



คำชี้แจง

คู่มือการใช้สื่อการสอนวิชาชีววิทยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการใช้สื่อประกอบการสอนวิชาชีววิทยา คู่มือนี้ได้รับจุดประสงค์ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาในสื่อและแนวทางการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ครูเข้าใจเนื้อหาของเรื่องที่สอน สามารถใช้สื่อประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเตรียมตัวและเตรียมแผนการสอนให้เหมาะสมกับนักเรียนในชั้น โดยที่สื่อการสอนตอนนี้ได้นำเนื้อหาและภาพวิดีโอบางส่วนจากเว็บไซต์ Evolution ของสถานีโทรทัศน์ PBS ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเผยแพร่แก่สาธารณชนโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (<http://www.pbs.org/wgbh/evolution/>) มาเรียบเรียงใหม่เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและชัดเจนขึ้น จึงเหมาะแก่การศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายขึ้นไป สำหรับคู่มือการใช้เล่มนี้ยังมีส่วนของภาคผนวกที่ประกอบด้วยคำอธิบายเพิ่มเติม พร้อมทั้งคำอธิบายศัพท์ และแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะช่วยให้ครูสามารถสอนวิชาชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปิดโลกทัศน์ในการเรียนรู้มากขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ประคอง ตั้งประพจน์กุล

ผู้จัดทำคู่มือ
ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	13
ภาคผนวก	14
ก. คำอธิบายเพิ่มเติม	
ข. คำอธิบายศัพท์	
ค. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมดจำนวน 92 ตอน	20



เรื่อง

วิวัฒนาการของมนุษย์

“วิวัฒนาการของ มนุษย์” เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอน เรื่อง **วิวัฒนาการ** ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 9 ตอน คือ

1. ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร
2. หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ
3. วิวัฒนาการในชีวิตประจำวัน
4. ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน
5. วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา
6. วิวัฒนาการในระดับประชากร
7. กำเนิดของโลกและสิ่งมีชีวิต
8. วิวัฒนาการของมนุษย์
9. วิวัฒนาการของสัตว์



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับหลักฐานจากโครงกระดูกและซากฟอสซิลที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของมนุษย์ว่ามีร่วมกับลิงตั้งแต่เมื่อหลายล้านปีก่อน รวมถึงสามารถ อธิบายแนวทางที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ลำดับพันธุกรรมในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการระหว่างสิ่งมีชีวิต

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. สรุปความเป็นเครือญาติทางวิวัฒนาการระหว่างคนและลิง
2. บอกความสำคัญของการศึกษาโครงกระดูกเพื่อบอกแนวทางในการเคลื่อนที่ของร่างกาย
3. ระบุองค์ประกอบของสายดีเอ็นเอ
4. บอกความหมายของคำว่า บรรพบุรุษร่วม
5. อธิบายความสำคัญของการค้นพบซากฟอสซิลของ Lucy
6. บอกบทบาทของนักชีววิทยาต่อการศึกษาบรรพบุรุษของมนุษย์

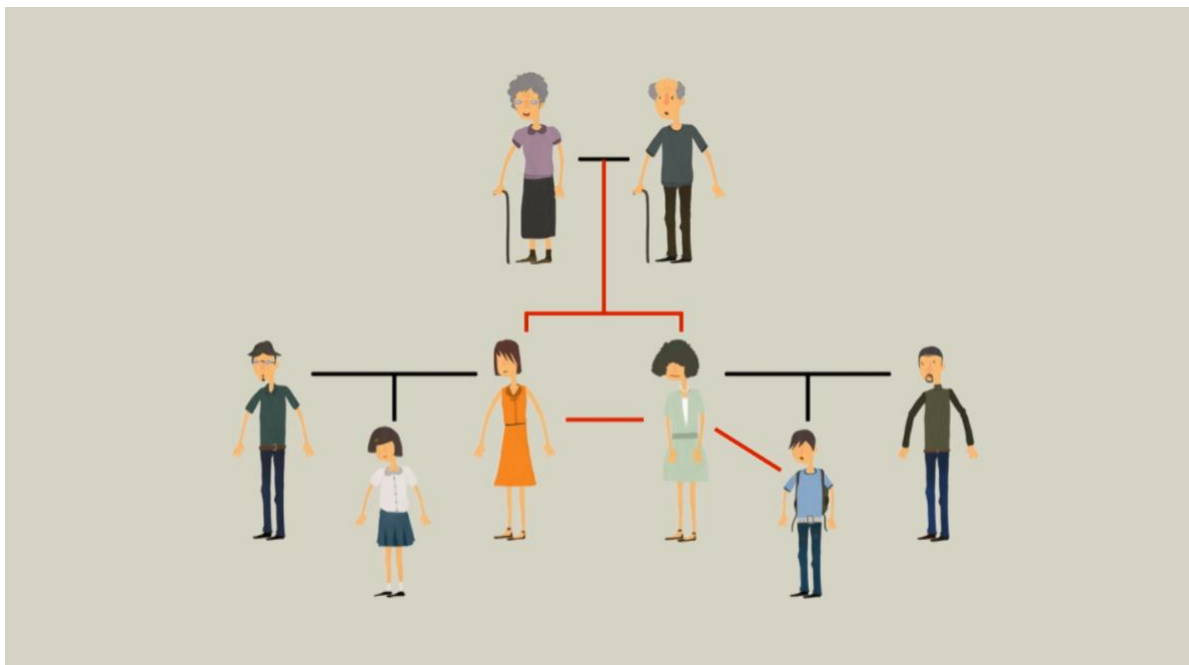


สาระ

มนุษย์ไม่ได้วิวัฒนาการมาจากลิง แต่เป็นเครือญาติกัน

หนึ่งในความจริงที่น่าพิศวงที่สุด เกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ที่ดาร์วินและนักวิทยาศาสตร์อีกหลาย ๆ ท่านได้ค้นพบ นั่นคือ มนุษย์เรานั้นไม่ได้เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีกำเนิดจำเพาะแปลกแยกออกมาจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ แต่เราเดินอยู่บนเส้นทางความสัมพันธ์ร่วมกับชีวิตทั้งหมดบนโลก เป็นเรื่องปกติที่จะทำได้ยากกว่าเรานั้นมีความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืช สัตว์ เห็ดรา แม้แต่กับสิ่งมีชีวิตที่มีรูปร่างธรรมดาที่สุดอย่างแบคทีเรีย สำหรับหลายคนแล้ว มันยิ่งทำได้ยากขึ้นไปอีกถ้าจะบอกว่าเรามีความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการอย่างใกล้ชิดกับลิงและ primate (ไพรเมต) อื่นๆ

วิธีหนึ่งที่จะทำให้เราเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับ primate อื่นๆ ที่ยังมีชีวิตอยู่ ก็คือการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเรากับญาติของเรา ย้อนกลับไปจนถึงบรรพบุรุษของเรา เริ่มจากครอบครัวของนักเรียน คือ ตัวนักเรียนเองและพ่อแม่ของนักเรียน นักเรียนมีความสัมพันธ์กับพวกท่านและสืบทอดเชื้อสายมาจากท่าน แม่ของนักเรียนมีพี่สาว ซึ่งก็คือป้าของนักเรียน และลูกของป้าก็จะเป็นลูกพี่ลูกน้องของนักเรียน นักเรียนเป็นญาติกับเขา แต่ไม่ได้สืบทอดเชื้อสายมาจากเขา (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงแผนผังความสัมพันธ์ในเครือญาติระหว่างนักเรียนและลูกพี่ลูกน้อง

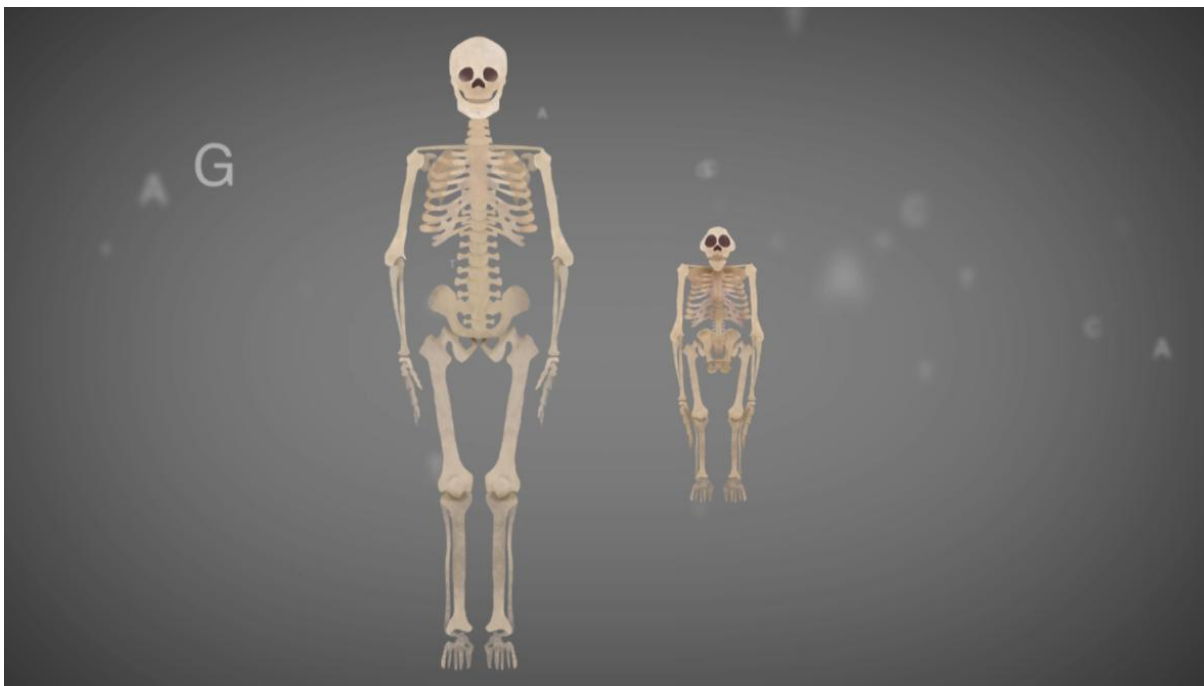


เมื่อนักเรียนมองย้อนกลับไปทีคนรุ่นก่อน นักเรียนจะเห็นบรรพบุรุษของนักเรียน ดังนั้น นักเรียนและลูกพี่ลูกน้องมีบรรพบุรุษร่วมกัน 2 คนที่ใกล้ชิดกันมาก ในแง่ก็คือ ยายและตาของนักเรียน ถ้านักเรียนมองย้อนบรรพบุรุษ กลับไปเรื่อยๆ ไปนานถึง 5 ล้านปีก่อน นักเรียนจะย้อนกลับไปถึงบรรพบุรุษร่วมของเรากับลิง ape (เอป) ในปัจจุบัน

มนุษย์วิวัฒนาการมาเป็นสัตว์สองขา

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบโครงกระดูกของ primate สมัยใหม่สองชนิด คือ มนุษย์และลิงชิมแพนซี เราจะเห็นโครงกระดูกของมนุษย์ซึ่งยืนสองขาตามแบบที่เราคุ้นเคยกันดี และโครงกระดูกที่มีขนาดเล็กกว่าของลิงชิมแพนซีที่ยืนสี่ขาและเป็นญาติสนิทที่สุดของเรา (ดังภาพที่ 2)

วิวัฒนาการของมนุษย์เริ่มด้วยการที่มนุษย์เดินด้วยสองขา ซึ่งได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามมามากหลายประการ เส้นประสาทจากสมองของมนุษย์นั้นออกมาจากส่วนฐานของกะโหลกแล้วลากยาวลงมา แทนที่จะออกมาจากด้านหลังของกะโหลกเหมือนกับของลิง กระดูกเชิงกรานนั้นก็มียูปร่างที่แตกต่างกันมาก ชิมแพนซีมีเชิงกรานที่แคบและยาว ส่วนของมนุษย์จะกว้างออกและสั้น มนุษย์เดินโดยหัวเข้าทั้งสองซิดเข้าหากัน ส่วนชิมแพนซีเดินโดยเข้าแยกห่างออกจากกัน นอกจากนี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงอีกเล็กๆ น้อยๆ ที่นำไปสู่วิวัฒนาการของบรรพบุรุษของเราจนทำให้มนุษย์กลายเป็นสัตว์ที่เดินสองขาได้



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะโครงกระดูกที่แตกต่างกันระหว่างมนุษย์และลิงชิมแพนซี

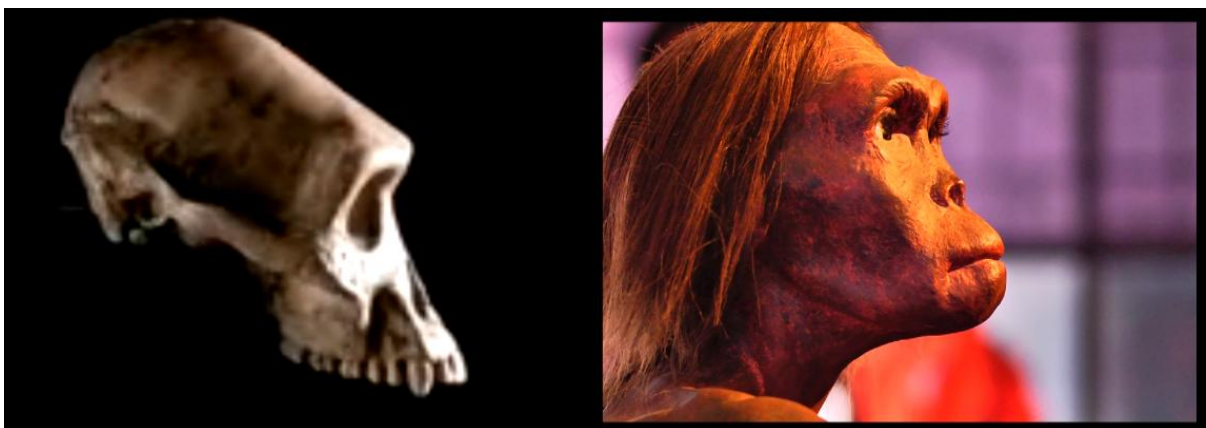


จะเห็นว่ามนุษย์เราไม่ได้วิวัฒนาการจากลิง แต่เรามีบรรพบุรุษร่วมกับลิง ซึ่งบรรพบุรุษของเรามี
โครงกระดูกคล้ายกับของลิงชิมแปนซีเป็นอย่างมาก จริงๆ แล้ว วิวัฒนาการของมนุษย์มีจุดเปลี่ยนแปลง
ที่สำคัญอยู่ที่การปรับเปลี่ยนวิธีการเคลื่อนที่จากโครงกระดูกที่เป็นลักษณะของสัตว์สี่ขา ให้กลายเป็น
สามารถเคลื่อนที่ด้วยขาสองขา

Lucy (ลูซี) ตัวอย่างบรรพบุรุษของมนุษย์

นักวิทยาศาสตร์ ได้ออกสำรวจค้นหาบรรพบุรุษของมนุษย์เรา และซากฟอสซิลบรรพบุรุษที่มี
ชื่อเสียงโด่งดังที่สุดซากหนึ่ง ที่มีชื่อว่า Lucy ในปี ค.ศ. 1976 ณ เมืองเฮดาร์ ประเทศเอธิโอเปีย ซาก
ฟอสซิลที่น่าทึ่งอย่างยิ่งได้ถูกค้นพบโดย Don Johanson (ดอน โจแฮนสัน) นักบรรพมานุษวิทยาชาว
อเมริกัน Johanson ค้นพบซากฟอสซิลข้อต่อหัวเข่าแยกอยู่เป็นชิ้นๆ ซึ่งฟอสซิลหัวเข่านี้มีอายุกว่า 3
ล้านปี ในตอนแรก เขานึกว่ามันเป็นของลิง แต่ข้อต่อหัวเข่านี้มีลักษณะจำเพาะตรงที่มันสามารถจะต่อ
เป็นแนวตรงได้ ซึ่งนั่นเป็นลักษณะของหัวเข่าของมนุษย์ที่ทำให้เราสามารถยืนตัวตรงสองขาได้ ซาก
ฟอสซิลกระดูกหัวเข่านี้ทำให้ Johanson เชื่อว่าเขาได้ค้นพบฟอสซิลของสิ่งมีชีวิตที่สามารถเดินสองขา
ได้เหมือนกับคนเรา และอาจจะเป็นบรรพบุรุษของมนุษย์ยุคปัจจุบัน

ในปีต่อมา Johanson และคณะได้กลับไปเฮดาร์เพื่อทำการวิจัยต่อไป การค้นหาฟอสซิล
จะต้องใช้สายตาที่ฝึกมาอย่างดีและมีความอดทนอย่างมาก พวกเขาได้ค้นพบกระดูกส่วนขา เศษ
ขากรรไกรและชิ้นส่วนของกะโหลก เมื่อกลับไปค่ายแล้ว พวกเขาได้ต่อกระดูกที่พบเข้าด้วยกัน ทีม
สำรวจตั้งใจมากที่ค้นพบว่า กระดูกส่วนใหญ่ที่พวกเขาพบนั้นเกือบทั้งหมดมีอายุเก่าแก่ยิ่งกว่ากระดูกใดๆ
ที่เคยรู้จักกันในตอนนั้น รูปทรงของขากรรไกรล่างและโครงสร้างฟันเป็นลักษณะเฉพาะของซากฟอสซิล
ที่แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะผสมกันระหว่างของลิง ape และของมนุษย์ (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะฟอสซิลหัวกระดูกของ Lucy เทียบกับแบบจำลองตามจินตนาการ



ชิ้นส่วนกระดูกหลายร้อยชิ้นได้ถูกนำมาต่อกัน เมื่อทั้งโครงได้เรียงเข้าด้วยกัน พวกเขา ก็พบว่ามันเป็นผู้หญิงที่โตเต็มวัยตัวเล็กมากสูงแค่ 3 ฟุตครึ่ง (ดังภาพที่ 3) พวกเขาเชื่อว่าเธอจะเป็นส่วนสำคัญในการไขปริศนาเกี่ยวกับวิวัฒนาการของมนุษย์ คืบนั้นพวกเขาฉลองกันและตั้งชื่อให้โครงกระดูกนี้ว่า Lucy จากชิ้นส่วนกะโหลกของ Lucy นั้นพอจะสรุปได้ว่าสมองของเธอค่อนข้างเล็ก กะโหลกมีลักษณะคล้ายกับของลิง ape มากโดยมีสันคิ้วที่นูนขึ้นมากคล้ายกับของลิง ape กะโหลก Lucy นั้นมีหน้าผากที่ลาดไปทางด้านหลังและมีหน้าส่วนล่างยื่นออกมา สมองมีขนาดประมาณเท่ากับของลิงชิมแปนซีซึ่งมีขนาดเพียง 1/3 ของสมองมนุษย์ปัจจุบัน

โครงกระดูกของ Lucy แสดงให้เห็นว่าบรรพบุรุษของมนุษย์เริ่มเดินตั้งตรงมานานแล้วก่อนที่สมองจะพัฒนาใหญ่ขึ้น ถึงแม้ว่าฟอสซิลอื่นๆที่พบในเวลาต่อมาจะแสดงว่า ก่อนที่ Lucy จะเกิดนั้นได้มีบรรพบุรุษของมนุษย์ที่เดินตั้งตรงได้มาเป็นเวลากว่าล้านปีแล้ว แต่ Lucy ก็ยังคงเป็นฟอสซิลที่เป็นหลักฐานสำคัญของบรรพบุรุษของมนุษย์มากกว่า 30 ปีหลังจากที่เธอถูกค้นพบ



ภาพที่ 3 แสดงแบบจำลองของ Lucy ที่องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ



DNA (ดีเอ็นเอ) เป็นหลักฐานสำคัญของวิวัฒนาการ

แม้ว่าจะแทบไม่น่าเชื่อว่ามนุษย์เรากับลิงชิมแปนซีจะเป็นญาติสนิทกัน ความจริงแล้ว ถึงแม้ว่าเมื่อมองจากลักษณะภายนอกคนกับลิงอาจจะดูแตกต่างกันมาก แต่ถ้าได้ศึกษาลึกลงไปถึงระดับพันธุกรรม จะพบว่าเรามีความแตกต่างกันน้อยมาก ในไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบหลักฐานใหม่ที่แสดงให้เห็นอย่างตรงไปตรงมาถึงความสัมพันธ์ใกล้ชิดระหว่างมนุษย์กับชิมแปนซี หลักฐานนี้คือ DNA

มนุษย์เรามี DNA ลิงก็มี DNA สัตว์อื่นๆ ต้นไม้ หรือแม้แต่แบคทีเรียก็มี DNA สิ่งมีชีวิตทุกชนิดล้วนมี DNA เป็นสารพันธุกรรม และถ้าเราเปรียบเทียบ DNA ระหว่างสิ่งมีชีวิตสองสปีชีส์ เราจะสามารถเห็นได้ว่า ทั้งสองสปีชีส์นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันมากน้อยเพียงใด

สาย DNA นั้นประกอบด้วยหมู่ของสารเคมีที่เรียกว่า base (เบส) ซึ่งมีอยู่สี่ชนิด เรียงสลับกันไป ลำดับของ base ทั้งสี่ชนิดนี้เป็นตัวกำหนดรูปร่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตต่างๆ base ตั้งต้นทั้งสี่นี้ เรียกแทนด้วยอักษรว่า A T G และ C (ดังภาพที่ 4) สิ่งมีชีวิตแต่ละรุ่นจะถ่ายทอดลักษณะทางเคมีนี้ไปสู่ลูกหลาน แต่อาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นในการทำซ้ำของสาย DNA ขึ้น ความผิดพลาดนี้คือ การกลายพันธุ์ (mutation) ซึ่งจะก่อให้เกิดลักษณะใหม่ๆ ของสิ่งมีชีวิตขึ้นได้

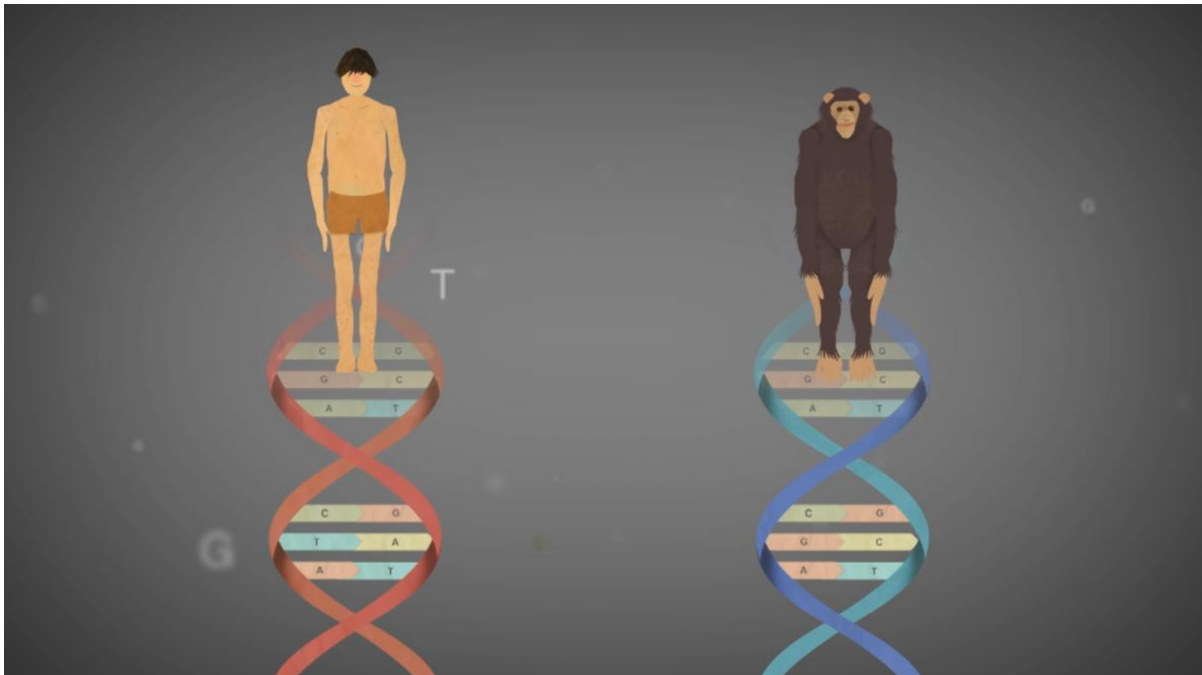


ภาพที่ 4 แสดงลักษณะลำดับของ base ที่เรียงตัวบนสาย DNA



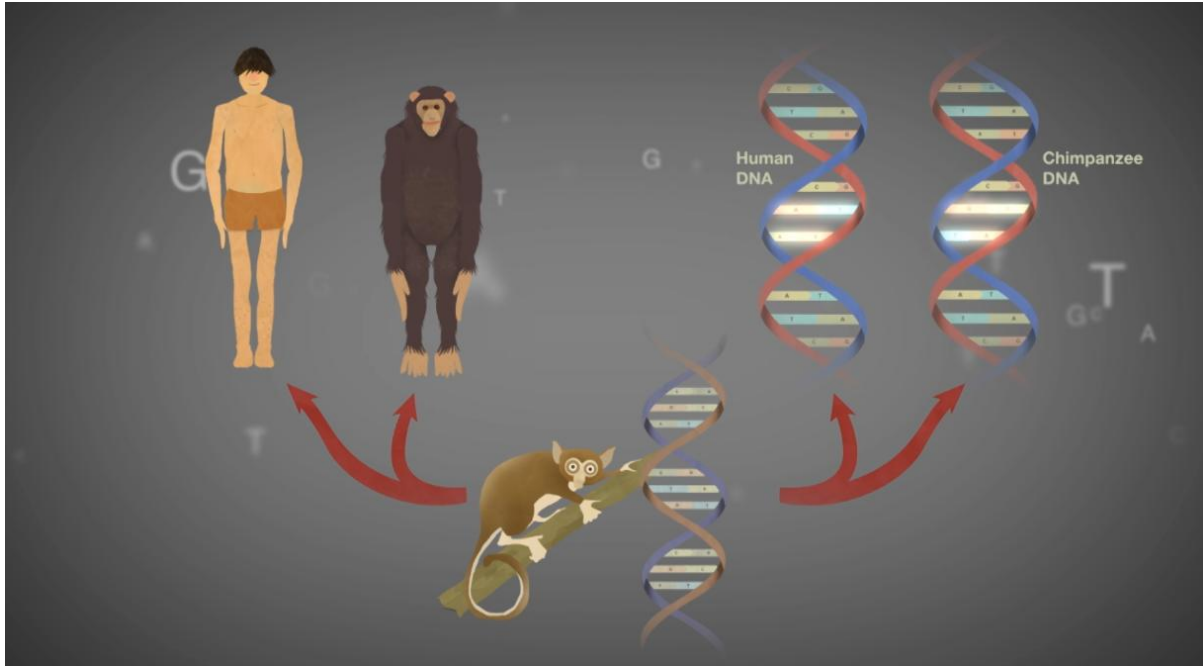
การเปรียบเทียบลำดับ DNA ของมนุษย์และลิง

นักวิทยาศาสตร์นำเอา DNA ของยีนบางส่วนของมนุษย์ มาเรียงเข้ากับ DNA ของยีนเดียวกันที่พบในชิมแปนซี เพื่อเปรียบเทียบลำดับ base บนสาย DNA สิ่งนี้นักวิทยาศาสตร์พบก็คือ ลำดับ base ของยีนของมนุษย์และชิมแปนซีนั้นเหมือนกันเป็นอย่างยิ่ง คือ เหมือนกันถึง 98% มี DNA ที่กลายพันธุ์เปลี่ยนแปลงไปไม่กี่จุดเท่านั้น (ดังภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 แสดงลำดับ DNA ของมนุษย์และลิงมีความแตกต่างกันเพียงบางจุด

การที่ลำดับ DNA ของมนุษย์และของชิมแปนซีมีจุดที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ก็เพราะว่ามนุษย์และชิมแปนซีมีบรรพบุรุษร่วมกันมาโดยตลอด และเพิ่งจะวิวัฒนาการแยกจากกันเมื่อไม่กี่ล้านปีมานี้เอง ซึ่งตามหลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากลำดับของ DNA นั้น ยิ่งสิ่งมีชีวิตได้เคยวิวัฒนาการแยกออกจากบรรพบุรุษร่วมของพวกมันมาเป็นเวลานานมากแล้วเพียงใด ก็จะทำให้ลำดับ DNA ของพวกมันที่ได้มาจากยีนเดียวกันนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างสะสมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แสดงลำดับ DNA ของมนุษย์และลิงที่มีการกลายพันธุ์แตกต่างกันไป
ภายหลังจากที่มนุษย์และลิงวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วม

เพื่อให้ชัดเจนขึ้น นักวิทยาศาสตร์แสดงลำดับ DNA ของยีนเดียวกันนั้น ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่แตกต่างจากมนุษย์อย่างสิ้นเชิง นั่นก็คือ หนู ลองดูเปรียบเทียบระหว่างของมนุษย์กับหนู แล้วเปรียบเทียบมนุษย์กับชิมแพนซี จะเห็นว่าเราแตกต่างจากหนูมาก นั่นเป็นเพราะว่าบรรพบุรุษร่วมของเรากับหนูนั้นมีอายุอยู่ตั้งแต่เมื่อ 80-100 ล้านปีก่อน ทำให้มีเวลามากขึ้นเป็นอย่างมาก ที่จะเกิดความแตกต่างสะสมไว้ระหว่างลำดับ DNA ของมนุษย์และของหนู

มนุษย์และลิงมีบรรพบุรุษร่วมกันเมื่อหลายล้านปีก่อน

เราพบว่าลำดับ DNA ของ primate นั้นเปลี่ยนไปในอัตราประมาณหนึ่งเปอร์เซ็นต์ต่อสามล้านปี พูตอีกนัยหนึ่ง คือ บรรพบุรุษร่วมของมนุษย์และชิมแพนซียังมีชีวิตอยู่เมื่อประมาณ 5 ล้านปีมาแล้ว ซึ่งเราสามารถจะประมาณช่วงเวลานี้ได้จากการศึกษาวิเคราะห์ลิกลงไปที่ถึงลำดับ base ของสาย DNA

คงพอที่จะเดาได้ว่าในยุคศตวรรษที่ 19 สมัยของชาร์ล ดาร์วิน หรือย้อนกลับไปเกือบสองร้อยปีก่อนนั้น การที่จะพูดว่ามนุษย์และลิงชิมแพนซีนั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดเป็นเครือญาติกันนั้น นับว่าเป็นเรื่องที่ร้ายแรงมาก เนื่องจากว่า ในช่วงเวลานั้น ยังไม่ค่อยมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ยืนยันและสนับสนุนแนวคิดของดาร์วินได้ แต่ตั้งแต่ช่วงศตวรรษที่ 20 เป็นต้นมา เราเริ่มได้หลักฐานบันทึกซากฟอสซิลเพิ่มขึ้น การนำเอาข้อมูลลักษณะฟอสซิลต่างๆที่ค้นพบ มาประกอบกับข้อมูลด้านลักษณะกายภาพและหลักฐานทางโมเลกุล ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถยืนยันได้อย่างไม่ต้องมีข้อกังขาเลยว่า



มนุษย์และลิง ape นั้นมีบรรพบุรุษร่วมกันมาตั้งแต่เมื่อไม่กี่ล้านปีก่อน โดยสืบทอดลักษณะหลายประการ
อย่างต่อเนื่องมาจาก primate ในยุคโบราณ และมนุษย์เองก็ยังคงมีวิวัฒนาการต่อไปเรื่อยๆ
(ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 แสดงภาพจินตนาการลำดับวิวัฒนาการของมนุษย์



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง “วิวัฒนาการของมนุษย์” เป็นสื่อที่เน้นให้เห็นว่า มนุษย์ไม่ได้วิวัฒนาการมาจากลิง แต่มนุษย์และลิงเป็นเครือญาติใกล้ชิดกันที่มีบรรพบุรุษร่วมกัน โดยอาศัยหลักฐานหลากหลายอย่าง ตั้งแต่การศึกษาเปรียบเทียบโครงกระดูก ของมนุษย์และลิงในปัจจุบันโดยเฉพาะส่วนกะโหลก เซิงกราน และขาหลัง ไปจนถึงซากฟอสซิลของบรรพบุรุษในอดีต รวมไปถึงการเปรียบเทียบลำดับพันธุกรรมเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการระหว่างมนุษย์และลิง

เมื่อครูสอนเรื่อง วิวัฒนาการของมนุษย์ โดยกล่าวถึงลำดับทางวิวัฒนาการของบรรพบุรุษของมนุษย์ในแต่ละยุค แล้วให้นักเรียนดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้อย่างพร้อมๆ กับครู

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปราย โดยใช้คำถามและมีแนวทางในการตอบดังนี้

คำถาม : นักเรียนคิดว่า การเลือกคู่ของมนุษย์ ได้รับผลกระทบมาจากกลไกทางวิวัฒนาการหรือไม่

ตอบ : ไม่มีคำตอบตายตัว ขึ้นอยู่กับการแสดงความคิดเห็นของนักเรียนว่าได้ยกหลักการเรื่องวิวัฒนาการมาอธิบายได้อย่างเหมาะสมหรือไม่ เช่น นักเรียนส่วนใหญ่อาจจะตอบว่า จะเลือกคู่ที่นิสัยเข้ากันได้ โดยอาศัยจิตใจเป็นที่ตั้ง แต่นักวิทยาศาสตร์บางท่านเชื่อว่ามนุษย์ได้รับผลกระทบจากวิวัฒนาการที่ฝังอยู่ในพันธุกรรมเหมือนกับเป็นสัญชาตญาณในสัตว์อื่นๆ เช่น อาจจะให้นักเรียนหญิงอยากมีคู่ที่ร่างกายกำยำแข็งแรง หรือนักเรียนชายอยากมีคู่ที่ผิวขาว ฯลฯ พยายามให้นักเรียนอภิปรายว่าแนวคิดไหนน่าจะเป็นจริงกว่ากัน และมนุษย์ในอนาคตจะมีวิวัฒนาการไปในทางใด



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายเพิ่มเติม

ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการระหว่างมนุษย์และลิง

หลักฐานที่แสดงถึงการที่มนุษย์มีบรรพบุรุษที่แตกต่างออกไปจากลักษณะปัจจุบันของเรา เริ่มตั้งแต่การค้นพบ ซากมนุษย์ Neanderthal (นีแอนเดอร์ธาล) และหลักฐานต่างๆ ของมนุษย์ถ้าในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มนุษย์มีวิวัฒนาการร่วมกันมากับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมประเภท primate (ไพรเมต) โดยเฉพาะในกลุ่ม ape (เอป) หรือพวกลิงขนาดใหญ่ โดยการศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์นั้น จะต้องอาศัยวิทยาศาสตร์หลายสาขา เช่น บรรพชีวินวิทยา (paleontology) มานุษยวิทยา (anthropology) และพันธุศาสตร์ (genetics) ถึงแม้ว่ามนุษย์ปัจจุบันจะอยู่ในสกุล *Homo* (โฮโม) แต่ในการศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์นั้นมักจะรวมเอาบรรพบุรุษของมนุษย์ เช่น พวก australopithecines (ออสตราโลพิเทซิน) เข้าไว้ด้วยโดยนับรวมเป็นกลุ่มของมนุษย์ทั้งหมด เรียกว่า hominid (โฮมินิด)

ความคิดที่ว่ามนุษย์มีความคล้ายคลึงกับลิง ape มีมานานแล้ว โดยในสมัยของ Carolus Linnaeus (คาโรลัส ลินเนียส) ได้จัดให้ลิง ape อยู่ในกลุ่มสัตว์ที่เป็นญาติใกล้ชิดของมนุษย์โดยดูจากลักษณะภายนอก แต่ความคิดเกี่ยวกับทฤษฎีวิวัฒนาการ ของมนุษย์และลิงเริ่ม เป็นที่ยอมรับ มากขึ้นในคริสต์ศตวรรษที่ 19 เมื่อ Charles Darwin (ชาร์ล ดาร์วิน) ตีพิมพ์หนังสือ On the Origin of Species ในปี ค.ศ. 1859 และหนังสือเล่มถัดมาของเขา คือ Descent of Man จนเป็นที่ยอมรับกันว่าลิงชิมแปนซีและลิงกอริลล่าเป็นญาติที่ใกล้ชิดที่สุดของมนุษย์ที่ยังคงมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

บรรพบุรุษของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมในกลุ่ม primate นั้นมีจุดกำเนิดย้อนกลับไป ถึงประมาณ 60 ล้านปีก่อน โดย primate มีบรรพบุรุษร่วมกันกับสัตว์จำพวกค้างคาว ตั้งแต่ ช่วงประมาณยุค Cretaceous (ครีเตเชียส) ซึ่งเป็นช่วงปลายของ ยุคไดโนเสาร์ บรรพบุรุษของไพรเมตนั้นมาจากบริเวณ อเมริกาเหนือ แพร่กระจายผ่าน ยุโรป เอเชีย และแอฟริกาในยุค Paleocene (เพลิโอซีน) และยุค Eocene (อีโอซีน) จากนั้นเมื่ออากาศเปลี่ยนแปลงเป็นหนาวเย็นในต้นยุค Oligocene (โอลิโกซีน) เมื่อประมาณ 40 ล้านปีก่อน ไพรเมตโบราณได้สูญพันธุ์ไปเป็นจำนวนมาก และเหลืออยู่เพียงบริเวณ ทวีปแอฟริกาและ เอเชียใต้

บรรพบุรุษยุคแรกๆ ของพวก hominid นั้นได้เริ่มวิวัฒนาการขึ้นในทวีปแอฟริกาและแพร่กระจาย เข้าสู่ยุโรปและเอเชียเมื่อประมาณ 17 ล้านปีก่อน ซึ่งต่อมาได้วิวัฒนาการไปเป็นบรรพบุรุษของลิง กอริลลาและลิงชิมแปนซี ขณะที่อีกสายวิวัฒนาการหนึ่งที่แยกไปกลายเป็นบรรพบุรุษของมนุษย์เมื่อ ประมาณ 6 ล้านปีก่อน จากหลักฐานซากฟอสซิลและการตรวจสอบลำดับ DNA บอกให้ทราบว่าบรรพ



บุรุษของมนุษย์ วิวัฒนาการแยกจากลิงกอริลลาเมื่อประมาณ 8 ล้านปีก่อน และแยกจากลิงชิมแปนซีเมื่อประมาณ 4 ล้านปีก่อน โดยอาจจะเกิดจากการที่ภูมิอากาศและภูมิประเทศของทวีปแอฟริกาได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างสิ้นเชิงในช่วงเวลาดังกล่าว เนื่องจาก การกำเนิด ขึ้นของเทือกเขาหิมาลัยที่สูงเทียมเมฆ บดบัง ทิศทางของลมมรสุมต่าง ๆ และส่งผลให้ฝนที่ตกในแอฟริกาลดลง จนทำให้ทวีปแอฟริกาที่เคย ถูกปกคลุมด้วยป่าฝนรกทึบ กลายสภาพเป็นป่าโปร่ง สภาพแวดล้อมที่แตกต่าง ไปจากเดิม ทำให้สิ่งมีชีวิตในแอฟริกาเกิด วิวัฒนาการจนมีก ารปรับตัวที่แตกต่าง กัน กลายเป็นบรรพบุรุษของ มนุษย์หลายสปีชีส์อยู่รวมกันในบริเวณต่าง ๆ ของแอฟริกา และบางสปีชีส์ ได้วิวัฒนาการจนกลายเป็นมนุษย์ปัจจุบัน

บรรพบุรุษของมนุษย์

เมื่อสภาพภูมิประเทศของทวีปแอฟริกาเริ่มเปลี่ยนจากป่าฝนรกทึบกลายเป็นป่าโปร่ง ทำให้บรรพบุรุษของมนุษย์มีวิวัฒนาการไปในทางที่เหมาะสมกับการอยู่บนพื้นดินได้ จนเมื่อประมาณ 4 ล้านปีก่อน บรรพบุรุษของมนุษย์หลายสปีชีส์ได้ถือกำเนิดขึ้นมา ตัวอย่างเช่น *Australopithecus afarensis* (ออสตราโลพิเทคัส อาฟาเรนซิส) ซึ่งน่าจะสามารถใช้ชีวิตได้ทั้งบนต้นไม้และบนพื้นดิน และสามารถเดินสองขา หรือสี่ขาก็ได้ ต่างจากบรรพบุรุษในอดีตที่ไม่สามารถเดินสองขาได้ การปรับตัวของบรรพบุรุษของมนุษย์ให้เดินสองขาได้นั้น มีส่วนช่วยให้ยึดตัวให้สูงขึ้นและมองเห็นศัตรูได้จากระยะไกล รวมทั้งยังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในร่างกายมากกว่าการเดินสี่ขา ดังนั้น *Australopithecus afarensis* จึงสามารถทำกิจกรรมอื่นได้ดีขึ้น เช่น การปกป้องอาณาเขต หรือการสืบพันธุ์

Australopithecus afarensis สืบทอดเผ่าพันธุ์มาเป็นเวลากว่าหนึ่งล้านปี จนเมื่อ 2.9 ล้านปีก่อน จึงเริ่มมีวิวัฒนาการพัฒนาเป็น บรรพบุรุษของมนุษย์ สปีชีส์ใหม่ เช่น *Paranthropus boisei* ซึ่งมีพลังกำลังเพิ่มขึ้น เข้ามาแทนที่

เวลาผ่านไปอีกสี่แสนปี จนถึงช่วง 2.5 ล้านปีก่อน โลกเกิดภาวะเย็นตัวลง เกิดน้ำแข็งยักษ์สะสมที่ขั้วโลก ทำให้น้ำที่เป็นของเหลวลดจำนวนลง แผ่นดินทั่วโลกจึง แข็งแกร่งขึ้น รวมทั้งทวีปแอฟริกาด้วย แอฟริกาในช่วง นั้นจึงกลายเป็นทวีปที่มีความหลากหลายทางภูมิศาสตร์ตั้งแต่ป่าฝนรก ทึบ ป่าโปร่ง ทุ่งหญ้า และทะเลทราย สภาพแวดล้อมที่แตกต่าง ไปนี้ทำให้สิ่งมีชีวิตในแอฟริกาเกิด วิวัฒนาการปรับตัวแตกต่าง กันไปอีก บรรพบุรุษของมนุษย์อีกหลาย สปีชีส์ถูกพบอยู่รวมกันในบริเวณต่าง ๆ ของแอฟริกา ในสมัยนั้น



สปีชีส์แรกที่นับได้ว่าเป็นมนุษย์ อย่างแท้จริง ปรากฏขึ้นใน ทวีปแอฟริกาเมื่อ 2,200,000 ปีก่อน ชื่อว่าสปีชีส์ *Homo habilis* (homo เป็นภาษาละติน แปลว่า มนุษย์) พวกเขาวิวัฒนาการ ไปเป็นสปีชีส์ที่มีความคล่องแคล่วและมีสมองที่ฉลาด โดยเป็นสปีชีส์แรกที่คิดค้นการทำอาวุธเครื่องมือต่างๆ จากหิน แม้ว่า จะไม่มีผละกำลังมากเท่ากลุ่มอื่น เช่น *Paranthropus boisei* แต่ทักษะการประดิษฐ์ของ *Homo habilis* ทำให้พวกเขาอยู่รอดได้ในหลายสภาพภูมิศาสตร์

จนกระทั่งเวลาผ่านไป อีกสามแสนปี *Homo ergaster* ได้ปรากฏขึ้นบนโลกเมื่อ 1.9 ล้านปีก่อน และเป็นเผ่าแรกที่ น่าจะสื่อสารด้วยการพูดได้ จึงเป็นคู่แข่งทางวิวัฒนาการของ *Homo habilis* และยังได้เปรียบมากกว่า เพราะมีขนาดสมองที่ใหญ่กว่า และ น่าจะมีการพูดเป็นการสื่อสาร จน ในที่สุด *Homo habilis* ได้สูญพันธุ์ไปเมื่อ 1,600,000 ปีก่อน

Homo ergaster สูญพันธุ์ไปเมื่อ 1.4 ล้านปีก่อน โดยมี *Homo erectus* ก้าวขึ้นมาแทนที่ และน่าจะมีวิวัฒนาการมาจาก *habilis* โดยตรง *Homo erectus* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยา ใกล้เคียงกับมนุษย์ปัจจุบัน และได้ดำรงชีวิตอยู่นาน ถึง 1.24 ล้านปี โดยแพร่กระจายพันธุ์ไปทั่วโลก ดังเช่น มนุษย์ชวา มนุษย์ปักกิ่ง ก่อนจะสูญพันธุ์ไปเมื่อ 2.5 แสนปีก่อน เนื่องจาก *Homo erectus* ในทวีปแอฟริกา ได้วิวัฒนาการมาเป็น ต้นตระกูลของ มนุษย์ปัจจุบันซึ่งก็คือ *Homo sapiens* แล้วเดินทางแพร่เผ่าพันธุ์เข้าแทนที่ *Homo erectus* ทั่วโลกตั้งแต่นั้นมา

วิวัฒนาการของมนุษย์สมัยใหม่

มนุษย์วิวัฒนาการจากบรรพบุรุษของ primate ซึ่งเป็นสัตว์กินเนื้อ (carnivore) มาเป็นสิ่งมีชีวิตที่กินทั้งพืชและสัตว์ (omnivore) ลักษณะของอาหารของมนุษย์มีความหลากหลายและแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาคหรือถิ่นที่อยู่อาศัย และยังขึ้นอยู่กับลักษณะของวัฒนธรรมและธรรมเนียมทางศาสนา ในปัจจุบันมนุษย์ทั่วทั้งโลก ถูกจัดอยู่ในสปีชีส์เดียวกัน คือ *Homo sapiens sapiens* นักมานุษยวิทยาแบ่งมนุษย์ออกเป็น 5 เผ่าพันธุ์ คือ

1. Australoids (ออสเตรลอยด์) ศีรษะยาว จมูกแบน ผมเป็นลอน ขนตามตัวมาก ผิวดำ ได้แก่ คนพื้นเมืองของออสเตรเลียและเกาะแทสมาเนีย
2. Caucasoids (คอเคซอยด์) จมูกโด่ง ผมเป็นลอน หนวดเคราดก ผมยาว ผิวสีอ่อน ดำรงชีวิตอยู่ในเขตอบอุ่น คือยุโรป เมดิเตอร์เรเนียน ยุโรปเหนือ และพวกยุโรปกลางต่อไปยังรัสเซีย
3. Mongoloids (มองโกลอยด์) ศีรษะกว้าง จมูกแก้มเป็นโหนก ผมแข็งเหยียดตรง จมูกไม่โด่งมาก ผิวเหลืองหรือแดง หนวดเคราและขนตามร่างกายมีน้อย mongoloids อาศัยอยู่ตามเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงพวกเอสกีโม



4. Negroids (นิกรอยด์) ศีรษะยาวจมูกกว้าง ริมฝีปากหนา ผิวดำ ผมหยิก อาศัยอยู่ในป่าเขตร้อนในแอฟริกา รวมถึงคนผิวดำตามมหาสมุทรแปซิฟิกของนิวกินี

5. Pygmies (ปิกมี) เป็นคนแคระสูงไม่ถึง 145 ซม. ศีรษะกว้าง จมูกกว้าง อาศัยอยู่ในป่าเขตร้อนของคองโก

มนุษย์มีวิถีชีวิตโดยการล่าและเก็บหาอาหาร จนกระทั่งเมื่อประมาณ หนึ่งหมื่นปีที่แล้ว มนุษย์เริ่มรวมกันอยู่เป็นกลุ่มเล็ก ซึ่งเป็นวิถีชีวิตที่เกิดจากการพัฒนาความรู้ในการทำการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตอาหารให้พอเพียงต่อการดำรงชีวิต เมื่อปริมาณอาหารมากพอสำหรับทุกคนที่มาอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่ม รวมถึงการมีอาหารส่วนเกินซึ่งสามารถสำรองไว้เพื่อรอการเก็บเกี่ยวผลผลิตในครั้งต่อไป ทำให้มนุษย์สามารถมีเวลาสำหรับการสร้างที่อยู่อาศัยและตั้งถิ่นฐานแบบถาวร ไม่จำเป็นต้องมีชีวิตโดยการเร่ร่อนล่าสัตว์และเก็บหาอาหารอีกต่อไป การเกษตรจึงเป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างอารยธรรมของมนุษย์ และเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการร่วมมือกัน การค้าขาย และเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาไปสู่สังคมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

เมื่อประมาณหกพันปีที่แล้ว มนุษย์ได้พัฒนารัฐแห่งแรก ๆ ขึ้น ซึ่งทำให้เกิดอารยธรรมดินแดนเมโสโปเตเมีย อารยธรรมลุ่มแม่น้ำซาฮารา/ไนล์ และอารยธรรมลุ่มแม่น้ำสินธุ รัฐเหล่านี้มีการจัดรูปแบบการบริหารการปกครองโดยรัฐบาล และจัดกำลังทางทหารเพื่อการป้องกัน มีการร่วมมือกันและแข่งขันกันระหว่างรัฐต่างๆ เพื่อได้ทรัพยากร ซึ่งในบางกรณีก็ถึงขั้นทำสงครามระหว่างกัน การเชื่อมต่อกันระหว่างมนุษย์ในยุคต่อๆ มาจนถึงปัจจุบันได้ ช่วยให้อารยธรรมของมนุษย์มีการเติบโตทางศิลปะ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ในขณะที่ก็เกิดการกระทบกระทั่งกัน เกิดการพัฒนาและใช้อาวุธสำหรับการทำลายล้าง รวมถึงเกิดการเพิ่มขึ้นของมลพิษและการทำลายสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์เอง รวมถึงสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นบนโลกด้วย



ข. คำอธิบายศัพท์

การเดินสองขา (bipedalism)	พวก hominids จะสามารถเดินโดยลำตัวตั้งขึ้นอยู่บนขาหลังทั้ง สองข้างได้ และสามารถเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ได้ด้วยขาเพียงสองขา
โบราณคดี (Archeology)	การศึกษาประวัติศาสตร์ของมนุษย์ผ่านการขุดค้นสำรวจตาม แหล่งต่างๆ และวิเคราะห์วัตถุโบราณที่หลงเหลืออยู่ เช่น หลุมศพ เครื่องมือ เครื่องถ้วยชาม และสิ่งประดิษฐ์อื่นๆ
การคาดคะเนอายุด้วยรังสี (radiometric dating)	เทคนิคการคาดคะเนอายุโดยอาศัยอัตราการสลายตัวของ isotope ของสารกัมมันตรังสี เพื่อประมาณอายุของวัตถุชิ้นนั้น หรือแม้แต่วัยประทับของสิ่งมีชีวิตนั้นที่ถูกเก็บรักษาเอาไว้ตั้งแต่โบราณกาลในรูปของหินหรืออำพัน
การปรับตัว (adaptation)	ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถ่ายทอดให้รุ่นต่อไปได้ โดยเป็นลักษณะ ซึ่งมี การเปลี่ยนแปลงไปจากบรรพบุรุษ จนทำให้สามารถอยู่รอด และสืบพันธุ์ได้ดีขึ้นในสิ่งแวดล้อมนั้น ตามหลักการคัดเลือกโดยธรรมชาติ
ซากฟอสซิล (fossil)	ส่วนใหญ่จะเป็นตัวสิ่งมีชีวิตเอง หรือบางส่วนของสิ่งมีชีวิต
นักบรรพชีวินวิทยา (paleontologist)	นักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาซากฟอสซิลเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้น ของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในช่วงก่อนประวัติศาสตร์
บรรพชีวินวิทยา (Paleontology)	การศึกษาทางวิทยาศาสตร์ของซากฟอสซิล
บรรพบุรุษร่วม (common ancestor)	สปีชีส์ดั้งเดิมที่ใหม่ที่สุุด ที่สิ่งมีชีวิตสองสปีชีส์วิวัฒนาการขึ้นมาจากสปีชีส์ดั้งเดิมนั้น



<p><i>Australopithecus afarensis</i> (ออสตราโลพิเทคัส อาฟาเรนซิส)</p>	<p>สปีชีส์หนึ่งของพวก australopithecine ซึ่งสามารถเดินสองขาได้แล้ว พบซากฟอสซิล อายุระหว่าง 3.6 ถึง 2.9 ล้านปีก่อน (ได้แก่ ซากฟอสซิลของ Lucy)</p>
<p>Hominids (โฮมินิด)</p>	<p>สมาชิกของวงศ์ Hominidae (โฮมินิ ดี) ซึ่งรวมมนุษย์ปัจจุบันและบรรพบุรุษของมนุษย์นับ ตั้งแต่เมื่อสายวิวัฒนาการของมนุษย์แยกออกจาก สายของ ape</p>
<p>Isotope (ไอโซโทป)</p>	<p>อะตอมของธาตุที่มีเลขอะตอม (atomic number) เท่ากัน แต่มีจำนวนของนิวตรอน (neutron) ที่แตกต่างกัน ทำให้มีน้ำหนักอะตอม (atomic mass) ต่างกันไปด้วย</p>

ค. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Campbell, N.A. and Reece, J.B 2002. Biology. 6th edition. Benjamin Cummings, San Francisco.
2. Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. and Jackson, R.B. 2011. Campbell Biology, 9th edition. Pearson Education, San Francisco.
3. Stickberger, M.W. 2000. Evolution. 3rd edition. Jones & Barlett Publ. Int.
4. <http://th.wikipedia.org/wiki/วิวัฒนาการของมนุษย์>
5. <http://th.wikipedia.org/wiki/มนุษย์>
6. <http://www.pbs.org/wgbh/evolution/educators/teachstuds/svideos.html>



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤษกุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรรณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรรณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรรรณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรรณ สัตยาลัย
15	ทางเดินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
16	การย่อยและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤษกุล



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤษกุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤษกุล
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
24	องค์ประกอบของเลือด หมู่เลือด และการแข็งตัวของเลือด	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
25	การป้องกันตนเองของร่างกาย และ ระบบภูมิคุ้มกัน	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
26	การเคลื่อนที่ของปลา	รศ.วีณา เมฆวิชัย
27	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤษกุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤษกุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤษกุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
37	เซลล์พืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
39	ปากใบและการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
40	การลำเลียงน้ำของพืช	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง
41	พลังงานชีวิต	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
42	ปฏิกิริยาแสง (Light reaction)	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
43	ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C ₄	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง
47	โครงสร้างของดอก (Structure of Flower)	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ชุมพล คุณวาสี
49	การเกิดและโครงสร้างผล	อ.ดร.สร้อยนภา ญาณวัฒน์
50	การงอกของเมล็ด	รศ.นันทนา อังกินันท์
51	การวัดการเจริญเติบโตของพืช	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
52	ออกซิน	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
53	การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการเกษตร	ผศ.พัชรา ลิมปะนะเวช
54	การเคลื่อนไหวของพืช	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
55	ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
56	กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
57	มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)	อ.ดร.วรวิทย์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรวิทย์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ชนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ชนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัตต์นีย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนีกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอร่า	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญเกียรติ
74	ความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
75	ความหลากหลายของสัตว์มีกระดูกสันหลัง	รศ.วีณา เมฆวิชัย
76	กลไกของพฤติกรรม	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
77	พฤติกรรมการเรียนรู้แบบต่าง ๆ	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
78	การสื่อสารระหว่างสัตว์	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
79	แนวคิดเกี่ยวกับระบบนิเวศ	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
80	ไบโอมบอบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบอบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา