

Concept 18-1

เนื้อหา: แนวความคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการ

ทฤษฎีวิวัฒนาการกับการคัดเลือกตามธรรมชาติ

ทำไมจึงต้องศึกษาวิวัฒนาการ

หลักฐานสนับสนุนทฤษฎีวิวัฒนาการ

- ก. หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต
- ข. หลักฐานจากการเปรียบเทียบโครงสร้าง
- ค. หลักฐานจากการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ
- ง. หลักฐานจากการปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์
- จ. การแพร่กระจายของพืชและสัตว์
- ฉ. ข้อมูลด้านชีววิทยาเชิงโมเลกุล

1. **วิวัฒนาการ** (evolution) \Rightarrow กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพันธุกรรมในประชากรที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันซ้ำ ๆ จากอดีตมาถึงปัจจุบันและในอนาคต โดยจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งโครงสร้างร่างกาย สารชีวเคมี และ พฤติกรรม
 - 1.1. ทิศทางการเปลี่ยนแปลงแน่นอน เป็นไปแบบก้าวหน้า (advance) ไม่ย้อนกลับเป็นอย่างเดิมอีก
 - 1.2. โครงสร้าง ซับซ้อนน้อย \rightarrow ซับซ้อนมาก
 - 1.3. โครงสร้าง ลักษณะโบราณ (primitive) \rightarrow ลักษณะก้าวหน้า (advance)
 - 1.4. สิ่งมีชีวิต ยังมีวิวัฒนาการใกล้เคียงกันมากเพียงใด ก็ยังมีโครงสร้างร่างกาย สารชีวเคมี และ สารพันธุกรรม คล้ายคลึงกันมากเพียงนั้น
 - 1.5. มีการลดรูป (reduce) โครงสร้างที่ไม่เหมาะสม เช่น ไม้ตั้ง และ กระดูกก้นกบในคน
2. **วิวัฒนาการ**
 - 2.1. การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นในทุกขณะ แต่การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นอย่างซ้ำ ๆ ทีละเล็กทีละน้อย
 - 2.2. วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต (biodiversity) โดยตรง
 - 2.3. วิชาการวิวัฒนาการเป็นแกนหลักสำหรับวิทยาศาสตร์ชีวภาพทุกสาขาวิชาชีพ
 - 2.4. เปรียบเสมือนสายเชือกที่โยงใยชีววิทยาทุกสาขา
 - 2.5. Th. Dobzhansky \Rightarrow Nothing in biology makes sense except in the light of evolution
 - 2.6. ข้อมูลจากประวัติศาสตร์ของสิ่งมีชีวิต สะท้อนให้เราเห็นว่า การสูญพันธุ์เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งมากกว่า การเกิดวิวัฒนาการ
3. **cultural evolution** : วิวัฒนาการทางวัฒนธรรม \Rightarrow วิวัฒนาการของแนวความคิด ทักษะ พฤติกรรมที่กระทำอยู่เสมอ ศิลปะ เครื่องมือ เป็นต้น
4. **biological evolution, organism evolution** : วิวัฒนาการทางด้านชีววิทยา \Rightarrow วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
5. **ทฤษฎีวิวัฒนาการ**

CONCEPT 18-1

special creation	มีอำนาจเหนือธรรมชาติ เป็นผู้สร้างสิ่งมีชีวิตทุกชนิดขึ้นมาพร้อม ๆ กัน
Anaximander (ชาวกรีกโบราณ)	การเปลี่ยนแปลงเป็นสิ่งจำเป็นหรือเป็นสัจธรรมของสรรพสิ่งทั้งมวล (ตรงกับคำสอนของพระพุทธองค์) <ul style="list-style-type: none"> • มีอิทธิพลน้อยมากต่อความคิดของคนในยุคต้น
Plato, Aristotle	โลกนี้มีสภาพการณ์ที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ทั้งสิ้น <ul style="list-style-type: none"> • มีอิทธิพลต่อความคิด ความเชื่อ ของคนส่วนใหญ่ในแถบยุโรปและอเมริกา มาเป็นเวลายาวนาน
Carl Linnaeus (นักอนุกรมวิธาน)	สปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันชัดเจนนั้น จะมีความแตกต่างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง (fixity of species) และสมควรให้ชื่อที่เป็นภาษาลาตินแก่ species อย่างชัดเจน → หลักการตั้งชื่อทางวิทยาศาสตร์
Lamarck	สิ่งมีชีวิตมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม <ol style="list-style-type: none"> 1. law of inheritance of acquired characters : กฎแห่งการถ่ายทอดลักษณะที่ได้มาใหม่ ลักษณะหรือโครงสร้าง ที่ได้มาใหม่ หรือ สูญเสียไป โดยอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม โดยการใช่และไม่ใช้ จะคงอยู่ และสามารถถ่ายทอดลักษณะที่ได้มาใหม่นี้ไปยังรุ่นลูกหลานต่อไปได้ 2. law of use and disuse : กฎแห่งการใช้และไม่ใช้ ลักษณะหรือโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต ผันแปรได้ตามสภาพแวดล้อม โดย <ul style="list-style-type: none"> • อวัยวะใดที่ใช้อยู่เสมอ ๆ บ่อย ๆ ย่อมขยายใหญ่ เจริญเติบโตดี • อวัยวะใดที่ไม่ได้ใช้จะค่อย ๆ ลดขนาด อ่อนแอลง และเสื่อมสลายหายไปในที่สุด ข้อบกพร่อง <ul style="list-style-type: none"> • ขาดคำอธิบายที่ชัดเจน • ขาดข้อมูลสนับสนุน ปัจจุบัน หมดความหมายทางวิชาการ
August Weismann	เสนอแนวความคิดคัดค้าน Lamarck ลักษณะที่จะถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้นั้น ต้องเกิดจากเซลล์สืบพันธุ์ มิใช่จากเซลล์ร่างกาย

CONCEPT 18-1

Charles Darwin

บันทึกข้อมูลจากการสังเกตอย่างละเอียดตลอดเวลาการเดินทางสำรวจไปกับเรือ Beagle

1. ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตนานาชนิด ตามสภาพภูมิศาสตร์ที่ต่างกัน (หรือแม้แต่สภาพแหล่งที่อยู่อาศัยที่คล้ายคลึงกันแต่ห่างไกลกัน) ตลอดแนวทางการสำรวจ
 - สิ่งแวดล้อมในสถานที่ที่ต่างกัน เป็นสิ่งกำหนดหล่อหลอมให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในแต่ละท้องถิ่น
 - **geographical isolation** : การแบ่งแยกกันทางภูมิศาสตร์ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตใหม่ ๆ ที่แตกต่างไปจากพวกเดิมหรือบรรพบุรุษ
2. ข้อมูลเกี่ยวกับซากกระดูกโบราณที่เก็บรวบรวมไว้ได้มากมายที่สุดจากทวีปอเมริกาใต้
 - ซากกระดูกโบราณเป็นหลักฐานของสิ่งมีชีวิตที่สูญพันธุ์ไปแล้ว
 - สิ่งมีชีวิตที่เคยอุบัติขึ้นมาในอดีตกาล จะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง โดยเฉพาะลักษณะโครงกระดูกไปตามกาลเวลา
 - ซากโบราณที่มีอายุมากจะต่างจากสัตว์ปัจจุบัน แต่ ซากโบราณที่มีอายุน้อยก็จะใกล้เคียงกับพวกสัตว์ปัจจุบัน
3. ข้อมูลเกี่ยวกับความหลากหลายของพืชและสัตว์ที่พบในหมู่เกาะ Galapagos ทางด้านตะวันตกของประเทศอีควาดอร์ ทวีปอเมริกาใต้
 - เต่ายักษ์ \Rightarrow ความผันแปรทางสัณฐานวิทยาของเต่ายักษ์ ไม่ว่าจะมีความยาวของลำคอหรือ ขนาดของลำตัว ที่พบในเกาะต่าง ๆ คงมีต้นตอมาจากกลุ่มบรรพบุรุษเพียงไม่กี่ตัวที่อพยพมาสู่เกาะนี้ในอดีต เมื่อแพร่กระจายไปยังเกาะต่าง ๆ ที่อยู่ห่างกันพอสมควร แต่ละเกาะมีแหล่งอาหาร แหล่งที่อยู่อาศัยแตกต่างกัน ทำให้เต่ายักษ์ในแต่ละเกาะต่างก็เปลี่ยนแปลงปรับตัวเพื่อการอยู่รอดบนเกาะต่าง ๆ กันนั้นได้
 - จะงอยปากของ นกกระจาบบหรือนก finch ที่พบบนเกาะต่าง ๆ แตกต่างกันไปตามสภาพของอาหารที่มีอยู่ในเกาะนั้น ๆ \Rightarrow เกิด adaptive radiation
 - **adaptive radiation** : การปรับตัวแบบกระจาย \Rightarrow การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการที่แตกแขนงออกไปตามสภาพแวดล้อมในทิศทางต่าง ๆ กัน จนเกิดการปรับตัวในแนวทางต่าง ๆ

CONCEPT 18-1

Charles **Darwin** (บุคคลแรกที่วางรากฐานทฤษฎีของวิวัฒนาการที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน, บิดาของการศึกษาทฤษฎีวิวัฒนาการในสิ่งมีชีวิต, หนังสือ The Origin of Species) และ Alfred Russel **Wallace**

the theory of evolution by natural selection : ทฤษฎีการเกิด species ใหม่ อันเนื่องมาจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

1. reproductive ability : ความสามารถในการแพร่พันธุ์พืชและสัตว์แต่ละชนิดมีศักยภาพที่สามารถผลิตลูกได้จำนวนมากเกินความต้องการ เพื่อจะทำหน้าที่รับและถ่ายทอดพันธุกรรมของเผ่าพันธุ์ของตนต่อไปอย่างต่อเนื่อง
 - ถ้าหากทุกตัวในประชากรหนึ่ง ประสบความสำเร็จในการผลิตลูกหลานเท่าเทียมกัน → ขนาดของประชากรเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว หรือมีการเพิ่มจำนวนในอันดับเรขาคณิต (ตามแนวคิดของ Malthus)
2. environmental restriction : ขีดจำกัดของสิ่งแวดล้อม ⇒ ในสภาพธรรมชาติ จำนวนประชากรของสิ่งมีชีวิตจะคงที่
3. struggle for survival : การต่อสู้เพื่อความอยู่รอดสิ่งมีชีวิตที่แข็งแรง และมีลักษณะเหมาะสม จะประสบผลสำเร็จในการอยู่รอด
4. heritable variation : การผันแปรของพันธุกรรมสิ่งมีชีวิตในแต่ละประชากร จะมีความผันแปรของลักษณะต่าง ๆ (variation) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ
 - ความแปรผันทางลักษณะทางพันธุกรรมเป็นกุญแจสำคัญยิ่งของทฤษฎีวิวัฒนาการโดยการคัดเลือกตามธรรมชาติ
5. natural selection : การคัดเลือกโดยธรรมชาติ → สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมมากกว่า มีโอกาสอยู่รอด และ แพร่พันธุ์ถ่ายทอดลักษณะให้รุ่นลูกหลานต่อไป ⇒ survival of the fittest : การอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตที่มีความเหมาะสมสิ่งมีชีวิตที่ไม่เหมาะสม ไม่สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม จะสูญพันธุ์ไป
6. environmental change : การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมการเกิด species ใหม่ เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงที่ละน้อยจากบรรพบุรุษดั้งเดิม โดยขบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติด้วยระยะเวลาอันพอ ⇒ กระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติที่มีองค์ประกอบทางพันธุกรรมเป็นพื้นฐาน เมื่อผ่านการคัดเลือกหลายชั่วอายุ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะต่าง ๆ ในประชากรอย่างช้า ๆ ที่ละน้อย จนในที่สุด ทำให้วิวัฒนาการไปเป็น species ใหม่ได้

ประเด็นหลัก

1. สิ่งมีชีวิตจะต้องมีการผสมพันธุ์และการสืบพันธุ์เพื่อถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งมีความแปรผันและหลากหลายมากมายอยู่ภายในประชากร
2. วิวัฒนาการ ไม่จำเป็นจะต้องหมายถึง ความก้าวหน้า เสมอไป
 - สิ่งมีชีวิตที่ประสบความสำเร็จในเชิงวิวัฒนาการ
 - ไม่จำเป็นจะต้องมีความซับซ้อนในโครงสร้างและความงดงาม
 - แต่ความสำคัญอยู่ที่ ศักยภาพในการสืบพันธุ์ และ ความหลากหลายทางพันธุกรรมที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลและเทศะ ⇒ มีชีวิตอยู่รอดได้ในวันนี้ และ มีลูกหลานได้ในวันหน้า
 - การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการนำไปสู่การปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในเวลาหนึ่งโดย **ประพันธ์ สุขสมบูรณ์**
3. โอกาสซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางชีวภาพหรือกายภาพของสิ่งมีชีวิต

CONCEPT 18-1

ฟิสิกเซอร์, ฮอลเดน, ไรท์ และ เซต เวกริกอฟ	Synthetic theory, Neo-Darwinism \Rightarrow ประชากรทุกประชากรที่จะมีวิวัฒนาการต่อไป จะต้องมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ หรือ มีการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมระหว่างสมาชิกที่มีลักษณะต่างกัน จึงทำให้ gene pool มีการผันแปร ไม่มีขอบเขตจำกัด แต่อาจมีการจำกัดในด้านคุณภาพ
--	---

1. การคัดเลือกตามธรรมชาติ เป็นพลังสำคัญสำหรับทุกชีวิตที่อุบัติขึ้นมาบนโลกนี้
2. การแบ่งการกระจายของสิ่งมีชีวิตนานาชนิดตามสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน เป็น 6 โซน
 - 2.1. นีอาร์ติก \Rightarrow กวางคาร์บู, สุนัขจิ้งจอก, ตูการ์, บีเวอร์
 - 2.2. นีโอโทรปิคอล \Rightarrow ตัวกินมด, อะกูติ, สมเสร็จ, เสือ
 - 2.3. พาลีอาร์กติก \Rightarrow หมีสีน้ำตาล, แกะภูเขา, เลียงผา, เสือดาวหิมะ
 - 2.4. โอเรียนทาล \Rightarrow เสือ, ช้าง, หมูป่า
 - 2.5. เอธิโอเปีย \Rightarrow แอนติโลป, ม้าลาย, สิงโต
 - 2.6. ออสเตรเลีย \Rightarrow หมาป่า, หมีโคอะลา, ตุ่นปากเป็ด, จิงโจ้
3. หลักฐานสนับสนุนทฤษฎีวิวัฒนาการ

CONCEPT 18-1

<p>หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต</p> <ul style="list-style-type: none"> ● palaeontology ⇒ วิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ 	<ul style="list-style-type: none"> ● เป็นหลักฐานสำคัญที่สุด ในการสนับสนุนว่าสิ่งมีชีวิตมีกระบวนการวิวัฒนาการค่อยเป็นค่อยไป ● จำเป็นจะต้องได้ข้อมูลจากซากดึกดำบรรพ์ในยุคต่าง ๆ มากพอ และซากดึกดำบรรพ์เหล่านั้นจะต้องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์พอสมควรด้วย ● ซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต (fossil) ⇒ ซากหรือร่องรอยของสิ่งมีชีวิต ที่กลายเป็นหิน หรือที่จมอยู่ในน้ำแข็ง ในบ่อน้ำมัน ในยางไม้ ฯลฯ <ul style="list-style-type: none"> ● สัตว์ที่ตายแล้วบังเอิญจมอยู่ในน้ำ และถูกทับถมโดยโคลนหรือตะกอนใต้น้ำอย่างรวดเร็ว แร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำซึมเข้าสู่โครงกระดูกซึ่งเป็นส่วนที่พองซ้ากว่าส่วนอื่น จนในที่สุดโครงกระดูกกลายเป็นหิน กระบวนการนี้ย่อมเกิดขึ้นกับพืชด้วย ⇒ บริเวณที่เคยเป็นท้องน้ำมาก่อน มีซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตอยู่เป็นจำนวนมาก ● ลาวาหรือเถ้าถ่านจากการระเบิดของภูเขาไฟทับถมสัตว์หรือพืชบริเวณใกล้เคียงจนหลายฟุต ● สัตว์หรือพืชถูกฝังในบ่อน้ำมันดิบ หรือ ในน้ำแข็งที่ขั้วโลก ● ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในภูเขา ใต้ดิน มหาสมุทร หรือ ถูกทำลายไป , ลมฟ้าอากาศ , การเปลี่ยนแปลงของผิวโลก , ส่วนใหญ่โดยมนุษย์ ● Darwin เป็นบุคคลแรก ที่ใช้ซากดึกดำบรรพ์เป็นหลักฐานสนับสนุนวิวัฒนาการ ● ปัจจุบัน ถือว่า การศึกษาซากดึกดำบรรพ์ จะสามารถใช้เป็นหลักฐานโดยตรงที่สนับสนุนการเกิดวิวัฒนาการในสัตว์ ● ซากดึกดำบรรพ์ที่สมบูรณ์ที่สุดเท่าที่พบ คือ ซากดึกดำบรรพ์ของม้า <ul style="list-style-type: none"> ● ขาของม้าในยุคแรก ๆ มีนิ้วเท้า ต่อมานิ้วเท้าลดจำนวนลง แต่มีนิ้วกลางที่ขนาดโตขึ้น ปลายนิ้วพัฒนาเป็นกีบ และมีขายาวขึ้น แสดงว่ามีขนาดโตขึ้น การเปลี่ยนแปลงแต่ละขั้นที่เกิดขึ้นใช้เวลานาน <ul style="list-style-type: none"> ● Echippus (eocene), Michippus (oligocene), Merychippus (miocene), Plichippus (pliocene), Equus (pleistocene) ● พบว่า ซากดึกดำบรรพ์ <ul style="list-style-type: none"> ● ในหินชั้นบนมีโครงสร้างซับซ้อนมาก และมีจำนวนชนิดมาก ● ในหินชั้นล่างมีโครงสร้างง่าย ๆ และมีจำนวนชนิดน้อย
<p>หลักฐานจากการเปรียบเทียบโครงสร้าง (การศึกษากายวิภาคเปรียบเทียบ)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● สิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างเป็น homologous กัน จะมีบรรพบุรุษใกล้ชิดต่อกันมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างเป็น analogous กัน ● homologous structure ⇒ อวัยวะที่มีจุดกำเนิดมาจากแหล่งเดียวกัน โครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่หน้าที่การทำงานแตกต่างกัน ⇒ divergent <ul style="list-style-type: none"> ● กระดูกกระยางค์หน้าของสัตว์มีกระดูกสันหลัง ⇒ ขาหน้าของซาลาแมนเดอร์, จระเข้, แขนคน, ปีกนก, ปีกค้างคาว, ครีบอกปลาวาฬ, ขาหน้าของคูน ● analogous structure ⇒ โครงสร้างต่างกัน จุดกำเนิดต่างกัน แต่มีหน้าที่การทำงานเหมือนกัน ⇒ convergent <ul style="list-style-type: none"> ● ปีกนก กับ ปีกแมลง

CONCEPT 18-1

<p>หลักฐานจากการเจริญเติบโตของ embryo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● theory of recapitulation : ทฤษฎีย้อนรอยบรรพบุรุษ ของ Haeckel ลักษณะการเจริญเติบโตของ embryo ในขั้นต่าง ๆ จะสะท้อนย้อนรอยให้เห็นลักษณะของบรรพบุรุษในอดีต ● ในสัตว์จำพวกปลา ช่องเหงือกในระยะ embryo จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นช่องเปิด คือ บริเวณช่องแก้มทั้งสองข้าง เมื่อเป็นตัวเต็มวัย ; ในสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง ช่องนี้จะหายไป ; สำหรับในคน ยังมีร่องรอยของขั้นนี้เหลืออยู่ภายใน คือ ท่อยุสเตเซียน ● ในระยะ embryo ของสัตว์จำพวกแมลงมีตุ่มขา (limb buds) ที่ส่วนท้องทุกปล้อง ซึ่งคล้ายกับพวก millipede แต่เมื่อเจริญเป็นตัวเต็มวัย มีขาเหลือเพียง 6 ขา ที่ส่วนอก
<p>หลักฐานจากการปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์โดยมนุษย์</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● มนุษย์พยายามปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์ ทำให้สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลง เกิดพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะแตกต่างไปจากพันธุ์เดิม ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ● หมายความว่า สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงได้ (แต่ในธรรมชาติ ช้ากว่ามาก และ ทิศทางกำหนดโดยธรรมชาติ) ● ปอแก้วไม่มีหนาม (ดร. ณรงค์ โคมเชลา), ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1, ข้าวพันธุ์ กข.6 กข.10 กข.15 (รังสี)
<p>การแพร่กระจายของพืชและสัตว์ชนิดต่าง ๆ ตามภูมิศาสตร์ต่าง ๆ ของโลก (biogeography)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● พืชและสัตว์ที่อุบัติขึ้นบนโลกในยุคแรก ๆ จะไม่มีการแบ่งแยกลักษณะที่แตกต่างกันเด่นชัด และ อาศัยอยู่ในบริเวณเดียวกัน ● ต่อมาเกิดการแพร่กระจายออกไปจากแหล่งกำเนิดเดิม จนสุดขอบเขตที่มีสิ่งกีดขวางทางกายภาพทำให้เกิดวิวัฒนาการออกไปเป็นกลุ่ม ๆ ที่มีความแตกต่างกัน
<p>หลักฐานจากการศึกษาด้านชีววิทยาเชิงโมเลกุล (molecular biology)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● เป็นหลักฐานที่ละเอียดที่สุด ในการระบุสายสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต เพราะสามารถระบุเป็นตัวเลขได้ ● การพิจารณา ลำดับของ เบสใน DNA และ ของ กรดอะมิโน เป็นหลักฐานที่น่าเชื่อถือได้มากที่สุดของวิวัฒนาการ ● แอนติบอดี ⇒ แมว สุนัข หมี ; วัว ควาย แพะ กวาง ; คน ลิงชิมแปนซี อูรังอุตัง ● การวิเคราะห์กรดอะมิโน (104 ตัว) ในโปรตีน cytochrome c ⇒ คนต่างจากลิงชิมแปนซี 1 ตัว ต่างจากม้า 12 ตัว, ลิงชิมแปนซีต่างจากม้า 11 ตัว ● การหาลำดับเบสในสาย polynucleotide ⇒ คน - ลิงชิมแปนซี > ชะนี > ลิงโลกเก่า > ลิงโลกใหม่ > ลิงลม (ไพรเมต) <ul style="list-style-type: none"> ● สัตว์ที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันตามสายวิวัฒนาการ จะมีความแตกต่างกันในนิวคลีโอไทด์ของ DNA น้อยกว่าพวกที่ห่างกัน ● gene mutation เกิดขึ้นในอัตราต่ำอย่างสม่ำเสมอ นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถคำนวณประเมินหาค่าอายุของสัตว์ในกลุ่มที่ศึกษาได้

1.