

บทที่ 10

วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

(EVOLUTION)

วราภรณ์ กิจวิริยะ

วิวัฒนาการ (Evolution) ของสิ่งมีชีวิต หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่ละเล็กทีละน้อยจากแบบดั้งเดิมสืบต่อเนื่องกันตลอดระยะเวลาอันยาวนาน จนกระทั่งสิ่งมีชีวิตปัจจุบันแตกต่างจากแบบเดิมอย่างมากมาย การวิวัฒนาการหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่กล่าวมาเชื่อกันว่าเป็นผลของการทำงานร่วมกันระหว่างกรรมพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตกับสภาพแวดล้อมซึ่งเปลี่ยนแปลงเสมอมาตลอดระยะเวลา

สมัยก่อนมนุษย์เชื่อกันว่าพระเจ้าคือผู้สร้างโลกและชีวิตทุกชีวิตในโลก ต่อมาความเชื่อนี้ได้เปลี่ยนแปลงไป โดยที่เชื่อว่าชีวิตทั้งหลายเกิดการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยจากสิ่งมีชีวิตที่มีความเป็นอยู่และรูปร่างอย่างง่าย ๆ กลายเป็นชีวิตที่มีความเป็นอยู่ที่ยุ้งยากและมีรูปร่างที่พิสดารขึ้น ดังเช่น Anaximander (600—400 ปีก่อนคริสตศักราช) กล่าวว่า มนุษย์เริ่มแรกอาศัยอยู่ในน้ำและมีผิวหนังแบบเกล็ดปลา ต่อมาเปลี่ยนแปลงมาดำรงชีวิตอยู่บนบกและมีผิวหนังที่เรียบขึ้น Aristotle นักปราชญ์ชาวกรีกกล่าวว่า มนุษย์เกิดมาจากดิน แต่มีลักษณะและกลไกของชีวิตที่เหมาะสมที่จะดำรงอยู่ในสภาวะแวดล้อม และอาจมีการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะความเป็นอยู่อย่างง่าย ๆ และสมบูรณ์น้อยมาเป็นลักษณะที่ซับซ้อนและสมบูรณ์ยิ่งขึ้นได้

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านพยายามศึกษาค้นคว้าเรื่องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตในรูปแบบของวิวัฒนาการ และได้เสนอเรื่องที่น่าสนใจหลักการของวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตไว้หลายท่าน ดังเช่น Lamarck, Darwin และ De Vries เป็นต้น

ทฤษฎีที่สนับสนุนหลักการวิวัฒนาการ

1. **ทฤษฎีของลามาร์ก (Lamarckian theory)** Jean Baptiste de Lamarck (ค.ศ. 1744—1829) นักชีววิทยาชาวฝรั่งเศสได้เสนอทฤษฎีของการใช้และไม่ใช้ (Theory of Use and Disuse) และทฤษฎีการถ่ายทอด (Inheritance of Acquired Characteristics) เขากล่าวว่าอวัยวะที่ไม่ใช้เลยและไม่เป็นประโยชน์จะค่อย ๆ สืบและในที่สุดก็จะหายไป อวัยวะที่ใช้มากจะมีการเจริญใหญ่โต เพื่อเปลี่ยนแปลงไปให้เหมาะสมแก่งานนั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงอวัยวะทั้ง 2 ลักษณะดังกล่าวนี้จะเป็นกรรมพันธุ์สามารถถ่ายทอดต่อไปยังลูกหลานได้ ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตในรุ่นต่อ ๆ มา Lamarck ได้ยกตัวอย่างของยีราฟ โดยให้เหตุผลว่าบรรพบุรุษของยีราฟมีคอสั้นมาก แต่ในลูกหลานมีคอยาว เนื่องจากยีราฟรุ่นหลัง ๆ หากินใบไม้ใบหญ้าไม่ค่อยมี ต้องหาใบไม้ในที่สูง ๆ ทำให้มันต้องยืดคอกอยู่เสมอ คอจึงยาวขึ้น และลักษณะคอยาวนี้ได้ถ่ายทอดมาสู่รุ่นลูกหลาน จนถึงปัจจุบันนี้ยีราฟจึงมีคอที่ยาวมาก ในนกเป็ดน้ำที่มีแผ่นหนังที่เท้าสำหรับว่ายน้ำได้นั้น Lamarck อธิบายว่าเดิมนกนี้เป็นสัตว์บก ต่อมาหากินในน้ำจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เท้าว่ายน้ำ ทำให้มีการสร้างหนังขึ้นระหว่างนิ้วเท้าขึ้นมา

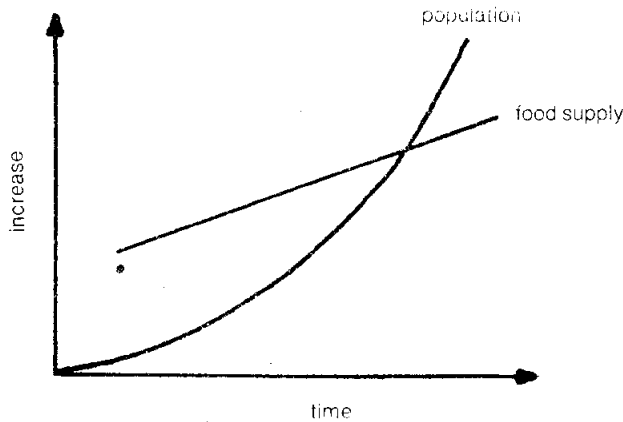
จะเห็นว่ากลไกของวิวัฒนาการตามทัศนะของ Lamarck อาศัยหลักสำคัญต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดในธรรมชาติในลักษณะดังนี้ คือ

- 1) มีพลังที่จะทำให้ลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตเติบโตถึงระดับสูงสุดที่ธรรมชาติจะอำนวยได้
- 2) มีลักษณะที่จะทำหน้าที่ให้เหมาะสมเพื่อสามารถที่จะดำรงชีวิตให้สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อม
- 3) มีการฝึกปรนการใช้อวัยวะให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมเพื่อจะดำรงชีวิตอยู่รอดได้
- 4) สามารถจะถ่ายทอดลักษณะที่ได้ฝึกปรนให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมให้แก่ลูกหลานเพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ต่อไป

ทฤษฎีของลามาร์กมีผู้เชื่อถืออยู่เป็นเวลานาน ภายหลังมีผู้ทำการทดลองพิสูจน์ทฤษฎีและพบว่ามิได้เป็นไปตามที่ลามาร์กกล่าวไว้ Weismann คือ ผู้ที่พิสูจน์ทฤษฎีโดยได้ทดลองตัดหางหนูให้สั้นลงติดต่อกันหลาย ๆ รุ่น เขาพบว่าหนูรุ่นสุดท้ายยังคงมีหางที่ยาวอยู่

2. **Malthus and The Theory of Population** Malthus (ค.ศ. 1766—1834) เป็นนักคณิตศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ ได้เขียนหนังสือชื่อ Essay on Population ในปี ค.ศ. 1766 โดยกล่าวถึงแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนประชากรของสัตว์กับปริมาณอาหารว่าเป็นอัตราส่วนที่ไม่เท่ากัน เขาเชื่อว่าปริมาณของสัตว์มีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วและเป็นจำนวนมาก (เพิ่ม

อัตราส่วนแบบเรขาคณิต) ในขณะที่อาหารจะมีจำนวนเพิ่มน้อย (เพิ่มอัตราเป็นแนวเส้นตรง) (รูปที่ 10-1) เพราะฉะนั้น สิ่งที่จะจำกัดปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่จะอยู่รอดได้ คือ อาหาร ซึ่งอาจจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิต



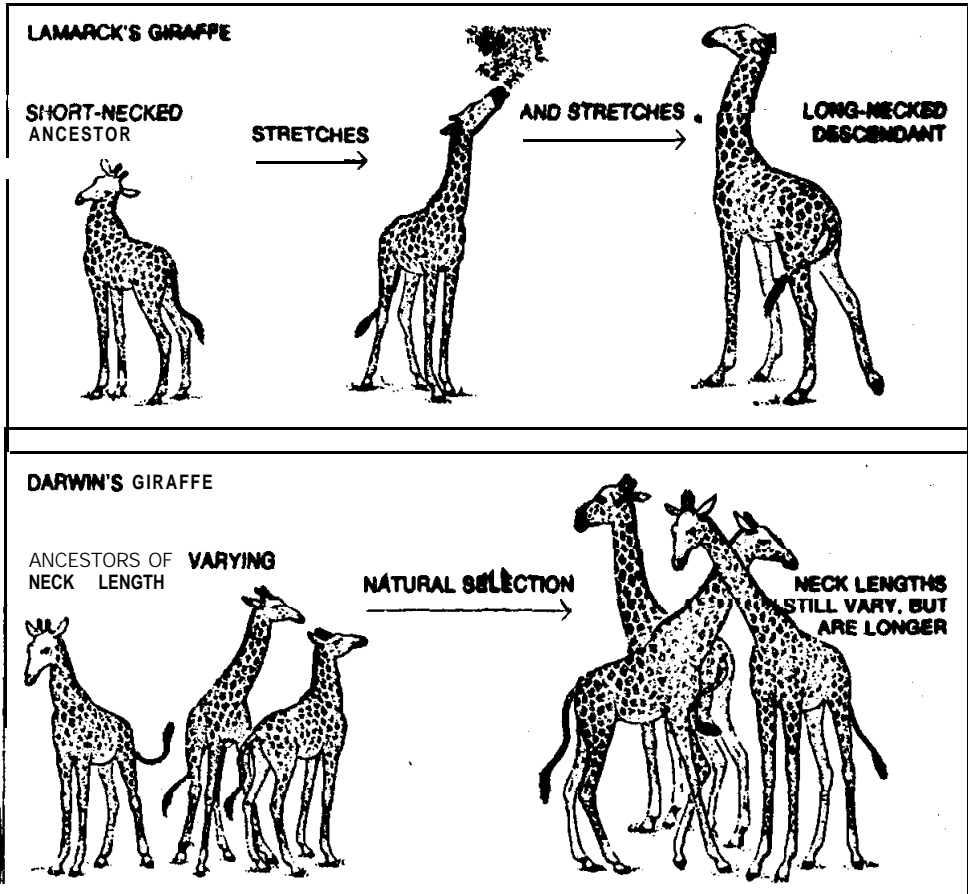
รูปที่ 10-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากรและปริมาณอาหารของ Malthus

ข้อเสนอที่ Malthus แสดงไว้ ปัจจุบันกำลังเป็นปัญหาสำคัญของมนุษย์ นักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ในปัจจุบันพยายามที่ค้นคว้าศึกษาเพื่อคลี่คลายปัญหาการขาดแคลนอาหารของมนุษย์ที่จะมีในอนาคต

3. ทฤษฎีของดาร์วิน (Darwin's Theory of Natural Selection) Charles Darwin (ค.ศ. 1809-1882) นักธรรมชาติวิทยาชาวอังกฤษ เขาได้ท่องเที่ยวและสำรวจไปกับเรือชื่อ Beagle เพื่อสำรวจทวีปอเมริกาใต้และหมู่เกาะ Galapagos และได้รวบรวมตัวอย่างพืชและสัตว์ไว้ ภายหลังจากที่ได้รวบรวมและศึกษาตัวอย่างพืชและสัตว์เป็นเวลาประมาณ 20 ปี เขาได้เขียนทฤษฎีวิวัฒนาการ ทฤษฎีที่มีชื่อเสียงของ Darwin คือ ทฤษฎีการคัดเลือกตามธรรมชาติ (Theory of Natural Selection) ซึ่งเขียนไว้ในหนังสือ The Origin of Species by Natural Selection, or The Preservation of Favor Races in the Struggle for Life.

ทฤษฎีของดาร์วินกล่าวว่า สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันย่อมมีลักษณะที่แตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อย ลักษณะต่างนี้เรียกว่า variation สิ่งมีชีวิตอาจมีลูกหลานเป็นจำนวนมาก แต่จำนวนของชีวิตแต่ละชนิดเกือบจะคงที่ เพราะมีจำนวนหนึ่งตายไปและสิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องมีการต่อสู้เพื่อความอยู่รอด (struggle for existence) ชีวิตที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้นที่สามารถสืบพันธุ์เพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ของตนไว้ได้ นั่นคือ เกิดเป็นกระบวนการคัดเลือกโดย

ธรรมชาติ สิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้นที่อยู่รอด (survival of the fittest) ในกรณียีราฟที่คอยาวนั้น ดาร์วินอธิบายว่าบรรพบุรุษของยีราฟมีคอสั้น เมื่อมีลูก ลูกที่เกิดมามี variation มาก บางตัวอาจคอยาว บางตัวอาจคอสั้น ตัวที่มีคอยาวได้เปรียบกว่าในการหาอาหาร โดยที่สามารถกินอาหารที่อยู่สูงได้ พวกคอสั้นนั้นเมื่อหาอาหารกินไม่ได้ก็จะตายไป จึงเหลือแต่พวกคอยาว ซึ่งพวกนี้เมื่อออกลูกมาก็จะมี variation อีก พวกที่มีคอยาวได้เปรียบเสมอ ก็จะอยู่ต่อมาเรื่อย ๆ ดังปัจจุบันนี้ จะเห็นว่ามียีราฟคอยาวมากเท่านั้น (รูปที่ 10-2)



รูปที่ 10-2 แสดงภาพของการที่ยีราฟวิวัฒนาการตามทฤษฎีของลามาร์ค (บน) เมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีของดาร์วิน (ล่าง)

ตามทัศนะของดาร์วิน กลไกของวิวัฒนาการมิได้อยู่ที่การฝึกปรนลักษณะที่ต้องการให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม หากแต่สภาวะแวดล้อมทำให้เกิดการคัดเลือกทางธรรมชาติ เพื่อที่จะให้ลักษณะที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม มีโอกาสสืบพันธุ์แพร่ต่อ ๆ มามีให้สูญ

4. ทฤษฎีของไวส์มัน (Weismann's Theory) August Weismann (ค.ศ. 1834–1914)

นักชีววิทยาชาวเยอรมัน เขาเป็นผู้ทดลองตัดหางหนูเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีของ Lamarck และได้ตั้งทฤษฎีชื่อว่า Theory of the Continuity of the Germ Plasm อันเป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงการถ่ายทอดลักษณะต่อกันเนื่องจากเซลล์สืบพันธุ์ เขาอธิบายว่าลักษณะใดก็ตามที่สามารถถ่ายทอดสู่ลูกหลานได้นั้น เกิดได้เนื่องจากเซลล์สืบพันธุ์ (germ plasm) ส่วนเซลล์อื่นของร่างกาย (somatic plasm) มิได้เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดลักษณะไปสู่ลูกหลานได้เลย

5. ทฤษฎีของเดอฟรีส์ (De Vries Theory) Hugo de Vries (ค.ศ. 1840–1935) นัก

พฤกษศาสตร์ชาวฮอลันดา เป็นผู้ตั้งทฤษฎีผ่าเหล่า (Mutation Theory) ขึ้น เขาเชื่อว่าการผ่าเหล่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์อย่างกะทันหัน และลักษณะที่เปลี่ยนแปลงนี้สามารถถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้ ถ้าลักษณะใหม่นี้ยู่ได้ในสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ต่อมา

6. ทฤษฎีวิวัฒนาการสมัยใหม่ (Modern Theory of Evolution) เป็นการนำความรู้

จากการค้นคว้าของ Mendel ในเรื่องพันธุศาสตร์ De Vries ในเรื่องของการผ่าเหล่ามารวบรวมอธิบายกับการคัดเลือกตามธรรมชาติของ Darwin ทฤษฎีใหม่นี้กล่าวเน้นในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของประชากรมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของชีวิตใดชีวิตหนึ่ง นักชีววิทยาเชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมีความเกี่ยวพันทางพันธุกรรม variation ต่าง ๆ เกิดจากการรวมตัวจับคู่ของหน่วยกรรมพันธุ์ (gene recombination) หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของหน่วยกรรมพันธุ์ (gene mutation) และการอยู่รอดในธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตเกิดจากความสามารถในการผลิตลูกหลานเป็นจำนวนมากเพื่อที่จะมีชีวิตอยู่รอดมากกว่าการแก่งแย่งดิ้นรนต่อสู้เพื่อให้ชีวิตดำรงอยู่

หลักฐานต่าง ๆ ที่สนับสนุนวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามค้นคว้าและรวบรวมหลักฐานต่าง ๆ สำหรับสนับสนุนว่าวิวัฒนาการมีจริง คือ

1. หลักฐานทางธรณีวิทยา (Geological evidence) นักวิทยาศาสตร์ได้พบซากพืช

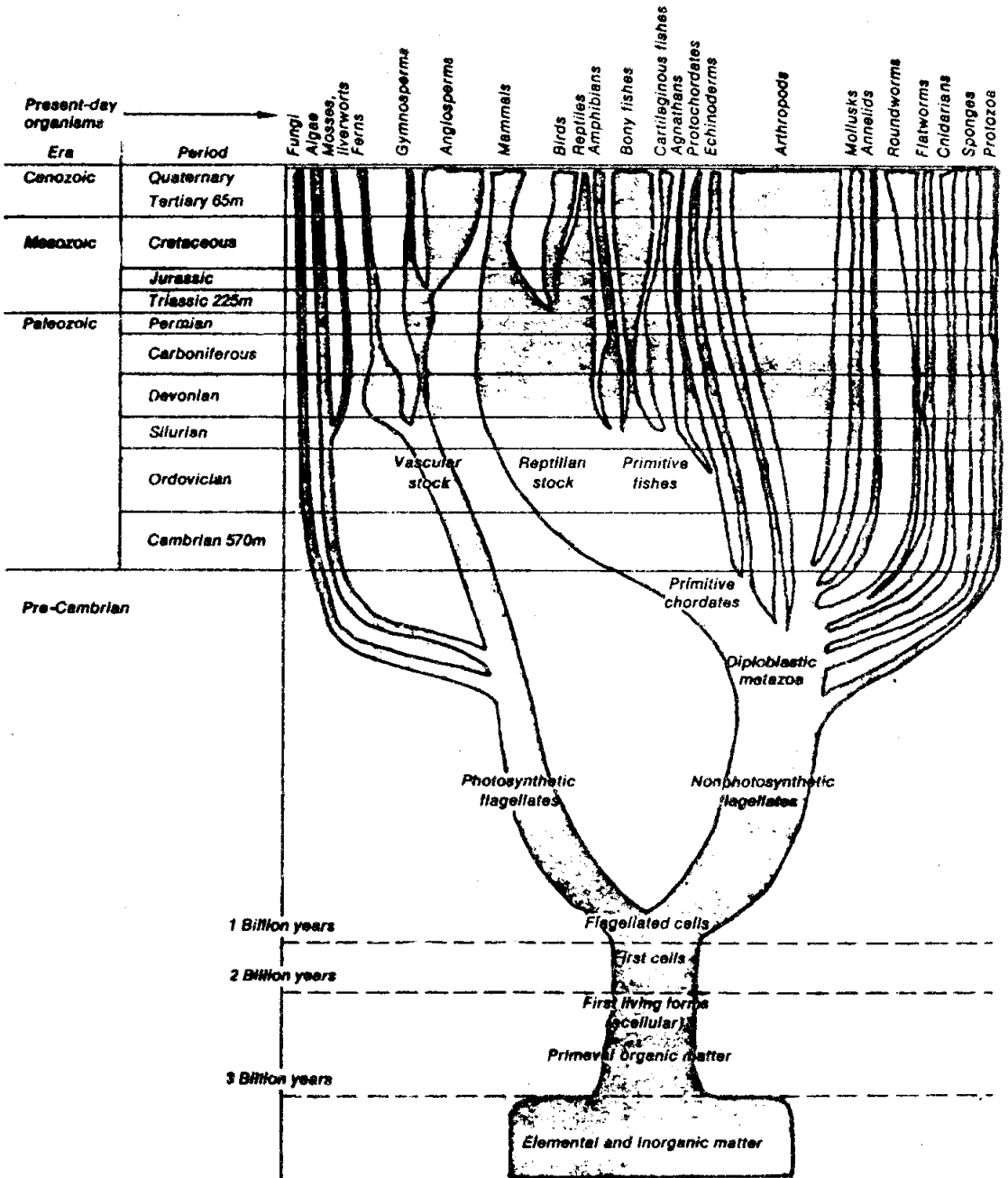
และสัตว์ในหินชั้นต่าง ๆ ซากเหล่านี้เรียกว่า คด หรือ fossil ซึ่งอาจเป็นโครงกระดูกของสัตว์หรือรอยเท้า หรือแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เข้าไปแทนที่เนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เช่น สาร silica เข้าไปแทนที่ cellulose ทำให้เกิดเห็นเป็นลักษณะวงปีในพืช วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับ fossil เรียกว่า Paleontology จาก fossil ที่ขุดพบ นักธรณีวิทยาสามารถที่จะคำนวณได้ว่า fossil มีอายุนานมาแล้วเท่าใดเกิดในช่วงยุคใด ฉะนั้น ซากชีวิตสมัยโบราณจึงเป็นเสมือนกุญแจในการที่จะไขความจริงของ

ธรรมชาติว่าซากชีวิตใดเกิดก่อนเกิดหลัง เช่น พวกแบคทีเรีย (*Eobacterium isolatum*) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Archeosphaeroides barbertenensis*) เกิดเมื่อประมาณ 3 พันล้านปีมาแล้ว สาหร่ายสีเขียว *Caryosphaeroides* และ *Glenobotrydion* เกิดประมาณ 1 พันล้านปีมาแล้ว เป็นต้น

จากการศึกษาซากพืชพบว่า สาหร่ายมีมาตั้งแต่ยุค Precambrian พืชที่มีท่อลำเลียง (vascular plant) เริ่มจะมีปรากฏในปลายคาบ Silurian พวกสนมีเมล็ด (gymnosperm) เริ่มมีกลางคาบ Devonian และพวกไม้ดอก (angiosperm) ปรากฏมีในคาบ Jurassic ของยุค Mesozoic สำหรับในสัตว์ ปรากฏว่าในยุค Precambrian ปรากฏมีเฉพาะสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเท่านั้น สัตว์ที่มีกระดูกสันหลังพวกแรกที่เกิดขึ้นปรากฏมีในคาบ Ordovician ในยุค Paleozoic ได้แก่ ปลาที่ไม่มีกระดูกขากรรไกร ในคาบ Silurian ของยุคเดียวกัน จะเริ่มมีปลาที่มีกระดูกขากรรไกร และเริ่มมีสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ (amphibian) และในยุคเดียวกันจะเริ่มมีสัตว์เลื้อยคลาน (reptile) ใกล้เคียงคาบ Triassic ในยุค Mesozoic จะเริ่มมีสัตว์เลื้อยคลานคล้าย ๆ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และใกล้เคียง ๆ กับคาบ Jurassic ในยุคเดียวกันจะเริ่มมีสัตว์เลื้อยคลานคล้ายนก และในคาบ Cretaceous ของยุคนี้เริ่มมีสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมพวกแรก ๆ ซึ่งเข้าใจว่าได้วิวัฒนาการมาเป็นพวกที่ก้าวหน้าในคาบ Tertiary ของยุค Cenozoic (รูปที่ 10-3)

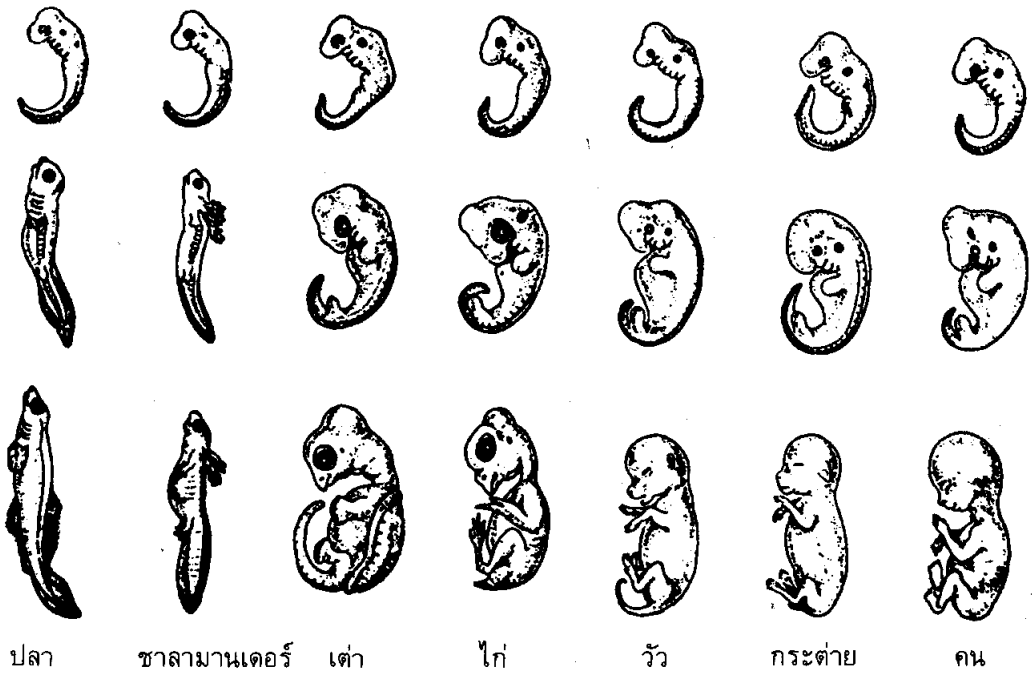
2. หลักฐานทางสัณฐานวิทยา (Morphological evidence) จากการเอาโครงสร้างหรืออวัยวะของสัตว์มาเปรียบเทียบกัน พบว่าสัตว์ที่มีอวัยวะที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานอย่างเดียวกัน จะมีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมมากกว่าสัตว์ที่มีโครงสร้างพื้นฐานของอวัยวะที่ต่างกันออกไป จากการศึกษากายวิภาคเปรียบเทียบพบว่าสัตว์พวก chordates มีลักษณะบางอย่างเหมือนกัน คือ มี notochord มีช่องเหงือกและมีท่อเส้นประสาทกลางในสัตว์มีกระดูกสันหลัง ระบบประสาท โครงกระดูก การขับถ่าย และการหมุนเวียนโลหิตมีลักษณะคล้ายคลึงกัน และค่อยเพิ่มความสลับซับซ้อนในสัตว์ชั้นสูงขึ้นมา ในมนุษย์อาจมีโครงสร้างหรืออวัยวะที่เปลี่ยนแปลงไปจนใช้การไม่ได้หรือหดหายไป (vestigial organ) เช่น กระดูกปลายสันหลังอันเป็นร่องรอยของหางที่เคยปรากฏในบรรพบุรุษของคน

3. หลักฐานจากกัพภวิทยา (Embryological evidence) สามารถแสดงความสัมพันธ์ใกล้เคียงของสัตว์พวกต่าง ๆ ได้ เช่น การเจริญของ notochord ในขณะที่เป็นลูกอ่อนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทำให้จัดอยู่รวมพวกกับสัตว์พวก Amphioxus ได้ ในตัวอ่อนของสัตว์มีกระดูกสันหลังพบมีการเจริญของ pharyngeal pouches หรือ gill clefts ซึ่งในปลาและสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำเจริญเป็นเหงือก แต่ในสัตว์เลื้อยคลาน นกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่ปรากฏเป็นเหงือก



รูปที่ 10-3 แสดงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตจากหลักฐานของซากดึกดำบรรพ์และอายุหินในยุคต่าง ๆ

หากแต่เปลี่ยนแปลงและเจริญเป็นอวัยวะอื่น ๆ เช่น ขากรรไกร หลอดลม และกระดูกหู เป็นต้น การที่ตัวอ่อน (embryo) ของคนมีหัวใจ 2 ห้อง และปรากฏคล้ายกับมีหางชั่วคราวระยะหนึ่ง เป็นการแสดงลักษณะของบรรพบุรุษออกมาให้เห็น นับว่าเป็นหลักฐานอย่างหนึ่งที่แสดงความสัมพันธ์ของการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต (รูปที่ 10-4)



รูปที่ 10-4 เปรียบเทียบการเจริญของ embryo ของสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่าง ๆ

4. หลักฐานทางสรีรวิทยา (Physiological evidence) จากการศึกษาทางสรีรวิทยา ทำให้ทราบว่า protoplasm ของสัตว์เกือบทุกชนิดมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกันมาก แม้แต่สารเคมีบางอย่างที่เป็นผลผลิตของร่างกายในสัตว์บางชนิดอาจนำมาใช้แทนกันได้ เช่น นำเอาฮอร์โมน Thyroxin ของวัวฉีดเข้าไปในลูกอ่อนของกบ ที่แกะเอาต่อม Thyroid ออกแล้ว ปรากฏว่าลูกกบเจริญได้ตามปกติ และการที่สัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่าง ๆ มีฮอร์โมนที่กระตุ้นการผลิตน้ำนมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่เรียก Lactogenic hormone พบมีอยู่ด้วยในสัตว์พวกนก และมีหน้าที่กระตุ้นให้นกกกไข่

จากการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของ phosphagens ในกล้ามเนื้อสัตว์และวัตถุที่ประกอบอยู่ที่เม็ดเลือดซึ่งช่วยในการนำออกซิเจนไปให้เซลล์ในร่างกาย ทำให้เราสามารถทราบความเกี่ยวข้องของไกลซีโคเจนระหว่างสัตว์พวกต่าง ๆ ได้ เช่น สัตว์พวก annelids arthropods

และหอยต่าง ๆ มีความใกล้ชิดกัน และสัตว์พวก echinoderms ใกล้ชิดกับสัตว์พวก chordates เป็นต้น

จากการตรวจเซรุ่ม (serum) ของเลือดสัตว์ต่าง ๆ ก็ปรากฏว่าเลือดของสัตว์สามารถแสดงความสัมพันธ์อันถึงความใกล้ชิดในหมู่นั้น ๆ ได้ เช่น เมื่อทดลองฉีดเซรุ่มของสุนัขให้กับกระต่าย เซรุ่มของสุนัขนี้จะกลายเป็น antigen ในกระต่ายและกระต่ายจะสร้างสารต่อต้านภายในร่างกายที่เรียก antibody ขึ้นมา เมื่อนำเซรุ่มของสุนัขซ้ำที่สอง antibody จะรวมตัวกับ antigen เกิดเป็น precipitin ตกตะกอน เมื่อนำ precipitin นี้ไปผสมกับเซรุ่มของสัตว์ต่าง ๆ เช่น สุนัขป่า ม้า แมว และลิง ปรากฏการตกตะกอนกับเซรุ่มของสุนัขป่ามากกว่าเซรุ่มของแมว และไม่เกิดการตกตะกอนเลยเมื่อผสมกับเซรุ่มของม้าและลิง จากการทดลองนี้แสดงว่าสุนัขป่าและแมวมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับสุนัขมากกว่าม้าและลิง

5. หลักฐานทางภูมิศาสตร์ (Geographical evidence) สัตว์ที่อยู่บนผืนแผ่นดินใหญ่หรือบนเกาะที่อยู่ใกล้เคียงกันจะมีรูปร่างคล้ายคลึงกันมาก บนเกาะบางเกาะสัตว์ที่อาศัยอยู่เป็นสัตว์ที่แตกต่างกับสัตว์ในที่อื่น ๆ ตัวอย่าง เช่น สัตว์ที่มีงูหน้าท้อง พวกจิ้งจอกและสัตว์อีกหลายชนิดในทวีปออสเตรเลีย ทั้งนี้เนื่องจากการไม่ได้ติดต่อกับแผ่นดินอื่น เมื่อเป็นผืนแผ่นดินติดต่อกันสัตว์ต่าง ๆ แพร่กระจายไปตามที่ต่าง ๆ ได้เกือบทั่ว แต่เมื่อมีการแยกทวีป เกิดภูเขาไฟหรืออุปสรรคอย่างอื่นทำให้สัตว์แยกออกจากกัน จึงต่างก็มีวิวัฒนาการไปคนละทาง เช่น กรณีของอูฐในทวีปเอเชียและแอฟริกากับลามะ (llama) ในทวีปอเมริกาใต้ เริ่มแรกที่เดียว สัตว์ 2 แห่งนี้มีต้นตระกูลร่วมกันอยู่ที่บริเวณทวีปอเมริกาเหนือ ต่อมาได้แพร่กระจายแยกทางกัน เมื่อเกิดการแยกทวีปทำให้ต่างก็ไปเจริญและวิวัฒนาการเป็นอูฐและลามะที่มีรูปร่างคล้ายคลึงกันในทวีปดังกล่าว

6. หลักฐานจากการเลี้ยง (Domestication) มนุษย์รู้จักการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์เป็นเวลานานแล้ว และมีการปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์ที่แตกต่างไปจากเดิมมาก เช่น สุนัขเริ่มแรกมาจากสัตว์ป่า ปัจจุบันกลับกลายเป็นสัตว์เลี้ยงซึ่งมีหลายพันธุ์ สำหรับพืชซึ่งเป็นตัวอย่างของประเทศไทย คือ พันธุ์ข้าวและพันธุ์กล้วยไม้ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

กลไกของวิวัฒนาการ

นักชีววิทยาปัจจุบันนี้เชื่อว่า การวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นโดยมีธรรมชาติเป็นสำคัญในการคัดเลือกความแปรผันของหน่วยพันธุกรรมซึ่งเกิดในหมู่ประชากร

ในประชากรของสิ่งมีชีวิตหมู่ใด ๆ จะมีการผสมพันธุ์กันระหว่างประชากรในหมู่นั้น ๆ

หรือต่างหมู่กัน จากการผสมพันธุ์กันนี้ทำให้เกิดความอิสระในการแพร่กระจายของหน่วยกรรมพันธุ์สู่กลุ่ม gene ของประชากร (gene pool) นั่นคือ สิ่งมีชีวิตมีโอกาสรับหรือถ่ายทอดลักษณะทางกรรมพันธุ์สู่หมู่ประชากร การผสมพันธุ์กันจึงเป็นเสมือนการปะปนของ gene ในหมู่สัตว์ชนิดนั้น ๆ

ปกติแล้ว gene pool มีลักษณะค่อนข้างจะคงที่ (stable) ในขณะที่แต่ละชีวิตจะมีการแปรผันของหน่วยพันธุกรรมเกิดอยู่เสมอ ๆ ทั้งนี้เพราะสิ่งมีชีวิตเกิด gene recombination เนื่องจากการสืบพันธุ์ หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (mutation) ที่หน่วยกรรมพันธุ์ หรือเกิดทั้ง 2 สิ่งนี้พร้อมกัน การแปรผันเช่นที่กล่าวมาแล้วนี้อาจมีผลกระทบต่ออัตราส่วนของ gene ที่มีอยู่ใน gene pool และจะทำให้ gene pool มีการเปลี่ยนแปลงไปได้ จนในที่สุดการเปลี่ยนแปลงนี้อาจจะเปลี่ยนลักษณะของชนิดในหมู่ประชากร หรือกำจัดชีวิตที่ผิดปกติที่สุด (extreme) ออกไปจากกลุ่มของประชากร ดังปรากฏมีการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตบางชนิดไปจากโลกนี้มาแล้ว

นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ G.H. Hardy และนายแพทย์ชาวเยอรมันชื่อ W. Weinberg ต่างแสดงข้อมูลอย่างไม่ได้ปรึกษากันมาก่อน ในปี ค.ศ. 1908 โดยใช้หลักเกณฑ์การถ่ายทอดกรรมพันธุ์ของ Mendel ข้อเสนอของนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่านนี้ปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางที่เรียกว่าสมภาวะสมดุลของ Hardy and Weinberg หรือกฎของ Hardy and Weinberg

กฎของ Hardy and Weinberg กล่าวว่า ในประชากรกลุ่มใหญ่ซึ่งมีการผสมพันธุ์เกิดขึ้นในลักษณะไม่มีการคัดเลือก (random mating) และไม่มี gene mutation ในกลุ่มประชากรเกิดขึ้นแล้ว ประชากรในหมู่นั้นจะคงเดิม นั่นคือ ในประชากรกลุ่มใดที่มี genetic equilibrium และ gene frequency ไม่เปลี่ยนแปลง อัตราการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการ (rate of evolution) จะไม่เกิดขึ้น สมมุติในประชากร มี gene A และ a ในอัตราดังนี้

AA	36%	
Aa	48%	
aa	16%	
เมื่อมีการผสมพันธุ์ A gamete	จะมี	36% (จาก AA)
		+
		<u>24%</u> (จาก Aa)
		= <u>60%</u>
และ a gamete	จะมี	16% (จาก aa)
		+
		<u>24%</u> (จาก Aa)
		= <u>40%</u>

การผสมของ gamete A และ a อาจเกิดได้ในลักษณะดังนี้

A (พ่อ)	×	A (แม่)
A (พ่อ)	×	a (แม่)
a (พ่อ)	×	A (แม่)
a (พ่อ)	×	a (แม่)

ถ้าการผสมพันธุ์นี้เกิดในลักษณะ random และไม่มี gene mutation ประชากรรุ่นต่อไป gene frequency จะคงที่ ดัง

$$\begin{aligned}
 A \times A &= 60\% \times 60\% = 36\% \\
 a \times a &= 40\% \times 40\% = 16\% \\
 A \times a &= 60\% \times 40\% = 24\% \\
 a \times A &= 40\% \times 60\% = 24\%
 \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ตามกฎของ Hardy and Weinberg แสดงได้ในเชิงคณิตศาสตร์ตามหลักของ Binomial $(p + q)^2$ หรือ $p^2(AA) + 2pq(Aa) + q^2(aa)$ เมื่อ $p + q = 1$ จากตัวอย่างข้างต้น ถ้าเราทราบว่าอัตราของ gene aa = 40% เราจะทราบได้ว่า $q = 0.4$, $p = 1 - q$ หรือ $1 - 0.4 = 0.6$ ดังนั้น อัตราของ heterozygote จะเป็น $2pq$ หรือ $2(0.6)(0.4) = 0.48$ แต่อัตรา (frequency) ของ gene คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ นั่นคือ $AA = 36\%$ $Aa = 48\%$ และ $aa = 16\%$

ถ้าคำนวณหาความถี่ของ genotype และ phenotype ในรุ่นถัดไปของประชากรเดียวกันนี้ ถ้าหากสภาพการณ์ของประชากรยังคงเป็นเช่นเดิม คือ ไม่มีปัจจัยที่สำคัญใด ๆ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของ gene สภาพการณ์จะเป็นไปตามกฎของ Hardy and Weinberg และความถี่ของ gene จะคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง และนั่นหมายความว่า ในประชากรกลุ่มนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในลักษณะของวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นเลย

การเกิดวิวัฒนาการจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อจะต้องมีปัจจัยบางอย่างเกิดขึ้นและมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ gene ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุลทางพันธุกรรมมีดังนี้

1. การผสมพันธุ์เกิดขึ้นในลักษณะมีการคัดเลือก (ไม่เป็นแบบ random) ซึ่งในธรรมชาติเกิดขึ้นเสมอ คือ ทุก genetic type ในหมู่ประชากรมีอายุไม่ถึงขั้นที่จะออกลูกหลานสืบต่อมาได้ สมมุติใน gene AA Aa และ aa ถ้า AA ตายเสียขณะยังเล็กเป็นจำนวน $\frac{1}{3}$ ของประชากรที่มี gene AA ในกรณีเช่นนี้ใน 36% AA จะมีเพียง $\frac{2}{3}$ เท่านั้นที่สามารถถ่ายทอด gene นี้ให้กับ gene pool ได้ทำให้ gene frequency ของ AA ในประชากรเปลี่ยนแปลงไป

2. เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของประชากรโดยฉับพลัน (gene mutation) ผลของ gene mutation นี้จะเปลี่ยนแปลงความถี่ของ gene อย่างรวดเร็วในประชากรที่มีจำนวนสมาชิกน้อยมาก โดยที่ gene อาจสูญหายไปจากกลุ่มประชากรนั้น หรือประชากรมี gene ดังกล่าวร้อยเปอร์เซ็นต์ภายในไม่กี่ชั่วอายุ เหตุการณ์เช่นนี้มีบทบาทสำคัญมากในกระบวนการวิวัฒนาการ โดยเฉพาะในสภาพการของภูมิศาสตร์ที่เป็นเกาะ หรือในกรณีที่ประชากรแบ่งย่อยออกเป็นกลุ่มเล็ก ๆ เนื่องจากผลการเปลี่ยนแปลงทางภูมิศาสตร์หรือทางระบบนิเวศน์วิทยาของแหล่งที่อยู่อาศัย ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิด species ใหม่ได้อย่างรวดเร็ว

3. เกิด genetic drift คือ เกิดโอกาสมี gene อย่างหนึ่งมากกว่า gene อีกพวกหนึ่ง ผลของ genetic drift คล้ายกับเรื่องของ gene mutation คือ จะแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก และรวดเร็ว ในประชากรกลุ่มเล็ก Hardy and weinberg กล่าวว่า ในหมู่ประชากรที่มีจำนวนไม่ถึง 100 ชีวิต โอกาสที่ gene ใด ๆ จะมีมากกว่า gene อีกพวกนั้นมีได้มาก อันนี้เปรียบเทียบเช่นเดียวกับการโยนสตางค์ให้ขึ้นหัวหรือก้อย ถ้าโยนหลายครั้ง โอกาสขึ้นทั้ง 2 ด้านมีเกือบเท่ากัน แต่ถ้าโยนน้อยครั้ง โอกาสที่ gene ใดพวกหนึ่งมีมากกว่าอีกพวกหนึ่งจึงมีได้ง่ายดังนี้

4. การอพยพเข้าหรือออกจากกลุ่มประชากร การเปลี่ยนแปลงของ gene ต่อ gene pool จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนของประชากรที่มีอยู่เดิมและที่อพยพเข้ามาใหม่หรือย้ายออกไป

จากข้อ 2 ถึงข้อ 4 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการเกิดขึ้นได้รวดเร็วและชัดเจนในประชากรกลุ่มเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ของ gene จะเบี่ยงเบนไปจากค่าที่คาดคะเนว่าควรจะเป็นมาก แต่ถ้าประชากรเป็นกลุ่มใหญ่ค่าเบี่ยงเบนของ gene จากค่าที่คาดคะเนจะน้อยมากจนไม่ถึงนัยสำคัญ

5. การคัดเลือกทางธรรมชาติ (natural selection) ผลของการคัดเลือกทางธรรมชาติที่มีต่อการดำรงเผ่าพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตเป็นสิ่งที่ค่อนข้างสลับซับซ้อนและยากที่จะกล่าว สมาชิกที่ให้กำเนิดลูกหลานได้มากจะเป็นส่วนสำคัญในการให้ลักษณะกรรมพันธุ์ของตนสู่ gene pool ชีวิตที่เกิดมารุ่นหลัง ๆ อาจกลายเป็นลักษณะที่เหมาะสมและถูกคัดเลือกให้อยู่รอดได้ในสภาวะแวดล้อม และจากจุดนี้เองที่จะเป็นจุดเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงในรูปของวิวัฒนาการ ดังตัวอย่างการใช้ยาฆ่าแมลง หลังจากปี ค.ศ. 1944 เป็นต้นมา ปรากฏมีแมลงหลายชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงในทางที่ต้านทานต่อฤทธิ์ของยา ในปี ค.ศ. 1960 ปรากฏว่าจำนวนแมลงที่มีวิวัฒนาการที่แสดงต้านทานต่อฤทธิ์ยาฆ่าแมลงถึง 120 species และครั้งหนึ่งในจำนวนนี้เป็น

แมลงที่ก่อให้เกิดโรค หรือมีผลเสียต่อสุขภาพอนามัย ในไก่ฟ้า (*Argus pheasant*) เมื่อจะผสมพันธุ์กัน ตัวผู้จะแสดงอาการอวดแพนหางและจุดสีแดงที่แพนหางกับตัวเมีย ตัวผู้ที่มีจุดสีแดงใหญ่มากและแพนหางยาวมักจะเป็นที่ดึงดูดใจของตัวเมีย กรณีนี้ธรรมชาติได้เลือกให้พันธุ์ที่มีหางยาวและจุดสีแดงใหญ่เป็นผู้ที่ดำรงเผ่าพันธุ์สืบลูกหลานต่อมาได้ ทั้ง ๆ ที่ลักษณะหางยาวนี้อาจจะอยู่ภายใต้การหลบหนีจากศัตรูเป็นต้น

6. การแยกตัวออกไป (*isolation*) นอกจากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์หรือจากสภาวะอย่างอื่นที่ทำให้เกิดการแยกที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตแล้ว สิ่งมีชีวิตในกลุ่มเดียวกันอาจเกิดการแยกตัวโดยการเกิดผสมพันธุ์กันไม่ได้ (*reproductive isolation*) เช่น เวลาสุกของไข่ไม่ตรงพอดีกับเวลาที่อสุจิเข้าผสม ทำให้ไม่สามารถที่จะดำรงเผ่าพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ สืบต่อไปได้

ผลของวิวัฒนาการ

จากที่กล่าวมาแล้วพอจะสรุปได้ว่า วิวัฒนาการเกิดขึ้นมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์ในกลุ่มของประชากร ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงอะไรได้บ้างของสิ่งมีชีวิต จากการศึกษาพอจะสรุปผลได้ว่า การเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์นี้มีผลต่อสิ่งมีชีวิตใน 3 ลักษณะดังนี้ คือ การปรับตัวของสิ่งมีชีวิตให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม การเกิดเป็นชนิดต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งก่อให้เกิดการแตกแขนงของสายวิวัฒนาการและการเกิด *species* ใหม่

การปรับตัวของสิ่งมีชีวิตอาจมีได้ในหลายลักษณะ แต่ที่ปรากฏบ่อย ๆ และเห็นได้ชัดเจนในสิ่งมีชีวิต คือ การเปลี่ยนรูปร่าง หน้าที่ หรือพฤติกรรม เพื่อให้สิ่งมีชีวิตนั้นอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อม เช่น ในแมลงมีการเปลี่ยนสีของตัวเพื่อหลบหรือพรางตัวต่อศัตรู หรือในพืชอาจมีการปรับปรุงให้มีสีเขียว หรือมีกลิ่นหอมเพื่อเรียกรังให้แมลงเข้ามาดมเกสร อันนำมาให้เกิดการผสมพันธุ์ของพืชได้ เป็นต้น

การเกิดเป็นชนิดต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตซึ่งก่อให้เกิดการแตกแขนงของสายวิวัฒนาการ มักจะเกิดเมื่อมีการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตเพื่อให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ครั้งแรก ดังกรณีบรรพบุรุษของสัตว์เลื้อยคลานเคลื่อนย้ายที่อยู่จากในน้ำมาอยู่บนบก หรือเมื่อเกิดการสูญพันธุ์ของสัตว์พวกเลื้อยคลานในยุค Mesozoic ก่อให้เกิดการปรับตัวและเปลี่ยนแปลงหลายประการในสัตว์เลื้อยคลานด้วยนม จากการศึกษาชนิดพืชและสัตว์ที่มีอยู่เฉพาะที่หมู่เกาะ Galapagos (ซึ่งหลักฐานทางธรณีวิทยาแสดงว่าเกาะนี้แยกตัวมาจากทวีปอเมริกา) ดาร์วินได้สังเกตนกกระจอกและนกฟินช์ (*Finch*) 13 ชนิด เขาพบว่านกแต่ละชนิดมีรูปร่างของจะงอยปากแตกต่างกันตามความเหมาะสมแก่การหาอาหารกินของแต่ละประเภท เช่น กินเมล็ดพืช ผลไม้ หรือแมลง นกบางชนิดมีประจำเฉพาะที่เกาะนี้เท่านั้น ลักษณะของนกที่ดาร์วินศึกษามีความแตกต่างจากนกบนทวีป

อเมริกามาก เขาเชื่อว่าเดิมบรรพบุรุษของนกเหล่านี้อยู่บนผืนแผ่นดินใหญ่ เมื่อเกาะ Galapagos ถูกแยกออกมา นกเหล่านี้ต่างก็มีการปรับตัวเองให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่เพื่อจะดำรงชีวิตให้อยู่รอดได้ ปัจจุบันเชื่อว่าเป็นการกระทำร่วมกันของสิ่งมีชีวิตให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่และการแปรผันทางกรรมพันธุ์ของบรรพบุรุษนก มีระยะเวลาอันพอที่จะเกิดเป็นสายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดแขนงของสายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ นี้ นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าเกิดขึ้นเนื่องจากการกำลัการคัดเลือก (selective pressure) ของ gene ในกลุ่ม gene pool และหรือเกิดมีอุปสรรคต่อการกระจายของ gene สู่อื่นๆ ในประชากรของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ

การเกิดเป็น species ใหม่ ๆ ของแต่ละสิ่งมีชีวิต เชื่อว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นได้ เพราะแต่ละ species จะมี gene pool ของพวกที่เป็นประชากรพวกเดียวกัน species ทางชีววิทยาหมายถึงกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่มีรูปร่างและลักษณะทางกรรมพันธุ์เหมือนกัน ทำให้ผสมพันธุ์กันได้ และสามารถถ่ายทอดกรรมพันธุ์ให้ลูกหลานเป็นปกติได้ หรือ species คือ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่มีกลุ่ม gene ของประชากรมาจากบรรพบุรุษเดียวกัน

การเกิด species ใหม่ อาจเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครโมโซม หรือการแยกกันของกลุ่มประชากรของสิ่งมีชีวิต

การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมมีบทบาทสำคัญมากในพืช เชื่อกันว่าประมาณ 1 ใน 3 ของพืช เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มจำนวนโครโมโซมที่เรียกว่า polyploidy ดังกรณีของ *Raphanobrassica* ซึ่งเป็นลูกผสมระหว่าง radish (*Raphanus sativus*) กับกะหล่ำปลี (*Brassica eloracea*) เมื่อผสมพันธุ์กันลูกที่ได้มีโครโมโซมเป็น 18 แต่ไม่สามารถที่จะสืบพันธุ์ได้เนื่องจากโครโมโซมจับคู่กันไม่ได้ในการแบ่งเซลล์แบบ meiosis แต่เมื่อทำให้ลูกผสมนี้เป็น polyploidy คือ เพิ่มจำนวนโครโมโซมเป็น 36 แล้ว ลูกผสมนี้สามารถสืบพันธุ์เป็นปกติและกลายเป็น species ใหม่ที่สมบูรณ์ การเกิด polyploidy ในสัตว์เกิดได้น้อยมาก เนื่องจากสัตว์มีการเกิดเป็นเพศซึ่งมีความยุ่งยากมากในการที่จะสืบพันธุ์ต่อไปโดยวิธีนี้

การเปลี่ยนแปลงจาก species หนึ่งเป็น species ใหม่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมอย่างกะทันหันหรืออย่างตั้งใจดังตัวอย่างข้างต้น เพื่อให้เกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตใหม่ ๆ ขึ้นแบบนี้เรียกว่า sequential speciation

การเกิด species ใหม่เนื่องจากการแยกกันของกลุ่มประชากรสิ่งมีชีวิตพบว่า สภาพภูมิศาสตร์จะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการแบ่งแยก ประชากรทั้งสองกลุ่มนี้แรก ๆ อาจมีการผสมพันธุ์กันได้บ้าง แต่เมื่อเวลานานเข้า ประชากรทั้งสองกลุ่มอาจจะผสมพันธุ์กันไม่ได้

เนื่องจากเกิด gene mutation ในกลุ่มและ หรือพลังการคัดเลือกทางธรรมชาติในทั้งสองแตกต่างกันมาก และสิ่งมีชีวิตทั้งสองกลุ่มต่างก็ปรับตัวเองให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่ตนอยู่ซึ่งไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดความแตกต่างของ gene จนไม่สามารถที่จะเข้าผสมกันได้ จึงเกิดเป็น species ที่ต่างจากเดิมออกไป วิธีการเกิด species ใหม่ในลักษณะแบ่งแยกของกลุ่มประชากร สิ่งมีชีวิตทำให้เกิดวิวัฒนาการของชีวิตแบบที่เรียก divergent evolution

จากการศึกษา species ใหม่ที่เกิดจากการแยกกลุ่มของประชากรสิ่งมีชีวิตพบว่า กลไกที่ทำให้ประชากรของทั้งสองกลุ่มไม่สามารถที่จะผสมพันธุ์กันได้ตามปกติดังเดิมนั้น เกิดใน 2 ลักษณะต่อไปนี้ คือ เกิดการแบ่งแยกก่อนมีการปฏิสนธิ (prezygotic isolation) และเกิดการแบ่งแยกหลังมีการปฏิสนธิแล้ว (postzygotic isolation)

การเกิดแบ่งแยกก่อนมีการปฏิสนธิเป็นกลไกทางนิเวศน์ซึ่งสกัดกั้นไม่ให้ประชากรทั้งสองกลุ่มได้พบปะกันเพื่อจะผสมพันธุ์กันได้ เช่น ประชากรอยู่ต่างที่กัน หรือแม้อยู่ที่เดียวกัน และเวลาผสมพันธุ์เป็นขณะเดียวกัน อาจมีพฤติกรรมในการผสมพันธุ์หรือสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้ประชากร 2 กลุ่มไม่อาจผสมพันธุ์กันได้ บางครั้งแม้อยู่สถานที่เดียวกันแต่สภาวะทางสรีระก็ทำให้ไม่สามารถจะสืบพันธุ์ได้ด้วย

การแบ่งแยกภายหลังมีการปฏิสนธินั้น อาจเกิดเนื่องจากไข่ที่ถูกอสุจิผสมแล้วไม่เจริญหรือเจริญในลักษณะที่ผิดไปจากปกติ กรณีเช่นนี้พบมากในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิด โดยที่ไม่มีการเจริญของรก ในกรณีที่ลูกผสมเกิดขึ้นได้ อาจมีชีวิตอยู่เพียงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งมักจะอายุไม่ถึงวัยเจริญพันธุ์ แม้ลูกผสมมีชีวิตอยู่ได้ถึงวัยเจริญพันธุ์ก็มักจะเป็นหมัน