านนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสจะถูกแยกตัวหายไป การสลายตัวของผ่านนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสในเซลล์แต่ละชนิดจะช้าเร็วต่างกัน แต่ในท้ายระยะ prophas I จะถูกแยกตัวไปหมด

ต่อจากนี้ก็จะเข้าสู่ระยะ Metaphase I ที่ bivalent จะเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณกลางเซลล์ และเห็นเป็นรูป X, O และ V ค่อนข้างชัดเจน (รูปที่ 5–15 ค.) มีเส้นไยโยงโครโมโซมตรง centromere หรือ kinetochore กับขั้วของเซลล์ แล้วจึงเข้าสู่ Anaphase I ต่างจาก Anaphase ตรงที่ Anaphase นั้น โครโมโซมแต่ละอันจะแยกกันตรง centromeres และเคลื่อนที่ไปแต่ละขั้ว แต่ใน Anaphase I โครโมโซมคู่ที่เหมือนกันจะแยกไปคนละขั้ว centromere ในแต่ละโครโมโซมไม่แยกกัน แต่ละฝาก็จะได้โครโมโซมจำนวนครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม (รูปที่ 5–16 ก.) แล้วโครโมโซมแต่ละกลุ่มที่ขั้วของเซลล์อาจจะไปรวมกันเป็นนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียสเป็นระยะ Telophase I หรืออาจข้ามไประยะ Metaphase II เลย โดยไม่ผ่านระยะ Telophase I หรือ Prophase II



รูปที่ 5–16 แสดงการแบ่งเซลล์แบบ meiosis II ทั้ง 4 ระยะ ได้ 4 daughter cells ที่มีจำนวนโครโมโซมเป็นจำนวนแฝพลด้อยลงและมีโครโมโซมแตกต่างกัน (Bauer et al, 1981)

**Meiotic division II** เมื่อนำมาโดยสุกประการ เริ่มต้นจากโครโมโซมที่มีจำนวนแฝพลด้อยลงในแต่ละฝากของเซลล์ จะมองเห็นประกอบด้วยโครมาติดเป็นคู่ (รูปที่ 5–15 ข.) เมื่อ chromomeres แบ่งตัว แต่ละโครมาติดจะเคลื่อนที่ออกจากกัน (รูปที่ 5–15 ค.) และไปรวมกันเป็น 4 นิวเคลียส (รูปที่ 5–15 ง.) ซึ่งแต่ละนิวเคลียสมีโครโมโซมเป็นจำนวนแฝพลด้อยลง มี cytokinesis เกิดขึ้น เกิดเป็นเซลล์ใหม่ 4 เซลล์ (รูปที่ 5–15 ง.) ซึ่งเซลล์ที่ได้ใหม่นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่อไป เป็นรูปไข่ในตัวผู้และไข่ในตัวเมีย

สรุป Mitosis และ Meiosis มีข้อแตกต่างกัน 4 ข้อ คือ

ข้อ 1. Meiosis เกิดขึ้นใน germ cells ส่วน Mitosis เกิดในเซลล์ร่างกาย

ข้อ 2. Meiosis มีการแบ่งเซลล์ 2 ขั้นตอน ในขณะที่ Mitosis เกิดขึ้นขั้นตอนเดียว ดังนั้น จึงเกิดเซลล์ใหม่ขึ้น 4 เซลล์ใน meiosis และ 2 เซลล์ใน mitosis

ข้อ 3. homologous chromosome จะเคลื่อนที่ไปเข้าคู่กันใน prophase I ของ meiosis แต่ไม่เกิดใน mitosis

ข้อ 4. เกิดเซลล์ใหม่ขึ้น 4 เซลล์ใน meiosis ที่เป็นแอพลอยด์ และอาจจะไม่เหมือนกัน เนื่องจากได้โครโมโซมที่ต่างกัน ส่วน mitosis ได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ที่เป็นดิพลอยด์ และมีโครโมโซมชนิดเดียวกัน