บทที่ 3
การแบ่งเซล
(Cell Division)

ในสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะมีการแบ่งเซลอยู่สองแบบด้วยกันโดย nucleus และโครโมโซมของมันจะมีบทบาทสำคัญที่สุดในขณะที่มีการแบ่งเซล แต่การเปลี่ยนแปลงของมันที่เกิดขึ้นนั้นจะแตกต่างกันในการแบ่งเซลทั้งสองแบบ

Mitosis ในพวกสิ่งมีชีวิตที่มีเซลเดียว การแบ่งเซลแบบนี้หมายถึงการขยายพันธุ์ทวีจำนวนจากชั่วหนึ่งไปยังอีกชั่วหนึ่ง ส่วนในสิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลจะเป็นการแบ่งเซลเพื่อทวีจำนวนเซลในร่างกายให้มากขึ้น และเพื่อการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ

Mitosis จะมีระยะที่สำคัญแบ่งออกได้เป็น 5 ระยะด้วยกัน โดยที่ระยะต่างๆ เหล่านี้จะแบ่งออกได้อย่างไม่ชัดเจนนัก เพราะมันจะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปเป็นลำดับ

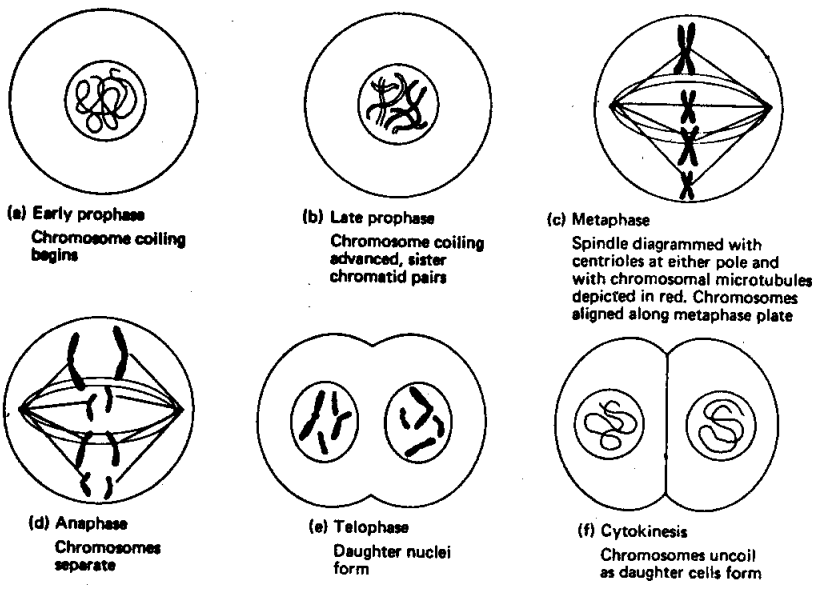
1. Interphase จะเห็นโครโมโซมไม่เด่นชัด ประสิทธิภาพของการติดสีมีน้อย เนื่องจาก nucleic acid กระจายตัวทั่วไปใน nucleus จะเห็น nucleolus ได้ชัดมาก เซลในระยะนี้จะ active มากที่สุดในการสังเคราะห์สารต่าง ๆ และเตรียมตัวสำหรับการแบ่งเซลครั้งต่อไป

2. Prophase โครโมโซมเริ่มหดตัว เนื่องจากการขดตัว (coiling) ให้เห็นเด่นชัดมากขึ้นและจะติดสีเข้มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นจะมีการแบ่งตัวหรือ duplicate ออกเป็นสองส่วน เรียก sister chromatids โดยมันจะยังคงมีส่วนที่ติดกันอยู่คือ centromere จากนั้น เมื่อโครโมโซมหดตัวมากขึ้นและหนาขึ้น centrosome (ในเซลของสัตว์) ก็จะแบ่งตัวออกเป็นสองส่วน แล้วเคลื่อนไปอยู่คนละด้านของ nucleus ทำหน้าที่เป็นขั้วของ spindle fiber ที่จะเกิดขึ้นตามมา nucleolus จะหายไป และ nuclear membrance จะเริ่มสลายตัว

3. Metaphase โครโมโซมจะหดตัวสั้นลงมากที่สุด spindle fiber ที่เกิดขึ้นจะไปจับกับ centromere ซึ่งยังไม่มีการแบ่งตัว แล้วนำ sister chromatids ไปเรียงตัวอยู่ตรงกลางเซลที่ metaphase plate ซึ่งอยู่ระหว่างทั้งสองข้างของ spindle fiber

4. Anaphase centromere ทำการแบ่งตัวเองออกเป็นสองส่วนทำให้ chromatids แยกตัวออกจากกันโดยสิ้นเชิงกลายเป็น daughter chromosomes ขึ้นมาสองอัน มันจะเคลื่อนตัวแยกออกไปอยู่คนละด้านโดยการดึงของ spindle fiber

5. Telophase ในระหว่างนี้จะมี nuclear membrane ขึ้นมาล้อมรอบโครโมโซมแต่ละกลุ่มที่อยู่คนละข้าง มี nucleolus ปรากฏขึ้น โครโมโซมจะเริ่มคลายตัวออกและกลับไปสู่ระยะ interphase อีก เมื่อสิ้นสุดการแบ่งตัวของ nucleus แล้ว cytoplasm จะเริ่มทำการแบ่งตัว เรียกการแบ่งตัวของ cytoplasm ว่า cytokinesis ส่วนการแบ่งตัวของ nucleus เรียกว่า karyokinesis ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แสดงระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลแบบ mitosis

ผลจาก mitosis จะทำให้ได้เซลที่เกิดขึ้นใหม่สองเซลมีส่วนประกอบที่เหมือนกันทุกประการรวมทั้งจำนวนโครโมโซมด้วย

Meiosis ในสิ่งที่มีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์แบบ sexual การสร้าง zygote (embryonic cell) จะเกิดขึ้นได้จากการปฏิสนธิหรือ fertilization ระหว่าง gametes จากเพศผู้และเพศเมีย คือระหว่างสเปอร์มและไข่ ดังนั้นในระหว่างการสร้าง sex cell จึงจำเป็นที่จะต้องมีการลดจำนวนโครโมโซมลงครึ่งหนึ่ง ไม่อย่างนั้นแล้ว zygote ที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนโครโมโซมเป็นสองเท่าของพ่อแม่ไปทุก ๆ ชั่ว แต่ถ้ามีการลดจำนวนโครโมโซมใน sex cell ลงแล้วจะทำให้จำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตแต่ละ species คงที่อยู่ทุก ๆ ชั่ว

สำหรับจำนวนโครโมโซมปกติใน somatic cell ของสิ่งมีชีวิตนั้นเรียกว่า somatic number หรือ diploid number เขียนย่อ ๆ ว่า 2n เช่น สมมุติพืชชนิดหนึ่งมีโครโมโซมอยู่ใน somatic cell 4 อัน จะได้ 2n = 4 ส่วนใน sex cell ที่มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งนั้นเรียก gametic number หรือ haploid number เขียนย่อ ๆ ว่า n ดังนั้น n = 2

ในการรวมของ gametes จากทั้งสองฝ่ายนั้น โครโมโซมแต่ละอันที่มาจากฝ่ายหนึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอีกโครโมโซมหนึ่งที่เป็นคู่ของมันที่เรียกว่า homologue ซึ่งจะมาจากอีกฝ่าย การที่โครโมโซมปรากฏอยู่เป็นคู่ ๆ นี้เรียกว่ามันเป็น homologous chromosomes หรือ homologous pairs ดังนั้นในกรณีที่มี 4 โครโมโซมก็จะเป็นสองคู่ เมื่อมีการแบ่งตัวแบบ meiosis เกิดขึ้น homologous chromosomes จะแยกกันออกไปอยู่ในคนละเซลแล้วจะกลับมารวมกันอีกเมื่อมีการปฏิสนธิเกิดขึ้น เป็นเช่นนี้เรื่อยไป

การแบ่งตัวแบบ meiosis จะแบ่งออกเป็นสองภาคใหญ่ ๆ คือ

1. First meiotic division เรียกว่า reductional division จะมีการลดจำนวนโครโมโซมลงครึ่งหนึ่ง โดยที่ homologous chromosomes จะแยกกันไปอยู่คนละเซล

2. Second meiotic division เรียกว่า equational division จะเป็นระยะที่มีการแยก chromatids ออกจากกัน

Meiotic I ประกอบด้วยระยะต่อไปนี้คือ

- **Prophase I** แบ่งย่อยออกเป็น
  - **Leptotene (Leptonema)**
  - **Zygotene (Zygonema)**
  - **Pachytene (Pachynema)**
  - **Diplotene (Diplonema)**
  - **Diakinesis**
- **Metaphase I**
- **Anaphase I**
- **Telophase I**

Meiotic II

- **Prophase II**
- **Metaphase II**
- **Anaphase II**
- **Telophase II**

สำหรับรายละเอียดต่าง ๆ ของแต่ละระยะพอกล่าวได้ดังนี้คือ

Prophase I

Leptotene โครโมโซมเริ่มปรากฏขึ้น เป็นเส้นสายยาวคล้ายลูกปัด ลอยตัวเป็นอิสระอยู่ใน nucleus

Zygotene homologous chromosomes จะเข้ามาประกบคู่กันตามยาวตามตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจงของลำดับยีนส์ที่อยู่บนโครโมโซม เรียกว่า chromosome pairing หรือ synapsis แต่ละคู่ของโครโมโซมที่ประกบกันนี้เรียกว่า bivalent (ถ้าไม่มีการจับคู่เรียกว่า univalent)

Pachytene โครโมโซมที่จับคู่กันจะเริ่มหดตัวสั้นลง และแต่ละโครโมโซมก็จะแบ่งตัวตามยาวสราง sister chromatids ขึ้นมาสองอัน ดังนั้นแต่ละ bivalent จะมี 4 chromatids เรียกกลุ่มของ chromatids นี้ว่า tetrad

Diplotene โครโมโซมจะหดตัวลงและหนามากขึ้น และ homologous chromosomes จะเริ่มแยกตัวออกจากกัน แต่จะมีบางส่วนที่ยังคงติดกันอยู่ ตำแหน่งที่ติดกันนี้เรียกว่า chiasma (ta) ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมระหว่าง non-sister chromatids เรียกว่า crossing over ซึ่งความสำคัญของมันจะได้กล่าวถึงภายหลัง

Diakinesis โครโมโซมจะหดตัวสั้นลงและหนาขึ้นอีก และตำแหน่งของ chiasmata จะเคลื่อนไปอยู่ตรงปลาย เรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า terminalization bivalents จะเริ่มเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ equatorial plate ของเซล nucleolus จะหายไป

Metaphase I nuclear membrane จะหายไป และโครโมโซมจะหดตัวลงมากทำให้สั้นและหนามาก bivalents ทั้งหมดจะไปเรียงตัวอยู่ตรง equatorial plate หรือ metaphase plate ในตอนนี้เราจะเห็นว่ามันแตกต่างไปจาก metaphase ของ mitosis เนื่องจากใน mitosis นั้นไม่มีการจับคู่กันของ homologous chromosomes แต่ละอันจะไปเรียงตัวอยู่ตรงกลางมีสอง chromatids แต่ใน metaphase I นั้นแต่ละ bivalent จะมาเรียงตรงกลางมี 4 chromatids

Anaphase I homologous chromosomes ที่ยังมี chromatids สองอันติดกันอยู่ที่ centromere ซึ่งยังไม่แบ่งตัวจะแยกไปอยู่คนละข้าง แต่ละโครโมโซมในขณะนี้เรียก dyad เพราะมี 2 chromatids ติดกัน

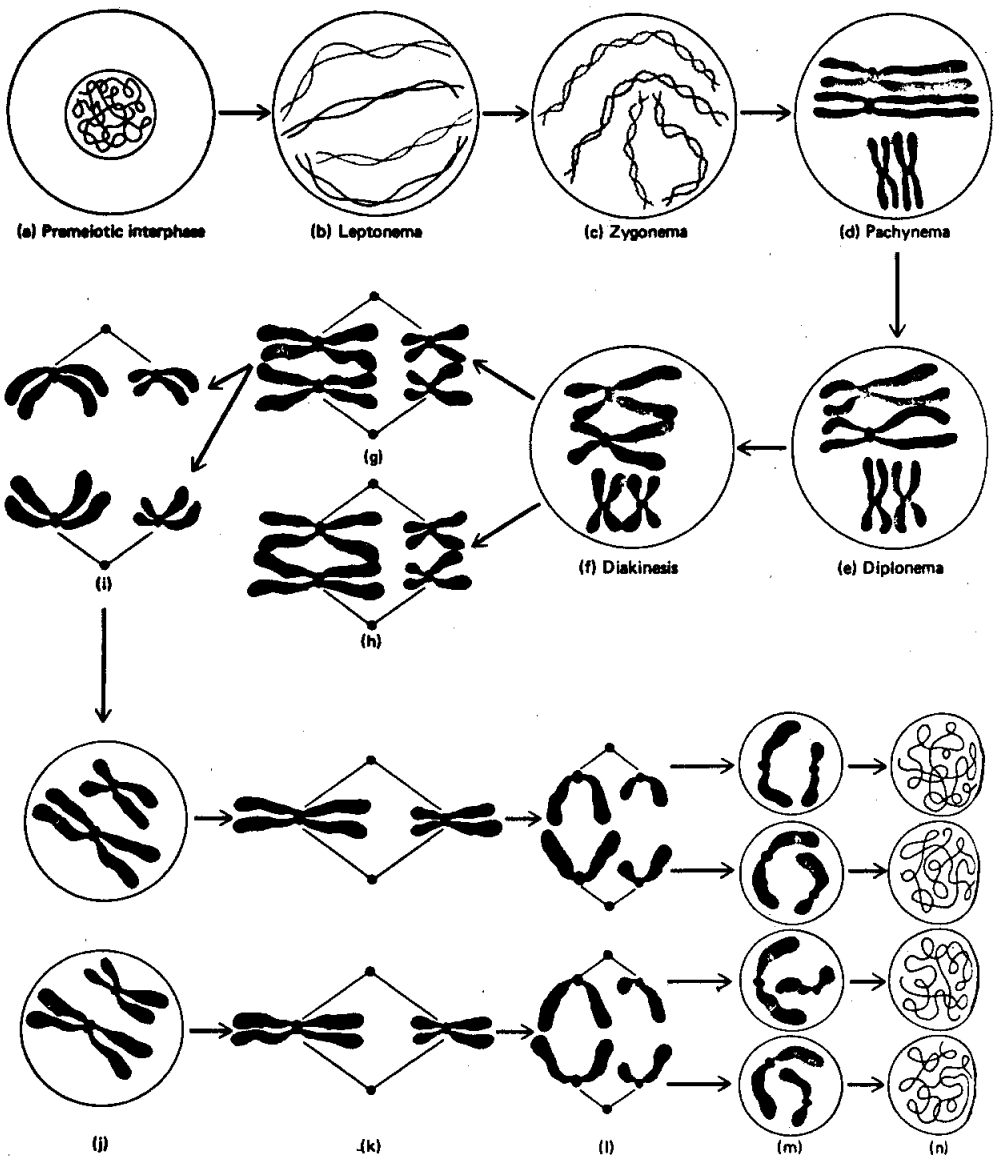
Telophase I เมื่อ dyad ทั้งหมดไปถึงขั้วของ spindle fiber แล้วจะมี nuclear membrane ขึ้นมาหุ้ม ระยะนี้มักเกิดขึ้นเร็วอาจมี interphase สั้น ๆ ตามมา แล้วจึงผ่านเข้าสู่ second meiotic division และ cytokinesis อาจเกิดขึ้นในระยะนี้ด้วยก็ได้ ดังในกรณีของข้าวโพดหรือมันอาจจะยังไม่เกิดขึ้นจนกว่าจะสิ้นสุด Meiotic II จึงสร้าง daughter cells ขึ้นมา 4 อัน พร้อม ๆ กันเลย

Meiotic II

การแบ่งเซลในระยะนี้ก็เหมือนกับที่เกิดใน mitosis เพียงแต่ว่ามันมีโครโมโซมเพียงครึ่งเดียว และโครโมโซมที่เข้าสู่การแบ่งตัวครั้งที่สองจะยังคงมี sister chromatids เชื่อมกันอยู่ด้วย centromere เพียงอันเดียว เมื่อ centromere ทำการแบ่งตัวออกเป็นสอง ก็จะทำให้ chromatids ทั้งสองแยกกันไปอยู่คนละข้างอีกครั้ง มี nuclear membrane ขึ้นมาหุ้มแล้วจึงมี cytokinesis ตามมา ดูรูปที่ 3–2 ประกอบด้วย

ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่าง mitosis และ meiosis คือ

1. ใน mitosis จะไม่มีการจับคู่ของโครโมโซมเกิดขึ้น มีการแยกตัวของ sister-chromatids ในระยะ anaphase แต่ใน meiosis จะมีการจับคู่ของ homologous chromosomes ในระยะ prophase I และ homologous chromosomes จะแยกกันไปอยู่คนละข้างใน anaphase I ส่วนการแยกตัวของ chromatids จะเกิดขึ้นใน anaphase II
2. ใน mitosis ผลจากการแบ่งตัวจะได้สองเซลที่มีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม แต่ใน meiosis จะมีการแบ่งตัวสองครั้งโดยครั้งแรกจะเป็นการลดจำนวนโครโมโซมลงครึ่งหนึ่ง และครั้งที่สองเป็นการแบ่งตัวแบบ mitosis ธรรมดาทำให้ได้ 4 เซลที่มีโครโมโซมเพียงครึ่งหนึ่งของที่มีอยู่เดิม
3. มีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมระหว่าง homologous chromosomes (non-sister chromatids) ใน meiosis



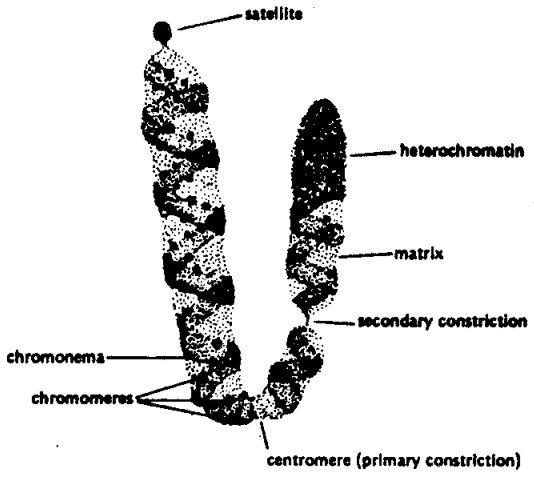
รูปที่ 3-2 แสดงระยะของการแบ่งเซลแบบ meiosis ในสิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซมอยู่เพียงสองคู่ (n = 2)

โครโมโซม

โดยที่โครโมโซมมีบทบาทในการควบคุมลักษณะต่าง ๆ จากชั่วหนึ่งไปยังอีกชั่วหนึ่ง เราจึงจำเป็นที่จะต้องมาศึกษาถึงรายละเอียดของรูปร่างหรือพฤติกรรมของมันบ้าง

โครโมโซมจะประกอบด้วย DNA (หรือ RNA) และสารประกอบ histones ซึ่งจัดเป็นโปรตีนพวกหนึ่ง เรียกรวม ๆ ว่าสาร nucleo-proteins โดยปกติแล้วแต่ละคู่ของโครโมโซมจะมีรูปร่างและขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะการเจริญเติบโตและการแบ่งตัว นอกจากนั้นยังมีความแตกต่างกันระหว่างโครโมโซมต่างคู่กันและต่าง species ด้วย

รูปร่างของโครโมโซมที่มองเห็นชัดที่สุดและมักจะมีรูปร่างที่คงที่จะอยู่ในระยะ metaphase และ anaphase (รูปที่ 3-3) ภายในโครโมโซมจะประกอบด้วยเส้นสายของ chromonema (ta) หลายอันพันกันอยู่ซึ่งอย่างน้อยที่สุดจะมีสองเส้นพันกันแบบ relational coiling และ chromonemata เหล่านี้จะฝังตัวอยู่ใน matrix ซึ่งเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มี pellicle หุ้ม การที่โครโมโซมมักมีความยาวไม่เท่ากันในแต่ละระยะของการแบ่งเซล เชื่อว่าคงเนื่องจากการยืดตัวหรือหดตัวของ chromonemata ส่วนหนึ่งด้วย



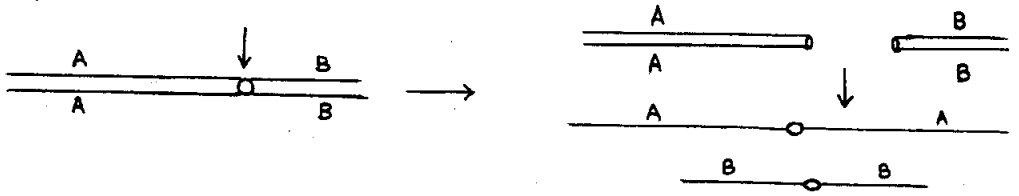
รูปที่ 3-3 แสดงรูปร่างและส่วนต่าง ๆ ของ mitotic chromosome ที่พบทั่ว ๆ ไป

ส่วนที่เว้าเข้าไปที่เรียกว่า primary constriction หรือ centromere หรือ kinetochore จะเป็นที่เกาะของ spindle fiber เพื่อการเคลื่อนที่ขณะที่มีการแบ่งเซล ที่จริงแล้ว centromere เป็นแต่เพียงรอยคอดเข้าไปและไม่ติดสี แต่เวลาเราเขียนรูปมักเขียนเป็นวงกลม ส่วนของโครโมโซมจะถูกแบ่งออกเป็นสองแขน โดยถือเอา

centromere เป็นจุดแบ่ง เวลาแบ่งเซลในระยะ anaphase เราจะสามารถมองเห็นรูปร่างของมันได้เป็น 4 แบบ คือ

ตำแหน่งของ centromere	รูปร่างในระยะ anaphase	การเรียกชื่อโครโมโซม
terminal	I	telocentric
subterminal	J	acrocentric
submedian	L	submetacentric
median	V	metacentric

ในการแบ่งเซลนั้น centromere จะแบ่งตัวทีหลัง ตราบใดที่ centromere ยังไม่มีการแบ่งตัวก็ถือว่ายังเป็นหนึ่งโครโมโซมอยู่ การแบ่งตัวของโครโมโซมจะมีการแบ่งตามยาวเป็น longitudinal และปกติ centromere ก็จะแบ่งตัวตามยาวด้วย แต่นาน ๆ ทีมันจะแบ่งตัวตามขวาง เรียกว่า misdivision จะทำให้ chromatids ถูกแบ่งตัวออกตามขวางด้วย ทำให้แขนที่อยู่ข้างเดียวกันเชื่อมติดเข้าด้วยกันแล้วแยกออกไปเป็นโครโมโซมใหม่ที่ผิดปกติ คือมีแขนทั้งสองข้างเหมือนกันทุกอย่าง เรียกว่า isochromosome ดังภาพข้างล่าง



ตามปกติโครโมโซมหนึ่งจะมีเพียงหนึ่ง centromere เท่านั้นและตำแหน่งของมันบนโครโมโซมจะคงที่แน่นอน แต่บางโครโมโซมอาจมี centromere มากกว่าหนึ่งอันก็ได้

Secondary constriction เป็นส่วนเว้าเข้าไปตามส่วนต่าง ๆ ของโครโมโซ ซึ่งจะมีตำแหน่งที่คงที่และแตกต่างจาก primary constriction ตรงที่ว่าไม่มี spindle fiber มาจับในขณะแบ่งเซลเลยไม่ทำให้ท่อนโครโมโซมทำมุมกันอย่างเห็นได้ชัด

Nucleolar zone หรือ nucleolar organizer หมายถึง secondary constriction บางแห่งที่เกี่ยวข้องกับการสราง nucleolus หรือเป็นที่เกาะของมัน

Satellite เป็นโครงสร้างที่กลมหรือรีแยกออกจากส่วนที่เหลือของโครโมโซม โดยมี **chromatin filament** เส้นเล็ก ๆ เป็นตัวเชื่อม ทั้ง **satellite** และ **filament** จะมีรูปร่างและขนาดที่คงที่

Chromomere เป็นโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับ **chromonema** โดยในขณะที่โครโมโซมยังเป็นเส้นสายบาง ๆ อยู่ เช่น ในระยะ **meiotic prophase** หรือในตอนต้น ๆ ของ **mitotic prophase** จะพบว่า **chromonema** จะมีบางตอนที่หนาและบางตอนที่บางคล้ายกับมีลูกปัดอยู่เป็นระยะ ๆ บริเวณที่คล้ายกับเป็นลูกปัดนี้เรียกว่า **chromomeres** และบริเวณที่อยู่ระหว่างลูกปัดเรียก **interchromomeres** เข้าใจว่าบริเวณที่เป็นลูกปัดนี้จะเกิดจากการมี **nucleo-protein material** หนาแน่นกว่าที่อื่นหรืออาจเป็นเพราะ **chromonema** พันกันเป็น **coil** มากก็ได้

การติดสีของโครโมโซมในระยะ **interphase** และ **prophase** ทุกส่วนของโครโมโซมจะมีการติดสีไม่เท่าเทียมกัน บางส่วนติดสีเข้มและบางส่วนติดสีจาง ส่วนที่ติดสีเข้มกว่าที่อื่นเรียกว่า **heterochromatin** และส่วนที่ติดสีจางเรียกว่า **euchromatin**

จำนวนโครโมโซมในแต่ละสิ่งมีชีวิตจะมีจำนวนที่คงที่แต่ก็อาจมีการผันแปรได้ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ เช่นใน **sex cell** จะเป็น **haploid** ส่วนใน **endosperm** จะเป็น **triploid** เป็นต้น สิ่งที่มีชีวิตที่แตกต่างกันก็จะมีจำนวนโครโมโซมที่อาจเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ เช่น ใน **horse nematode,** <u>Ascaris megalocephala</u> จะมีอยู่เพียงสองอัน แต่ใน **fern,** <u>Ophioglossum petiolatum</u> จะมีอยู่ 510 อัน

<u>Supernumerary chromosome or B-type chromosome</u>

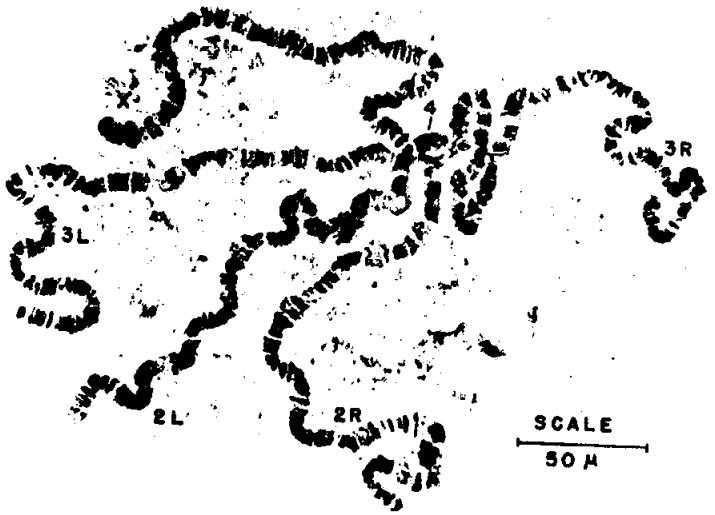
ในบางครั้งเราจะพบว่าบางเซลหรือสิ่งมีชีวิตบางอย่างมีโครโมโซมเกินจำนวนมา โครโมโซมพวกนี้จะไม่มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมลักษณะ อาจเพิ่มเข้ามาหรือสูญหายไปโดยไม่กระทบกระเทือนต่อลักษณะต่าง ๆ หรือการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นเลย

<u>Giant Chromosomes</u>

ในบางระยะการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตบางอย่างจะพบว่ามีโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่มากในบางเซล การที่มันมีขนาดใหญ่โตจะพลอยทำให้ **nucleus** และเซลมีขนาดโตขึ้นด้วย โครโมโซมเหล่านี้ได้แก่

Polytene chromosomes หรือ salivary gland chromosomes

ในเนื้อเยื่อบางอย่าง เช่นในต่อมน้ำลายหรือ **salivary gland** ของแมลงที่อยู่ใน **order Diptera** เช่น แมลงวัน ยุง ริ้น ในระยะที่มันยังเป็นตัวหนอนอยู่ เซลจะมีขนาดใหญ่มาก เนื่องจากมีการจับคู่ของโครโมโซมซึ่งโดยปกติแล้วมันจะไม่มีการจับคู่กันเลยใน **somatic cell** เรียกการจับคู่แบบนี้ว่า **somatic pairing** นอกจากการจับคู่แล้วมันจะมี **duplication** ของโครโมโซมเกิดขึ้นอย่างช้ำชาก ภายใน **nucleus** แต่ละอันโดยไม่มีการแบ่งเซลเลย เรียกการแบ่งตัวของโครโมโซมแบบนี้ว่า **endomitosis** และโครโมโซมที่เกิดขึ้นเหล่านั้นจะไม่ได้แยกตัวออกเป็นอิสระแต่จะเรียงตัวขนานกันและยืดตัวออก ทำให้มองดูโครโมโซมมีขนาดใหญ่และยาวมาก ในแมลงหวี่จะมีขนาดโตขึ้นกว่าปกติประมาณ 1,000 เท่าของ **somatic chromosomes** ตลอดความยาวของแท่งโครโมโซมจะมองเห็นได้ว่าบริเวณไหนติดสีเข้มมากน้อยกว่ากัน ซึ่งช่วงที่ติดสีเข้มเป็นระยะ ๆ นี้เรียกว่า **bands** สามารถจะนำมาใช้ในการพิสูจน์โครโมโซมได้ว่ามันเป็นคู่ไหน และใช้ในการแบ่งส่วนของโครโมโซมหรือใช้ในการศึกษาตำแหน่งของยีนส์หรือใช้ในการสังเกตเวลาโครโมโซมมีลักษณะผิดปกติขึ้นมา

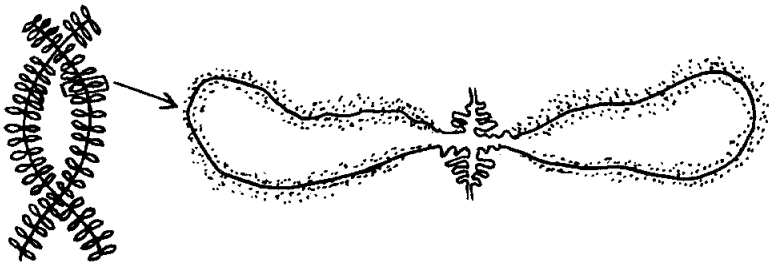


รูปที่ 3-4 แสดงลักษณะของ Giant polytene chromosomes จากsalivary gland ของแมลงหวี่

Lampbrush Chromosome

ใน **oöcytes** ของพวก **amphibian** เช่น พวกกบ โครโมโซมจะขยายตัวยาวมากในระยะ **diplotene** ของ **meiosis** ซึ่งมีการสร้าง **sister chromatids** ขึ้นมาแล้ว สันนิษฐานว่าการขยายตัวของโครโมโซมเกิดจากการยืดตัวของ **chromonemata** และสร้าง **lateral loops** ออกมาทั้งสองข้าง ทำให้มองดูเหมือนกับแปรงที่ใช้ล้างหลอดแก้วหรือแปรงหลอดทะเกียง (รูปที่ 3-5) แต่ละคู่ของ **loops** จะเกิดจากหนึ่ง **chromomere**

สันนิษฐานว่ามันคงจะทำการสร้างสารบางอย่างออกมาใช้ เมื่อสิ้นสุดระยะ **meiotic prophase** แล้ว **loops** จะเริ่มหายไป โครโมโซมจะหดตัวสั้นเข้า เมื่อเข้าสู่ระยะ **metaphase** มันก็จะมีขนาดเล็กลงดังเดิม



รูปที่ 3-5 แสดง **lampbrush chromosomes** ของ **oöcyte** ของ **Triturus** รูปซ้ายเมื่อดูจากกล้องจุลทัศน์กำลังขยายต่ำ ส่วนรูปขวาเมื่อใช้กำลังขยายสูงจะเห็นการขดตัวและการยืดตัวออกเป็นห่วงทั้งสองข้างของ **chromonemata**