

# บทที่ 17

## วิวัฒนาการของสัตว์และพืช

### เค้าโครงเรื่อง

#### 17.1 ทฤษฎีวิวัฒนาการ

- 17.1.1 แนวคิดทางวิวัฒนาการก่อนดาร์วิน
- 17.1.2 ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน
- 17.1.3 หลักฐานสนับสนุนทฤษฎีวิวัฒนาการ

#### 17.2 กระบวนการและผลของวิวัฒนาการ

- 17.2.1 ยีนและวิวัฒนาการ
- 17.2.2 กระบวนการวิวัฒนาการ
  - (1) การกลาย
  - (2) การอพยพ
- 17.2.3 ผลของการคัดเลือกตามธรรมชาติ
- 17.2.4 การเกิดสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่
- 17.2.5 การแยกผสมพันธุ์อิสระ
- 17.2.6 การสูญพันธุ์

สิ่งมีชีวิตได้ถือกำเนิดขึ้นในโลกเมื่อกว่า 2 พันล้านปีมาแล้ว แต่ยังไม่มีความชัดเจนว่าสิ่งมีชีวิตต้นกำเนิดที่แท้จริงคืออะไร มนุษย์ในสมัยโบราณเชื่อว่าเทพเป็นผู้สร้างมนุษย์และบรรดาสรรพสัตว์และพืชขึ้นมาให้ความหลากหลาย ความเชื่อเช่นนั้นไม่สามารถพิสูจน์ได้ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ จนกระทั่ง ชาลส์ ดาร์วิน ได้เขียนหนังสือตั้งชื่อสิ่งเกิดจากการเดินทางไปสำรวจธรรมชาติในอเมริกาใต้ว่า สิ่งมีชีวิตที่แพร่กระจายอยู่นั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับที่เคยพบเห็น จึงน่าจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางภูมิศาสตร์ที่เชื่อมโยงลักษณะของอดีตและปัจจุบัน แนวคิดของเขาไม่สูญเปล่า แต่มีอิทธิพลต่อกวีวิทยาศาสตร์รุ่นต่อมาทำให้เกิดทฤษฎีวิวัฒนาการขึ้นหลายทฤษฎี

## 17.1 ทฤษฎีวิวัฒนาการ

ในสมัยโบราณ คำว่า ชนิด มักเป็นที่เข้าใจว่าเป็นสิ่งที่มีรูปร่างลักษณะปรากฏเด่นชัดต่างจากชนิดอื่น ซึ่งออกมาในความหมายตรงกับภาษาอังกฤษว่า kind เนื่องจากมนุษย์ในสมัยนั้นได้รับอิทธิพลจากการจำแนกสรรพสัตว์จากคัมภีร์ไบเบิล เช่น ช้างต่างชนิดกันกับเสือ และต่างชนิดกันกับต้นสน แต่ในปัจจุบันเป็นที่เข้าใจและยอมรับกันว่า ชนิดหมายถึง ประชากรของสิ่งมีชีวิตที่สามารถผสมพันธุ์กันและสืบทอดสายพันธุ์ต่อไปยังชั่วรุ่นถัดไปได้ ซึ่งตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า species

17.1.1 แนวคิดทางวิวัฒนาการก่อนดาร์วิน ชาวกรีกโบราณถือเป็นชนชาติที่เป็นนักคิดนักค้นคว้าและปรากฏหลักฐานเกี่ยวกับกำเนิดชนิดของสิ่งมีชีวิต นับตั้งแต่สมัยของเพลโต (Plato ก่อน ค.ศ. 427-347) ที่เชื่อว่า สิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นสัตว์หรือพืชได้มีรูปร่างสมบูรณ์โดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงสืบทอดกันมาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน (ในสมัยนั้น) และจะยังคงสืบทอดต่อไปในอนาคต ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเชื่อของชาวคริสต์ในสมัยต่อมาว่า พระเจ้าเป็นผู้สร้างสรรพสิ่งต่าง ๆ ขึ้นมาในโลก

ความเชื่อเรื่องกำเนิดของสิ่งมีชีวิตที่กำหนดโดยพระเจ้าสืบทอดมานานนับ 2000 ปี ไม่เพียงอิทธิพลของศาสนาเท่านั้น แต่เสริมด้วยความหลากหลายของชนิดในยุโรป (ซึ่งเป็นแหล่งความรู้เรื่องของศาสนาคริสต์) มีน้อย การสำรวจหาแหล่งแร่เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรมช่วยทำให้เกิดการค้นพบ ซากคต (ซากดึกดำบรรพ์) ทำให้เห็นความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตมากขึ้น และก่อให้เกิดข้อสงสัยว่า สิ่งมีชีวิตที่กำหนดให้มีขึ้นโดย พระเจ้าน่าจะ ไม่ถูกต้อง

นักวิทยาศาสตร์ที่เริ่มดัดแปลงแนวคิดพระเจ้าสร้างสรรพสิ่งคือ จอร์จ คูเวียร์ (Georges Cuvier 1769-1832) เขาตั้งสมมติฐานว่า สิ่งมีชีวิตได้ถูกสร้างขึ้นเป็นจำนวน มากมาตั้งแต่แรกเริ่ม ต่อมาเกิดภัยพิบัติ (catastrophy) ต่าง ๆ หลายครั้ง เช่น น้ำท่วมโลก ดังปรากฏในพระคัมภีร์ จึงทำให้สิ่งมีชีวิตเป็นจำนวนมากตาย และถูกทับถมด้วยชั้นดินและหินจนกลายเป็นซากคตมาให้เห็นได้ในปัจจุบัน สิ่งมีชีวิตที่อยู่รอดในปัจจุบันคือ "กลุ่มรอดตาย" ที่สืบทอดต่อมา แต่สมมติฐานของเขายัง ไม่สมเหตุผล เพราะในชั้นหินที่มีอายุความเก่าต่างกัน จะปรากฏเพียงซากคตของชนิดที่ใกล้เคียงกัน ไม่ปรากฏความหลากหลายของชนิดเช่นในปัจจุบัน

ผู้ที่มีแนวคิดสมเหตุสมผลมากขึ้นคือ นักธรณีวิทยา เจมส์ ฮัทตัน และชาลส์ ลิลล์ (James Hutton 1726-1797, Charles Lyell 1797-1875) ซึ่งศึกษาโครงสร้างของชั้นหิน มีแนวคิดว่าการทับถมของชั้นดินและหิน และทำให้ซากคด เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (uniformitarianism) เขาเชื่อว่าโลกเป็นอมตะคือเกิดมานานและไม่มีวันแตกสลาย ซึ่งปัจจุบันทราบได้ว่าโลกมีอายุแล้ว 4.5-4.6 พันล้านปี แนวคิดของเขาไม่ได้นำมาสู่กลไกของการเกิดวิวัฒนาการ

ลามาร์ค (Jean-Baptiste Lamarck 1744-1829) ถือว่าเป็นผู้ริเริ่มอธิบายกลไกของการเกิดวิวัฒนาการ ถึงแม้ว่าจะไม่ถูกต้องสมบูรณ์ทุกประการก็ตาม เขาสังเกตเห็นความแตกต่างของรูปร่าง สิ่งมีชีวิตที่กลายเป็นซากคด ในยุคแรกเริ่มว่ามีความง่ายไม่ซับซ้อน แต่ซากคดในยุคหลังมีความซับซ้อนมากขึ้นและใกล้เคียงกับรูปร่างของสิ่งมีชีวิตที่พบเห็นอยู่ในปัจจุบัน เขาตั้งสมมติฐานขึ้นในปี 1801 ว่า สิ่งมีชีวิตวิวัฒนาการมาจากการถ่ายทอดลักษณะที่ทำได้มา (inheritance of acquired characteristics) กล่าวคือสิ่งมีชีวิตปรับเปลี่ยนรูปร่างตามลักษณะการใช้หรือไม่ใช้อวัยวะหรือส่วนของอวัยวะ (ซึ่งไม่เป็นจริงเสมอไป) แล้วถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นถัดไป (ซึ่งไม่ถูกต้อง) แนวคิดของลามาร์คมีอิทธิพลต่อแนวคิดของดาร์วินใน 60 ปีถัดมาว่า สิ่งมีชีวิตย่อมได้รับการถ่ายทอดลักษณะที่ละเล็กละน้อย (ไม่ใช่ชั่วรุ่นถัดไป) เป็นเวลานานนับไม่ถ้วนชั่วรุ่น

17.1.2 ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน การเดินทางเพื่อสำรวจธรรมชาติยังหมู่เกาะกาลาปากอสในมหาสมุทรแปซิฟิก ช่วยเสริมให้ดาร์วินและผู้ร่วมงานเข้าใจกลไกการมีวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมากขึ้น ดาร์วินทราบสมมติฐานและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นของมัลทัส (Thomas Malthus) ที่เกี่ยวข้องกับประชากรและคุ้นเคยกับลักษณะรูปร่างของซากคดชนิดต่าง ๆ ได้ดี เขาเสนอทฤษฎีวิวัฒนาการว่าเป็นกลไกเนื่องมาจากการคัดเลือกตามธรรมชาติเพื่อการอยู่รอดที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วยประเด็นหลัก 3 ประการคือ

(1) ในทุกชั่วรุ่นจะมีสิ่งมีชีวิตจำนวนหนึ่งตายตั้งแต่อายุน้อยหรือไม่สามารถสืบพันธุ์ต่อไปได้ ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งของการควบคุมจำนวนประชากรให้อยู่ในจำนวนที่เหมาะสม

(2) ตัวที่มีชีวิตรอดและสืบพันธุ์ต่อไปได้นั้นต้องมีความสามารถในการหาแหล่งอาหาร ซึ่งเป็นที่มาของการผันแปรหรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะ เพื่อสามารถให้มีความ

เหมาะสมที่สุดที่จะมีชีวิตรอดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างในแต่ละที่ได้

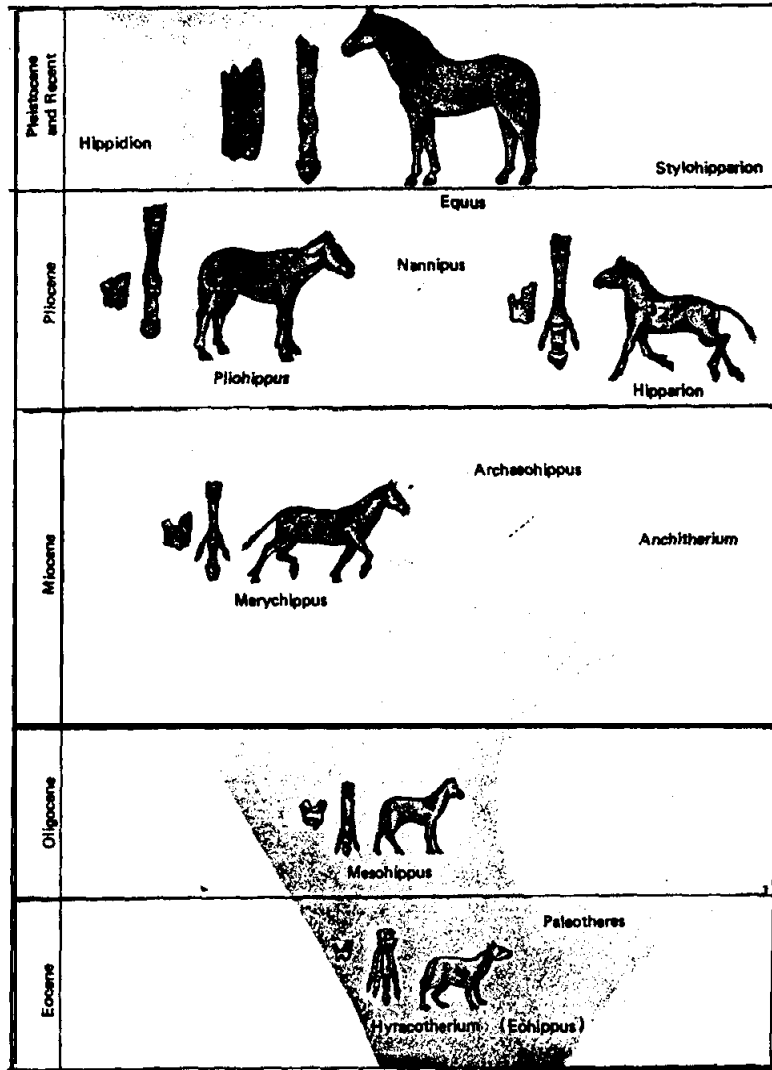
(3) การคัดเลือกตามธรรมชาติ ทำให้สิ่งมีชีวิตที่มีความผันแปรของลักษณะถ่ายทอดทางพันธุกรรม ถูกธรรมชาติคัดเลือกตัวที่เหมาะสมที่สุดไว้เพื่อสืบทอดลักษณะ ไปยังชั่วรุ่นถัดไปเรื่อย ๆ หลายชั่วรุ่นเป็นเวลาดูต่อเนื่องกันนาน เป็นผลให้มีสัดส่วนของลักษณะถ่ายทอดทางพันธุกรรมใหม่หมู่ประชากรเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงเกิดวิวัฒนาการ ขึ้นเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่

17.1.3 หลักฐานสนับสนุนทฤษฎีวิวัฒนาการ การศึกษาเรื่องวิวัฒนาการจะสมบูรณ์เป็นที่น่าเชื่อถือได้ต้องประกอบด้วยข้อมูล 4 ประการคือ (1) หลักฐานที่สามารถชี้ให้เห็นได้ว่ามีวิวัฒนาการเกิดขึ้นจริง (2) หลักการทางพันธุกรรมที่แสดงว่ามีการผันแปรเกิดขึ้นแล้วสามารถถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นถัดไปได้ (3) กลไกของวิวัฒนาการที่บ่งบอกถึงการดำรงลักษณะทางพันธุกรรมที่ผันแปรบางลักษณะไว้ แต่บางลักษณะถูกขจัดหรือสูญหายไป (4) ผลของวิวัฒนาการที่ปรากฏขึ้นกับสิ่งมีชีวิตในอดีตและปัจจุบัน สำหรับหลักฐานทางวิวัฒนาการที่เห็นได้ชัดมีดังนี้

(1) หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ ซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์และพืชที่ถูกค้นพบ ไม่ได้บ่งบอกถึงวิวัฒนาการเสมอไป การค้นพบซากดึกดำบรรพ์บางชั้นจึงจะสามารถนำมาเชื่อมโยงถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งได้ โดยนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในปัจจุบัน การค้นพบซากดึกดำบรรพ์นับเป็นโชคที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้บ่อยครั้งนัก จึงเป็นเค้าเงื่อนให้ทราบถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตบางพวกเท่านั้น เช่น ม้า มีวิวัฒนาการมาจากสัตว์กินพืชสกุล *Hyracotherium* ในสมัย Eocene เมื่อ 50 ล้านปีมาแล้ว (รูป 17-1) และมีวิวัฒนาการเปลี่ยนมาเป็นม้า สกุล *Equus* ในปัจจุบันโดยที่สกุลอื่นทยอยสูญพันธุ์ไป สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดแต่ละกลุ่มจะมีวิวัฒนาการมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ได้หรือไม่เพียงใด สัตว์หลายชนิดโดยเฉพาะพวกไม่มีกระดูกสันหลังมีวิวัฒนาการจากบรรพบุรุษเดิมน้อยมาก เช่น พลับพลึงทะเล (sea lily) และแมงดาทะเล (horseshoe crab)

(2) หลักฐานทางกายวิภาค สิ่งมีชีวิตในปัจจุบันมีการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงถิ่นที่อยู่อาศัยและการดำรงชีพเป็นอย่างดี โครงสร้างบางส่วนของร่างกายจึงมีวิวัฒนาการเพื่อให้เหมาะสมกับปัจจัยดังกล่าวข้างต้น โดยเฉพาะโครงสร้างที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ ในทางกายวิภาค โครงกระดูกของสัตว์ที่ค้ำจุน โครงสร้างที่มีต้นกำเนิดที่ตรงกัน เช่น กระดูกแขนหรือขาแม้เมื่อมี

รูป 17-1 วิวัฒนาการของม้าปัจจุบัน (*Equus*) ที่วิวัฒนาการมาจากสัตว์กินพืช *Hyracotherium* ให้สังเกตโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากคือ ขนาด ขา และฟัน เพื่อปรับเปลี่ยนให้เหมาะกับอาหารที่เปลี่ยนแปลงจากเดิมและต้องวิ่งเร็วเพื่อหลบหลีกผู้ล่า

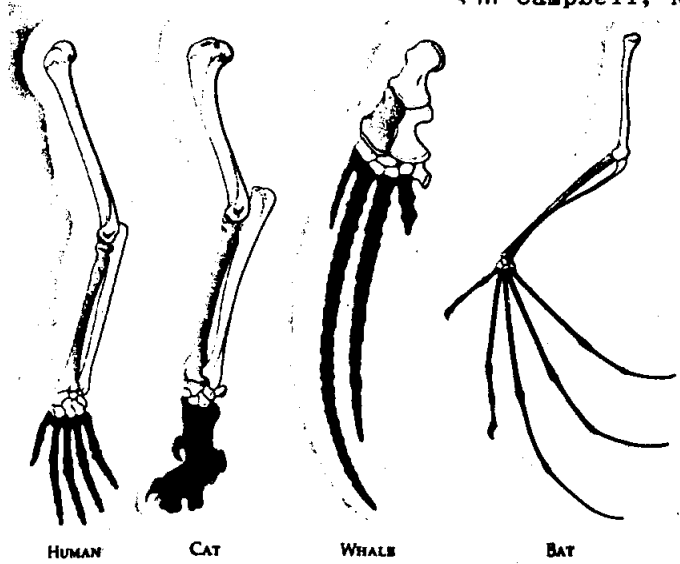


จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกไปใช้ประโยชน์ต่างกัน ลักษณะของกระดูกก็ยิ่งปรากฏให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดเดิม เรียกโครงสร้างเหล่านี้ว่า **homologous structure** (รูป 17-2) และวิวัฒนาการจากลักษณะโครงสร้างเดิมไปเป็นโครงสร้างใหม่ในสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันแต่สัมพันธ์กัน เรียกว่า **divergent evolution**

รูป 17-2 แผนภาพแสดงโครงสร้างของกระดูกขาหน้าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (สัตว์ต่างชนิดกันแต่สัมพันธ์กัน) ให้สังเกต homologous structure วิวัฒนาการสำหรับจับ (มนุษย์) เดินและวิ่ง (แมว) ว่ายน้ำ (ปลาวาฬ) และบิน (ค้างคาว)

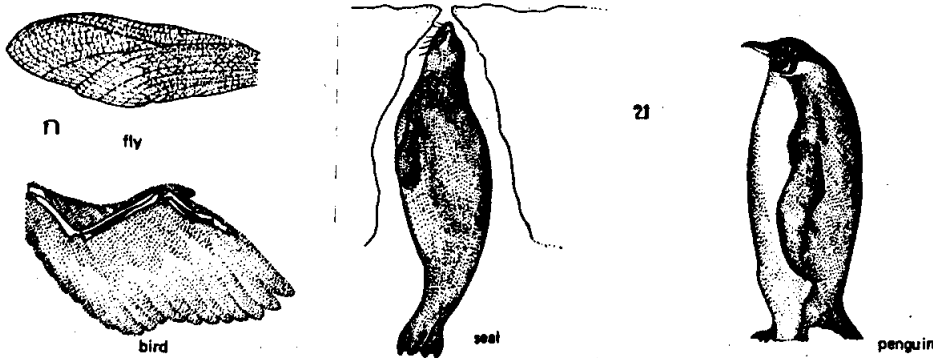
จาก Campbell, Neil A. 1990



การคัดเลือกตามธรรมชาติทำให้สิ่งมีชีวิตต่างชนิดที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน มีรูปลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกันได้ เพื่อให้สามารถอยู่ในถิ่นที่อยู่อาศัยแบบเดียวกันได้ เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า **analogous structure** และวิวัฒนาการแบบนี้ว่า **convergent evolution** (รูป 17-3)

รูป 17-3 แผนภาพเปรียบเทียบ analogous structure ของ ก. แมลงและนก ที่มีปีกกว้างและบางเพื่อประโยชน์สำหรับการบิน ข. ขาหน้าของแมวป่า และนกเพนกวินมีลักษณะเรียวคล้ายใบพาย เพื่อประโยชน์สำหรับการว่ายน้ำ

จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

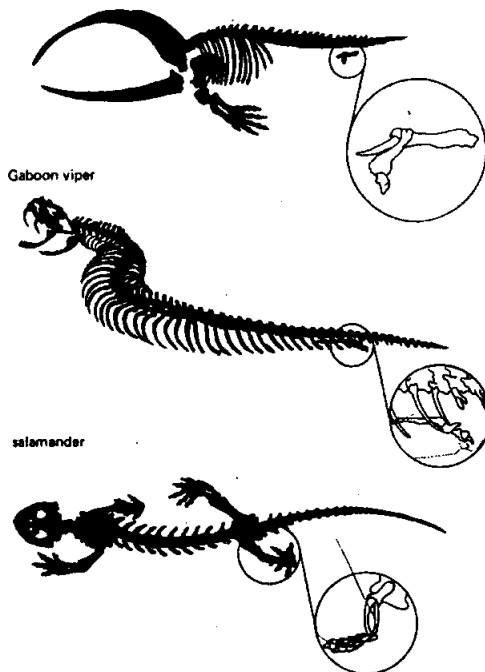


(3) หลักฐานทางชีวเคมี ปัจจุบันความรู้ทางด้านชีวเคมีก้าวหน้ามาก สามารถวิเคราะห์หาลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโนในโปรตีนได้ สิ่งมีชีวิตที่มีความสัมพันธ์กันตามสายวิวัฒนาการจึงมี DNA ที่คล้ายคลึงกัน เนื่องจาก DNA เป็นตัวกำหนดการสร้างเอนไซม์จึงใช้ประโยชน์ในการจำแนกชนิดได้ ถ้ามีไอโซไซม์จากตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง แสดงว่า 2 ตัวอย่าง เป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน

(4) หลักฐานทางคัพภวิทยา ตัวอ่อนของสัตว์มีกระดูกสันหลังมีรูปร่างและรูปแบบการเจริญที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเริ่มมีอวัยวะต่าง ๆ คือ หัว ตา ขา และหาง ซึ่งจะปรากฏชัด ต่อมาอวัยวะเหล่านี้จะเจริญเปลี่ยนแปลงต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของแต่ละชนิด จนบางครั้งอาจเหลือเป็นเพียง โครงสร้างตกค้าง (vestigial structure) เช่น ขาหลังของปลาวาฬซึ่งมีเพียงกระดูกตกค้างอยู่เพียงเล็กน้อย (รูป 17-4) ขณะที่โครงสร้างภายนอกลำตัวลู่ ขาหลังรวมกลืนไปกับส่วนหาง กระดูกขาหลังของงูก็เป็นอวัยวะตกค้างไม่ปรากฏให้เห็นภายนอก แต่ในซาลาแมนเดอร์ ซึ่งใช้ขาทั้งหน้าและหลังยังคงปรากฏชัด

รูป 17-4 เปรียบเทียบอวัยวะตกค้างคือ กระดูกขาหลังของปลาวาฬและงูกับกระดูกขาหลังที่อยู่ครบของซาลาแมนเดอร์

baleen whale จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986



## 17.2 กระบวนการและผลของวิวัฒนาการ

วิวัฒนาการตามตัวอย่างที่กล่าวแล้วเป็นการนำเสนอในรูปแบบมหวิวัฒนาการ (macroevolution) ซึ่งจะเห็นในภาพรวมที่ปรากฏชัดถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง ซึ่งใช้เวลานานนับล้านปี จุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงเป็นผลเนื่องมาจากอันตรกิริยาของสิ่งแวดล้อมต่อสิ่งมีชีวิตซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีน

17.2.1 ยีนและวิวัฒนาการ ในสมัยของดาร์วิน ยังไม่ทราบกลไกของวิวัฒนาการอันเนื่องมาจากการกำหนดลักษณะถ่ายทอดทางพันธุกรรมโดยยีนเหมือนเช่นในปัจจุบัน ซึ่งทราบถึงลำดับการเรียงตัวของนิวคลีโอไทด์ที่กำหนดลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโนในกระบวนการสร้างโปรตีนดังกล่าวแล้วใน ลักษณะปรากฏเช่น สีของดอกไม้เป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ของดอกไม้ในการควบคุมการมีสีและการแพร่กระจายของสี ซึ่งถูกควบคุมโดยเอนไซม์เฉพาะและถูกกำหนดโดยยีนที่อยู่บนส่วนของ โครโมโซม การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในยีนย่อมมีผลกระทบต่อการมีหรือไม่มีสารสีมากระจายอยู่ในเซลล์ของดอกไม้ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของวิวัฒนาการในระดับเซลล์

การศึกษาวิวัฒนาการอาจพิจารณาเพียงลักษณะเดียวหรือพิจารณาหลายลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้น การที่สิ่งมีชีวิตชนิดใดจะมีวิวัฒนาการหรือไม่ต้องพิจารณาในระดับประชากร เช่น พิจารณาลักษณะสีของดอกถั่ว ซึ่งจะมีคู่ของยีนทำให้เกิดสีปรากฏได้หลายสี เรียกยีนที่กำหนดลักษณะของสีว่า ยีนพูล (gene pool) จำนวนยีนพูลในหมู่ประชากรเท่ากับจำนวนคู่ของยีนทั้งหมดที่กำหนดลักษณะสีของดอก (ในกรณีของยีนกำหนดลักษณะอื่นก็ทำนองเดียวกัน) ถ้ามีถั่ว 100 ต้น จะมีคู่ของยีนเป็น 200 (เพราะถั่วเป็นดิพลอยด์) และถ้าพบว่ามี 140 คู่ของยีนกำหนดลักษณะสีม่วงและ 60 คู่ของยีนกำหนดลักษณะสีขาว ความถี่ของคู่ของยีน (allele frequencies) สำหรับสีม่วงเท่ากับ 0.7 (ร้อยละ 70) และสำหรับสีขาวเท่ากับ 0.3 (ร้อยละ 30) ถ้ามีสัตว์มาเลือกกินดอกสีม่วงจนหมด ทำให้หมดโอกาสสืบพันธุ์ต่อไป ยีนที่กำหนดลักษณะดอกสีม่วงทั้งที่เป็นแบบโฮโมไซกัสและเฮเทโรไซกัสจะหมดไปจากประชากรของถั่ว เหลือเพียงยีนที่กำหนดลักษณะดอกสีขาวเท่านั้น ความถี่ของคู่ของยีนจึงเปลี่ยนแปลงโดยลักษณะดอกสีม่วงเป็นศูนย์ ขณะเดียวกันลักษณะดอกสีขาวจะเพิ่มขึ้นมาเป็น 1.0 ผลที่เกิดจากการคัดเลือกตามธรรมชาติ (โดยสัตว์กินพืช) จึงทำให้เกิดวิวัฒนาการ



โดยทั่วไปประชากรของสิ่งมีชีวิตจะอยู่ในลักษณะสมดุล กล่าวคือ ความถี่ของคู่ของยีน และการแพร่กระจายของจีโนไทป์ จากชั่วรุ่นหนึ่ง ไปยังชั่วรุ่นถัดไปจะคงที่ (ตามหลักสถิติ) จึงไม่มีวิวัฒนาการ เป็นไปตามหลักการของ ฮาร์ดีและไวน์เบิร์ก (G.H. Hardy and W. Weinberg) ถ้าความถี่ของคู่ของยีนเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลให้เกิดวิวัฒนาการขึ้นซึ่งเกิดจาก ปัจจัยหลายประการคือ

- (1) ต้องมีการกลาย ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคู่ของยีน
- (2) ต้องมีการอพยพเคลื่อนย้ายจีโนไทป์ (เข้าหรือออก) ในหมู่ประชากรคือมีการอพยพลักษณะยีนที่เป็น โยโมไซกัสหรือเฮเทโรไซกัส
- (3) ประชากรต้องมีขนาดเล็ก (ถ้าประชากรมีขนาดใหญ่มาก ปัจจัยในข้อใดข้อหนึ่งจะ ไม่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของคู่ของยีน)
- (4) ต้องมีการคัดเลือกจีโนไทป์แบบใดแบบหนึ่ง เพื่อการผสมพันธุ์ (คือการผสมพันธุ์ ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ)
- (5) คู่ของยีนต้องมีการคัดเลือกตามธรรมชาติ กล่าวคือจีโนไทป์แบบใดแบบหนึ่ง สามารถมีชีวิตรอดได้ดีกว่าแบบอื่น

ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนพูลในหมู่ประชากร ทำให้เกิดวิวัฒนาการ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่งว่า มีวิวัฒนาการหรือไม่ และยังนำหลักการมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกพันธุ์สิ่งมีชีวิตให้ได้ลักษณะตามที่มนุษย์ต้องการ (ซึ่งเป็นการทำลายกลไกสมดุลทางธรรมชาติอย่างหนึ่ง)

17.2.2 กระบวนการวิวัฒนาการ วิวัฒนาการมีกลไกการเกิดเนื่องมาจากหลายกระบวนการ จนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของยีนพูลดังกล่าวแล้ว กระบวนการสำคัญที่จะกล่าวถึงในที่นี้คือ การกลาย การอพยพ สำหรับกระบวนการอื่น เช่น ขนาดของประชากร การผสมพันธุ์แบบสุ่ม การถูกแยกเป็นกลุ่มอิสระ และอื่น ๆ จะกล่าวถึง โดยแยกหัวข้อต่างหาก

(1) การกลาย เมื่อมีการกลายเกิดขึ้นในรูปแบบใดก็ตาม ย่อมมีผลกระทบต่อยีนพูลตามสัดส่วนของการกลายและตามขนาดของประชากร สิ่งที่ควรระวังคือการกลายเกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยไม่มีการหวังผลล่วงหน้าว่าจะมีชีวิตรอดหรือไม่ ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะต่อการกลายที่มีชีวิตรอด ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะก็จะเสียชีวิต เช่นพืชเขตร้อนมีการกลายของเมล็ด

ที่ทนต่อความแห้งได้ดี ถ้าพืชชนิดนั้นมีเมล็ดทล่นลงในที่ชุ่มชื้นก็เป็นการกลายที่ไม่มีผลต่อวิวัฒนาการ เพราะสามารถดำเนินชีวิตในลักษณะเดิมของตนได้ แต่ถ้ามีลมหรือสัตว์พาเมล็ดไปหล่นในที่แห้งแล้ง เมล็ดที่มีการกลายจะสามารถมีชีวิตรอดและเจริญอกเป็นต้นอ่อนได้ต่อไปเมื่อมีความชื้นหมุนเวียนกลับมาอีก ในระยะยาวแม้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม การกลายก็มีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของยีนพูล เมื่อเมล็ดพืชที่มีการกลายสืบทอดลักษณะทนต่อความแห้งแล้งหลายชั่วรุ่น สัดส่วนของยีนพูลที่ทนต่อความแห้งแล้งจะเพิ่มมากขึ้น ในหมู่ประชากรของพืชชนิดนั้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมไปสู่ความแห้งแล้ง ยีนพูลที่ทนต่อความแห้งแล้งจะมีชีวิตรอดสามารถสืบทอดลักษณะใหม่ต่อไปเป็นการเริ่มต้นของวิวัฒนาการ

(2) การอพยพ โดยทั่วไปความหมายคำว่า อพยพ หมายถึงการเคลื่อนย้ายยีนในหมู่ประชากร มักเกิดขึ้นตามฤดูกาลในสิ่งมีชีวิตหลายชนิดโดยเฉพาะในกลุ่มของสัตว์พวกนก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ลิงบาบูนอยู่รวมกันเป็นฝูง จำฝูงเพศผู้จะมีหน้าที่คุ้มครองเพศเมียทุกตัวพร้อมทั้งทำหน้าที่ผสมพันธุ์ด้วย ลิงเพศผู้ที่เกิดใหม่เมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์จะต้องอพยพออกไปจากฝูงเพื่อให้มีโอกาสดำเนินจำฝูงในฝูงอื่น ซึ่งถ้าไม่สามารถทำได้ก็จะหมดโอกาสผสมพันธุ์ เพศผู้ที่อ่อนแอยังคงอยู่ในฝูง แต่มีบางตัวที่แข็งแรงมีโอกาสที่จะขึ้นมาทำหน้าที่จำฝูงในอนาคต ดังนั้นจึงมีการกระจายลักษณะเด่นอยู่ในฝูงของตนเอง และนำไปสู่ฝูงอื่นในหมู่ประชากรของลิงบาบูนด้วยกัน เป็นการเฉลี่ยสัดส่วนของยีนลักษณะต่าง ๆ ในหมู่ประชากรขนาดใหญ่ได้ ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงยีนพูล ถ้าไม่มีการอพยพ อาจเนื่องจากมีอุปสรรคตามธรรมชาติ หรือโดยการกระทำของมนุษย์ ลักษณะเฉพาะบางอย่างจะถูกจำกัดไว้ในฝูงใดฝูงหนึ่ง เมื่อถูกสืบทอดหลายชั่วรุ่นในระยะเวลานานนับล้านปี จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนยีนพูลลักษณะต่าง ๆ ในหมู่ประชากรลิงบาบูนทำให้เกิดวิวัฒนาการไปสู่ชนิดใหม่ได้

17.2.3 ผลของการคัดเลือกตามธรรมชาติ ประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่งย่อมมีลักษณะเฉพาะของตนเอง สมาชิกในหมู่ประชากรจำนวนน้อยที่อาจมีลักษณะผันแปรไปจากลักษณะเฉพาะ เมื่อพิจารณาตามหลักสถิติจะพบว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้งปกติ (รูปประฆังคว่ำ) กลุ่มที่มีการผันแปรจำนวนน้อยก็เกิดจากการผันแปรทั้งที่เนื่องมาจากยีนและการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม เช่นหญ้าที่ยืนควบคุมการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ดีทำให้เจริญอย่างรวดเร็ว คู่ของยีนชนิดนี้ที่เป็นลักษณะด้อยจะเจริญได้ช้าเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแหล่งเดียวกัน แต่ถ้านำ

หญ้าที่มีถิ่นควบคุมการสังเคราะห์ด้วยแสงตีมาปลูกในสภาพแวดล้อมไม่ดี คือดินขาดธาตุอาหาร และสภาพแห้งแล้ง การเจริญจะช้า ลำต้นแคระแกรนมีลักษณะปรากฏเช่นเดียวกับกลุ่มที่มีถิ่นค้อย สภาพแวดล้อมจึงมีบทบาททำการคัดเลือกตามธรรมชาติให้มีลักษณะปรากฏเปลี่ยนแปลงไปจาก ลักษณะที่ถูกควบคุมโดยยีน เป็นผลให้ลักษณะเฉพาะ (เจริญเร็ว) ของประชากรส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จะเห็นได้ว่าลักษณะที่ถูกควบคุมโดยยีนทำหน้าที่ชี้นำลักษณะปรากฏ แต่ลักษณะปรากฏอาจเป็นไปตามการควบคุมของยีนหรือตามสภาพแวดล้อมก็ได้ อย่างไรก็ตามการคัดเลือกตามธรรมชาติมีผลเพียงบางสมาชิกในหมู่ประชากร แต่ในหมู่ประชากรขนาดใหญ่การเกิดวิวัฒนาการย่อมเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของยีนพูลเสมอ การคัดเลือกตามธรรมชาติที่จะนำไปสู่วิวัฒนาการ ได้จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงของทั้งยีนพูลและสภาพแวดล้อมด้วย

17.2.4 การเกิดสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ ดังได้กล่าวแล้วว่าการผันแปรไปจากลักษณะรวมของประชากรส่วนใหญ่ มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด การอพยพเป็นการกระจายและเฉลี่ยความผันแปรทั้งที่มีลักษณะเด่นและค้อยในหมู่ประชากรทำให้ยีนพูลอยู่ในลักษณะสมดุล จึงไม่มีวิวัฒนาการ การจะมีวิวัฒนาการเกิดขึ้นย่อมต้องมีการเปลี่ยนแปลงยีนพูล ปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดวิวัฒนาการ คือ การแยกเป็นอิสระ (isolation) จากประชากรส่วนใหญ่ สภาพทางภูมิศาสตร์ที่ทำให้ชนิดเดียวกันถูกแยกออกจากกัน ได้แก่ ภูเขา หุบเขา ทะเล และมหาสมุทรรวมถึงทะเลทรายซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการไหลเวียนของยีนในประชากร ทำให้ประชากรถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย โดยมีถิ่นที่ผันแปรไปจากยีนลักษณะเด่น ซึ่งมีอยู่ในประชากรส่วนใหญ่มีบทบาทที่จะแสดงยีนผันแปรให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ต่างออกไปได้มากที่สุด ให้มีโอกาสมีชีวิตรอดและสืบทอดลักษณะนั้นไปยังชั่วรุ่นถัดไปเรื่อย ๆ จนมีวิวัฒนาการมาสู่สิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ได้ในที่สุด

ตัวอย่างที่ศึกษาพบชนิดหนึ่งคือ กระรอก tassel-eared squirrel ซึ่งเดิมเคยอาศัยอยู่ในแถบแกรนด์แคนยอนรัฐอาร์โซนา เมื่อเริ่มเกิดหุบเขาลึกชั้นแรกยังไม่มีความลึก (เกินกว่า 1,000 เมตร) และความกว้าง (เกินกว่า 2,000 เมตร) เป็นอุปสรรคต่อการไหลเวียนยีนในหมู่ประชากร เป็นระยะเวลาหลายล้านปี ยังผลให้ในปัจจุบันพบกระรอก 2 ชนิดใหม่ที่สืบทอดสายพันธุ์เดิมมาจาก tassel-eared squirrel คือ ทางด้านทิศเหนือของแกรนด์แคนยอนมีกระรอกพันธุ์ Kaibab squirrel และทางด้านทิศใต้มีกระรอกพันธุ์ Albert squirrel

17.2.5 การแยกผสมพันธุ์อิสระ ตามหลักของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ถ้ามีการผสมพันธุ์แบบ สุ่มในหมู่ประชากร จะมีการเฉลี่ยสัดส่วนของยีนพูล ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงยีนพูลจึงไม่เกิดวิวัฒนาการขึ้น การแยกเป็นอิสระเนื่องมาจากสภาพทางภูมิศาสตร์ ( ในปัจจุบันมักเกิดจากการกระทำของมนุษย์) ยังผลให้ขนาดของประชากรเล็กลงและมีการแยกผสมพันธุ์โดยที่ยีนเฉพาะ แบบใดแบบหนึ่งมีโอกาสได้รับการถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นต่อไปได้มากขึ้น จนได้ลักษณะต่างไปจาก ลักษณะเฉพาะเดิม เช่นกรณีของกระรอก tassel-eared squirrel ทำให้มีวิวัฒนาการไปสู่ พันธุ์ใหม่

17.2.6 การสูญพันธุ์ สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในโลกมักมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษ เดิมที่สูญพันธุ์แล้วเนื่องจากไม่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ที่เปลี่ยนแปลงไป มีหลาย ชนิดที่สูญพันธุ์โดยไม่มีรุ่นใหม่ที่วิวัฒนาการสืบทอดสายพันธุ์ เช่น สัตว์ขาปล้องพวก trilobite สัตว์เลื้อยคลานพวก dinosaur และแมว saber-tooth cat นักวิทยาศาสตร์ประมาณว่า สิ่งมีชีวิตที่เคยมีกำเนิดขึ้นในโลกได้สูญพันธุ์ไปแล้วถึงร้อยละ 99.9 ความเชื่อดังกล่าวเนื่องมาจากข้อบ่งชี้ 2 ประการคือ

(1) การถูกจำกัดการแพร่กระจาย เช่น ปลา Devil's Hole pupfish ซึ่ง อาศัยอยู่ในบ่อน้ำพุในทะเลทรายเนวาดา ในยุคน้ำแข็งครั้งสุดท้าย บริเวณทะเลทรายเนวาดา ยังมีฝนจึงทำให้มีแหล่งน้ำมาก ในปัจจุบัน เมื่อโลกเปลี่ยนแปลง แหล่งน้ำหดหายไปเหลือเพียง แหล่งน้ำใต้ดิน ปลาถูกจำกัดอยู่ในที่แคบ และถูกแบ่งออกเป็นหลายชนิดในปัจจุบัน และถ้าแหล่ง น้ำพุหมดไป ปลาเหล่านั้นก็จะสูญพันธุ์เพราะไม่พบปลา pupfish ในแหล่งน้ำอื่นในโลก ในทาง ตรงกันข้าม ชนิดที่มีการแพร่กระจายได้ทั่วโลก จะไม่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ เพราะถ้าถิ่นที่อยู่ อาศัยบางบริเวณเปลี่ยนแปลงไป ก็ยังมีประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นมีชีวิตรอดอยู่ในแหล่งอื่น ดัง เช่นกรณีของวัชพืชที่พบได้ทั่วโลกทั้งในเขตอบอุ่น เช่น แดนดิเลียน (dandelion) และเขตร้อนชื้น เช่น หนุ่กา (Imperata cylindrica)

(2) การมีลักษณะพิเศษมากเกินไป (overspecialization) การปรับตัวของ สิ่งมีชีวิตให้อยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดหรือลักษณะพิเศษ ทำให้เกิดผลเสียในด้านการ ปรับเปลี่ยนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต สัตว์ขนาดใหญ่ที่กินหญ้า มักเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ เนื่องจากต้องกินหญ้าเป็นจำนวนมาก เพื่อให้เพียงพอต่อกระบวนการ

เมแทบอลิซึมของร่างกาย เช่น ควายป่าอเมริกา (bison) ช้าง แรด สัตว์พวกนี้ไม่มีบรรพบุรุษที่สูญพันธุ์หมดแล้ว เมื่อทุ่งหญ้าและป่าเริ่มหดหายจากการกระทำของมนุษย์จึงเสี่ยงต่อการขาดอาหารและนำไปสู่การสูญพันธุ์ได้ในอนาคต ในทางตรงกันข้าม สัตว์ขนาดเล็กที่กินอาหารประเภทเดียวกันจะมีชีวิตรอดได้ไม่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ เช่น กระรอกดิน หรือสัตว์กินหญ้าขนาดเล็กชนิดอื่น