



ชีววิทยา สัตววิทยา 3

(กำเนิดโลก สิ่งมีชีวิต อนุกรมวิธาน และอาณาจักรสัตว์ นิเวศวิทยา พฤติกรรม)



โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

ชีววิทยา

สัตววิทยา 3

(กำเนิดโลก สิ่งมีชีวิต อุนุกรมวิธาน และอาณาจักรสัตว์ นิเวศวิทยา พฤติกรรม)



โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน.



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

ความเป็นมา

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์ จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

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 และเกียรติคุณประกาศอีก 35 ราย รวมทั้งสิ้น 198 รางวัล จากจำนวนนักเรียนที่ส่งไปเข้าแข่งขัน 276 คน (72%)

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

เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุนโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสมเด็จพระเจ้า 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 ได้ และเพื่อขยายผลจากประสบการณ์ที่ได้เข้าแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าสากล

ในการอบรมนักเรียนของศูนย์ สอวน. มูลนิธิ สอวน. ได้พิจารณาเห็นว่าตำราที่มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาตามหลักสูตรของ สอวน. จะช่วยพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในศูนย์ สอวน. ให้สูงขึ้นได้นอกจากนั้นตำราเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสมบูรณ์ถูกต้องยังขาดแคลน นักเรียนและครูสามารถนำตำราที่พัฒนาขึ้นมาไปใช้เป็นหนังสืออ้างอิงประกอบการเรียนการสอนได้อีกด้วย 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 5 เล่ม และฟิสิกส์ 3 เล่ม โดยหนังสือชุดแรกจะนำขึ้นทูลเกล้าถวายในวันที่ 6 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันประชุมสามัญประจำปี พ.ศ. 2547 ของคณะกรรมการบริหาร และสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เสด็จเป็นองค์ประธานที่ประชุม ส่วนที่เหลือคาดว่าจะจัดพิมพ์ให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2547 นี้ นอกจากนั้นคณะกรรมการโครงการผลิตตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. มีเป้าหมายจะผลิตตำราที่มีคุณภาพสูงนี้ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัย เพื่อวางรากฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐานและเพื่อสร้างแรงบันดาลใจและความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์แก่เยาวชนอีกด้วย หากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านงบประมาณจากภาครัฐและเอกชน

คณะจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์หวังว่าโครงการตำราคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ของมูลนิธิ สอวน. จะมีส่วนร่วมในการปฏิรูปการเรียนรู้และยกระดับมาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้เทียบเท่ากับระดับสากลเพื่อสนองพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

* คำขอบคุณ : คณะกรรมการดำเนินงานโครงการตำราฯ ขอขอบคุณพิพิธภัณฑ American Museum of Natural History, New York และ Natural History Museum, Geneva ที่อนุญาตให้ประธานคณะกรรมการฯ เข้าถ่ายภาพในพิพิธภัณฑ เพื่อนำมาเผยแพร่เพื่อการศึกษา

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน.

คณะกรรมการที่ปรึกษา

- | | |
|--|-----------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์จรัส สุวรรณเวลา | รองประธานมูลนิธิ สอน. |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสมณทา พรหมบุญ | กรรมการมูลนิธิ สอน. |
| 3. รองศาสตราจารย์บุญรักษา สุนทรธรรม | กรรมการมูลนิธิ สอน. |

คณะกรรมการดำเนินงานโครงการตำราฯ

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.พินิติ รตะนานุกูล (เลขาธิการมูลนิธิ สอน.) | ประธาน |
| 2. รองศาสตราจารย์เย็นใจ สมวิเชียร | รองประธาน |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระเดช เจียรสุขสกุล | กรรมการ (คณิตศาสตร์) |
| 4. รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ | กรรมการ (คอมพิวเตอร์) |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา จุณวัฒน์กุล | กรรมการ (เคมี) |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุทธิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ์ | กรรมการ (ฟิสิกส์) |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร | กรรมการ (ชีววิทยา) |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย นาคะผดุงรัตน์ | กรรมการ (วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ) |
| 9. รองศาสตราจารย์ผ่องศรี จันท้าว | กรรมการ (ภูมิศาสตร์) |

คณะผู้เขียนตำราชีววิทยา สัตว์วิทยา 3

- | |
|---|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญา |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร |

คำนำ

หนังสือชีววิทยาเกี่ยวกับสัตว์นี้ เป็นผลจากความพยายามร่วมกันของคณาจารย์ภาควิชาชีววิทยาใน อันที่จะถ่ายทอดสิ่งที่เป็พื้นฐานของชีวิต การดำรงชีวิตของสัตว์ในสภาพแวดล้อมแบบต่างๆ ที่มีผลสะท้อน ไปถึงวิวัฒนาการของโครงสร้างและกระบวนการทางสรีรวิทยา ซึ่งเกิดกับสัตว์ชนิดต่างๆ รวมถึงมนุษย์ที่ได้ ปรับเปลี่ยนไปให้เหมาะกับการทำงานที่จะได้รับประโยชน์สูงสุด และอำนวยให้สัตว์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ นานพอที่จะสืบลูกหลานให้คงอยู่ในโลกได้สืบไป

การเขียนหนังสือทางชีววิทยาเป็นเรื่องยากลำบาก และใช้เวลามาก ซึ่งในระดับนี้มิใช่เชิงเนื้อหา หากเป็น เรื่องการเขียนศัพท์เทคนิค หรือแม้แต่คำที่ใช้เป็นชื่อกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งหากแปลเป็นภาษาไทยก็อาจต้องเขียนกัน ยืดยาว หรือมิฉะนั้นเมื่ออ่านก็อาจต้องแปลเป็นไทยอีกครั้งหนึ่ง หรืออาจสื่อผิดความหมายในบริบทนั้นๆ คณาจารย์ที่ เขียนจึงตกลงร่วมกันว่าวิทยาศาสตร์นั้นเป็นสากล เราไม่น่าจะกังวลกับภาษามากนัก ควรจะมุ่งที่ความถูกต้องของ เนื้อหา ควรจะมุ่งที่ความถูกต้องของเนื้อหา อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะมีกลั่นนมนกลั่นเนยอยู่บ้าง ทางคณะผู้เขียนขอยืนยันว่า จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านเป็นอย่างยิ่ง และจะทำให้ท่านค้นหาคำความรู้ในด้านนี้ต่อไปได้ง่ายขึ้น

หนังสือชีววิทยาเกี่ยวกับสัตว์นี้มีอยู่ด้วยกัน 3 เล่ม ซึ่งเขียนโดยคณาจารย์ที่มีรายนามปรากฏ ด้านล่างนี้ ทางคณะผู้เขียนหวังว่าความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากหนังสือนี้คงจะเป็นพื้นฐานที่แน่นหนาพอที่จะสามารถ ศึกษาในระดับสูงต่อไปได้เป็นอย่างดี และคงตอบหรืออธิบายข้อสงสัยทางชีววิทยาให้กับท่านได้ในระดับหนึ่ง

ISBN 978-616-8242-09-4

สงวนลิขสิทธิ์

จัดพิมพ์โดย มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและ

พัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษาในพระอุปถัมภ์

สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา

กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

พิมพ์ครั้งที่ 8 พ.ศ. 2565 (2022)

ออกแบบ หน้ารองปก

โดย ศาสตราจารย์ ศักดา ศิริพันธุ์

ศิลปกรรม: นายปรีชา นัตระกูล

พิมพ์ที่ บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

แยกสี / เฟลท บริษัทยี่สิบเอ็ดแวนคัลเลอร์ส จำกัด

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร.0-2218-9872 โทรสาร 0-2254-9495

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร.0-2255-4433

<http://www.chulabook.com>

facebook page: Chulabook

ร้านค้าติดต่อ แผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก

โทร. 0-2374-1375-6 โทรสาร 0-2374-1374

ผู้เขียนเล่มที่ 3

รองศาสตราจารย์ ดร. อุษณีย์ ยศยิ่งยวด

วท.บ. เกียรตินิยม อันดับ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M.S. (Animal Behaviour) University of Hawaii

Ph.D. University of Cambridge

ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญา

กศ.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ph.D. (Zoology) Kyoto University, Japan

Cert. (Conservation of Biological Diversity) University of Illinois at Chicago

& The Field Museum & Chicago Zoological Society

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประพัทธ์สุนทรสาร

วท.บ. (ชีววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (สัตววิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ph.D. (Ecology) University of Aberdeen

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. อุษณีย์ ยศยิ่งยวด

วท.บ. เกียรตินิยม อันดับ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M.S. (Animal Behaviour) University of Hawaii

Ph.D. University of Cambridge

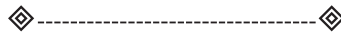
1. กำเนิดโลก สิ่งมีชีวิต อนุกรมวิธาน และอาณาจักรสัตว์	1
1.1 กำเนิดจักรวาลและโลก	1
1.1.1 กำเนิดระบบสุริยะจักรวาล	3
1.1.2 กำเนิดโลก สิ่งมีชีวิต และวิวัฒนาการ	3
1.1.3 บรรยายทฤษฎีสมมติฐานสำคัญต่อชีวิต	10
1.1.4 ชีวิตเคลื่อนสู่แผ่นดิน	11
1.1.5 ป่าดำนหินและวัฏจักรคาร์บอน	12
1.1.6 สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกและสัตว์เลื้อยคลาน	12
1.1.7 สาเหตุของการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่	14
การพุ่งชนโลกของชิ้นส่วนดาวพระเคราะห์ และ/หรือดาวหาง	15
ภูเขาไฟระเบิดอย่างรุนแรง	15
การขึ้นลงของระดับน้ำทะเลเมื่อครั้งบรรพกาล	16
1.1.8 ชีวิตที่เกิด ดับ และสืบทอด	16
1.1.8.1 ชีวิตบนท้องฟ้า	16
1.1.8.2 ชีวิตที่เจริญรุ่งเรือง	17
1.1.8.3 ไดโนเสาร์สูญพันธุ์	18
1.1.8.4 ความหลากหลายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม	19
1.1.8.5 ทวีปเคลื่อนที่กับชีวิตที่หลากหลาย	20
1.1.8.6 ผลของยุคน้ำแข็ง	23
1.2 อาณาจักรสิ่งมีชีวิต อนุกรมวิธานและซิสเทมาติกส์	25
1.2.1 อนุกรมวิธาน	25
1.2.2 ซิสเทมาติกส์ (Systematics)	30
วิธีการจัดแบบผิวเผิน (Phenetic Classification)	31
วิธีการจัดแบบอิงความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ	33
(Cladistic หรือ Phylogenetic Classification)	
1.3 อาณาจักรสัตว์และการจัดจำแนก	37
1.3.1 การจัดจำแนกอาณาจักรสัตว์	37
1.3.2 ชากบรรพชีวินจากหินชนวนเบอร์เกส	38
ประตูสู่ความลับของการกำเนิดอาณาจักรสัตว์	
1.3.3 อาณาจักรย่อยพาราซัว (Sub-kingdom Parazoa)	43
1.3.3.1 ไฟลัมพอร์เฟอร่า (Phylum Porifera)	43
การจัดจำแนกฟองน้ำ	47
1.3.4 อาณาจักรย่อยยูเมทาซัว (Sub-kingdom Eumetazoa)	49
1.3.4.1 แขนงเรดิเอตา (Branch Radiata)	50

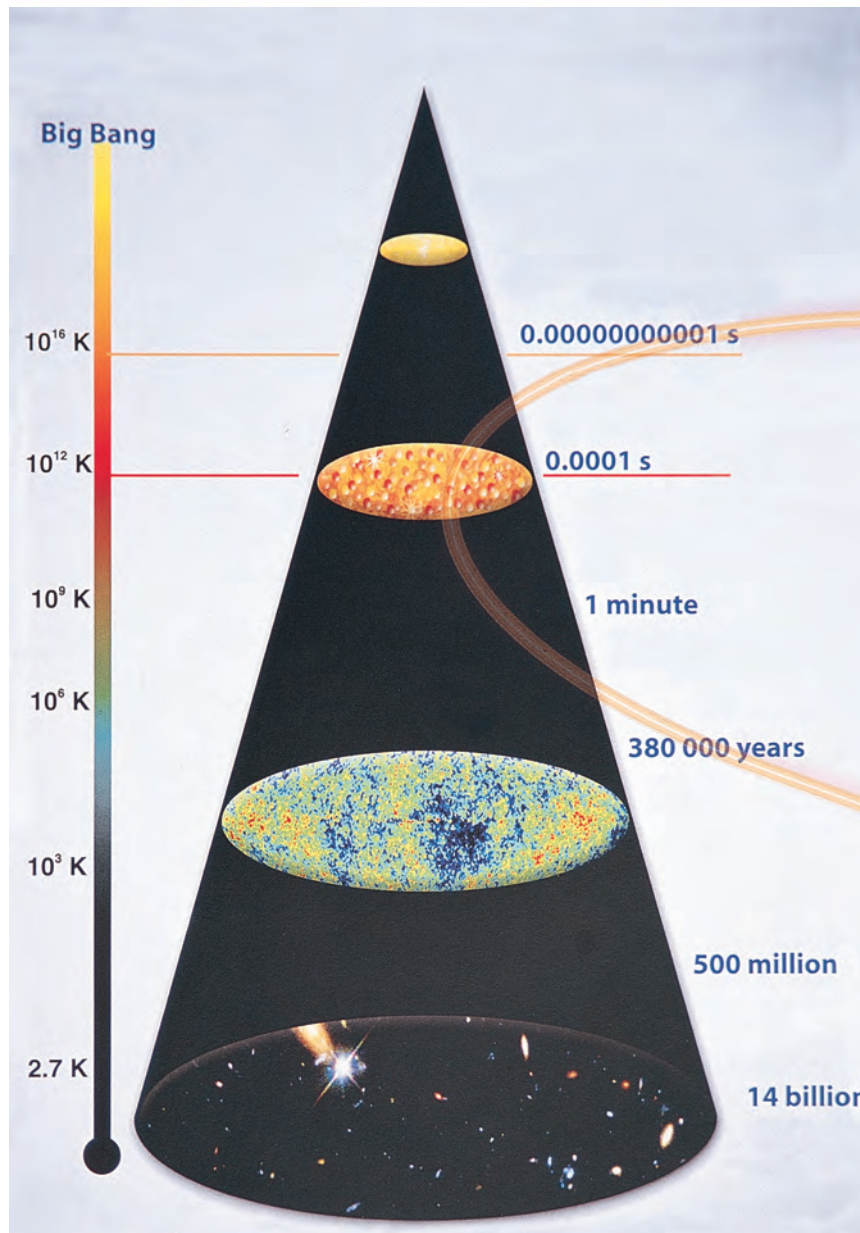
1. ไฟลัมไนดาเรีย (Phylum Cnidaria)	50
การจัดจำแนกไนดาเรีย	55
2. ไฟลัมทีโนฟอรา (Phylum Ctenophora)	61
การจัดจำแนกทีโนฟอรา	63
1.3.4.2 แขนงไบแลตเทอเรีย (Branch Bilateria)	64
1.3.4.2.1 Grade Acoelomata เป็นสัตว์พวกที่ไม่มีโพรงลำตัว (acoelom)	65
1. ไฟลัมแพลทีเฮลมินทีส (Phylum Platyhelminthes)	65
1.3.4.2.2 Grade Pseudocoelomata เป็นสัตว์พวกที่มีโพรงลำตัวเทียม (pseudocoelom)	69
1. ไฟลัมนีมาโทดา (Phylum Nematoda)	69
การจัดจำแนก	70
2. ไฟลัมโรติเฟอรา (Phylum Rotifera)	72
1.3.4.3 Grade Coelomata	72
1.3.4.3.1 Series Protostoma	72
1. ไฟลัมมอลลัสกา (Phylum Mollusca)	72
2. ไฟลัมแอนนิลิดา (Phylum Annelida)	79
3. ไฟลัมอาร์โทรโปดา (Phylum Arthropoda)	81
การจัดจำแนก	82
1.3.4.3.2 Series Deuterostoma	88
1 ไฟลัมเอไคโนเดอร์มาตา (Phylum Echinodermata)	88
2 ไฟลัมคอร์ดาคาตา (Phylum Chordata)	92
Hominoids จากเอปถึงมนุษย์	103
บรรณานุกรม	105
คำถามท้ายบท	107
2. นิเวศวิทยา	109
นิเวศวิทยาคืออะไร	109
การศึกษานิเวศวิทยา	109
ปัจจัยที่จำกัดการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต	110
ปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญ	112
แนวคิดของนิเวศวิทยาเชิงสรีรวิทยา	112
แนวคิด Limits of Tolerance Concept	113
แนวคิดเกี่ยวกับ Regulators และ Conformers	115
แนวคิด The Principle of Allocation	115

การตอบสนองต่อความแปรผันของสภาพแวดล้อมเป็นผลเนื่องมาจากวิวัฒนาการ	116
ประชากร	116
ลักษณะเฉพาะของประชากร	117
โครงสร้างประชากร	121
ชีวประวัติเกี่ยวกับการสืบพันธุ์	122
การเติบโตของประชากร	122
สิ่งมีชีวิตที่เป็น K-selected species และ r-selected species	126
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดของประชากร	126
การเติบโตของประชากรมนุษย์	127
สังคมสิ่งมีชีวิต	128
ความสัมพันธ์ระหว่างประชากรสิ่งมีชีวิต	129
วิถีชีวิต และ การแบ่งปันทรัพยากร	135
ทฤษฎี Island Biogeography	138
อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตที่มีต่อโครงสร้างสังคมสิ่งมีชีวิต	139
การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของสังคมสิ่งมีชีวิต	140
ระบบนิเวศ	142
การถ่ายทอดพลังงาน	143
วัฏจักรสารอาหาร	150
ระบบนิเวศที่สำคัญ	153
บรรณานุกรม	155

3. พฤติกรรม	159
พฤติกรรมเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม	160
พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด (Innate Behaviour)	162
การศึกษาพฤติกรรม	162
นิเวศวิทยาของพฤติกรรม (Behavioural Ecology) และสมมุติฐานทางวิวัฒนาการ	165
คลังเสียงเพลงของนก (Songbird Repertoires)	165
การวิเคราะห์ต้นทุน และกำไรของพฤติกรรมการกินอาหาร	167
การเรียนรู้ (Learning)	169
การเรียนรู้และการเจริญวัย	170
แฮบิซูเอชัน (Habituation)	171
ความพึงใจ (Imprinting)	172
ช่วงวิกฤติ (Critical Period)	172
การพัฒนาเพลงในนก : การศึกษาเกี่ยวกับการเรียนรู้แบบพึงใจ	173
การเรียนรู้ในการโยงสิ่งเร้าต่างๆ เข้าด้วยกันได้ (Associative Learning)	175
หน้าที่ของพฤติกรรมการเล่น (Play)	176
ความรู้ตัวของสัตว์ (Animal Cognition)	177

รหัสภายในเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงตำแหน่ง	177
การอพยพ (Migration Behaviour)	178
ความรู้สึกรู้ตัว (Consciousness)	179
พฤติกรรมทางสังคม และชีววิทยาของสังคม (Social Behaviour and Sociobiology)	180
พฤติกรรมทางสังคม (Social Behaviour)	180
พฤติกรรมการแข่งขันในสังคม	181
การจัดลำดับความสำคัญในสังคม	182
ความเป็นเจ้าของพื้นที่ (Territoriality)	182
พฤติกรรม “การสืบพันธุ์”	184
การเกี้ยวพาราสี (Courtship Behaviour)	184
ระบบผสมพันธุ์ (Mating System)	186
รูปแบบการสื่อสารในปฏิสัมพันธ์ทางสังคม	186
พฤติกรรมให้ประโยชน์ (Altruistic Behaviour)	189
บรรณานุกรม	190
ดัชนี	191





บิกแบง (ที่มา : Cern Geneva)

จักรวาลเริ่มอุบัติขึ้นเมื่อประมาณ 13.7 พันล้านปีมาแล้ว โดยการระเบิดครั้งยิ่งใหญ่ไพศาล หลังการระเบิดช่วงเวลาสั้นมากๆ คือ 0.0000000001 วินาที ก็เกิดอนุภาคในรูปของพลาสมาที่แสงที่เรียกว่า ควาร์ก (Quarks) และกลูออนส์ (Gluons) ซึ่งเป็นอนุภาคที่เชื่อมควาร์กเข้าด้วยกัน รวมทั้งเกิดแรงดึงดูดอนุภาคที่เรียกว่า โบซอนส์ (Bosons) และพลังงานที่นำไปโดยโฟตอน (Photon) ที่อัดตัวแน่นและร้อนเป็นที่สุด (10^{16} K) หลังจากนั้น 0.0001 วินาที จักรวาลเริ่มมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 10^{12} K พลาสมาหดตัวเปลี่ยนเป็นแฮดรอนส์ (Hadrons) ที่ประกอบด้วย โปรตรอน (Proton) และนิวตรอน (Neutron) อนุภาคของสสาร (Matter) และปฏิสสาร (Antimatter) ปะทะทำลายกันและกันเกิดเป็น โฟตอน (Photon) นับพันล้าน สำหรับ 1 โปรตรอน ที่ยังคงเหลืออยู่ในจักรวาล หลังจากนั้น 1 นาที จักรวาลมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 10^9 K โปรตรอนและนิวตรอนหลอมรวมกันเกิดนิวเคลียสของอะตอมเป็นครั้งแรก หลังจากนั้นอีก 380,000 ปีต่อมา อุณหภูมิของจักรวาลลดลงเหลือ 10^6 K นิวเคลียสของอะตอมจะจับกับอิเล็กตรอน แล้วทำให้เกิดอะตอมขึ้นทำให้จักรวาลโปร่งใส พลังงานการแผ่รังสี

กำเนิดโลก สิ่งมีชีวิต อนุกรมวิธาน และอาณาจักรสัตว์

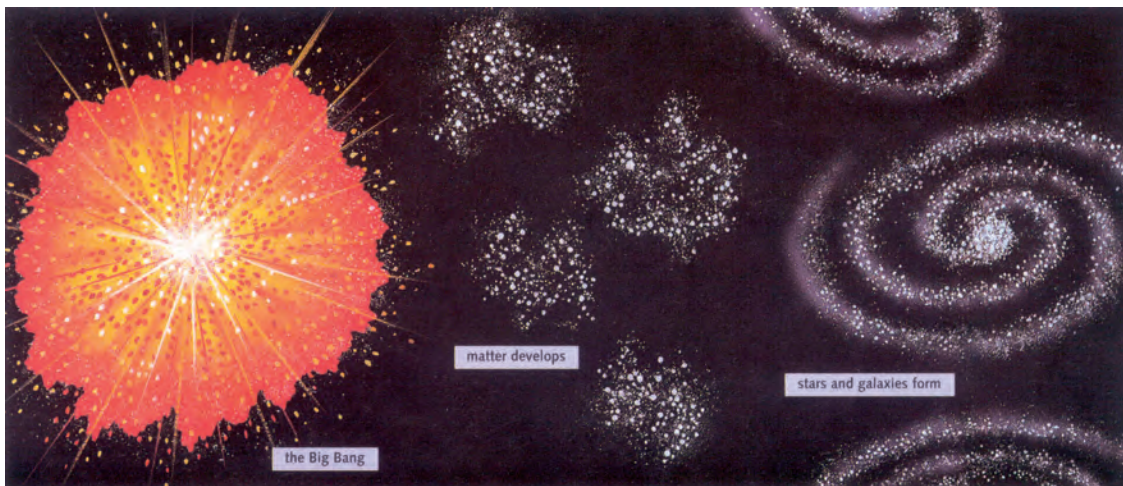
1.1 กำเนิดจักรวาลและโลก

จักรวาลกำเนิดมาอย่างไรนั้น ปัจจุบันยังเป็นข้อถกเถียงกันตลอดเวลาทั้งในเชิงปรัชญาและวิทยาศาสตร์ แนวคิดที่สำคัญครั้งแรกที่ได้รับความสนใจจากชาวโลกเกิดขึ้นในปีคริสต์ศักราช 1929 เมื่อนักบินอวกาศชาวอเมริกัน ชื่อ Edwin Hubble พบว่าจักรวาลมีการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดวงดาวต่าง ๆ และแกแลกซีค่อย ๆ เคลื่อนออกจากกัน หากเปรียบเทียบเหมือนลูกโป่งที่เป่าลมเข้าไป แล้วค่อย ๆ โป่งขึ้น ทำให้ความห่างระหว่างจุดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าแนวคิดต่าง ๆ จะยังมีข้อถกเถียงกันอยู่มาก นักวิทยาศาสตร์ส่วนมากก็ยอมรับว่าทุกสิ่งทุกอย่าง รวมทั้งสสารเริ่มกำเนิดขึ้นเมื่อประมาณหนึ่งหมื่นห้าพันล้านปีมาแล้ว ลูกไฟขนาดเล็กที่มีความหนาแน่นมหาศาลระเบิดขึ้น ทำให้ความร้อนแผ่ไปทุกทิศทุกทาง เกิดเป็นแอ่งความร้อนของอนุภาคที่เล็กกว่าอะตอม (sub-atomic particles) เกิดโปรตอนก่อน แล้วเป็นอิเล็กตรอน ต่อมาทั้งสองอนุภาคชนกันแล้วเกิดเป็นนิวตรอนขึ้น เหตุการณ์นี้เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปในหมู่นักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มว่า *Big Bang* ลูกไฟนี้ได้แผ่กระจายออกอย่างรวดเร็ว เชื่อว่าอาจมีความเร็วที่เร็วกว่าความเร็วของแสง สามนาที่ต่อมาจักรวาลใหม่เริ่มเย็นลง อนุภาคต่าง ๆ รวมตัวตรงกลางหรือนิวเคลียสเป็นธาตุฮีเลียมที่ประกอบไปด้วย 2 โปรตอน และ 2 นิวตรอน หลังจากนั้นอีกประมาณ 3 แสนปี อุณหภูมิเย็นลงเรื่อย ๆ จนทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนไปรอบ ๆ นิวเคลียส เกิดเป็นอะตอมขึ้น ต่อมาก็เกิดการขยายตัวของกลุ่มก๊าซไฮโดรเจนกับฮีเลียม จักรวาลอาจจะมีคลื่นทึบจนกระทั่งหลายพันล้านปีต่อมา สสารเริ่มต้นหดตัวและจับกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้เกิดเป็นแกแลกซีและหมู่ดาว ดวงดาวนั้นคือลูกบอลขนาดใหญ่ของก๊าซไฮโดรเจนและต่อมาค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นฮีเลียมด้วยปฏิกิริยาที่เรียกว่านิวเคลียร์ฟิวชัน (nuclear fusion) ปฏิกิริยานี้จะปลดปล่อยความร้อนและแสงสว่างเป็นปริมาณมหาศาล แกแลกซีที่มนุษย์เราอยู่นี้เรียกว่าแกแลกซีทางช้างเผือก เกิดขึ้นมาเมื่อราว ๆ 10,000 ล้านปีมาแล้ว (รูปที่ 1-1, 1-2)

[ซึ่งอาจเรียกว่า คลื่นไมโครคอสมิก (Cosmic Microwave) จากจักรวาลในยุคนั้น] ได้ส่งออกไปโดยรอบซึ่งมนุษย์สามารถตรวจจับได้ในปัจจุบัน

เมื่อเวลาผ่านไปอีก 500 ล้านปี อุณหภูมิลดลงเหลือ 10^3 K ดาวฤกษ์ดวงแรก เช่น บีคอนส์ (Beacons) ก็เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดกาแล็กซีและการขยายตัวของจักรวาลตามคำพยากรณ์ของไอน์สไตน์ที่ว่า โครงสร้างของจักรวาลเกิดจากการบิดโค้งของอวกาศ-เวลา กาแล็กซีต่างๆ กำลังเคลื่อนที่ห่างออกไปในทุกทิศทาง และเมื่อประมาณ 14 พันล้านปี อุณหภูมิลดลงเหลือเพียง 2.7 K จักรวาลประกอบด้วยสสารทั้งหมด

ที่มา : หนังสือแกะรอย ไอน์สไตน์ (1)



รูปที่ 1-1 จักรวาลที่เชื่อว่าเกิดขึ้นจาก Big Bang เมื่อประมาณ 15,000 ล้านปีมาแล้ว
(ที่มา : Edwards and Rosen, 2000)

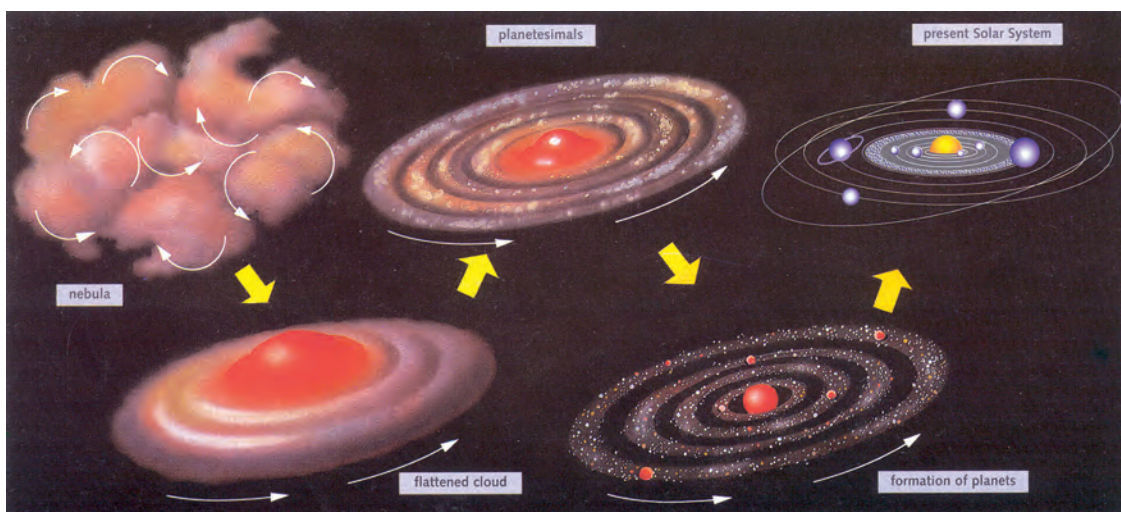
แม้ว่าแนวคิดเรื่อง *Big Bang* ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในปี ค.ศ. 1940 แต่ในปี 1960 ดูเหมือนว่ามีการค้นพบการระเบิดของความร้อนในอดีตเกิดเป็นไมโครเวฟ (microwave) ห่อหุ้มโลกเอาไว้ ทำให้นักวิทยาศาสตร์สรุปว่า ฐูลีคอสมิกกำเนิดขึ้นและหลงเหลืออยู่ภายหลังจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของความร้อนและแสงสว่างเท่ากับพยายามจะยืนยันให้กับทุกคนในเรื่องของ *Big Bang* เป็น โมเดลของการเกิดจักรวาล แต่ยังมีคำถามอีกหลายคำถามที่ยังไม่สามารถตอบได้ เช่นเกิดอะไรขึ้นก่อน *Big Bang*



รูปที่ 1-2 ฝุ่นและก๊าซที่รวมตัวกันเกิดเป็นหมู่ดาวของเนบิวลาอีเกิ้ล
(ที่มา : Edwards and Rosen, 2000)

1.1.1 กำเนิดระบบสุริยะจักรวาล

ราว ๆ 4,560 ล้านปีที่ผ่านมามีโลกถือกำเนิดขึ้น กลุ่มก๊าซและธุลีที่เรียกว่าเนบิวลาหมุนวนเวียนอยู่ เป็นต้นกำเนิดของระบบสุริยะจักรวาล ภายในเนบิวลากลุ่มสสารได้จับกลุ่มกันตรงกลางด้วยแรงโน้มถ่วงล้อมรอบกำเนิดเป็นดาวดวงแรก (protostar) ซึ่งเกิดเป็นความร้อนในกระบวนการดังกล่าว เนบิวลาเปลี่ยนสภาพเป็นแผ่นแบน ๆ ที่หมุนได้เหมือนจานเสียง และสสารจำนวนมากไปกระจุกตัวอยู่ตรงกลาง ต่อมาเกิดระเบิดขึ้นอย่างแรง เกิดเป็นดวงอาทิตย์ขึ้น ตรงใจกลางอุณหภูมิสูงขึ้นหลายล้านองศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน ปลดปล่อยพลังงานมหาศาล ทำให้ดวงอาทิตย์กลายเป็นลูกไฟขนาดมหึมาตั้งแต่ตอนนั้น ก๊าซที่เหลือและอนุภาคของฝุ่นธุลีต่าง ๆ ยังคงหมุนเป็นวงอยู่รอบ ๆ ดวงอาทิตย์ และค่อย ๆ กำเนิดเป็นกระจุกดาวพระเคราะห์หลากหลายขนาดไปจนถึงขนาดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางหลายพันกิโลเมตร การชนกันครั้งแล้วครั้งเล่าของกระจุกดาวพระเคราะห์ ทำให้เกิดเป็นดาวพระเคราะห์ที่สมบูรณ์ เกิดเป็นระบบสุริยะจักรวาลอย่างที่เรารู้จักในปัจจุบัน ที่ล้อมรอบอยู่ด้านนอกของระบบสุริยะ ประกอบไปด้วยกลุ่มก้อนหิน ก้อนน้ำแข็ง ที่เรียกว่าดาวหาง (comets) ดาวหางจะโคจรรอบ ๆ ดวงอาทิตย์ในมุมต่าง ๆ กันไป นอกจากนั้นวัตถุที่โคจรรอบนอกของระบบสุริยะทั้งหินและก้อนน้ำแข็งขนาดมหึมา ซึ่งเดิมเชื่อว่าเป็นดาวหางทั้งหมดนั้น ต่อมาก็ยืนยันได้ว่าเป็นดาวพระเคราะห์ยูเรนัส เนปจูน และพลูโต ระหว่างวงโคจรของดาวอังคารกับดาวพฤหัสบดี เป็นวงของแนวกลุ่มหินเรียกว่ากลุ่มดาวพระเคราะห์น้อย (asteroids) บางชิ้นส่วนของดาวพระเคราะห์น้อยที่หลุดจากวงโคจร จะพุ่งเสียดสีบรรยากาศของโลก เหมือนลูกไฟลงสู่พื้นผิวโลก เรียกว่า อุกาบาต (meteorites) ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง นับแต่โลกเริ่มกำเนิดขึ้น มีบทบาทที่สำคัญต่อวิวัฒนาการของชีวิตบนโลกเป็นอย่างมาก (รูปที่ 1-3)

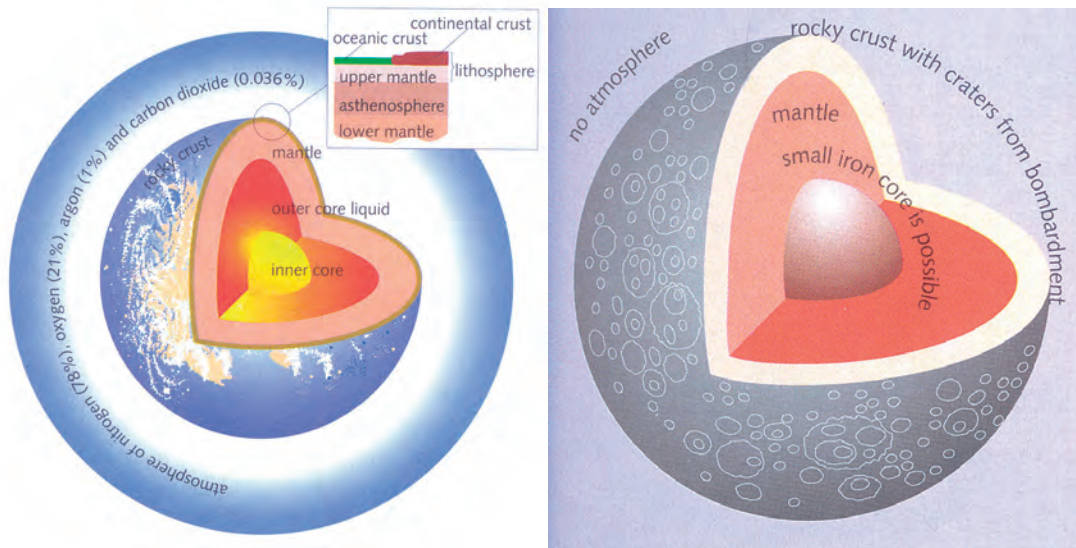


รูปที่ 1-3 การเกิดระบบสุริยะ (solar system) เมื่อประมาณ 4,560 ล้านปีมาแล้ว
(ที่มา : Edwards and Rosen, 2000)

1.1.2 กำเนิดโลก สิ่งมีชีวิต และวิวัฒนาการ

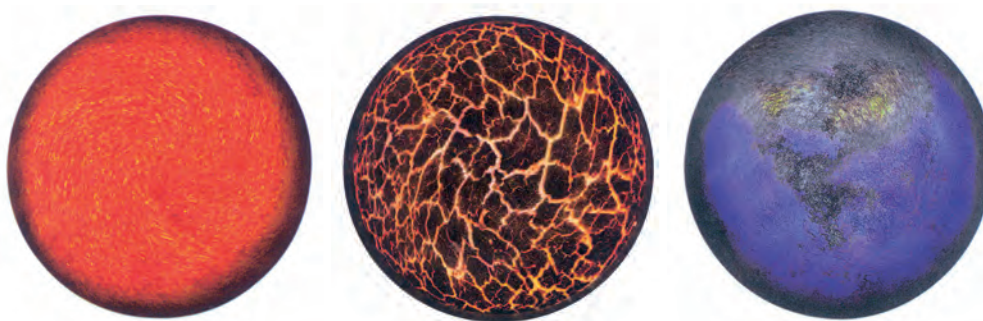
เมื่อโลกเกิดขึ้นมาใหม่ ๆ ชั้นส่วนของดาวพระเคราะห์ และดาวหางจำนวนมากตกลงสู่โลก ประมาณ 2-3 ล้านปี โลกจึงมีขนาดเท่ากับขนาดในปัจจุบัน จากนั้นอีกประมาณหนึ่งร้อยล้านปี โลกมีการแบ่งชั้นด้วยแรงโน้มถ่วง ส่วนที่หนักที่สุด เช่นเหล็กจะอยู่แกนกลางหรือเป็นชั้นที่สาม (core) ส่วนที่เบากว่า เช่นเหล็กกับแมกนีเซียมซิลิเกตจะขึ้นมาอยู่ที่ผิวโลกเป็นส่วนแมนเทิล (mantle) และเปลือกโลก (crust) (รูปที่ 1-4) ส่วนที่เบาที่สุด

ได้แก่พวกก๊าซต่าง ๆ ที่ถือว่าเป็นกลุ่มก๊าซในสมัยโบราณที่ห่อหุ้มโลกไว้ ในเวลาที่ผ่าน ๆ มาโลกมีความร้อนสูงมาก หลายพันองศาเซลเซียส สาเหตุจากการพุ่งชนของอุกบาต และการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี



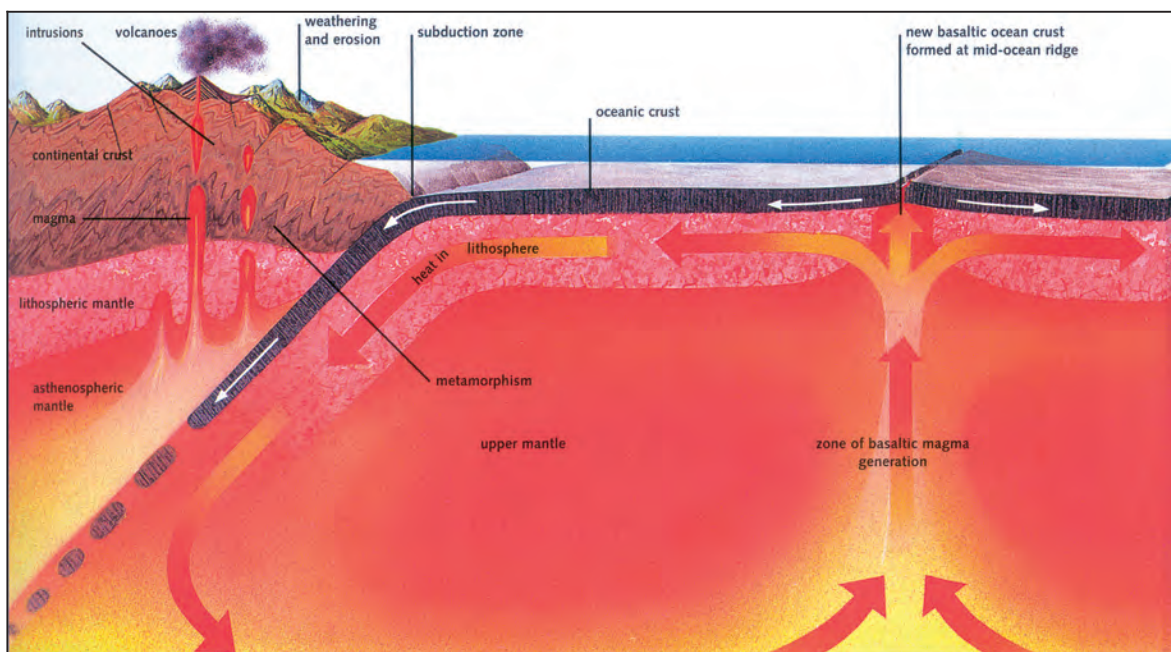
รูปที่ 1-4 (ซ้าย) ภาพตัดขวางของโลก แสดงแกนโลกที่เป็นธาตุเหล็ก แมนเทิลเป็นสารซิลิเกตที่หนืด เปลือกโลกเป็นสารซิลิเกตที่เบา ความหนาของโลกประมาณ 90 กิโลเมตร บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (ขวา) ภาพตัดขวางของดวงจันทร์ที่มีขนาด 1 ใน 4 เท่าของโลก (ที่มา : Stanley, 1986)

ทำให้ผิวโลกมีร่องรอยประจูดังแผ่เป็นไปทั่วทั้งขนาดเล็กและใหญ่ โลกเมื่อ 4,000 ล้านปีที่ผ่านมามีความร้อนมากกว่าปัจจุบันหลายเท่า มีผิวโลกที่มีความคงตัวยิ่งขึ้น เกิดทะเล มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเด่น (รูปที่ 1-5)



รูปที่ 1-5 (ซ้าย) ผิวโลกในขณะร้อนจัด (กลาง) ผิวโลกในขณะเย็นลง (ขวา) โลกที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (ที่มา : Stanley, 1986)

มีก๊าซออกซิเจนเพียงเล็กน้อย มีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ชีวิตสามารถกำเนิดและวิวัฒนาการได้ สิ่งมีชีวิตทุก ๆ ชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลาย แต่องค์ประกอบที่สำคัญคือน้ำ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไนโตรเจน ซึ่งเป็นสิ่งที่พบบนโลก นอกจากนั้นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือพลังงานที่ได้จากการสลายตัวของสารเคมี หรือ ได้จากแสงอาทิตย์ (รูปที่ 1-6)



รูปที่ 1-6 การเปลี่ยนแปลงของโลกที่เป็นพลวัต (ที่มา Edwards and Rosen, 2000)

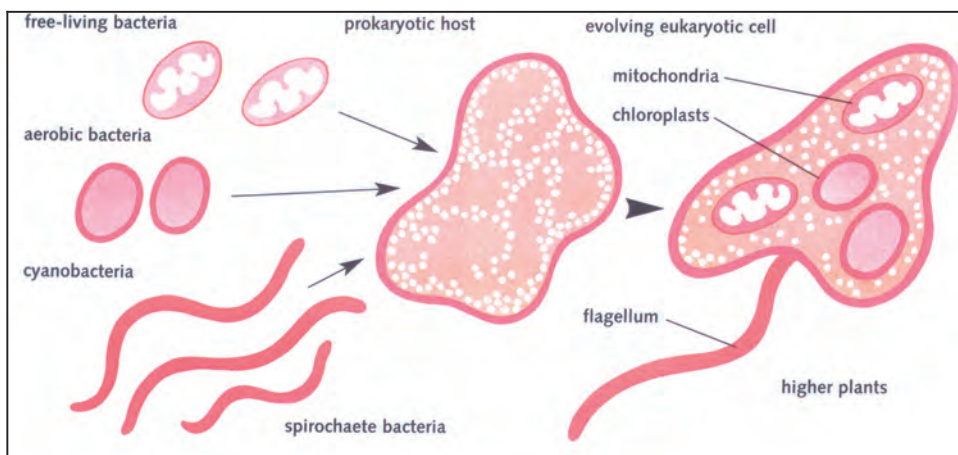
ซากดึกดำบรรพ์ขนาดเล็ก (microfossils) อายุประมาณ 3,500 ล้านปีที่ผ่านมาเป็นหลักฐานแรกของชีวิต เป็นซากของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวเกาะติดกันเป็นสายเหมือนลูกปัดหรือเส้นเชือก โดยโครงสร้างแล้วมีลักษณะของสิ่งมีชีวิตพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีคุณสมบัติสังเคราะห์ด้วยแสงได้ (photosynthetic organisms) แม้จะมีหลักฐานหลายประการที่เชื่อว่าสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นก่อน 3,500 ล้านปีมาแล้ว แต่หลักฐานจากอุกกาบาตจำนวนมหาศาลที่พุ่งชนโลกในช่วงเวลานั้น ทำให้ชีวิตที่ท่าทางจะกำเนิดขึ้น ไม่สามารถเป็นไปได้ เรื่องราวของการกำเนิดชีวิตบนโลกนี้ยังคงมีความเห็นที่หลากหลาย การเปลี่ยนแปลงบรรยากาศของโลกจากบรรยากาศของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในยุคนั้น เปลี่ยนเป็นบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน ต่อมาชีวิตค่อย ๆ มีวิวัฒนาการจนดำรงชีวิตในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนได้ สามารถสร้างพลังงานเพิ่มขึ้น มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น และทำให้บรรยากาศค่อย ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง

หลักฐานที่พิสูจน์ว่าบรรยากาศของโลกที่มีก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นเป็นส่วนหนึ่งนั้น มีอยู่หลายอย่าง เช่น ได้จากซากดึกดำบรรพ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสโตรมาโทไลต์ (fossil stromatolites) ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตพวกแรกที่ผลิตออกซิเจน นอกจากนั้นยังมีหลักฐานจากหินโบราณหลายประเภทที่พบว่าครั้งหนึ่งเคยมีการสัมผัสกับออกซิเจน โลกและสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการร่วมกันมาตลอดเวลานับแต่เริ่มมีสิ่งมีชีวิตขึ้นบนโลก สโตรมาโทไลต์เป็นหลักฐานที่ยืนยันว่ามีการผลิตออกซิเจนเมื่อ 3,400 ล้านปีที่ผ่านมา และสาหร่ายชนิดนี้มีการเพิ่มจำนวนเป็นสิ่งมีชีวิตเด่นของชายฝั่งทะเล เนื่องจากเวลานั้นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทหอย และทะเล่กิน (grazer) เช่นหอย ยังไม่เกิดขึ้น แต่ทะเลในปัจจุบันเต็มไปด้วยสัตว์หลายประเภทที่มีวิวัฒนาการมาแล้ว ดังนั้นสาหร่ายสโตรมาโทไลต์จึงไม่ใช่ชีวิตเด่นอีกต่อไป

แบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสิ่งมีชีวิตพวกโปรคาริโอต (prokaryotes) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์อย่างง่าย ๆ ดำเนินชีวิตนับแต่กำเนิดมาถึง 1,500 ล้านปี โปรคาริโอตเป็นสิ่งมีชีวิตที่เซลล์ยังไม่มีอาณาเขตของนิวเคลียสที่ชัดเจน สารพันธุกรรมในเซลล์จึงอยู่ทั่วไปในเซลล์ ดังนั้นจึงพบการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ที่สร้างลูกหลานที่มีชุดสารพันธุกรรมเหมือน ๆ กับพ่อแม่

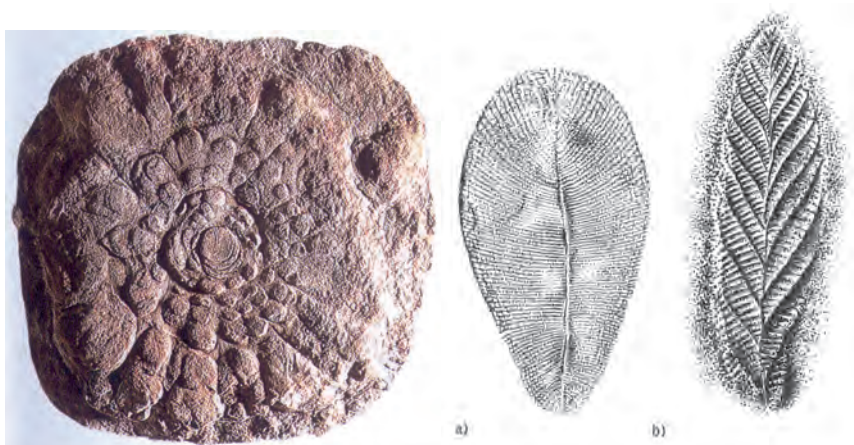
พืชและสัตว์และสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวอื่น ๆ รวมทั้งเชื้อราเป็นสิ่งมีชีวิตพวกยูคาริโอต (eukaryotes) หมายถึงกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์ขนาดใหญ่ และซับซ้อนขึ้น เกิดขึ้นเมื่อ 2,000 ล้านปีที่ผ่านมา เซลล์มีขนาดใหญ่กว่าพวกโปรคาริโอตถึงประมาณ 1,000 เท่า ด้วยลักษณะของเซลล์ที่พัฒนาขึ้นมามาก รวมทั้งมีนิวเคลียสที่เป็นที่อยู่ของสารพันธุกรรมที่ทำให้ยูคาริโอตมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ พ่อแม่มีชุดสารพันธุกรรมของตัวเอง เมื่อมีการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม จะทำให้ได้ลูกที่มีลักษณะเฉพาะ มีรหัสพันธุกรรมใหม่ ซึ่งช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงทางวิวัฒนาการมีความเร็วยิ่งขึ้น นอกจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศแล้ว ยูคาริโอตยังมีโครงสร้างภายในเซลล์ที่เรียกว่าออร์แกเนลล์ (organelles) ซึ่งทำหน้าที่เฉพาะเช่น การหายใจ การสังเคราะห์ด้วยแสง

มีความเป็นไปได้ที่ยูคาริโอตอาจจะมีวิวัฒนาการมาจากแบคทีเรีย (โปรคาริโอต) ที่ดำรงชีพแบบอิสระหลากหลายชนิด ถูกกิน หรือถูกจับเข้าไปอยู่ในแบคทีเรียชนิดหนึ่ง โดยแนวทฤษฎีที่เสนอโดย Lynn Margulis ในปี ค.ศ. 1970 ว่าแบคทีเรียไม่ได้กินหรือกลืนแบคทีเรียอื่น ๆ เข้าไป เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นเจ้าบ้านหรือโฮสต์ (host) เท่านั้น กระบวนการนี้ทำให้เกิดประโยชน์แก่ทั้งสองฝ่าย ความสัมพันธ์แบบนี้เป็นแบบพึ่งพา (symbiosis) โฮสต์จะได้พลังงานจากเมแทบอลิซึมที่สูงขึ้น ในขณะที่แบคทีเรียที่เข้ามาในโฮสต์ก็จะมีสภาพแวดล้อมที่คงที่ภายในเซลล์ของโฮสต์ มีแนวคิดกันว่ายูคาริโอตเริ่มต้นขึ้นจากสภาพบรรยากาศของโลกที่มีออกซิเจนต่ำ และสามารถปรับตัวใช้ออกซิเจนจากสารประกอบต่าง ๆ ที่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างนั้น ๆ เช่น สารประกอบซัลไฟด์ ไนเตรตและฟอสเฟต และเมื่อระดับออกซิเจนในบรรยากาศสูงขึ้น ส่วนหนึ่งก็สามารใช้ได้ทันที โครงสร้างหลายโครงสร้างแสดงให้เห็นถึงความเป็นอิสระของยูคาริโอตหลายเผ่าพันธุ์ พืชสีเขียวมีคลอโรพลาสต์ (chloroplasts) ที่สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาทำให้เกิดกระบวนการสร้างคาร์โบไฮเดรตได้ เชื่อว่าคลอโรพลาสต์มีวิวัฒนาการมาจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไมโตคอนเดรียสามารถเปลี่ยนออกซิเจนให้เป็นพลังงานได้เรียกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) สามารถสร้างพลังงานได้มากกว่าถึง 19 เท่า เมื่อเทียบกับการสร้างพลังงานด้วยวิธีการอื่น ๆ ไมโตคอนเดรียน่าจะมีวิวัฒนาการมาจากแบคทีเรียใช้ออกซิเจนที่ดำรงชีพแบบอิสระ (free-living aerobic bacteria) แฟลเจลลา โครงสร้างที่ทำให้ยูคาริโอตเคลื่อนที่ได้ น่าจะมีวิวัฒนาการมาจากแบคทีเรียที่ดำรงชีพแบบอิสระพวกสไปโรคิด (spirochaetes) เนื่องจากพบว่าลักษณะโครงสร้างมีความคล้ายคลึงกัน (รูปที่ 1-7)



รูปที่ 1-7 สิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์ซับซ้อน เชื่อว่ามีวิวัฒนาการมาจากการอยู่ร่วมกัน (symbiosis)
สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวหลาย ๆ ชนิด (ที่มา : Gould, 2000)

สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ มีลักษณะของเซลล์ที่มีความหลากหลายทำหน้าที่เฉพาะ เช่นย่อยอาหาร เคลื่อนที่ และสืบพันธุ์ ซากดึกดำบรรพ์หรือฟอสซิลของ *Mawsonites* ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์พวกแรก ๆ รูปร่างคล้ายแมงกระพรุน (jellyfish) พบว่าดำรงชีพอยู่ในช่วงปลายยุคพรีแคมเบรียน (Precambrian) ช่วงเวลาระหว่าง 549-543 ล้านปีที่ผ่านมา เป็นกลุ่มที่ถูกจัดจำแนกไว้ในพวกที่มีลำตัวอ่อนนุ่มที่เรียกว่า Ediacaran fauna ให้ชื่อตามแหล่งที่พบครั้งแรกทางตอนใต้ของทวีปออสเตรเลีย ต่อมามีการพบเพิ่มเติมมาเรื่อย ๆ เมื่อหลายส่วนของผิวโลกเปลี่ยนแปลงทำให้ฟอสซิลปรากฏขึ้นมา ทำให้เห็นลักษณะโครงสร้างลำตัวของสิ่งมีชีวิตในยุคนั้น ตั้งแต่แบบสมรูปรัศมี (radial symmetry) ใน *Mawsonites* ไปจนถึงสมรูปครึ่งซีก (bilateral symmetry) ใน *Dickensonia* อีกหนึ่งชนิดที่พบคือ *Charnia* ตั้งชื่อตามบริเวณที่พบครั้งแรกคือที่ป่าซานวูดเมืองไลเชสเตอร์ ประเทศอังกฤษ รูปร่างคล้ายกับปากกาทะเล (sea pen) ซึ่งเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (รูปที่ 1-8) ปัจจุบันยังมีการถกเถียงกันมากกว่าฟอสซิลเหล่านี้เป็นต้นแบบรูปร่าง (prototype) ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในเวลาต่อมาหรือไม่มีความเกี่ยวข้องกันเลย แต่ที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับกันว่าชีวิตที่เกิดขึ้นมาแล้วเหล่านี้เกือบจะไม่พบร่องรอยในยุคแคมเบรียน (Cambrian) ซึ่งเป็นยุคถัดมาอีกเลย



รูปที่ 1-8 ซากดึกดำบรรพ์ของ (ซ้าย) *Mawsonite* (กลาง) *Dickensonia* (ขวา) *Charnia*
(ที่มา : Stanley, 1986)

ประมาณในช่วง 545 ล้านปีซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของยุคแคมเบรียน จำนวนและชนิดของฟอสซิลของสิ่งมีชีวิตในทะเลเพิ่มขึ้นอย่างมาก มักเรียกช่วงนี้ว่า “มหาวุบัติของชีวิต (explosion of life)” และดูเหมือนว่าสัตว์มีขนาดใหญ่ขึ้น มีการสร้างเปลือกหรือโครงร่างแข็ง ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เหลือเป็นฟอสซิลได้ในเวลาต่อมา สัตว์ลำตัวอ่อนนุ่มอาจกำเนิดขึ้นมากมายก่อนยุคแคมเบรียน แต่ร่างกายที่อ่อนนุ่มไม่สามารถถูกเก็บรักษาไว้ได้ จึงไม่มีหลักฐานของสัตว์พวกนี้มากนัก ทำให้การวิเคราะห์เกี่ยวกับเรื่องการกำเนิดของชีวิตในอดีตมีความผิดพลาดได้ ตัวอย่างเช่น ไรน้ำที่เรียกว่า โคพิพอด (copepods) ซึ่งปัจจุบันมีจำนวนเป็นพัน ๆ สปีชีส์ แต่พบฟอสซิลเพียงเล็กน้อย นักวิจัยทางชีวโมเลกุลเสนอแนวคิดว่าสิ่งมีชีวิตประเภทนี้อาจมีวิวัฒนาการมาตั้งแต่ 200 ล้านปีที่ผ่านมา ฟอสซิลในยุคแคมเบรียนหลายประเภทที่ค่อนข้างมีความซับซ้อน เช่น ไทรโลไบต์ (trilobites) คงไม่ได้เกิดขึ้นมาทันทีทันใดในช่วง 545 ล้านปี แต่ต้องเกิดและพัฒนาาก่อนหน้านั้น ในการที่จะสนับสนุนข้อคิดนี้ การวิจัยทางชีวโมเลกุลแสดงให้เห็นว่า สัตว์หลายกลุ่มอาจเกิดขึ้นมาตั้งแต่ 1,000 ล้านปีที่ผ่านมา สัตว์พวกนี้อาจมีขนาดเล็กและไม่มีส่วนโครงร่างแข็งให้เก็บรักษา อาจมีรูปร่างคล้าย ๆ กับระยะตัวอ่อน (larval stages) ของสัตว์ทะเลในปัจจุบัน

ตารางและชื่อชั้นต่าง ๆ และการแบ่งยุคทางธรณีวิทยาด้วยซากดึกดำบรรพ์ เป็นไปโดยลำดับดังนี้

4560-545 Ma (million years ago) **Precambrian/ Cryptozoic Eon** ช่วงเวลาแรกเกิดของชีวิต แต่ไม่ค่อยพบข้อมูลหลักฐาน

4560-3800 Ma **Hadean Era** ช่วงเวลาของชีวิตก่อนวิวัฒนาการ

3800-2500 Ma **Archean Era** เป็นช่วงที่สิ่งมีชีวิตประเภทเดียวที่กำเนิดมาบนโลกคือ โปรคาริโอต

2500-545 Ma **Proterozoic Era** ช่วงเวลาที่มีการกำเนิดและวิวัฒนาการของยูคาริโอต

545 Ma- ปัจจุบัน **Phanerozoic Eon** ช่วงเวลาที่มีข้อมูลหลักฐานที่ชัดเจนจำนวนมากเกี่ยวกับชีวิตที่กำเนิด และวิวัฒนาการ

545-248 Ma **Paleozoic Era** ช่วงเวลาของชีวิตสมัยโบราณ ระยะเริ่มต้นของ 4 มหายุค

545-495 Ma **Cambrian** ชื่อมาจากคำภาษาโรมันแปลว่า “เวลส์” *Cambria* คือชื่อหินในยุคนี้ที่พบครั้งแรกที่ตอนเหนือของเวลส์

495-443 Ma **Ordovician** ชื่อมาจาก *Ordovices* ชนเผ่าที่อยู่ทางตอนเหนือของเวลส์

443-417 Ma **Silurian** ชื่อมาจาก *Silures* ชนเผ่าที่อยู่ทางตอนใต้ของเวลส์

417-354 Ma **Devonian** ชื่อมาจากหมู่บ้านในเมืองเดวอน ทางตะวันตกเฉียงใต้ของอังกฤษ

354-290 Ma **Carboniferous** ชื่อมาจากจำนวนมหาศาลของคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) ต่อมาเปลี่ยนไปเป็นถ่านหิน สะสมในช่วงยุคนี้

290-248 Ma **Permian** ชื่อมาจากอาณาจักรเอเชียโบราณที่ชื่อ Permia

248-65 Ma **Mesozoic Era** มหายุคที่สอง ช่วงกลางของชีวิต

248-206 Ma **Triassic** ชื่อมาจากลักษณะของชุดหินในเยอรมัน

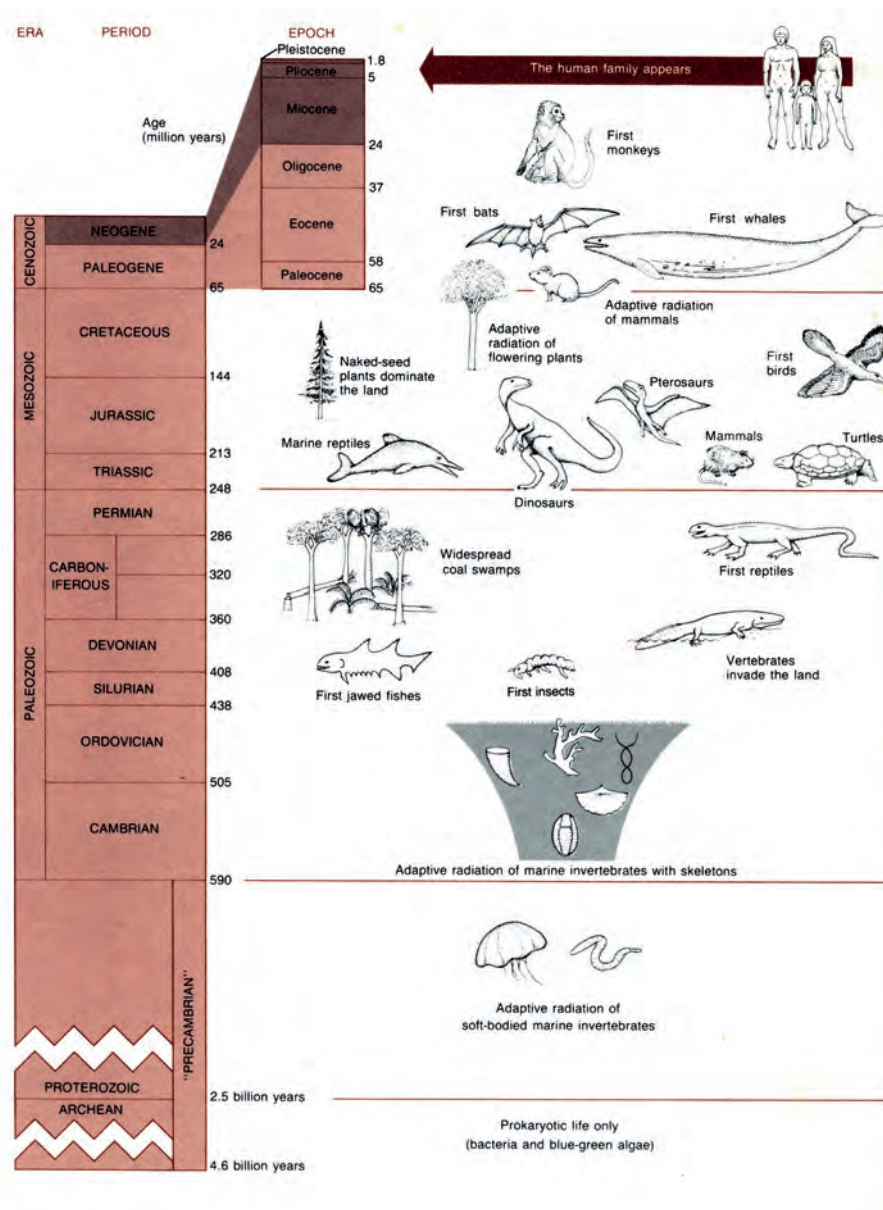
206-142 Ma **Jurassic** ชื่อมาจากภูเขายูราในประเทศฝรั่งเศสและสวิตเซอร์แลนด์

142-65 Ma **Cretaceous** ชื่อจากภาษาละติน *creta* แปลว่า หอสลัก

65 Ma ถึงปัจจุบัน **Cenozoic Era** ช่วงของชีวิตในยุคปัจจุบัน

65-1.8 Ma **Tertiary** ถือว่าเป็นมหายุคที่สามของสิ่งมีชีวิต

1.8 Ma ถึงปัจจุบัน **Quaternary** เป็นมหายุคที่สี่ของสิ่งมีชีวิต ยุคสุดท้ายของ 545 ล้านปีที่ผ่านมา



รูปที่ 1-9 แผนภูมิแสดงอายุทางธรณีวิทยา และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตบนโลก
(ที่มา : Stanley, 1986)

ในสภาพที่ไร้ออกซิเจนของบางพื้นที่ที่สัตว์ตายลง ทำให้การเก็บรักษาซากเหล่านี้แม้เนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม ก็สามารถรักษาไว้ได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างที่มีชื่อเสียงมากจากประเทศเยอรมนี เป็นฟอสซิลที่พบในหินปูนยุคจูราสซิกของ *Archaeopteryx* ถือว่าเป็นนกพวกแรกที่เกิดขึ้นบนโลกนี้ แมลงปอ กุ้ง และสัตว์เลื้อยคลานด้วยน้ำนมหลายชนิดอาจเสียชีวิตลงในทะเลสาบช่วงที่น้ำแห้งและถูกโคลนฝังร่างเอาไว้ในสภาพไร้ออกซิเจน จนเป็นฟอสซิลที่สมบูรณ์ในที่สุด ตัวอย่างที่มีชื่อเสียงสำหรับฟอสซิลจำนวนมาก ในช่วงยุคแคมเบรียนเมื่อราว 500 ล้านปีที่ผ่านมานี้ และเก็บรักษาไว้เป็นอย่างดีคือที่ Burgess Shale ที่ประเทศแคนาดา ค้นพบเมื่อต้นศตวรรษที่ 20 ซากเหล่านี้ถูกเก็บไว้ในโคลนใต้ท้องทะเล ต่อมามีการสะสมเป็นชั้นของหินชนวนหินดินดานรักษาทั้งส่วนแข็งและส่วนอ่อนนุ่มของร่างกาย