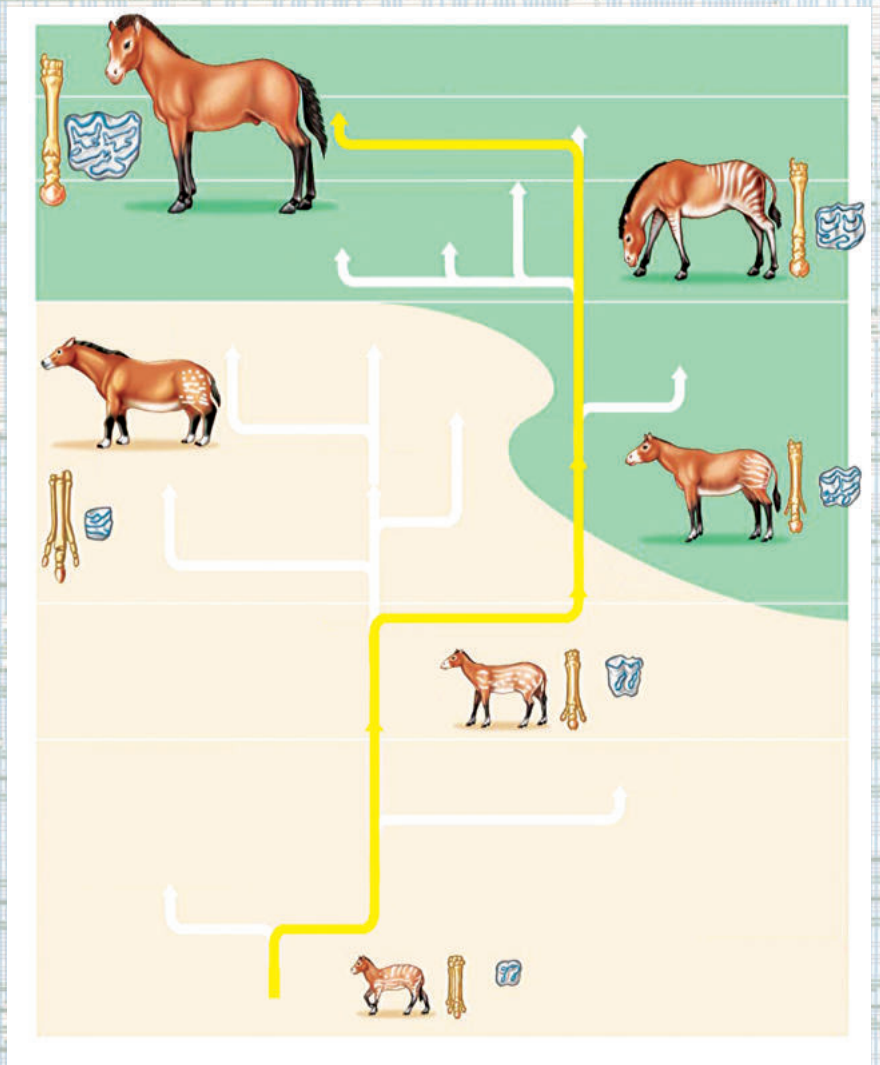
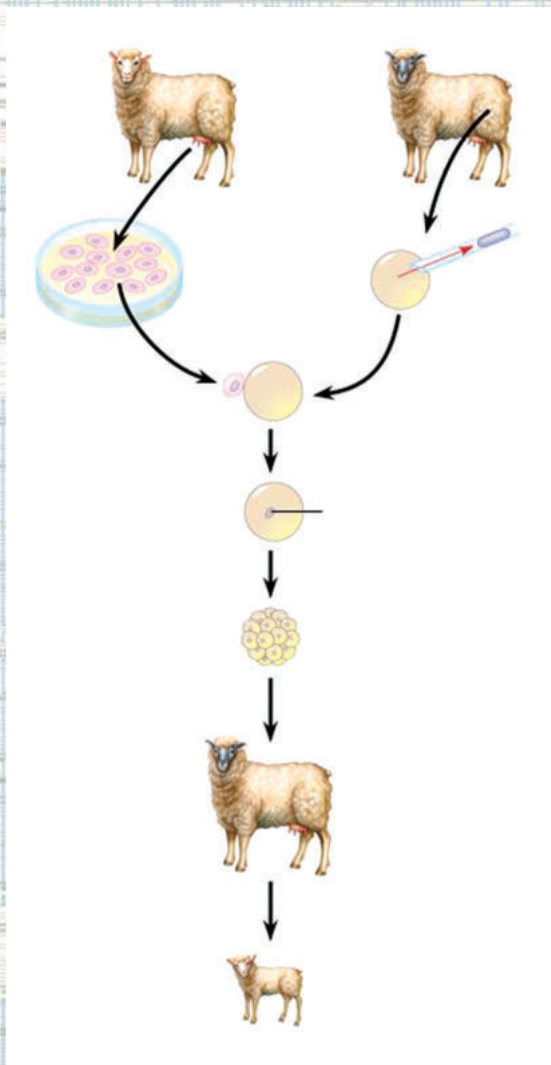




# ชีววิทยา

## สัตววิทยา 2

การสืบพันธุ์และการเจริญของสัตว์ พันธุศาสตร์ วิวัฒนาการ



โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

ฉบับปรับปรุงใหม่



# ชีววิทยา สัตววิทยา 2

การสืบพันธุ์และการเจริญของสัตว์ พันธุศาสตร์ วิวัฒนาการ



โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.



**มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา  
ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา  
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)**

**ความเป็นมา**

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

การคัดเลือกนักเรียนเพื่อไปแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ครั้งที่ 30 สมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ ได้จัดคณะกรรมการมหาวิทยาลัยจำนวนหนึ่งมาช่วยฝึกอบรมรวมเป็นเวลาประมาณสองเดือน เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเพิ่มเติมครอบคลุมหลักสูตรที่จะใช้แข่งขัน ซึ่งอยู่ในระดับชั้นปีที่ 1-2 ของมหาวิทยาลัย จากผลสำเร็จในปีแรก ทำให้รัฐบาลเห็นความสำคัญจึงได้จัดสรรงบประมาณให้กับโครงการนี้ผ่านสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา สมทบกับเงินพระราชทานเป็นรายปีจากสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อสนับสนุนการส่งนักเรียนไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ 5 สาขา จนถึงปัจจุบันรวม 14 ปี นักเรียนไทยได้ทำชื่อเสียงได้เหรียญทองรวม 17 เหรียญ เหรียญเงิน 53 เหรียญ เหรียญทองแดง 93 เหรียญ และเกียรติคุณประกาศ 35 ราย รวมทั้งสิ้น 198 รางวัล จากจำนวนนักเรียนที่ส่งไปแข่งขัน 276 คน (72%)

อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยดำเนินการจัดส่งนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขันคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ โอลิมปิกระหว่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ.2532 จนถึงปัจจุบัน ทำให้เห็นว่ามาตรฐานการศึกษาด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของไทยยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล การเตรียมตัวของนักเรียนยังใช้เวลาน้อยเกินไป

เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุน โครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสมเด็จพระเจ้า พี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ จึงมีพระดำริให้จัดตั้งมูลนิธิ สอวน. และได้รับอนุมัติจากกระทรวงมหาดไทยเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2542 โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ

**วัตถุประสงค์**

1. ส่งเสริมให้นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายทั่วประเทศที่มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มีโอกาสได้รับการพัฒนาศักยภาพทางด้านคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ตามความถนัดทั้งด้านทฤษฎีและทักษะด้านปฏิบัติ ให้สามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยจัดให้มีศูนย์อบรมทั่วประเทศเป็นการเพิ่มเวลาฝึกอบรม เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความพร้อมที่จะเข้ารับการคัดเลือกไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ตามพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ องค์ประธานมูลนิธิ สอวน.
2. เพื่อนำประสบการณ์ที่ได้จากการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าระดับสากล

## โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) ได้ร่วมมือกับคณาจารย์มหาวิทยาลัยของรัฐ 20 แห่ง และกระทรวงศึกษาธิการ ดำเนินการจัดตั้งศูนย์ สอวน. ในภูมิภาค 12 ศูนย์ และในกรุงเทพฯ 1 ศูนย์ (5 โรงเรียน) เพื่อพัฒนาศักยภาพทางปัญญาของนักเรียนที่มีความพร้อมในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์จากทั่วประเทศ เพื่อให้นักเรียนได้มีความรู้ความสามารถเทียบเท่ามาตรฐานสากล และพร้อมที่จะสอบคัดเลือกเป็นผู้แทนประเทศไทยไปร่วมการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศในสาขาวิชาต่างๆ ได้และเพื่อขยายผลจากประสบการณ์ที่ได้เข้าแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าสากล

ในการอบรมนักเรียนของศูนย์ สอวน. มูลนิธิ สอวน. ได้พิจารณาเห็นว่าตำราที่มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาตามหลักสูตรของ สอวน. จะช่วยพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในศูนย์สอวน. ให้สูงขึ้นได้ นอกจากนั้นตำราเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสมบูรณ์ถูกต้องยังขาดแคลน นักเรียนและครูสามารถนำตำราที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปใช้เป็นหนังสืออ้างอิงประกอบการเรียนการสอนได้อีกด้วย มูลนิธิ สอวน. จึงได้มี “โครงการจัดทำตำราส่งเสริมพัฒนาศักยภาพของนักเรียนด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์” ขึ้น เพื่อผลิตตำราคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ที่มีเนื้อหาหลักสูตรตามมาตรฐานสากล โดยมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นที่ระลึกในมหามงคลสมัยที่สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ทรงเจริญพระชนมายุ 80 พรรษา ซึ่งพระองค์ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณต่อโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศและทรงสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อพัฒนามาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยอย่างหาที่สุดมิได้

2. เพื่อผลิตหนังสือคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายถึงระดับชั้นปีที่ 1 ของคณะวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัยให้มีคุณภาพเทียบเท่าสากล เรียบเรียงโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยของรัฐที่มีประสบการณ์สูงและที่มีส่วนรวมในการฝึกอบรมนักเรียนในค่าย สอวน. ค่าย สสวท. และควบคุมนักเรียนไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ เนื้อหาในหนังสือเน้นกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อฝึกฝนให้นักเรียนสามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั้งในเชิงทฤษฎีและประยุกต์ได้โดยจัดพิมพ์บนกระดาษอาร์ตอย่างดีและมีภาพสีประกอบคำบรรยาย

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของมูลนิธิ สอวน. มีเป้าหมายในการผลิตตำราคณิตศาสตร์ รวม 5 เล่ม คอมพิวเตอร์ 3 เล่ม เคมี 4 เล่ม ชีววิทยา 6 เล่ม และฟิสิกส์ 3 เล่ม รวมทั้งสิ้น 20 เล่ม หนังสือแต่ละเล่มจะพิมพ์จำนวนเล่มละ 3,000 ฉบับ จึงมีหนังสือที่จะพิมพ์ทั้งสิ้น 60,000 ฉบับ โดยหนังสือชุดแรกที่พิมพ์เสร็จแล้ว 7 เล่ม ได้นำขึ้นทูลเกล้าถวายเพื่อทอดพระเนตรในวันที่ 6 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันประชุมสามัญประจำปี พ.ศ. 2547 ของคณะกรรมการบริหาร และสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เสด็จเป็นองค์ประธานที่ประชุม ส่วนที่เหลืออีก 13 เล่ม กำลังดำเนินการพิมพ์ให้ครบทั้ง 20 เล่ม สมเด็จพระพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ จะพระราชทานหนังสือดังกล่าวให้โรงเรียนมัธยมศึกษา ประมาณ 2,700 โรงเรียน รวมทั้ง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยของรัฐที่เป็นศูนย์ สอวน. ทั่วประเทศ นอกจากนั้นคณะกรรมการโครงการผลิตตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. มีเป้าหมายจะผลิตตำราที่มีคุณภาพสูงนี้ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัย เพื่อวางรากฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐานและเพื่อสร้างแรงบันดาลใจและความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์แก่เยาวชนอีกด้วย หากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านงบประมาณจากภาครัฐและเอกชน

คณะจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์หวังว่าโครงการตำราคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ของมูลนิธิ สอวน. จะมีส่วนร่วมในการปฏิรูปการเรียนรู้และยกระดับมาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้เทียบเท่ากับระดับสากลเพื่อสนองพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

\*\*\*\*\*

\*คำขอบคุณ : คณะกรรมการดำเนินงานโครงการตำราฯ ขอขอบคุณพิพิธภัณฑน์ Natural History Museum, Geneva และ Graphic Collection, ETH Zurich ที่อนุญาตให้ประธานคณะกรรมการฯ เข้าถ่ายภาพในพิพิธภัณฑน์ เพื่อนำมาเผยแพร่

## คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

### คณะกรรมการที่ปรึกษา

|                                             |                        |
|---------------------------------------------|------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์ จรัส สุวรรณเวลา     | รองประธานมูลนิธิ สอวน. |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.กำจัด มงคลกุล          | กรรมการมูลนิธิฯ        |
| 3. ดร. คุณหญิงกษมา วรวรรณ ณ อยุธยา          | กรรมการมูลนิธิฯ        |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสุมณฑา พรหมบุญ | กรรมการมูลนิธิฯ        |
| 5. นายเชาว์ อรรถมานะ (อดีต)                 | กรรมการมูลนิธิฯ        |
| 6. นายสมนึก พิมลเสถียร                      | กรรมการมูลนิธิฯ        |
| 7. นายสุนทร อรุณานนท์ชัย                    | กรรมการมูลนิธิฯ        |
| 8. รองศาสตราจารย์บุญรักษา สุนทรธรรม         | กรรมการมูลนิธิฯ        |

### คณะกรรมการดำเนินงานโครงการตำราฯ

|                                                                   |                                    |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ศักดา ศิริพันธุ์ (ราชบัณฑิต) เลขานุการมูลนิธิ สอวน. | ประธาน                             |
| 2. รองศาสตราจารย์เย็นใจ สมวิเชียร                                 | รองประธาน                          |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ ปิ่นนัม                               | กรรมการ (วิชาคณิตศาสตร์)           |
| 4. รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรวรรณ                                    | กรรมการ (วิชาคอมพิวเตอร์)          |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร. พินิติ รตะนานุกูล                           | กรรมการ (วิชาเคมี)                 |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุทธิพันธุ์ ปรังญพฤทธิ์                 | กรรมการ (วิชาฟิสิกส์)              |
| 7. ศาสตราจารย์อักษร ศรีปลั่ง                                      | กรรมการ (วิชาชีววิทยา ประเภทพืช)   |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร. อุษณีย์ ยศยิ่งยวด                           | กรรมการ (วิชาชีววิทยา ประเภทสัตว์) |

### คณะผู้เขียนวิชาชีววิทยา

#### ประเภทสัตว์

|                                              |                  |
|----------------------------------------------|------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร. อุษณีย์ ยศยิ่งยวด      | ประธานคณะกรรมการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร. กิ่งแก้ว วัฒนเสริมกิจ  | อนุกรรมการ       |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร. ประคอง ตั้งประพจน์กุล  | อนุกรรมการ       |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญา         | อนุกรรมการ       |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร. วรุฒิ จุฬาลักษณ์านุกูล | อนุกรรมการ       |
| 6. รองศาสตราจารย์สีมา ชัยสวัสดิ์             | อนุกรรมการ       |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พชณี สิงห์อาษา     | อนุกรรมการ       |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาลินี นัตถมงคลกุล | อนุกรรมการ       |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ผุสดี ปริยานนท์         | อนุกรรมการ       |
| 10. อาจารย์ ดร. อาจอง ประทีตสุนทรสาร         | อนุกรรมการ       |

## คำนำ

หนังสือชีววิทยาเกี่ยวกับสัตว์นี้ เป็นผลจากความพยายามร่วมกันของคณาจารย์ภาควิชาชีววิทยาใน อันที่จะถ่ายทอดสิ่งที่เป็นพื้นฐานของชีวิต การดำรงชีวิตของสัตว์ในสภาพแวดล้อมแบบต่างๆ ที่มีผลสะท้อน ไปถึงวิวัฒนาการของโครงสร้างและกระบวนการทางสรีรวิทยา ซึ่งเกิดกับสัตว์ชนิดต่างๆ รวมถึงมนุษย์ที่ได้ ปรับเปลี่ยนไปให้เหมาะกับการทำงานที่จะได้ประโยชน์สูงสุด และอำนวยให้สัตว์สามารถมีชีวิตอยู่ได้นานพอ ที่จะสืบลูกสืบหลานให้คงอยู่ในโลกได้สืบไป

การเขียนหนังสือทางชีววิทยาเป็นเรื่องยากลำบาก และใช้เวลามาก ซึ่งในระดับนี้มิใช่ในเชิงเนื้อหา หากเป็นเรื่องการเขียนศัพท์เทคนิค หรือแม้แต่คำที่ใช้เป็นชื่อกระบวนการต่างๆ ซึ่งหากแปลเป็นภาษาไทย ก็อาจต้องเขียนกันยืดยาว หรือมีฉะนั้นเมื่ออ่านก็อาจต้องแปลไทยเป็นไทยอีกครั้งหนึ่ง หรืออาจสื่อผิดความหมายในบริบทนั้นๆ คณาจารย์ที่เขียนจึงตกลงร่วมกันว่าวิทยาศาสตร์นั้นเป็นสากล เราไม่น่าจะกังวลกับ ภาษามากนัก ควรจะมุ่งที่ความถูกต้องของเนื้อหา อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะมีกลิ่นนมกลิ่นเนยอยู่บ้าง ทางคณะ ผู้เขียนขอยืนยันว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านเป็นอย่างยิ่ง และจะทำให้ท่านค้นหาความรู้ในด้านนี้ต่อไปได้ง่าย ขึ้น

หนังสือชีววิทยาเล่มนี้มีการปรับปรุงเนื้อหาในบทที่ 1 เรื่องการสืบพันธุ์และการเจริญของสัตว์ โดยเฉพาะในเรื่องการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต โดยเพิ่มรายละเอียดให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

หนังสือชีววิทยาเกี่ยวกับสัตว์นี้มีอยู่ด้วยกัน 3 เล่ม ซึ่งเขียนโดยคณาจารย์ที่มีรายนามปรากฏด้านล่างนี้ ทางคณะผู้เขียนหวังว่าความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากหนังสือนี้คงจะเป็นพื้นฐานที่แน่นหนาพอที่จะสามารถ ศึกษาในระดับสูงต่อไปได้เป็นอย่างดีและคงตอบหรืออธิบายข้อสงสัยทางชีววิทยาให้กับท่านได้ในระดับหนึ่ง

ISBN : 978-616-91775-5-5

### สงวนลิขสิทธิ์

จัดพิมพ์โดย มูลนิธิ สอวน.

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2560 (2017)

ออกแบบ หารองปกและหน้านำบทที่ 1

โดยศาสตราจารย์ศักดิ์ดา ศิริพันธุ์

ออกแบบปกหลัก

โดยรองศาสตราจารย์สีมา ชัยสวัสดิ์

ศิลปกรรม: นายปรีชา ฉัตรเนตร

พิมพ์ที่ บริษัทด้านสุขภาพการพิมพ์ จำกัด

แยกสี เฟลท บริษัทอีเลิฟแอนด์อัลเลอร์ส จำกัด

ผู้เขียน เล่มที่ 2

รองศาสตราจารย์ สีมา ชัยสวัสดิ์

วท.บ. เกียรตินิยม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผุสดี ปริยานนท์

วท.บ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

M.S. (Creighton University)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานินี ฉัตรมงคลกุล

วท.บ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Dr. rer.nat (University of Bonn)

จัดทำโดย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

ร้านค้า ติดต่อแผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1374-5 โทรสาร 0-2374-1377



|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>บทที่ 1 การสืบพันธุ์และการเจริญของสัตว์ (The continuity of Life)</b>                     |    |
| การสืบพันธุ์                                                                                | 1  |
| การสืบพันธุ์ระดับเซลล์                                                                      | 1  |
| กระบวนการแบ่งเซลล์                                                                          | 1  |
| การแบ่งนิวเคลียสแบบ Mitosis                                                                 | 2  |
| การแบ่งนิวเคลียสแบบ Meiosis                                                                 | 6  |
| การสืบพันธุ์ของสัตว์                                                                        | 8  |
| การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ                                                                  | 8  |
| การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ                                                                     | 9  |
| วงจรการสืบพันธุ์                                                                            | 11 |
| อวัยวะสืบพันธุ์ผลิตและลำเลียงแกมมีต                                                         | 17 |
| ระบบสืบพันธุ์เพศชาย                                                                         | 18 |
| การสร้างเซลล์สืบพันธุ์                                                                      | 20 |
| วงจรการสืบพันธุ์ของเพศหญิงที่ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนเพศ                                         | 25 |
| การตั้งครรภ์                                                                                | 27 |
| การคลอดบุตร                                                                                 | 28 |
| ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์                                                          | 28 |
| การป้องกันการมีบุตร                                                                         | 29 |
| ผู้หญิงที่มีบุตรยาก                                                                         | 30 |
| Cloning                                                                                     | 31 |
| ระบบสืบพันธุ์ของเพศชายที่ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนเพศ                                             | 32 |
| การเจริญของสัตว์                                                                            | 33 |
| การจำแนกชนิดของไข่                                                                          | 33 |
| Cleavage                                                                                    | 34 |
| การเจริญของเอ็มบริโอ                                                                        | 35 |
| กระบวนการ Gastrulation                                                                      | 38 |
| โครงสร้างนอกตัว Embryo                                                                      | 40 |
| Organogenesis                                                                               | 42 |
| Fate map                                                                                    | 44 |
| คำถามท้ายบทที่ 1                                                                            | 47 |
| <b>บทที่ 2 พันธุศาสตร์</b>                                                                  |    |
| เมนเดลกับการศึกษาพันธุศาสตร์                                                                | 49 |
| การผสมพิจารณาพันธุกรรมเพียงลักษณะเดียว ( Monohybrid Cross )                                 | 51 |
| การผสมพิจารณาสองลักษณะ ( Dihybrid Cross )                                                   | 54 |
| การผสมเพื่อทดสอบ ( Test Cross )                                                             | 55 |
| ลักษณะพันธุกรรมที่เป็นไปตามกฎเกณฑ์ของเมนเดล ( Mendelian Inheritance )                       | 56 |
| ลักษณะพันธุกรรมที่ไม่เป็นไปตามกฎเกณฑ์ของเมนเดล ( Non – Mendelian Inheritance )              | 57 |
| การกำหนดเพศให้สิ่งมีชีวิต                                                                   | 62 |
| ลักษณะพันธุกรรมที่เกี่ยวกับเพศ                                                              | 63 |
| การคัดเลือก การผสมเลือดชิด และ การผสมต่างสายพันธุ์ (Selection , Inbreeding and Outbreeding) | 66 |
| สารพันธุกรรม และ การค้นพบสารพันธุกรรม                                                       | 67 |
| ดีเอ็นเอ และ อาร์เอ็นเอ ( DNA and RNA )                                                     | 71 |
| อาร์เอ็นเอ ( RNA , Ribonucleic acid )                                                       | 73 |
| การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอ ( DNA replication )                                               | 74 |
| กระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ( Protein synthesis )                                             | 79 |
| การพิมพ์รหัส ( Transcription )                                                              | 80 |
| รหัสพันธุกรรม ( Genetic code )                                                              | 81 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรมกับอุตสาหกรรมการผลิตยา                        | 88  |
| การสร้างดีเอ็นเอ ไมเลกุลผสม ( recombinant DNA )                     | 90  |
| พันธุวิศวกรรมกับอุตสาหกรรมยา                                        | 92  |
| สิ่งมีชีวิตดัดต่อพันธุกรรม ( Genetically Modified Organism : GMO )  | 94  |
| ความปลอดภัยทางชีวภาพ ( Biosafety )                                  | 100 |
| <b>บทที่ 3    วัฒนาการ</b>                                          |     |
| วิวัฒนาการคืออะไร                                                   | 105 |
| ความเป็นมาของการศึกษาวิวัฒนาการ                                     | 105 |
| หลักเกณฑ์ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน                                  | 110 |
| ศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้อย่างไร                             | 110 |
| การศึกษาชีวภูมิศาสตร์                                               | 111 |
| ซากดึกดำบรรพ์                                                       | 111 |
| การศึกษาเปรียบเทียบทางกายวิภาค                                      | 116 |
| เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ                               | 118 |
| ด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล                                            | 120 |
| Modern Synthesis: ทฤษฎีดาร์วินกับการศึกษาพันธุกรรม                  | 121 |
| ประชากรเป็นหน่วยสำคัญของวิวัฒนาการ                                  | 121 |
| การแปรผันทางพันธุกรรมในประชากร                                      | 121 |
| การศึกษาความถี่ยีนและความถี่จีโนไทป์                                | 122 |
| กฎของ Hardy & Weinberg                                              | 123 |
| ประโยชน์ของ กฎของ Hardy & Weinberg                                  | 126 |
| วิวัฒนาการในระดับจุลภาค (Microevolution)                            | 127 |
| กลไกของวิวัฒนาการระดับจุลภาค                                        | 127 |
| เจเนติกดริฟต์                                                       | 127 |
| ยีนโฟลว์                                                            | 132 |
| มิวเทชัน                                                            | 133 |
| การผสมพันธุ์ไม่เป็นแบบสุ่ม                                          | 134 |
| การคัดเลือกตามธรรมชาติ                                              | 134 |
| แบบการคัดเลือกตามธรรมชาติ                                           | 134 |
| การคัดเลือกโดยมนุษย์                                                | 145 |
| การคัดเลือกตามธรรมชาติกับการปรับตัวของสิ่งมีชีวิต                   | 146 |
| การปรับตัวทางสรีรวิทยา                                              | 146 |
| การปรับตัวทางรูปพรรณสัณฐาน                                          | 146 |
| วิวัฒนาการระดับมหภาค (Macroevolution) กับความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต | 150 |
| สปีชีเอชัน                                                          | 150 |
| กลไกของสปีชีเอชัน                                                   | 151 |
| กลไกการแยกทางการสืบพันธุ์                                           | 151 |
| กลไกการแยกก่อนขึ้นเป็นไซโกต                                         | 152 |
| กลไกการแยกหลังขึ้นเป็นไซโกต                                         | 153 |
| ประเภทของสปีชีเอชัน                                                 | 154 |
| อัลโลเพตริกสปีชีเอชัน                                               | 154 |
| ซิมเพตริกสปีชีเอชัน                                                 | 159 |
| รูปแบบการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการ                                      | 163 |
| วิวัฒนาการของโครงสร้างที่ทำหน้าที่แตกต่างไปจากเดิม                  | 164 |
| การปรับตัวของโครงสร้างเดิมเพื่อทำหน้าที่ใหม่                        | 164 |
| "Evo-Devo" : การเจริญและการวิวัฒนาการเป็นรูปแบบใหม่                 | 164 |
| กำเนิดของโลกและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต                             | 165 |
| การเคลื่อนตัวของแผ่นทวีป                                            | 166 |
| การสูญพันธุ์                                                        | 168 |
| แบบแผนวิวัฒนาการ                                                    | 169 |





# บทที่ 1

## เรื่อง การสืบพันธุ์และการเจริญของสัตว์

### (The Continuity of life)

: รองศาสตราจารย์ สี่มา ชัยสวัสดิ์

#### การสืบพันธุ์

**การสืบพันธุ์** (Reproduction) หมายถึง กระบวนการที่สิ่งมีชีวิต สร้างสิ่งมีชีวิตตัวใหม่ที่เหมือนตัวเอง และต้องมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมด้วย

การสืบพันธุ์แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

1. การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ เรียกว่า การแบ่งเซลล์
2. การสืบพันธุ์ระดับ Organism คือตัวของสิ่งมีชีวิต

#### การสืบพันธุ์ระดับเซลล์

##### เหตุที่เซลล์ต้องมีการแบ่งตัว

สาเหตุที่เซลล์ จะจำเป็นต้องมีการแบ่งตัว มีดังนี้

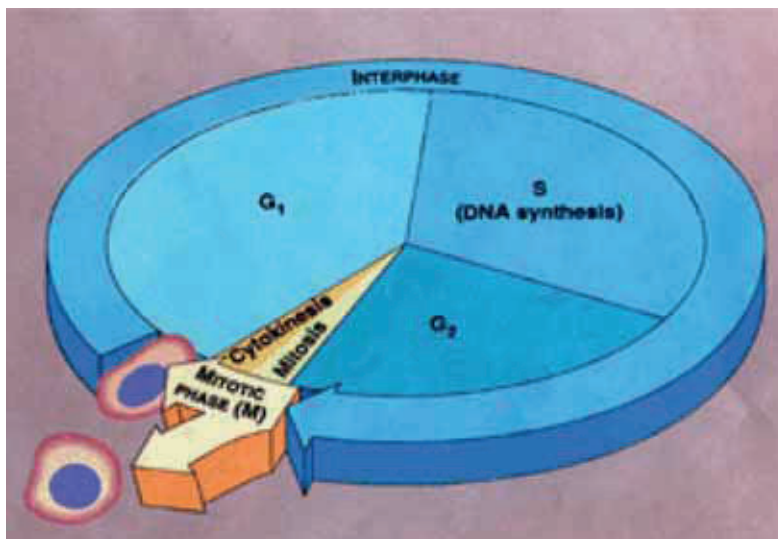
1. มีการเพิ่มสารอาหารมากขึ้น
2. มีไซโตพลาสซึมเกิน
3. มีการเพิ่มปริมาณของ DNA
4. ต้องแทนที่การที่เซลล์ที่สูญหาย

การที่เพิ่มไซโตพลาสซึม ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น ฉะนั้นอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตรลดน้อยลง การแบ่งเซลล์คือการทำให้พื้นผิวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาตร ทำให้เซลล์สามารถติดต่อกับเซลล์ข้างเคียงได้สะดวกขึ้น

#### ขั้นตอนและกระบวนการแบ่งเซลล์

การแบ่งเซลล์ เริ่มตั้งแต่มีการเตรียมตัวเรียกว่า Interphase เริ่มจากการเติบโต มีการสังเคราะห์โปรตีน มีการสังเคราะห์ RNA , สังเคราะห์ DNA เมื่อเซลล์เติบโตขึ้นก็มีการเตรียมพร้อม จากนั้นก็เข้าสู่การแบ่งนิวเคลียส แบ่งนิวเคลียสเสร็จก็แบ่งเซลล์หรือแบ่งไซโตพลาสซึม

ตั้งแต่เริ่มเตรียมตัว จนกระทั่งมีการแบ่งนิวเคลียสและมีการแบ่งไซโตพลาสซึมเรียกว่า วงจรของเซลล์ (cell cycle) เริ่มจากการเตรียมตัวในระยะ Interphase มีการเตรียมตัวซึ่งเราจะแบ่งระยะนี้เป็นระยะย่อยๆ 3 ระยะด้วยกัน



รูปที่ 1-1 วัฏจักรของเซลล์

ระยะ G<sub>1</sub> เริ่มจากระยะ G<sub>1</sub> เป็นระยะที่มีการสังเคราะห์โปรตีน RNA และสังเคราะห์ออร์แกเนลล์ต่างๆ เซลล์จะเติบโตขึ้น

ระยะ S หรือ Synthesis ระยะนี้ยังคงสังเคราะห์โปรตีนและ RNA ต่อไป แต่เพิ่มมีการสังเคราะห์ DNA ขึ้น หรือเรียกว่ามีการจำลอง DNA ขึ้นเป็น 2 เท่าของเดิม

ระยะ G<sub>2</sub> หยุดสังเคราะห์ DNA แล้วจะสังเคราะห์โปรตีน และ RNA ต่อไป สมมติว่ามีโครโมโซม 4 เส้น เป็นระยะ G<sub>1</sub> โครโมโซมแต่ละเส้นนั้นมี 1 โครมาติด พอมาระยะ S จะจำลองโครโมโซมแต่ละเส้นเป็น 2 โครมาติด แต่จำนวนโครโมโซมยังมี 4 เส้น เท่าเดิม นั่นคือระยะ s ยังมีโครโมโซม 4 เส้นเท่าเดิม แต่ว่าโครโมโซมแต่ละเส้นมี 2 โครมาติดเท่านั้นเอง ถ้านับปริมาณ DNA เมื่อจบระยะ s แล้ว จะมีปริมาณ DNA เป็น 2 เท่า ของ G<sub>1</sub>

การแบ่งเซลล์ จะแบ่งเป็น 2 ช่วง ด้วยกัน คือ

**ช่วงที่ 1** : การแบ่งนิวเคลียส (Karyokinesis) มี 2 แบบ คือ

1. การแบ่งนิวเคลียสแบบ Mitosis
2. การแบ่งนิวเคลียสแบบ Meiosis

**ช่วงที่ 2** : แบ่งไซโตพลาสซึม (Cytokinesis) เมื่อจบการแบ่งนิวเคลียส มาเข้าสู่การแบ่งไซโตพลาสซึม หรือที่เรียกว่า Cytokinesis เมื่อการแบ่งเรียบร้อยแล้ว ถ้าเป็นการแบ่งนิวเคลียสแบบ Mitosis ก็จะได้เซลล์ลูก 2 เซลล์ ถ้าเป็นการแบ่งนิวเคลียส Meiosis จะได้เซลล์ลูก 4 เซลล์

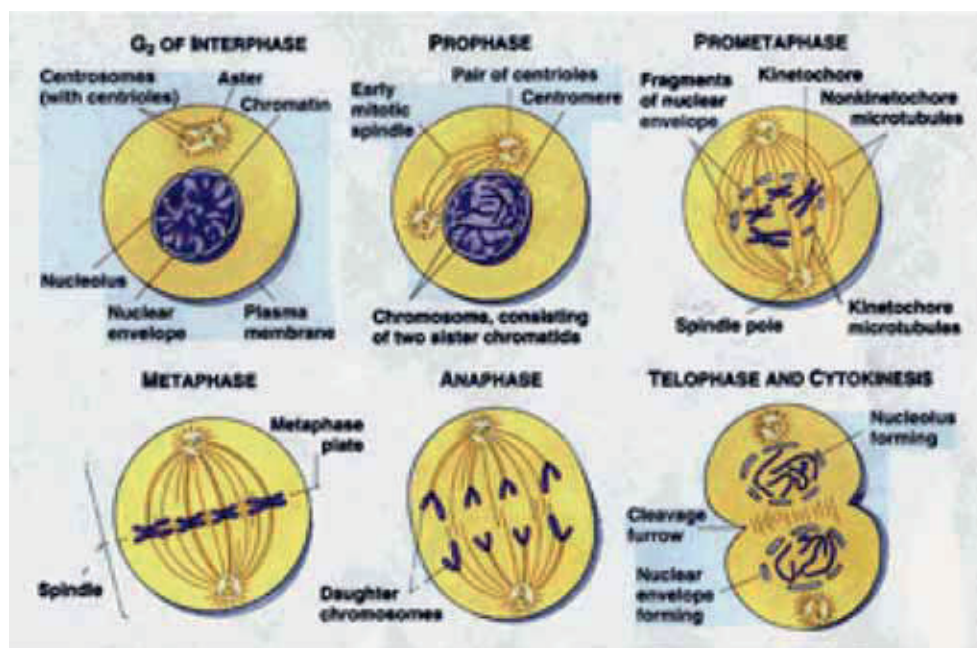
**การแบ่งนิวเคลียสแบบ Mitosis**

ระยะ Interphase เป็นระยะเตรียมตัว

การแบ่งนิวเคลียส (Karyokinesis) เริ่มจาก

### 1. ระยะเวลา Prophase

ระยะ Prophase เป็นระยะเริ่มแรกของ mitosis โครโมโซมจะมี 2 โครมาติด มีนิวเคลียสเป็นจุดเล็กๆ Nuclear envelope เป็นเยื่อหุ้ม โครโมโซมที่เป็นร่างแหนั้นหดสั้นเห็นเป็นเส้นๆ นับได้ 4 เส้น แต่ละเส้นมี 2 chromatids ตอนนี้นิวเคลียสเริ่มค่อยๆ จางกระจายตัวออกไปไม่เห็นแล้ว ยังคงเห็น Nuclear envelope อยู่ centriole เริ่มแยกจากกันไปคนละข้าง เคลื่อนที่ไปโดยมีเส้นใย mitotic spindle เส้นใยนี้คือ microtubule ที่มาเรียงตัวกันเป็นเส้นนั่นเอง



รูปที่ 1-2 การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส

(จาก Cambell, Reece Biology Sixth Edition)

### 2. ระยะเวลา Prometaphase

โครโมโซมระยะนี้สังเกตได้ว่า จะมีขนาดใหญ่ ชัดขึ้น และหดตัวสั้นเข้า เห็นชัดขึ้นเป็นเส้นๆ แต่ละเส้นประกอบด้วย 2 Chromatids โดยตรงที่ทั้งสอง Chromatids ที่ติดกันนั้น จะเห็นว่ามีคำอยู่ 2 คำคือ Centromere และ Kinetochore

- Centromere คือตำแหน่งที่ Chromatids 2 เส้น ที่เรียกว่า Sister Chromatids มาติดกันเป็นโครโมโซมเดียวกัน ส่วน

- Kinetochore นั้น เป็นโครงสร้างที่เป็นโปรตีนที่อยู่บริเวณ Centromere นั่นเอง

ระยะ Prometaphase นี้ จะเห็นโครโมโซมชัดมาก แต่ยังไม่เป็นระเบียบ Centriole ได้เคลื่อนที่ไปสุดคนละขั้วของเซลล์แล้ว ตอนนี Centrioles ถือว่าเป็นขั้วของ Cell แล้วเรียกว่า Spindle Pole นั่นเอง

### 3. ระยะเวลา Metaphase



โครโมโซมจะมาเรียงตัวกันที่กึ่งกลางเรียกว่า Metaphase plate ระยะนี้จะเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยเรียงเดี่ยว สามารถนับได้ชัดเจน การเรียงตัวจะเรียงตัวรอบตรงกลาง ระยะ Metaphase มีโครโมโซม 4 เส้น แต่ละเส้นมี 2 Chromatids

#### 4. ระยะ Anaphase

ตอนนี้ Sister Chromatids จะถูกดึงแยกจากกันไปคนละข้าง โดยเส้นใย Microtubules หดตัว ดึง Kinetochore ของ Sister Chromatids ให้แยกจากกันไปคนละข้าง เมื่อแยกออกมาแล้วเรียกเส้นที่แยกออกมานี้ว่า Daughter Chromosomes ระยะ Anaphase มี Daughter chromosomes ทั้งหมด 8 เส้น เป็น 2 เท่า ของระยะ Metaphase โครโมโซมแต่ละเส้นมี 1 โครมาทิด ระยะนี้ปริมาณ DNA ไม่เปลี่ยน

#### 5. ระยะ Telophase

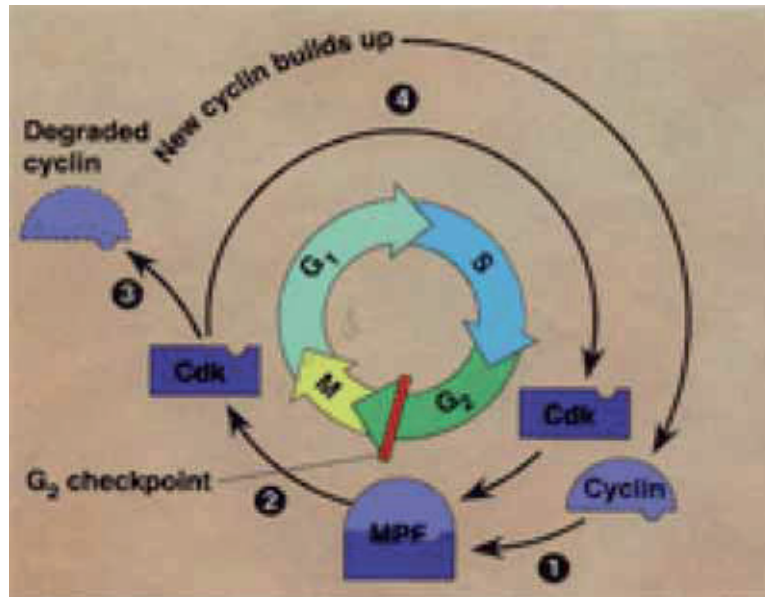
โครโมโซม ที่แยกออกไปนั้น ออกไปอยู่คนละข้างกัน ข้างละ 4 เส้น แล้วมี Nuclear envelope มาหุ้มแต่ละกลุ่มเอาไว้ ได้เป็น นิวเคลียส 2 อัน ระยะนี้เรียกว่าระยะ Telophase จะมีจำนวน 1 เซลล์ แต่มีนิวเคลียสอยู่ 2 นิวเคลียส นิวเคลียสแต่ละอันมีโครโมโซม 4 เส้น หรือ (2n)

พอจบระยะ Telophase เข้าสู่ระยะ Cytokinesis เป็นการแบ่งไซโตพลาสซึม จะเห็นว่ามันจะมีการคอดเว้าตรงกลางเข้าไปเรียกว่า Cleavage furrow คอดจนกระทั่งขาดออกเป็น 2 เซลล์ ได้เป็น เซลล์ลูก 2 เซลล์ แต่ละเซลล์มี 1 นิวเคลียส มีโครโมโซม 4 เส้นแต่ละเส้นมี 1 โครมาทิด ก็เข้าสู่ระยะ G1 เตรียมตัวแบ่งต่อไป ส่วนใหญ่การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสนั้น มักมีการแบ่งต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ซึ่งเซลล์ที่มีการเติบโตตลอดเวลาแบ่งต่อไปเรื่อยๆ

ซึ่งตอนหลังพบว่ามีระยะหนึ่งก่อน G1 คือ G0 คือจะไม่แบ่ง ถ้าอยู่ระยะ G1 ยังเตรียมตัวจะแบ่งอยู่นั้นคือเมื่อเราจบการแบ่งนิวเคลียสกับไมโทซิส แล้วทั้งขบวนการก็จะได้ เซลล์ลูก 2 เซลล์ แต่ละเซลล์มีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม

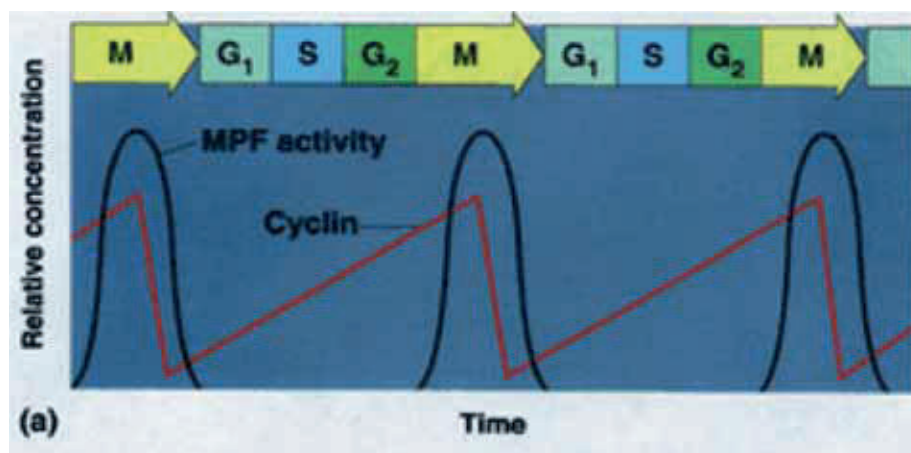
### การควบคุมการแบ่งนิวเคลียส

1. การควบคุมการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส จะมีสารเกี่ยวข้องอยู่ 3 ชนิด คือ โปรตีน Cyclin เอนไซม์ Cdk มีชื่อเต็มคือ CYCLIN DEPENDENT KINASES เอนไซม์นี้จะทำงานได้ต้องมีโปรตีน Cyclin อยู่ด้วย สาร MPF หรือ M-PHASE PROMOTING FACTOR ในช่วงที่มีการแบ่งเซลล์ สาร MPF เกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีน Cyclin กับเอนไซม์ Cdk ที่เรียกว่า CYCLIN-Cdk COMPLEX

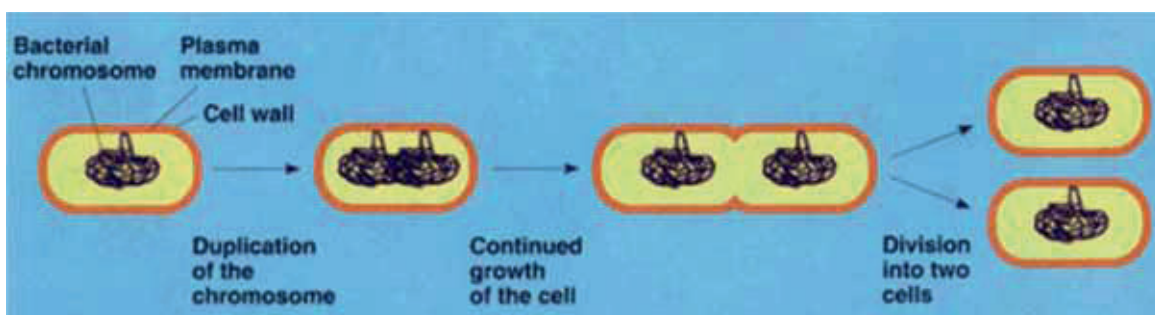


รูปที่ 1-3 กลไกระดับโมเลกุลที่ช่วยควบคุมวัฏจักรของเซลล์

รูปที่ 1-3 หมายเลข 1 โปรตีน Cyclin รวมกับเอนไซม์ Cdk หรือ Cyclin Dependent Kinases กลายเป็น MPF ตัวนี้เป็นตัวเริ่มที่ทำให้เกิดการแบ่งไมโทซิสและเมื่อไมโทซิสสิ้นสุดตัว MPF ก็จะถูกแยกตัวโดย โปรตีน Cyclin จะแยกออกไป สลายไป เอนไซม์ Cdk คงสภาพเดิม เอนไซม์คงสภาพเดิม ส่วนโปรตีน Cyclin แยกไปทำให้ขบวนการแบ่งไมโทซิสหยุดต่อไปในช่วง interphase มีการสะสมขึ้นเรื่อยๆ MPF Activity จะต่ำ เพราะฉะนั้น MPF จะขึ้นอยู่กับปริมาณของโปรตีน Cyclin



รูปที่ 1-4 การเปลี่ยนแปลงของ MPF activity และความเข้มข้นของไซคลิน



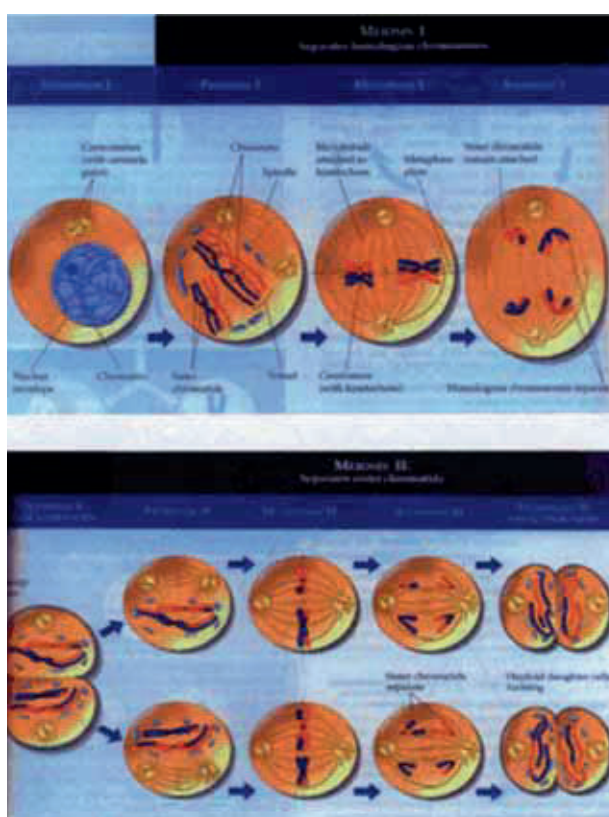
รูปที่ 1-5 การแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย

การแบ่งเซลล์ของพวกแบคทีเรีย รูปที่ 1-5 แบคทีเรียเป็นเซลล์ที่ไม่มี nuclear envelope แต่มีสารพวก DNA ส่วนหนึ่งมาแต่ที่ผิวของผนังเซลล์ หรือ Cell wall เริ่มต้นของการแบ่งทำให้มีการเพิ่มจำนวนโครโมโซมเป็น 2 ชุด แต่ละชุดจะมีส่วนหนึ่งมาแต่ที่ผนังเซลล์นั่นเอง แล้ว 2 ชุดแยกจากกันเป็น 2 ส่วน กลายเป็น 2 เซลล์

**การแบ่งนิวเคลียสแบบ Meiosis** แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

**Meiosis I** เรียกว่า “Reductional Division” มีการลดจำนวนโครโมโซมลงครึ่งหนึ่งจากเดิม

**Meiosis II** เรียกว่า “Equational Division” จะไม่ลดโครโมโซม

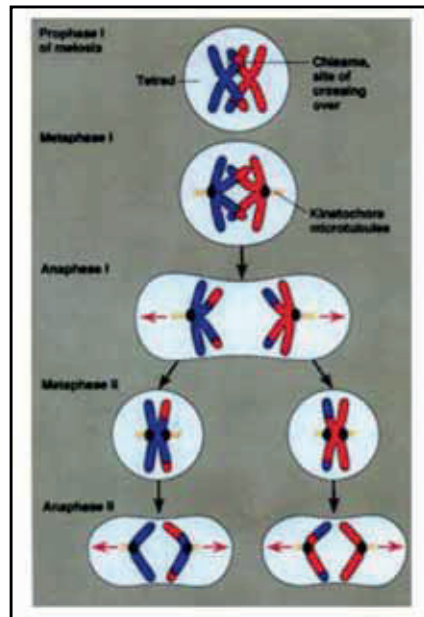


**รูปที่ 1-6** การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส

(จาก Cambell, Reece Biology Sixth Edition)

การแบ่งนิวเคลียสแบบ Meiosis เริ่มต้นด้วยระยะ Interphase เหมือนกับของ Mitosis ขบวนการปลืดย่อยที่แตกต่างกันเล็กน้อย จะเริ่มจาก G1 มีการเพิ่มจำนวนโปรตีน เพิ่มจำนวน RNA , S มีการจำลอง DNA เป็น 2 เท่า และ G2 เพิ่มจำนวนโปรตีนและ RNA ผ่านขบวนการเพิ่มจำนวน DNA เป็น 2 เท่า สังเกตเห็นว่าโครโมโซมของมันจะเป็นร่างแห ตอนนีเห็นได้ 1 โครโมโซม มี 2 โครมาติด เพราะมีการจำลองตั้งแต่ระยะ S มาแล้วอันนี้ยังไม่เป็น Meiosis อยู่นอกเป็นระยะ Interphase

ระยะต่างๆของ Meiosis ถ้าให้เซลล์มีโครโมโซม 4 เส้น



รูปที่ 1-7 ผลของ Crossing over  
(จาก Cambell, Reece Biology Sixth Edition)

1. **ระยะ Prophase I** chromosome หดตัวสั้นเข้า มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ละเส้น มี 2 chromatids chromosome 4 เส้น จะมีลักษณะเหมือนกันเป็นคู่ๆ เรียกว่า Homologous Chromosome ซึ่งจะมีการเข้าคู่กัน และมี crossing over แลกส่วนของ Non-sister chromatids

2. **ระยะ Metaphase I** Homologous chromosome จะเรียงเป็นคู่ยังไม่แยกจากกัน อยู่ตรงกึ่งกลาง

3. **ระยะ anaphase I** Homologous chromosome จะถูกดึงให้แยกจากกันไปคนละข้าง โดยที่แต่ละ chromosome มี 2 chromatids อยู่ จึงมีโครโมโซม 4 เส้น เท่าเดิม

4. **ระยะ telophase I** ก็จะมีการแบ่งนิวเคลียสเป็น 2 ชุด และตามด้วย cytokinesis แบ่งเซลล์หรือแบ่งไซโตพลาสซึม เป็น 2 เซลล์ จะได้เซลล์ใหม่หรือเซลล์ลูก 2 เซลล์ มี chromosome เป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม คือมี chromosome 2 เส้น หรือ (n)

รูปที่ 1-7 แสดงการเกิด crossing over ในระหว่าง prophase I จนถึง chiasma มีการไขว่กันของ non sister chromatids ตำแหน่งนี้จะเป็นตำแหน่งที่เกิด crossing over Metaphase I โครโมโซมมาเรียงตัวที่แนว metaphase plate ด้วย จะเห็นว่าสีแดงมาติดที่ปลายสีน้ำเงิน น้ำเงินไขว่แดงเรียบร้อยแล้ว anaphase I homologous chromosome แยกกัน

Telophase I จะเห็นว่า เมื่อแบ่งไซโตไคนซิส จบแล้วได้ 2 เซลล์ แล้ว เซลล์หนึ่ง มี chromosome 2 เส้น (n)

ระยะต่างๆของ Meiosis II



- Prophase II มี (n) เดียว 2 เส้น ไม่มี crossing over
- Metaphase II (n) เดียว 2 เส้น chromosome มาเรียงเดี่ยวที่กึ่งกลางเซลล์
- Anaphase II กลายเป็น 4 เส้น (2n) โดย sister chromatids แยกจากกันกลายเป็น daughter chromosome
- Telophase II แบ่งเป็น (n) เดียว 2 เส้น เท่าเดิม ระยะเวลาไม่ลด chromosome

ผลลัพธ์ทั้งหมดจะพบได้ว่า เซลล์ลูก ทั้งหมด 4 เซลล์ คือ ใน 1 เซลล์ จะมี chromosome 2 เส้นคือ (n) เดียว สรุปคือได้เซลล์ลูก 4 เซลล์ แต่ละเซลล์ chromosome ลดลงครึ่งหนึ่ง

### การสืบพันธุ์ของสัตว์ (Animal Reproduction)

แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

I การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual Reproduction)

II การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual Reproduction)

กระบวนการสืบพันธุ์นี้จะเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์และการแบ่งนิวเคลียสด้วย

#### I การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual Reproduction)

เป็นการเพิ่มจำนวนโดยไม่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) แบ่งออกเป็น

**1. Fission** การแบ่งออกเป็นสองส่วน มีขนาดเท่าๆ กัน ตัวอย่างได้แก่ พารามีเซียม อะมีบา ยูกลีนา พลานาเรียบางชนิด sea anemone

**2. Budding** การแตกหน่อ หน่อใหม่แตกจากตัวเดิมแต่มีขนาดเล็กกว่า เช่น ไฮดรา ปะการัง ฟองน้ำ

**3. Fragmentation** การหลุดเป็นท่อนๆ ตามด้วย Regeneration การงอกส่วนที่ขาดหายไปขึ้นใหม่ เมื่องอกใหม่แล้วได้จำนวนเพิ่มขึ้น จึงจะถือว่าการสืบพันธุ์ ตัวอย่างคือ พวกโพลีคีต สามารถหลุดเป็นท่อนๆ แต่ละท่อนจะงอกใหม่เป็นตัวโพลีคีตที่สมบูรณ์ในเวลาไม่ถึงสัปดาห์ ตัวอย่างอื่นๆ ได้แก่ ฟองน้ำหลายชนิด พวก cnidarian และเพรียงหัวหอม สามารถสืบพันธุ์แบบ fragmentation และ regeneration ได้ ในดาวทะเล ถ้าแขนของมันหักจะสามารถงอกใหม่ได้ แขนที่หักออกมานี้มีส่วนที่เป็น animal's central disc ส่วนนี้สามารถเจริญไปเป็นตัวใหม่ได้ โดยถ้ามีการหักตรงปลายจะงอกใหม่ได้เพียงตัวเดียว ส่วนปลายที่หักไม่สามารถงอกใหม่ได้ แต่ถ้ามีการหักหรือตัดผ่านตรงส่วนใจกลางของมัน จะงอกใหม่ได้มากกว่า 1 ตัว ถ้าผ่าแขนแต่ละแขนโดยการผ่านส่วนที่เป็น animal's central disc จะได้ดาวทะเล 5 ตัว

ส่วนจิ้งจกที่สลัดหางทิ้งไป ตัวที่หางด้วนจะงอกหางใหม่ได้ แต่หางที่หลุดออกไปงอกใหม่ไม่ได้ จึงได้จิ้งจกเพียงตัวเดียว เรียกว่า regeneration เหมือนกัน แต่ไม่ใช่การสืบพันธุ์

**Parthenogenesis** เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยไข่สามารถเจริญเป็นตัวได้ โดยไม่ต้องผ่านการปฏิสนธิกับสเปิร์ม พบใน ผึ้ง มด ต่อ แตนตัวผู้ ลูกที่เกิดมาอาจเป็น haploid หรือ diploid ก็ได้ ถ้าเป็น haploid ลูกที่เจริญเป็นตัวเต็มวัยจะสร้างไข่หรือสเปิร์มโดยไม่ผ่านการแบ่งแบบไมโอซิส ในกรณีของผึ้ง ผึ้งตัวผู้เป็น haploid ที่สามารถสืบพันธุ์ได้ (ในทางตรงข้าม ผึ้งตัวเมียทั้งนางพญาที่สืบพันธุ์ได้ และผึ้งงานที่เป็นหมันเป็นตัวเต็มวัยที่เป็น diploid เจริญมาจากไข่ที่ผ่านการปฏิสนธิกับสเปิร์ม)

ในพวกสัตว์มีกระดูกสันหลัง พบในแค่ Komodo dragon และ ปลาฉลามหัวค้อน ในกรณีนี้เพศเมียแยกจากเพศผู้อย่างเด็ดขาดแต่สามารถมีลูกได้

Parthenogenesis มี 2 แบบคือ

1. Natural Parthenogenesis เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่นที่พบใน ผึ้ง มด ต่อ แตน ตัวผู้
2. Artificial Parthenogenesis เป็นการกระตุ้นให้เกิดขึ้นโดยมนุษย์ โดยใช้เข็มแทงหรือใช้สารเคมี เช่น การกระตุ้นให้ไข่ที่ไม่ได้รับการผสมของเม่นทะเล สามารถเจริญเป็นตัวได้

## II การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual Reproduction) เป็นการรวมกันของของนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์

ดังนั้นกระบวนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ จึงประกอบด้วย การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gametogenesis) และการปฏิสนธิ (fertilization)

ลักษณะของเซลล์สืบพันธุ์แบ่งตามรูปร่างได้เป็น

1. **Isogamete** เซลล์สืบพันธุ์จะมีรูปร่างเหมือนกันและขนาดเท่ากัน เช่น กลมเหมือนกัน เล็กเท่ากัน ไม่สามารถแยกว่าเป็นเซลล์สืบพันธุ์ตัวผู้หรือตัวเมียได้ พบในโปรติสต์บางชนิด

2. **Heterogamete** เซลล์สืบพันธุ์มีความแตกต่างกัน แบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิด

ก. **Anisogamete** มีรูปร่างเหมือนกันแต่ขนาดต่างกัน เช่น กลมเหมือนกัน แต่มีขนาดเล็กกับขนาดใหญ่ พบในโปรติสต์บางชนิด

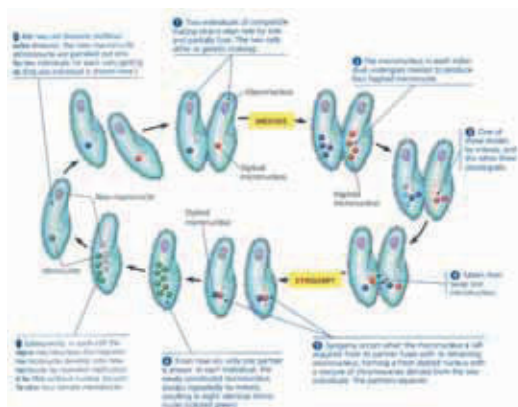
ข. **Oogamete** ต่างกันทั้งขนาดและรูปร่าง เซลล์สืบพันธุ์ตัวผู้จะมีขนาดเล็ก มีหัว มีหาง เคลื่อนที่ได้ เรียกว่าสเปิร์ม ส่วนเซลล์สืบพันธุ์ตัวเมียจะมีรูปร่างกลม ขนาดใหญ่ เคลื่อนที่ไม่ได้ เรียกว่า ไข่ พบในสัตว์ชั้นสูงและพืชชั้นต่ำบางชนิด

## การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในโปรติสต์

ได้แก่ syngamy และ conjugation

1. **syngamy** โปรโตซัว 2 ตัว ก่อนการสืบพันธุ์ทำหน้าที่เป็นเซลล์ร่างกาย หากินธรรมดา เมื่อถึงช่วงการสืบพันธุ์ จะทำหน้าที่เป็นแกมมาต และมารวมกัน และไปแบ่งตัวในภายหลัง กลับมาเป็นตัวเดิม

2. **conjugation** (รูปที่ 1-8) พารามีเซียม 2 ตัวมาจับคู่กัน แต่ละตัวมีนิวเคลียส 2 อัน อันใหญ่เรียกว่า macronucleus อันเล็กเรียกว่า micronucleus



รูปที่ 1-8 conjugation ของพารามีเซียม  
(ที่มา Campbell et al, 1999)

โดย macronucleus จะไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์เมื่อจับคู่กันแล้ว micronucleus ของแต่ละตัวจะแบ่งไมโอซิส ได้เป็น 4 นิวเคลียส แต่ละนิวเคลียสจะมีโครโมโซม  $n$  เดียว โดยนิวเคลียสจะสลายไป 3 อัน เหลือเพียง 1 อัน ซึ่งจะแบ่งไมโทซิส เป็น 2 นิวเคลียส แต่ละนิวเคลียสจะมีโครโมโซม  $n$  เดียว เท่าเดิม ต่อมา มีการแลก micronucleus กัน ซึ่งก็คือมีการแลกเปลี่ยนกัน และต่อมาก็มีการรวมกันของ micronucleus ของตัวเดิม และอันที่แลกมา ได้เป็น ไฮโกต มีโครโมโซม  $2n$  ตอนนี้พารามีเซียม 2 ตัวจะแยกออกจากกัน แต่ละตัวจะมีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส 3 ครั้ง ได้เป็น 8 นิวเคลียส เป็น macronucleus 4 อัน และ micronucleus 4 อัน จากนั้นพารามีเซียมแต่ละตัว จะแบ่งเป็น 2 ตัว ได้พารามีเซียมทั้งหมด 4 ตัว แต่ละตัวมี macro nucleus 2 อัน และ micronucleus 2 อัน ต่อจากนั้น พารามีเซียมแต่ละตัว จะแบ่งตัวอีกครั้งหนึ่ง ได้เป็น 8 ตัว แต่ละตัวมี macronucleus 1 อัน และ micronucleus 1 อัน การสืบพันธุ์แบบนี้ทำให้พารามีเซียมแข็งแรงขึ้นเพราะมีการแลกเปลี่ยนกัน

สิ่งมีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ จะมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 พวกคือ

1. **monoecious** หรืออีกชื่อหนึ่งคือ **hermaphrodite** คือ ใน 1 ตัวจะมี 2 เพศ สัตว์ตัวเดียวสามารถสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ทั้ง 2 ชนิด โดยจะมีอวัยวะสร้างสเปิร์ม มีรังไข่สร้างไข่ สัตว์พวกนี้จะมีการปฏิสนธิ 2 แบบ คือ

ก. **cross fertilization** คือ การปฏิสนธิข้ามตัว ในสัตว์บางชนิด แม้จะมีทั้ง 2 เพศในตัวเดียวกัน ก็ไม่สามารถผสมพันธุ์ในตัวเองได้ เนื่องจากสเปิร์มกับไข่ไม่พร้อมกัน ต้องมีการปฏิสนธิแบบข้ามตัว เช่น ไข่เดือนดิน ขณะที่อวัยวะสร้างสเปิร์ม รังไข่ยังไม่ทันได้สร้างไข่ ฉะนั้นไข่เดือน 2 ตัว จึงต้องมาจับคู่กัน เพื่อแลกเปลี่ยนสเปิร์มกัน ในแต่ละตัว จะมีถุงเก็บสเปิร์มของตัวเอง เรียกว่า **seminal vesicle** และมีถุงเก็บสเปิร์มที่ได้มาจากอีกตัวหนึ่ง เรียกว่า **spermatheca** เมื่อแลกสเปิร์มเสร็จมันจะแยกจากกัน เมื่อไข่สุกก็จะปล่อยสเปิร์มที่เก็บไว้ใน spermatheca ออกมาผสมกับไข่ นอกจากนั้นยังได้ในปลานาเรีย

ข. **self fertilization** คือ การปฏิสนธิภายในตัวเอง พวกนี้สเปิร์มกับไข่จะสุกพร้อมๆ กัน ได้แก่ พวกพยาธิตัวตืด พยาธิใบไม้ในตับ พยาธิใบไม้ในปอด

2. **dioecious** ตัวเดียวมีเพศเดียว แบ่งเป็นตัวผู้และตัวเมีย เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **sex separate** สัตว์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบนี้ รวมทั้งพยาธิใบไม้ในเส้นเลือดด้วย

พวก hermaphrodite มีแบบหนึ่งเรียกว่า sequential hermaphroditism คือจะมีการเปลี่ยนเพศได้ ตอนเล็กมีเพศหนึ่ง เมื่อโตขึ้นเปลี่ยนเป็นอีกเพศหนึ่ง มี 2 แบบ คือ

1. Protogynous (proto=ก่อน gynous=เพศเมีย) คือ ตอนเล็กเป็นเพศเมีย พอโตขึ้นเปลี่ยนเป็นเพศผู้
2. Protoandrous (proto=ก่อน androus=เพศผู้) คือ ตอนเล็กเป็นเพศผู้ พอโตขึ้นเปลี่ยนเป็นเพศเมีย

## วงจรการสืบพันธุ์

สัตว์ส่วนมาก มีวงจรการสืบพันธุ์สัมพันธ์กับฤดูกาลที่เปลี่ยนไป ในกรณีที่ต้องการสงวนทรัพยากรสัตว์ มักจะสืบพันธุ์ต่อเมื่อแหล่งพลังงานหรือการสะสมพลังงานมีมากเพียงพอ และต่อเมื่อมีสิ่งแวดล้อมเหมาะสมต่อการอยู่รอดของลูก ตัวอย่างเช่น แกะเพศเมียมีวงจรชีวิตนาน 15-17 วัน การตกไข่จะเกิดขึ้นตอนกิ่งกลางของแต่ละวงจร วงจรการสืบพันธุ์ของแกะเพศเมีย จะเกิดขึ้นระหว่างฤดูใบไม้ร่วงและต้นฤดูหนาวเท่านั้น และมีการตั้งครรภ์ 5 เดือน ดังนั้นลูกแกะจะคลอดในต้นฤดูใบไม้ผลิซึ่งมีโอกาสอยู่รอดสูง วงจรการสืบพันธุ์ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนซึ่งถูกกำหนดโดยสภาพสิ่งแวดล้อม

สภาพแวดล้อมโดยทั่วไป คือการเปลี่ยนความยาวของกลางวัน อุณหภูมิในแต่ละฤดู ฝนตก และข้างขึ้นข้างแรม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละฤดู เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการสืบพันธุ์ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจึงทำให้ความสำเร็จในการสืบพันธุ์ลดลง นักวิจัยชาวเดนมาร์ก ได้สาธิตผลของข้อเท็จจริงนี้ โดยทำการศึกษาในกวางคาริบู พบว่าในฤดูใบไม้ผลิ กวางจะอพยพไปยังพื้นที่ที่ใช้ในการตกลูก เพื่อกินพืชสีเขียวที่กำลังแตกหน่อ ตกลูก และดูแลลูกของพวกมัน การเปลี่ยนแปลงช่วงยาวของกลางวันเป็นตัวการให้เกิดการอพยพ ในขณะที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นของฤดูกาลซึ่งทำให้น้ำแข็งที่ทุนดราละลาย ส่งผลให้พืชแตกหน่อ

ก่อนปี ค.ศ. 1993 การมาถึงพื้นที่ตกลูกของคาริบูในช่วงแตกหน่อของพืชพอดี ทำให้มันมีอาหารกิน ขณะที่ในช่วงปี ค.ศ. 1993 ถึงปี ค.ศ. 2006 อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูใบไม้ผลิในพื้นที่ตกลูกของกวางเพิ่มขึ้นกว่า 4 องศาเซลเซียส พืชจึงแตกหน่อเร็วขึ้น 2 สัปดาห์ ขณะที่ช่วงเวลาของการอพยพของกวางยังคงเดิม ส่งผลให้การแตกหน่อของพืชไม่สัมพันธ์กับการตกลูกของกวาง กวางตัวเมียจึงได้รับอาหารไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการตกลูกลดลงถึง 75 %

วงจรการสืบพันธุ์ยังสามารถพบได้ในสัตว์ที่สืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ ตัวอย่างเช่นไรน้ำ (Daphnia) ซึ่งไรน้ำตัวเมียสามารถวางไข่ได้สองแบบ แบบที่หนึ่งต้องมีการปฏิสนธิกับ สเปิร์มจึงจะเจริญเติบโตได้ แต่อีกแบบหนึ่งสามารถเจริญเติบโตได้โดยวิธี parthenogenesis ซึ่งไม่ต้องมีการปฏิสนธิกับ สเปิร์ม การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศสามารถพบได้เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม ขณะที่การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเกิดขึ้นในระหว่างที่สิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม ผลก็คือการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและแบบอาศัยเพศเชื่อมโยงกับฤดูกาล

วงจรสืบพันธุ์ที่แตกต่างกันอีกแบบหนึ่ง พบในสัตว์ที่สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเท่านั้น ได้แก่ ปลาหลายสปีชีส์ สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก และสัตว์เลื้อยคลาน มีรูปแบบการสืบพันธุ์แบบ parthenogenesis ที่ซับซ้อน โดยมีการเพิ่มจำนวนโครโมโซมเป็น 2 เท่าหลังไมโอซิส มีลูกที่มีจำนวนโครโมโซมเป็น diploid ตัวอย่างเช่นในกิ้งก่าหางแสบในสกุล *Aspidoscelis* ซึ่งไม่มีเพศผู้แต่มีพฤติกรรมการเกี้ยวพาราสีและจับคู่ผสมพันธุ์ตามแบบฉบับของสปีชีส์ที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในสกุลเดียวกัน โดยในระหว่างฤดูผสมพันธุ์ตัวเมียตัวหนึ่งในคู่ที่มีการผสมพันธุ์ จะมีพฤติกรรมเลียนแบบเป็นตัวผู้ สมาชิกแต่ละตัวของคู่จะเปลี่ยนบทบาทเป็นอีกเพศหนึ่งสองหรือสามครั้ง ในระหว่างฤดูกาลตัวที่มีบทบาทเพศเมียจะตกไข่ เมื่อระดับฮอร์โมนเพศเมีย