



## คำชี้แจง

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจษฎา เดนดวงบริพันธ์  
รองศาสตราจารย์ ดร. ประคอง ตั้งประพุกฤทธิ์กุล

ผู้จัดทำคู่มือ  
ผู้ตรวจคู่มือ



## สารบัญ

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



## เรื่อง

### หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ

“หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ” เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอน เรื่อง วิวัฒนาการ ซึ่งมี  
สื่อทั้งหมด 9 ตอน คือ

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



## จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้หลักฐานต่างๆ ดังเช่น การศึกษาซากฟอสซิลและการเปรียบเทียบโครงสร้างทางกายวิภาค มาอธิบายถึงวิวัฒนาการของ สิ่งมีชีวิต ซึ่งผู้เรียนควรจะอธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงของโครงกระดูกจนกลายเป็นฟอสซิลของ สิ่งมีชีวิตได้

## ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. สรุปลักษณะที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการบอกวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
2. บอกความสำคัญของการศึกษาซากฟอสซิลของสิ่งมีชีวิต
3. ระบุองค์ประกอบของกระบวนการเปลี่ยนกระดูกของสิ่งมีชีวิตให้เป็นซากฟอสซิล
4. บอกความหมายของการหาอายุด้วยการวัดกัมมันตภาพรังสี
5. อธิบายความหมายของความเชื่อมโยงทางกายวิภาคของโครงกระดูก
6. บอกบทบาทของนักธรณีวิทยาและนักชีววิทยาในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

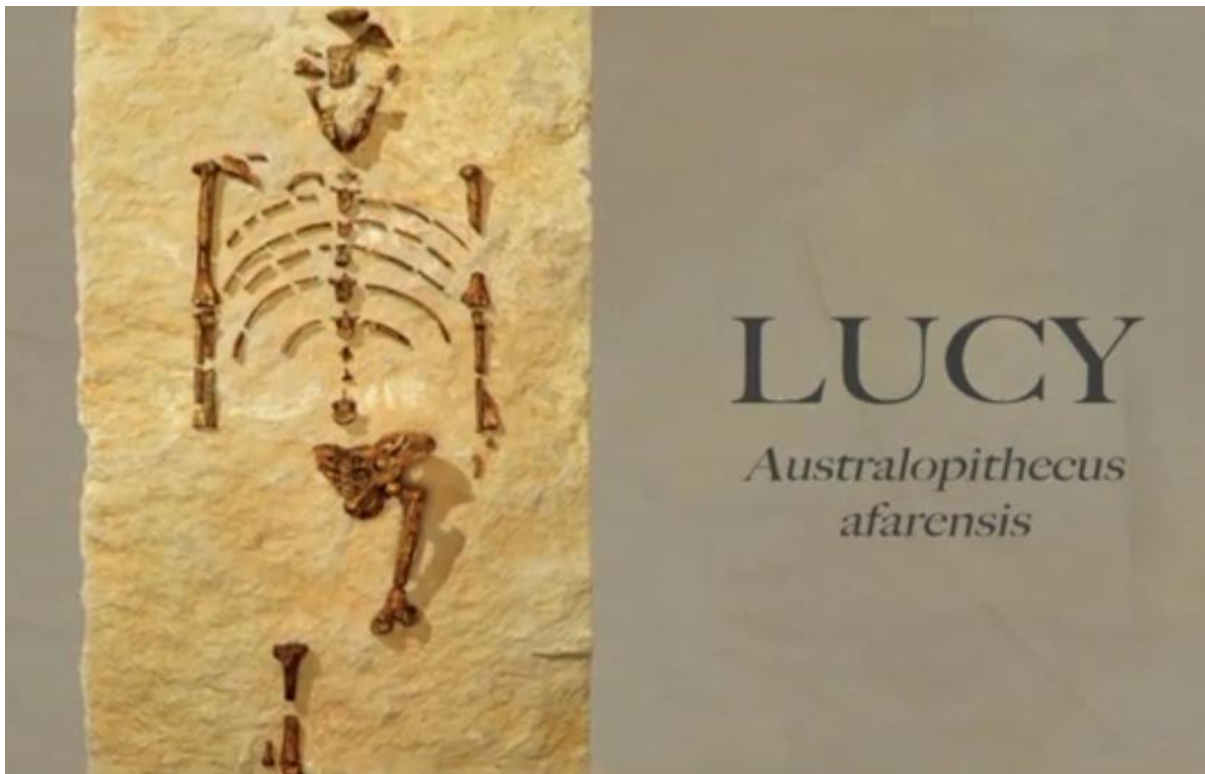


## สาระ

### ลูซี่ (Lucy) ซากฟอสซิลที่เปลี่ยนโลก

วิวัฒนาการ คือ กระบวนการที่สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตาผ่านช่วงเวลาอันยาวนาน ซึ่งอาจจะนานเกินกว่าที่ช่วงชีวิตของเราจะทันเห็นได้ การที่นักวิทยาศาสตร์ศึกษาซากฟอสซิล (fossil) ของสิ่งมีชีวิตนั้นเพราะซากฟอสซิลสามารถใช้เป็นหลักฐานสำคัญในการระบุวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตนั้นเกิดขึ้นจริงได้อย่างไร

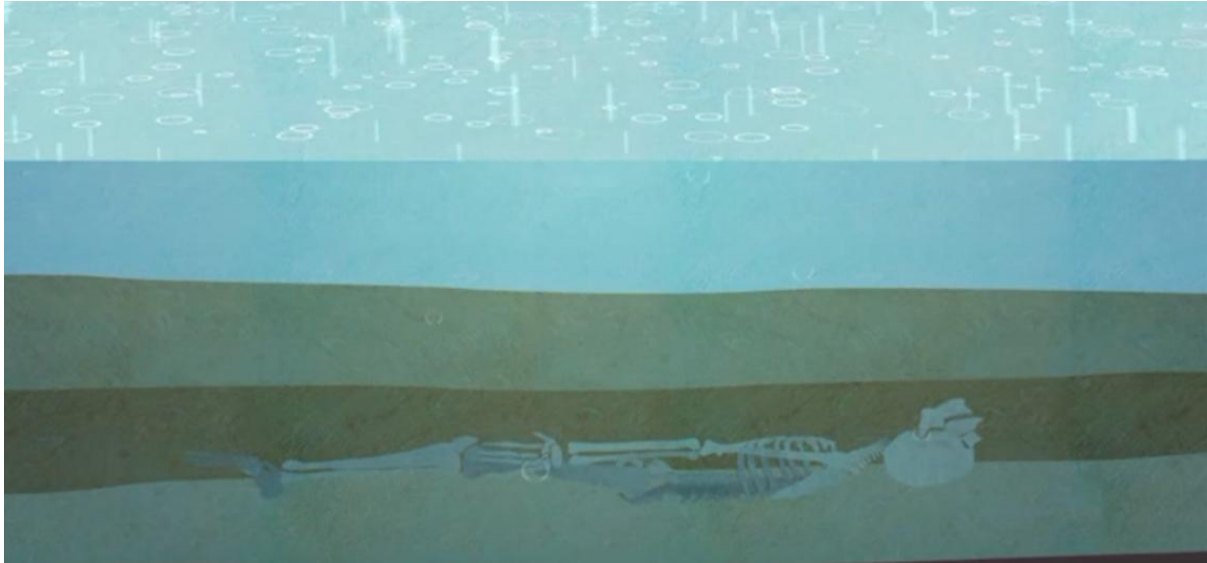
เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง การที่มันจะเปลี่ยนไปจนกลายเป็นซากฟอสซิลได้นั้นเป็นเหตุบังเอิญที่มีหลายขั้นตอนและไม่ได้เกิดขึ้นง่ายนัก ดังตัวอย่างเช่น ซากฟอสซิลอันโด่งดังของ ลูซี่ (Lucy) บรรพบุรุษแต่โบราณของเรา ซากฟอสซิลของลูซี่ (ดังภาพที่ 1) ได้ถูกขุดค้นพบที่หุบเขาเกรต ริฟต์ (Great Rift) ในประเทศเอธิโอเปีย (Ethiopia) เมื่อปี ค.ศ. 1974



ภาพที่ 1 ซากฟอสซิลของลูซี่ หรือออสตราโลพิเทคัส อฟาเรนซิส (*Australopithecus afarensis*)

### การเปลี่ยนโครงกระดูกให้กลายเป็นฟอสซิล

เมื่อพิจารณาจากซากฟอสซิลโครงกระดูกของเธอที่ถูกขุดค้นพบนั้น ไม่พบว่ามีหลักฐานใดๆ ที่บ่งบอกว่าเธอต้องตายอย่างทารุณ ไม่พบว่ามีร่องรอยสัตว์กินเนื้อสัตว์ หรือสัตว์กินซากมาเจอเธอก่อนที่ร่างของเธอจะเน่าเปื่อยไปในตะกอนนุ่มๆ ที่ก้นทะเลสาบ สัตว์อื่นๆ ที่มาหากินอยู่รอบๆ ผังทะเลสาบอาจจะทำให้กระดูกของเธอที่จมอยู่ในโคลนแตกออกหรือกระจายไป ผงที่ตกหนักค่อยๆ พัดพาเอาตะกอนกรวดและทรายมาทับถมฝังทับกระดูกของเธอ (ดังภาพที่ 2) การทับถมของตะกอนเหล่านี้เกิดขึ้นต่อเนื่องหลายพันปี จนร่างของเธอถูกฝังลึกลงไปหลายร้อยฟุต



ภาพที่ 2 โครงกระดูกของลูซี่ถูกทับถมด้วยดินตะกอนหลายชั้นที่ก้นทะเลสาบ

ในระหว่างนั้น แต่ละโมเลกุลของแคลเซียม (calcium) ในกระดูกของเธอได้ถูกแทนที่ด้วยแร่ธาตุจากตะกอนกรวดทรายที่ทับถมร่างของเธอไว้ จนในที่สุดก็เปลี่ยนโครงกระดูกของลูซี่ให้กลายเป็นหิน ร่างของเธอยังคงถูกฝังต่อไปอีกหลายพันปี ระหว่างนั้น เกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ( plate tectonics) อย่างต่อเนื่อง แผ่นดินยกตัวขึ้น ทำให้ซากฟอสซิลร่างของลูซี่เริ่มเคลื่อนขึ้นมาใกล้พื้นดินมากขึ้นเป็นลำดับ พายุกระหน่ำลงบนพื้นทำให้ดินตะกอนถูกกัดเซาะ (ดังภาพที่ 3) และในที่สุดก็ได้นำลูซี่กลับมาอยู่บนพื้นโลกอีกครั้ง การที่ซากฟอสซิลของเธอโผล่ออกมาให้เห็น ทำให้เราสามารถรู้จักกับบรรพบุรุษของมนุษย์ที่ตายไปแล้วถึงกว่า 3 ล้านปี



ภาพที่ 3 น้ำและลมช่วยกัดเซาะหินและดินตะกอนจนทำให้ซากฟอสซิลของลูซี่ขึ้นมาอยู่ที่ผิวดิน



### การหาอายุด้วยการวัดกัมมันตภาพรังสี (radiometric dating)

นักธรณีวิทยาทราบได้ว่าซากฟอสซิลของลูซิที่มีอายุเก่าแก่เท่าไร โดยอาศัยเครื่องวัดการแผ่รังสีจากหิน ซึ่งจะส่งเสียงออกมาตามปริมาณรังสีและทำให้หินนั้นกลายเป็นนาฬิกาที่ช่วยให้เราวัดอายุของฟอสซิลหรือของโลกได้ (ดังภาพที่ 4) ตัวอย่างเช่น หินแต่ละก้อนจะมีอะตอมของธาตุยูเรเนียม (uranium) ที่จะสูญเสียอนุภาคซึ่งเล็กกว่าอะตอมไปเรื่อยๆ การสูญเสียนี้จะเปลี่ยนยูเรเนียมให้เป็นธาตุอื่นๆ ที่มีอนุภาคน้อยกว่า กระบวนการนี้เรียกว่า “การสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี (radioactive)”

ถ้าเราทิ้งยูเรเนียมไว้นานหลายปี มันจะเปลี่ยนไปที่ละนิดจนกลายเป็นตะกั่ว (lead) ซึ่งจะสามารถวัดอัตราเร็วที่มันเปลี่ยนเป็นตะกั่วได้ เมื่อรู้อัตรานี้แล้ว เราก็สามารถเอาหินตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับปริมาณยูเรเนียมและตะกั่วในนั้น แล้วคำนวณว่าหินนี้เกิดขึ้นมานานเพียงใด จากการค้นพบกระบวนการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี ทำให้เราทราบว่าโลกมีอายุเก่าแก่กว่าที่เคยคาดกันไว้เป็นอันมาก และหินส่วนใหญ่ๆ นั้นก็มีอายุเก่าแก่ถึง 4,500 ล้านปี

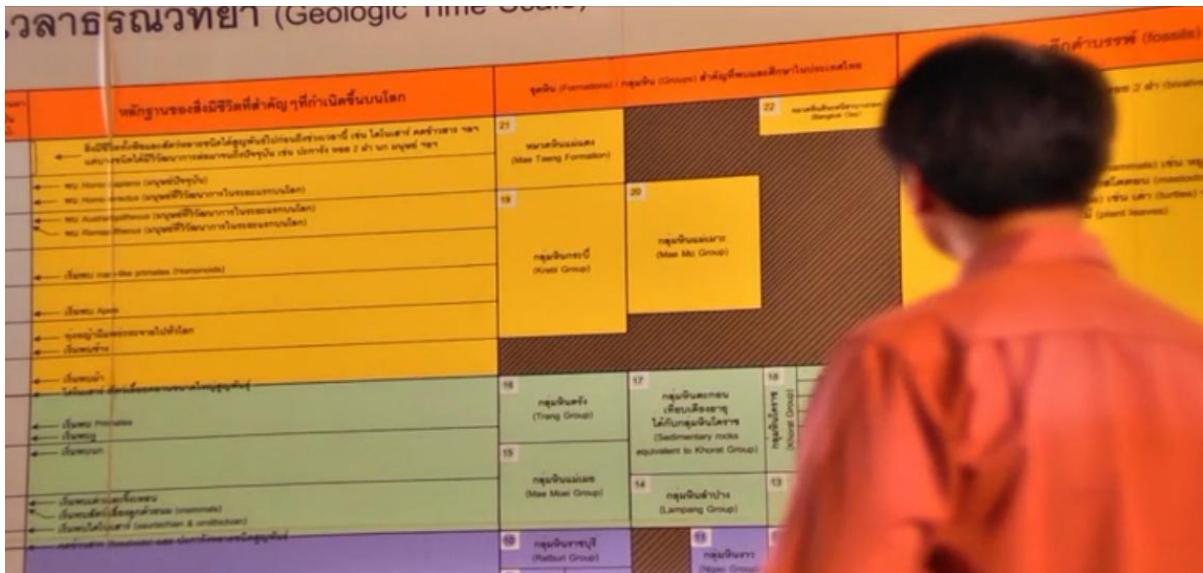


ภาพที่ 4 นักวิทยาศาสตร์หาอายุของหินและซากฟอสซิลได้จากการวัดรังสีจากธาตุต่างๆ เช่น ธาตุยูเรเนียมในหินนั้น

ถึงแม้ว่านักวิทยาศาสตร์จะมีหลักฐานที่น่าเชื่อถืออยู่มากมายที่บอกว่าวิวัฒนาการเกิดขึ้นจริงไม่ว่าจะเป็นหลักฐานทางดีเอ็นเอ หรือหลักฐานจากกายวิภาค แต่หลักฐานที่ซ่อนอยู่ในก้อนหินเช่นนี้กลับช่วยยืนยันถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้ดีที่สุด ประวัติวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตนั้นได้ถูกบันทึกไว้ในซากฟอสซิลหลายล้านชิ้น จากหินชั้นบนลงไปสู่หินชั้นที่อยู่ล่างกว่า เป็นลำดับไป เหมือนกับการเดินทางย้อนเวลากลับไปสู่อดีต โดยที่ฟอสซิลที่พบในหินแต่ละชั้นนั้นล้วนแล้วแต่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงถึงกันทั้งสิ้น

เราบอกถึงช่วงเวลาทางธรณีวิทยา (geological time) โดยดูจากการเรียงซ้อนกันของชั้นหินและการแทนที่ของสิ่งมีชีวิตในแต่ละชั้นหิน (ดังภาพที่ 5) ซึ่งเป็นหลักฐานอีกชั้นหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตที่เราเห็นอยู่ทุกวันนี้ล้วนสามารถเชื่อมโยงกัน ย้อนเวลากลับไปตามลำดับจนถึงช่วงที่ยังเคยมีบรรพบุรุษร่วมกันอยู่ หินธรรมดาๆ ที่ไม่น่าสนใจก้อนหนึ่งนั้นอาจจะกลายเป็นดั่งก้อนทองของนักบรรพชีวินวิทยา

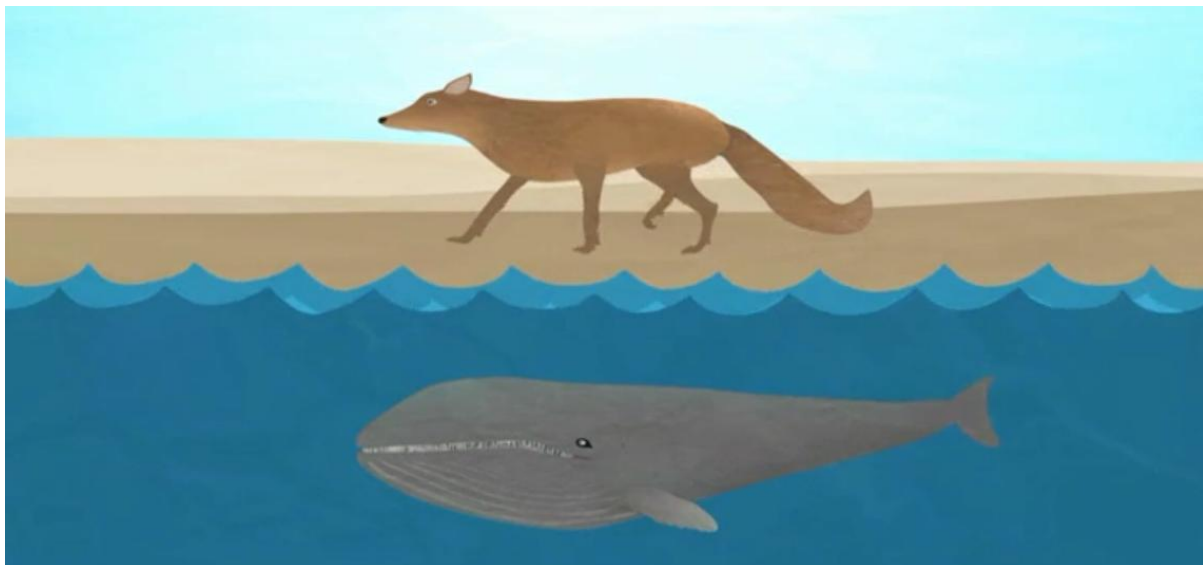




ภาพที่ 5 ช่วงเวลาทางธรณีวิทยาช่วยบอกถึงลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในประวัติศาสตร์ของโลก

### วิวัฒนาการของวาฬ

ฟอสซิลชิ้นหนึ่งได้กลายเป็นชิ้นส่วนปริศนาที่จะบอกถึงจุดกำเนิดของสัตว์กลุ่มที่ทรงพลังและสง่างามที่สุดบนโลก สัตว์ชนิดนี้คือ “วาฬ (whale)” วิวัฒนาการของวาฬนั้นเป็นปริศนามานานแล้ว วาฬเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม (mammal) เช่นเดียวกับมนุษย์เรา มันมีความฉลาดสูง มันเลี้ยงดูลูกอ่อนและให้นมลูก แต่ที่แตกต่างจากมนุษย์เรามากๆ คือ วาฬดำรงชีวิตอยู่ในน้ำ ได้ยินใต้น้ำ และว่ายน้ำในลักษณะอย่างเดียวกับปลา ทั้งๆ ที่เราทราบว่าเป็นบรรพบุรุษสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำมนั้นมีวิวัฒนาการเกิดขึ้นมาบนบก ถ้าเช่นนั้นบรรพบุรุษของวาฬวิวัฒนาการย้อนกลับไปดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้อย่างไร (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ปริศนาที่น่าพิศวง วาฬวิวัฒนาการจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมอาศัยอยู่บนบก ลงไปเป็นสัตว์ที่อยู่ในน้ำได้อย่างไร

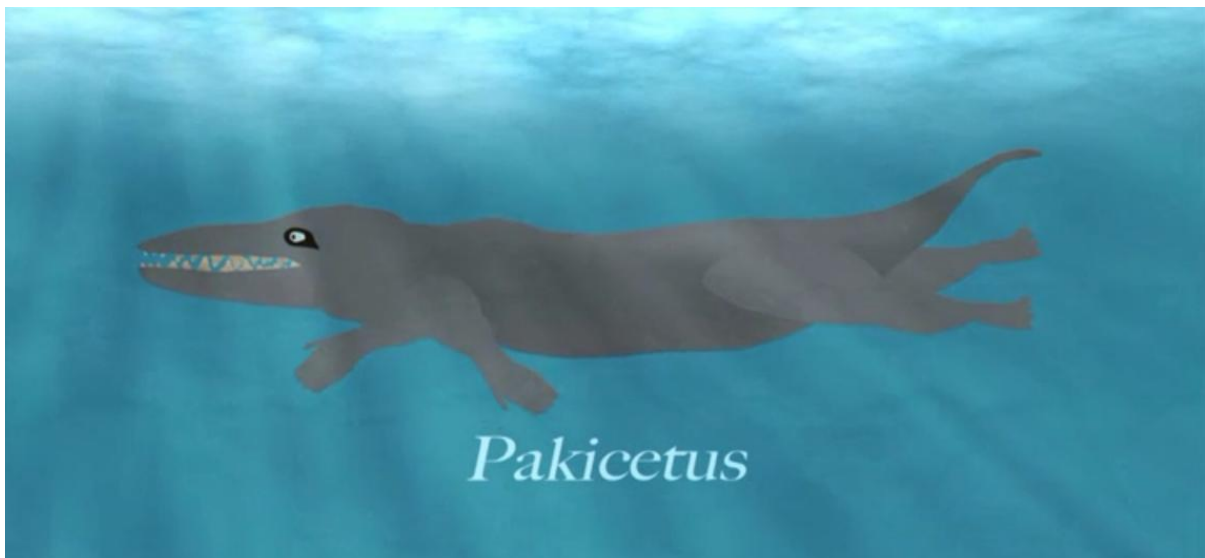




## ซากฟอสซิลบรรพบุรุษของวาฬ

คำถามเรื่องวิวัฒนาการของวาฬเป็นคำถามค้างคาใจของ ฟิล กิงเกริช (Phil Gingerich) นักบรรพชีวิน (paleontologist) ชาวอเมริกัน เขาหลงใหลในวิวัฒนาการของวาฬมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1978 เมื่อคณะของเขาไปทำการสำรวจหาฟอสซิลในประเทศปากีสถานและได้พบฟอสซิลกะโหลกสิ่งมีชีวิตฝังอยู่ในชั้นหิน ในครั้งแรกที่พบฟอสซิลนี้ กิงเกริชได้เห็นเฉพาะกะโหลกส่วนบนที่ห่อหุ้มสมองอยู่ เขาคิดว่าคงจะเป็นกะโหลกของหมาป่าที่มีสมองเล็กมาก แต่หลังจากทำความสะอาดฟอสซิลที่ขุดค้นพบ และได้เห็นส่วนภายในและกระดูกหูที่เปิดออกมา กลับพบว่ามันเป็นลักษณะจำเพาะของหูกวาฬ ดังนั้น ฟอสซิลที่ถูกขุดค้นพบจึงเป็นกะโหลกของวาฬ ไม่ใช่ของหมาป่าดังที่สันนิษฐานไว้แต่แรก และไม่ใช่ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกลุ่มอื่นๆ ด้วย

กิงเกริชตั้งชื่อบรรพบุรุษของวาฬที่ขุดพบในครั้งนั้นว่า “พาคิเซตัส (Pakicetus)” ถึงแม้ว่านักวิทยาศาสตร์จะพบแค่ส่วนกะโหลกของพาคิเซตัสและไม่อาจมั่นใจว่าส่วนที่เหลือนั้นเป็นอย่างไรกันแน่ แต่นักบรรพชีวินบางคนได้คาดว่ามันน่าจะดูคล้ายกับแมวน้ำ (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ภาพจินตนาการของ พาคิเซตัส ซึ่งจะเห็นว่ายังมีขาอยู่ครบทั้ง 4 ขา

## ความเชื่อมโยงทางกายวิภาคของโครงกระดูก

นักบรรพชีวินค้นหาซากฟอสซิลจากชั้นหินหลายๆ ชั้น เพื่อแสวงหาลักษณะที่เชื่อมโยงกันของสิ่งมีชีวิตในชั้นหินหนึ่งกับชั้นหินอื่นๆ ซึ่งนั่นจะเป็นการเชื่อมโยงสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตอยู่ในช่วงเวลาหนึ่งเข้ากับกลุ่มที่อยู่ในช่วงระยะเวลาที่ต่างออกไป พวกเขาใช้รูปร่างที่สัมพันธ์กันนี้ในการวาดภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เมื่อมีการค้นพบฟอสซิลของสปีชีส์ที่มีความสัมพันธ์กัน นักวิทยาศาสตร์จะจัดกลุ่มมันตามความคล้ายคลึง แม้ว่าบางทีความคล้ายคลึงนั้นก็ไม่ได้เกิดขึ้นทั้งหมดในทันที ดังเช่น ฟอสซิลหูของพาคิเซตัสที่คล้ายกับของวาฬ แต่ยังมีขาดลักษณะอื่นๆ ของวาฬ เช่น สันหลังและรยางค์ มาประกอบ

ร่างกายของวาฬนั้นมีเงื่อนไขที่บอกถึงอดีตของมันซ่อนอยู่ภายใน นั่นคือ มันเป็นสัตว์เลี้ยงลูกใหม่ เนื่องจากการที่มันเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม แต่ฟอสซิลของมันก็มีลักษณะของสัตว์มีกระดูกสันหลังยุค



โบราณคดีมาด้วย ถ้าเราพิจารณาครีบก้นของมัน ถ้าดูแค่ลักษณะภายนอกครีบก้นของมันจะดูคล้ายครีปลา แต่เมื่อศึกษาถึงส่วนประกอบของกระดูกภายในครีบก้น (ดังภาพที่ 8) กลับพบว่ามีลักษณะของกระดูกคล้ายกับส่วนประกอบของกระดูกแขนของลิง หรือกระดูกปีกของนก หรือแม้แต่กระดูกขาหน้าของกบ



ภาพที่ 8 ลักษณะกระดูกภายในครีบก้นของวาฬ คล้ายคลึงกับของสัตว์อื่นๆ

### การค้นพบตัวเชื่อมโยงที่หายไป (missing link)

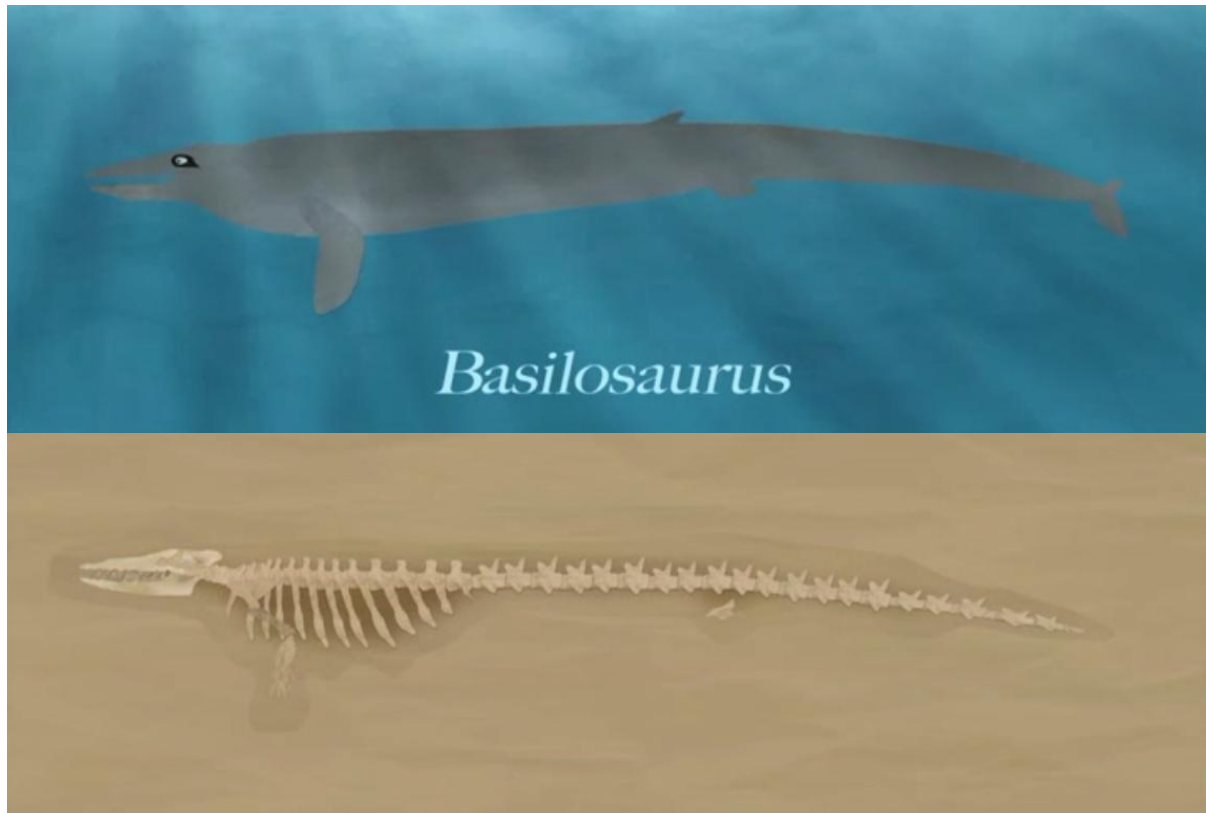
การสำรวจของ ฟิล กิงเกริช และคณะนักบรรพชีวินวิทยาของเขา ที่ได้เดินทางไปที่ทะเลทรายในประเทศอียิปต์ (Egypt) สถานที่ซึ่งดูไม่เหมือนว่าจะหาค้นหาฟอสซิลที่จะสามารถเชื่อมโยงไปถึงบรรพบุรุษของวาฬได้ แต่กลางทะเลทรายในอียิปต์นั้น มีบริเวณหนึ่งซึ่งเรียกกันว่า “หุบเขาวาฬ (Whale Valley)” เป็นบริเวณที่มีเนินหินทรายหลายลูกตั้งอยู่บนสันเขา ที่มันมีชื่อเรียกว่าหุบเขาวาฬนั้นก็เพราะว่าได้มีการค้นพบซากฟอสซิลของวาฬกว่า 400 ซาก โผล่ออกมาให้เห็นเนื่องจากการกัดเซาะของลมและน้ำ หุบเขานี้เคยเป็นทะเลเปิดสีฟ้ากว้างใหญ่และมีสัตว์ทะเลอาศัยอยู่มากมายในนี้ ทั้งสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง หอยกุ้งปู ฉลาม มีวาฬอาศัยอยู่ที่นี่กว่า 5-6 ชนิด

กิงเกริชตามหาฟอสซิลบรรพบุรุษของวาฬที่มีลักษณะอยู่ระหว่างสัตว์เลี้ยงลูกด้วย น้มนม 4 ขาที่ดำรงชีวิตบนบก ได้แก่ การมีขาหลัง ขาหน้า และเท้า เปรียบเทียบกับวาฬในปัจจุบันที่มีครีบก้นเหมาะสำหรับการดำรงชีวิตในน้ำ สิ่งมีชีวิตที่จะเป็นตัวเชื่อมโยงนี้ น่าจะมีลักษณะอยู่ตรงกลางระหว่าง 2 กลุ่มข้างต้น กล่าวคือ เขาแสวงหาฟอสซิลบรรพบุรุษของวาฬที่มีขาหลัง มีเท้าที่ใหญ่และสามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์เช่นเดียวสัตว์ 4 ขาโดยทั่วไป

ในที่สุด กิงเกริช ก็ค้นพบฟอสซิลของตัวเชื่อมโยงที่เขาตามหา คือ “บาซิลโลซอรัส (Basilosaurus)” (ดังภาพที่ 9) แม้ว่าลักษณะที่พบอาจจะไม่ตรงกับที่เขาคาดไว้มากนัก แต่มันก็เป็นฟอสซิลของบรรพ



บุรุษของวาฬที่ยังมีขาหลังอยู่ แม้ว่าขาของมันจะมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดลำตัว แต่มีเขาที่สามารถขยับได้และมีนิ้วเท้าหลายนิ้ว บาซิลโลซอร์สมีชีวิตอยู่เมื่อ 35 ถึง 41 ล้านปีก่อน



ภาพที่ 9 ภาพจินตนาการและซากฟอสซิลของ บาซิลโลซอร์ส ซึ่งจะเห็นว่ายังมีขาหลังแต่มีขนาดเล็กมาก

ฟอสซิลอีกซากหนึ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์สรุปได้ว่าวาฬวิวัฒนาการจากสัตว์บกชื่อว่า “ซินอนิกซ์ (Sinonyx)” (ดังภาพที่ 10) ในสมัยที่ซินอนิกซ์เคยหากินอยู่บนบกนั้น บางทีลูกหลานของมันอาจจะพบว่า น้ำเป็นแหล่งอาหารอันอุดมสมบูรณ์ ขณะที่ในน้ำก็มีคู่แข่งในการดำรงชีวิตน้อยกว่าบนบก หลังจากเวลาผ่านไปหลายล้านปี ผ่านกระบวนการกลายพันธุ์ (mutation) และผ่านการคัดเลือกทางธรรมชาติ (natural selection) ขาหน้าของมันก็ได้เปลี่ยนรูปร่างภายนอกเป็นครีบ โดยโครงกระดูกภายในยังคงลักษณะรยางค์คู่หน้าของสัตว์ 4 เท้าไว้ ขาหลังได้เกิดการลดรูปจนไม่ปรากฏออกมาให้เห็นภายนอก ร่างกายเปลี่ยนจากที่เคยมีขนปกคลุมเป็นไม่มีขน และเปลี่ยนรูปร่างมาเป็นรูปทรงเพรียวในน้ำที่คุ้นตากัน



ภาพที่ 10 ภาพจินตนาการของ ซินอนิกซ์ ซึ่งเป็นสัตว์บก 4 ขาอาศัยหากินใกล้แหล่งน้ำ

พลังอันยิ่งใหญ่ของวิวัฒนาการ ได้ทำให้เกิด วิวัฒนาการของวาฬจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่เคยอาศัยอยู่บนบกและเคยเดิน 4 เท้าเหมือนกับหมาป่า วิวัฒนาการมาจนกระทั่งเป็นวาฬที่มีแค่ครีบหน้าคู่เดียวไม่มีขาหลังอาศัยอยู่ในน้ำ ภายในเวลาเพียงสิบกว่าล้านปีเท่านั้น

เราทราบได้ถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่น่าพิศวง เช่นนี้ด้วยการศึกษาหลักฐานต่างๆ ดังเช่น การสำรวจซากฟอสซิล ซึ่งการขุดค้นสำรวจแต่ละครั้งนั้นได้ช่วยให้เราได้ซากฟอสซิลเพิ่มมากขึ้น ได้ช่วยเพิ่มหลักฐานที่ชัดเจนถึงการเกิดวิวัฒนาการอันบอกถึงกำเนิดและประวัติศาสตร์ของชีวิตบนโลกนี้ และยังบอกถึงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการระหว่างสิ่งมีชีวิตทั้งหมด



## แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง “หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ” เป็นสื่อที่เน้นให้เห็นว่า นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้หลักฐานต่างๆ ดังเช่น การศึกษาซากฟอสซิล และการเปรียบเทียบโครงสร้างทางกายวิภาคในการยืนยันว่าสิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลายาวนาน และใช้หลักฐานเหล่านี้ในการศึกษาขั้นตอนในการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ที่มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ ดังเช่น การที่บรรพบุรุษของมนุษย์วิวัฒนาการให้เดินสองขาตัวตั้งตรงได้ และการที่บรรพบุรุษของวาฬวิวัฒนาการจากสัตว์บกกลายเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ

เมื่อครูสอนเรื่อง หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ แล้วกล่าวถึง หลักฐานต่างๆ ที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตแล้วให้นักเรียนดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้อย่างพร้อมๆ กับครู

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปราย โดยใช้คำถามและมีแนวทางคำตอบดังนี้

คำถาม : ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มกันศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่วาฬ (ถ้าเป็นวิวัฒนาการของมนุษย์ ให้เน้นไปที่บรรพบุรุษอื่นของมนุษย์ที่ไม่ใช่ลูซี่) โดยพยายามค้นคว้าศึกษาว่านักวิทยาศาสตร์ใช้หลักฐานใดบ้างในการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตนั้น แล้วให้นำเสนอต่อชั้นเรียนเพื่ออภิปรายกันว่ารูปแบบการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตนั้นมีความแปลกและน่าสนใจอย่างไรบ้าง รวมทั้งหลักฐานที่นักวิทยาศาสตร์นำมาใช้ดังกล่าวนั้นน่าเชื่อถือเพียงใด

ตอบ : มีตัวอย่างการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจอยู่หลายกลุ่มที่นักเรียนน่าจะเลือกขึ้นมาศึกษาได้ โดยเฉพาะกลุ่มของสัตว์ต่างๆ ชนิดที่มีรูปร่างแปลกไปจากกลุ่ม ดังเช่น งูซึ่งอยู่ในกลุ่มสัตว์เลื้อยคลานแต่กลับไม่มีขา กวางและม้าอยู่ในกลุ่มสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมซึ่งมีนิ้วเท้า 5 นิ้ว แต่กลับมีเท้าเป็นกีบแทน ตั๊กแตนใบไม้ที่ดูคล้ายกับใบไม้กิ่งไม้มากกว่าแมลงอื่นๆ หรือแม้แต่วิวัฒนาการของสัตว์ที่มีความสามารถพิเศษกว่าตัวอื่นในกลุ่ม เช่น กบที่มีพิษปลาไหลที่ปล่อยไฟฟ้าได้

รูปแบบและหลักฐานของการเกิดวิวัฒนาการของสัตว์ต่างๆ ข้างต้น อาจจะมีตั้งแต่หลักฐานทางธรณีวิทยา ดังเช่น ซากฟอสซิล หลักฐานทางกายวิภาค ดังเช่น การเปรียบเทียบโครงกระดูก ไปจนถึงหลักฐานสมัยใหม่ ดังเช่น การศึกษาดีเอ็นเอและโปรตีนของสิ่งมีชีวิต ซึ่งนักเรียนอาจจะยังขาดความรู้ด้านนี้ไปบ้างและจำเป็นที่จะต้องช่วยอธิบายเพิ่มเติมให้นักเรียนเข้าใจ





## ภาคผนวก

### ก. คำอธิบายเพิ่มเติม

#### ลูซี่ (Lucy) ออสตราโลพิเทคัส (*Australopithecus*)

ลูซี่เป็นชื่อทั่วไปของซากโครงกระดูกหลายร้อยชิ้นที่มาจากร่างของออสตราโลพิเทคัส อาฟาเรนซิส (*Australopithecus afarensis*) หมายเลข AL288-1 ตัวอย่างฟอสซิลนี้ได้ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1974 ที่ฮาดาร์ (Hadar) บริเวณหุบเขาอาวาซ (Awash Valley) ในแอ่งอาฟาร์ (Afar Depression) ของประเทศเอธิโอเปีย ลูซี่ถูกประเมินว่าเคยมีอายุอยู่เมื่อ 3.2 ล้านปีก่อน การค้นพบซากโครงกระดูกของพวกโฮมินิด (hominid) ที่คล้ายมนุษย์นี้มีความสำคัญอย่างมากเพราะมันเป็นหลักฐานของการที่มีสมองขนาดเล็กพอกับของพวกเอปขณะที่เดินสองขาได้เหมือนกับมนุษย์ ซึ่งเป็นหลักฐานว่าภาวะการเดินสองขานั้นเกิดขึ้นก่อนการขยายขนาดของสมองในวิวัฒนาการของมนุษย์ ถึงแม้ว่าการค้นพบอื่นๆ ต่อมาจะบอกว่าออสตราโลพิเทคัส อาฟาเรนซิส นั้นไม่ได้เป็นบรรพบุรุษโดยตรงของมนุษย์เราก็ตาม นอกจากนี้ ยังมีซากโฮมินิดซากใหม่ คือ อาร์ดี (Ardi) ที่ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1994 ที่ทำให้โฮมินิดที่เก่าแก่ที่สุดนั้นมีอายุย้อนไปถึงเมื่อ 4.4 ล้านปีก่อน

ในเดือนพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 1973 คณะสำรวจของ โดนัลด์ โจแฮนสัน (Donald Johanson) นักมานุษยวิทยาชาวอเมริกันได้ค้นพบซากฟอสซิลส่วนหัวเข่าด้านบนและด้านล่าง ซึ่งเมื่อเขาประกบมันเข้าด้วยกัน มุมมองของข้อต่อหัวเข่าแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าซากฟอสซิลนี้เป็นพวกโฮมินิดที่เดินตัวตั้งตรงได้ ซากฟอสซิลซึ่งอายุมากกว่าสามล้านปีนี้เก่าแก่กว่าซากอื่นๆ ที่รู้จักกันในเวลานั้น หลังจากนั้นในการสำรวจครั้งที่สองในปีถัดมา พวกเขาได้พบซากกระดูกของโฮมินิด และในวันที่ 24 พฤศจิกายน ปี ค.ศ. 1974 ระหว่างที่เดินกลับที่พัก โจแฮนสันได้ค้นพบเศษชิ้นส่วนกระดูกแขนและชิ้นส่วนด้านหลังของกระดูกสันหลัง รวมถึงกระดูกสะโพก ยิ่งพวกเขาค้นหามากขึ้น ก็ยิ่งค้นพบกระดูกมากขึ้น ตั้งแต่กระดูกสันหลัง บางส่วนของเชิงกราน และชิ้นส่วนขากรรไกร ซึ่งทั้งหมดมาจากโฮมินิดเพียงตัวเดียว

ซากฟอสซิล AL 288-1 ถูกตั้งชื่อเล่นว่า ลูซี่ ตามเพลง "Lucy in the Sky with Diamonds" ของวงบีเทิลส์ (The Beatles) ที่ถูกเปิดในบริเวณค่ายพักของพวกเขา และเมื่อผ่านไปสามสัปดาห์ พวกเขาได้พบเศษกระดูกหลายร้อยชิ้นไม่ซ้ำกัน ซึ่งยืนยันได้ว่าทั้งหมดนี้มาจาก 40% ของโครงกระดูกโฮมินิดเพียงร่างเดียว โจแฮนสันสรุปว่าร่างนี้เป็นเพศหญิง โดยดูจากความกว้างของช่องเปิดที่กระดูกเชิงกราน ลูซี่มีความสูงเพียง 1.1 เมตร หนัก 29 kg และดูคล้ายคลึงกับลิงชิมแพนซีทั่วไป แต่ถึงแม้ว่าจะมีสมองขนาดเล็ก กระดูกเชิงกรานและขาหลังทำงานได้เหมือนกับของมนุษย์ปัจจุบัน ยืนยันได้โฮมินิดโบราณพวกนี้เดินตัวตั้งตรงได้

ซากฟอสซิลของลูซี่ได้กลายเป็นที่จับจ้องของสาธารณชน และการค้นพบตัวอย่างต่อๆ มาของออสตราโลพิเทคัส อาฟาเรนซิส ในระหว่างทศวรรษ 1970 ช่วยให้นักมานุษยวิทยาได้ประทับใจกับลักษณะความผันแปรของรูปร่างและความแตกต่างระหว่างเพศทั้งสองของสปีชีส์ การหาอายุที่เชื่อถือได้ของซากฟอสซิลลูซี่ได้ถูกทำในช่วงปี ค.ศ. 1990–1992 ด้วยวิธีการวัดอายุของแก้วภูเขาไฟที่อยู่รอบตัว





ของลูซี่ จากการวัดกัมมันตภาพรังสีของธาตุอาร์กอน ซึ่งพัฒนาโดยดีเรก ยอร์ก ( Derek York) จาก มหาวิทยาลัยโตรอนโต (University of Toronto) ทำให้ได้ค่าอายุออกมาระหว่าง 3.22 ถึง 3.18 ล้านปี

ลักษณะสำคัญที่โดดเด่นของลูซี่คือการมีหัวเข่าที่งอพับและยืดตรงได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปรกติแล้วเธอเดินสองขาตัวตั้งตรง อัตราส่วนความยาวของกระดูกแขนและกระดูกขาของเธอมีค่าเท่ากับ 84.6% เทียบกับ 71.8% ของมนุษย์ปัจจุบัน และ 97.8% ของลิงชิมแปนซีทั่วไป แสดงให้เห็นว่าแขนของออสตราโลพิเทคัส อาฟาเรนซิสนั้นสั้นลงขณะที่ขายาวขึ้น ลูซี่ยังมีเท้าที่แบนอีกด้วยแม้ว่าจะมีอาฟาเรนซิสตัวอื่นที่เท้าโค้งก็ตาม กระโหลกของลูซี่นั้นยังไม่ค่อยพัฒนามากนัก ขนาดความจุของสมองมีค่าประมาณ 375 ถึง 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ฟันเขี้ยวของเธอนั้นยังมีขนาดเล็กกว่าของเอปเป็นอย่างมาก ขากรรไกรของลูซี่แตกต่างจากโฮมินิดอื่น ๆ โดยดูคล้ายกับของลิงกอริลลามากกว่า

ปัจจุบันซากฟอสซิลของลูซี่ถูกเก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติเอธิโอเปียในกรุง แอดดิสอาบาบา (Addis Ababa) โดยมีแบบจำลองปูนปลาสเตอร์ตั้งแสดงแทนที่โครงกระดูกของจริง และเคยได้รับอนุญาตให้มีการนำออกไปตระเวนแสดงตามพิพิธภัณฑ์ต่างๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกาในชื่อว่า มรดกของลูซี่ สมบัติที่ถูกซ่อนไว้ของเอธิโอเปีย ( Lucy's Legacy: The Hidden Treasures of Ethiopia)

## วิวัฒนาการของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและโลมา

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและโลมา หรือที่เรียกว่ากลุ่มเซตาซีน ( cetacean) เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่อาศัยอยู่ในทะเล และเป็นลูกหลานมาจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่อาศัยบนบก ที่เราทราบว่ามันเคยมีจุดกำเนิดจากบนบกนั้นเพราะว่ามันจำเป็นที่จะต้องขึ้นมาหายใจบนผิวน้ำ กระดูกในส่วนครีบอกของมันมีลักษณะคล้ายในรอยค้ำแขนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่อาศัยบนบก และการเคลื่อนที่ของกระดูกสันหลังของมันก็อยู่ในแนวตั้ง ซึ่งแสดงถึงลักษณะของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่วิ่งได้ ไม่ได้อยู่ในแนวระนาบเหมือนกับของปลา

คำถามที่ว่าทำไมสัตว์บกจึงวิวัฒนาการไปเป็นสัตว์ทะเลที่อยู่ในน้ำได้นั้น เป็นเรื่องอัศจรรย์มานานจนกระทั่งในช่วงทศวรรษที่ 1970 ที่เริ่มมีหลักฐานฟอสซิลแสดงถึงลำดับขั้นของการกลายสภาพของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และโลมาจากพื้นไปสู่ทะเล

ทฤษฎีดั้งเดิมของวิวัฒนาการของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและโลมา คือ พวกมันเป็นญาติกับพวกเมโสเนคติด (mesonychid) ซึ่งเป็นสัตว์กินเนื้อในกลุ่มสัตว์กีบ ( hoofed animal) ที่สูญพันธุ์ไปแล้วและมีหน้าตาคล้ายกับหมาป่าแต่มันมีนิ้วเท้าแบบกีบ สัตว์กลุ่มนี้มีฟันที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมคล้ายกับฟันของวาฬ จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์เชื่อกันมานานว่าวาฬวิวัฒนาการมาจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเมโสเนคติด แต่ข้อมูลจากการศึกษาทางวิวัฒนาการเชิงโมเลกุลกลับบอกว่า วาฬนั้นเป็นญาติใกล้ชิดกับสัตว์กีบกลุ่มอาร์ทีโอแดกทีล (artiodactyl) มากกว่า โดยเฉพาะน่าจะใกล้ชิดกับพวกฮิปโปโปแตมัส หลักการสำคัญคือแผนภูมิวิวัฒนาการที่จัดเอาพวกเซตาซีนและพวกอาร์ทีโอแดกทีลไว้ในกลุ่มเดียว ถึงแม้ว่าฟอสซิลของบรรพบุรุษของฮิปโปโปแตมัสจะมีอายุน้อยกว่าซากของพาเคตัส (Pakicetus) ซึ่งเป็นบรรพบุรุษยุคแรกสุดของวาฬอยู่หลายล้านปี



ข้อมูลทางโมเลกุลได้รับการสนับสนุนจาก การค้นพบซากฟอสซิลของพาคิเซตัส ซึ่งเป็นบรรพบุรุษของวาฬยุคแรก โครงกระดูกของพาคิเซตัสแสดงให้เห็นว่าวาฬไม่ได้เป็นลูกหลานมาจากสัตว์กีบกลุ่มเมโสไนคิต แต่มาจากพวกอาร์ทีโอแดกทีลที่วิวัฒนาการแยกออกมาจากกลุ่มเมโสไนคิตแล้วเริ่มลงไปอาศัยในน้ำ เป็นไปได้ว่าต้นกำเนิดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่มีกีบเท่านั้นเป็นสัตว์กินเนื้อ (carnivore) หรือสัตว์กินซาก (scavenger) ต่อมาพวกอาร์ทีโอแดกทีลได้วิวัฒนาการไปเป็นสัตว์กินพืช (herbivore) ขณะที่พวกวาฬกลับคงลักษณะอาหารที่เป็นเนื้อสัตว์เอาไว้เนื่องจากมันมีเหยื่อให้ล่าได้มากมาย และพวกมันยังต้องการพลังงานสูงมากเพื่อคงชีวิตที่เป็นสัตว์เลือดอุ่นในทะเลอีกด้วย

### **พาคิเซตัส (Pakicetus)**

พาคิเซตัสเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมกลุ่มสัตว์กีบที่เป็นต้นกำเนิดของวาฬ พวกมันมีชีวิตอยู่ในยุคอีโอซีน (Eocene) ตอนต้นเมื่อประมาณ 53 ล้านปีก่อน ซากฟอสซิลของพวกมันถูกค้นพบตอนเหนือของประเทศปากีสถานในปี ค.ศ. 1979 ในบริเวณที่เคยเป็นแม่น้ำซึ่งอยู่ไม่ไกลจากชายฝั่งทะเล และหลังจากนั้น ได้มีฟอสซิลในยุคอีโอซีนตอนต้นถึงตอนปลายอีกหลายซากถูกค้นพบจากปากีสถานตอนเหนือและบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จากการค้นพบนี้ พาคิเซตัสน่าจะมีชีวิตอยู่เมื่อหลายล้านปีก่อนในสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างแห้งแล้งและมีลำน้ำไหลผ่าน ซึ่งกลายเป็นที่ราบน้ำท่วมได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ไอโซโทปของออกซิเจนเสถียร (stable oxygen isotope) แสดงว่าพวกมันดื่มน้ำจืด และกินเนื้อของสัตว์ที่เข้ามาดื่มน้ำหรือกินสัตว์น้ำจืดที่อาศัยอยู่ในแม่น้ำนั้น

พาคิเซตัสถูกจัดว่าอยู่ในกลุ่มเซตาซันเนื่องจากรูปร่างของกระดูกหูที่มีรูปร่างไม่ธรรมดา และลักษณะของกะโหลกที่คล้ายกับพวกวาฬโลมาแม้ว่าจะยังไม่ มีรูสำหรับพ่นน้ำ (blowhole) ก็ตาม กระดูกขากรรไกรของพาคิเซตัสนั้นยังขาดช่องว่างขนาดใหญ่ที่มีไขมันอยู่มากเพื่อใช้ในการรับเสียงเมื่ออยู่ใต้น้ำอย่างที่วาฬในปัจจุบันมี พวกมันมีเบ้าตาอยู่ไปทางด้านบนของกะโหลกเหมือนอย่างกับจระเข้ ซึ่งช่วยในการมองเห็นเหยื่อขณะที่ตัวมันจมอยู่ในน้ำ ฟันของพาคิเซตัสยังคล้ายกับฟันของซากฟอสซิลวาฬ ซึ่งมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมคล้ายกับของปลาฉลาม แต่ต่างจากฟันเขี้ยวของสุนัข จึงเป็นอีกตัวเชื่อมโยงหนึ่งระหว่างพวกมันกับวาฬในปัจจุบัน นอกจากนี้ จากที่เคยเชื่อกันว่าหูของพาคิเซตัสถูกปรับตัวให้ฟังเสียงใต้น้ำได้ แต่จากการศึกษากายวิภาคแล้ว ถึงแม้ว่าพาคิเซตัสจะได้ยินเสียงใต้น้ำโดยการนำเสียงผ่านกระดูกแทนที่จะใช้แก้วหูเหมือนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่อาศัยอยู่บนบก แต่หูของพาคิเซตัสนั้นเหมาะสมกับการฟังเสียงบนบกมากกว่า

พาคิเซตัสมีขายาวเรียว โดยมีมือเท้าที่ค่อนข้างสั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพวกมันเป็นนักว่ายน้ำที่ไม่ดีนัก เพื่อที่จะทดแทนข้อจำกัดดังกล่าว กระดูกของพวกมันจึงมักจะหนากว่าปรกติซึ่งอาจจะเกิดจากการปรับตัวเพื่อให้หนักขึ้นรับกับแรงลอยตัวของน้ำ จากผลการวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยาไม่พบว่าพาคิเซตัสจะมีการปรับตัวของโครงกระดูกไปในทางการเป็นสัตว์น้ำ แต่กลับมีการปรับตัวสำหรับการวิ่งและการกระโดด ดังนั้น พาคิเซตัสที่น่าที่จะเป็นพวกที่หากินโดยการดำไปในน้ำ (aquatic wader) มากกว่า

### **บาซิลอซอรัส (Basilosaurus)**

ซากฟอสซิลของพวกบาซิลอซอรัสได้ถูกค้นพบตั้งแต่ปี ค.ศ. 1840 และในตอนแรกถูกเข้าใจผิดว่าเป็นสัตว์เลื้อยคลาน (reptile) จนทำให้ชื่อของมันถูกตั้งว่าเป็น saurus (หมายถึง พวกกิ้งก่า) พวกมัน



มีชีวิตอยู่ในยุคอีโอซีนตอนปลายระหว่าง 41 ถึง 35 ล้านปีก่อนและเป็นตัวอย่างที่เก่าแก่ที่สุดของพวกเซตาซันที่อาศัยอยู่ในน้ำอย่างถาวร พวกมันนับได้อย่างชัดเจนว่าเป็นวาฬที่อาศัยอยู่ในมหาสมุทร ซึ่งยืนยันจากการพบซากฟอสซิลของมันในดินตะกอนที่เป็นทะเลและไม่มีน้ำจืดไหลเข้ามา เป็นไปได้ว่าพวกมันเคยกระจายพันธุ์ไปทั่วทะเลในเขตร้อน (tropical) และเขตกึ่งร้อน (subtropical) ของโลก ซากฟอสซิลหนึ่งที่เป็นส่วนกระดูกของมันแสดงให้เห็นว่ามันกินปลาเป็นอาหาร

ถึงแม้ว่าบาซิลโลซอร์สจะคล้ายคลึงกับวาฬในปัจจุบันเป็นอย่างมาก แต่พวกมันกลับขาดอวัยวะสำคัญที่ใช้ในการหาตำแหน่งด้วยเสียงสะท้อน (echolocation) ให้มีประสิทธิภาพเฉกเช่นวาฬสมัยใหม่ พวกมันมีสมองขนาดเล็กซึ่งแสดงว่ามันไม่น่าจะชอบอยู่เป็นฝูงและไม่มีโครงสร้างทางสังคมที่ซับซ้อนเหมือนพวกเซตาซันในปัจจุบัน กระดูกหูของมันโค้งลงมาคลุมตลอดความลึกของขากรรไกรล่างทั้งหมด เหมือนกับพวกวาฬโลมาปัจจุบัน เบ้าตาอยู่ด้านข้างของใบหน้า และจมูกได้ย้ายสูงขึ้นไปจนค่อนข้างใกล้กับรูเปิดสำหรับหายใจของพวกเซตาซันสมัยใหม่ ยิ่งไปกว่านั้น โครงสร้างหูของพวกมันก็ทำงานได้เหมือนในปัจจุบัน โดยมีนวัตกรรมสำคัญคือการแทรกช่องไซนัส (sinus) ที่มีอากาศอยู่เต็มระหว่างหูกับกะโหลก

บาซิลโลซอร์สมีโครงกระดูกที่ทำให้เราทราบได้ทันทีว่าเป็นพวกวาฬ มันมีขนาดใหญ่พอกับวาฬสมัยปัจจุบัน โดยยาวสูงสุดถึง 18 เมตร ที่มันมีขนาดใหญ่ได้เช่นนี้เนื่องจากกระดูกสันหลังของมันยืดยาวมากเป็นพิเศษ มันมีครีบหาง (tail fluke) ที่แผ่ออก แต่จากสัดส่วนของลำตัวมันแล้ว แสดงให้เห็นว่ามันว่ายน้ำแบบโยกลำตัวขึ้นลง (caudal undulation) และส่วนครีบหางนั้นไม่ใช่อวัยวะสำคัญในการตีว่ายน้ำ ไม่ใช่แบบเอาครีบหางตีน้ำ (caudal oscillation) เหมือนวาฬในปัจจุบัน ulyang ขาคู่หน้าของบาซิลโลซอร์ส น่าที่จะมีรูปร่างเป็นครีบ (flipper) และขาคู่หลังมีขนาดเล็กมากและไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่อย่างแน่นอน แม้ว่านิ้วของขาคู่หลังนั้นจะยังคงมีข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้ ขาคู่หลังทั้งสองของบาซิลโลซอร์สนั้นอาจจะใช้ในการกอดรัดระหว่างที่ผสมพันธุ์คล้ายกับบรรพบุรุษของมันทำ ที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งคือกระดูกเชิงกรานที่สัมพันธ์กับขาคู่หลังนั้นไม่ได้ต่อเชื่อมกับแนวของกระดูกสันหลังแล้ว ต่างไปจากบรรพบุรุษของมันก่อนหน้านี้

### วิวัฒนาการของวาฬในปัจจุบัน

บาซิลโลซอร์สเป็นญาติที่ใกล้ชิดกับสัตว์กลุ่มวาฬและโลมาในปัจจุบัน ซึ่งแบบออกเป็น 2 อันดับคืออันดับของวาฬที่มีฟัน หรือ โอดอนโตเซติ (Odontoceti) และอันดับของวาฬที่มีซี่กรอง (baleen) หรือ มีสติเซติ (Mysticeti) โครงกระดูกของวาฬในปัจจุบัน ส่วนขาหลังของมันได้ลดรูปหายไป เหลือแต่กระดูกส่วนเชิงกรานที่พองยื่นออกมาในรูปร่างของมัน แต่ในบางครั้ง ยีนที่กลายพันธุ์ให้อวัยวะยืดยาว ผิดปรกติได้อาจทำให้วาฬในปัจจุบันมีการพัฒนาขนาดเล็กๆ ขึ้นมา เรียกภาวะนี้ว่า อาตาวิซึม (atavism)

ในขณะที่บรรพบุรุษยุคต้นของวาฬและโลมา เช่น พาคิเซตัส จะมีช่องเปิดหายใจอยู่ที่ปลายของจมูก แต่ในยุคต่อมา ช่องเปิดนี้ได้เริ่มเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งส่วนบนของกะโหลก จนกลายเป็นช่องหายใจของวาฬในปัจจุบันที่พัฒนาเป็นรูเปลาลม (blowhole) ซึ่งช่วยให้พวกมันขึ้นไปที่ผิวน้ำ หายใจเข้าและดำลงไปใต้ผิวน้ำ ส่วนหูของมันนั้นได้เริ่มเคลื่อนที่เข้าด้านในรูปร่างเช่นกัน เหมือนกรณีของบา



ซีโลซอร์ส ที่หูชั้นกลางของมันได้เริ่มรับการสั่นสะเทือนจากขากรไรโรลาง ส่วนวาฬที่มีฟันในปัจจุบันนั้น มีอวัยวะที่เป็นถุงไขมัน ตูคัลลายแดงโม สำหรับการสร้างเสียงสะท้อนเพื่อหาตำแหน่งวัตถุ (echolocation)

## ข. คำอธิบายศัพท์

การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (plate tectonics)	ทฤษฎีที่บอกว่าพื้นผิวของโลกนั้นเกิดจากแผ่นเปลือกโลก (plate) จำนวนหนึ่ง ซึ่งได้เคลื่อนที่ไประหว่างช่วงเวลาทางธรณีวิทยา ทำให้เกิดรูปร่างของทวีปต่างๆ ในตำแหน่งที่เห็น ณ ปัจจุบันนี้ การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกช่วยอธิบายถึงการก่อตัวขึ้นของภูเขา ตลอดจนการเกิดแผ่นดินไหวและภูเขาไฟระเบิด แผ่นเปลือกโลกนี้ประกอบขึ้นจากทั้งแผ่นทวีปและมหาสมุทร รวมถึงชั้นแมนเทิล (mantle) ด้านบน ซึ่งลอยอยู่บนชั้นแมนเทิลด้านล่างที่ร้อนตัวกว่า และเคลื่อนที่ไปมาระหว่างกันไปทั่วทั้งโลก แผ่นเปลือกโลกหลักมีอยู่ 6 แผ่น คือ ยูเรเชีย (Eurasia) อเมริกา (America) อัฟริกา (Africa) แปซิฟิก (Pacific) อินเดีย (India) และแอนตาร์กติก (Antarctic) โดยมีแผ่นเล็กๆ อีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งตามแนวขอบของแผ่นเปลือกโลกจะเป็นพื้นที่ที่มีการสั่นไหวและภูเขาไฟปะทุเกิดขึ้น
การหาอายุด้วยรังสี (radiometric dating)	เทคนิคการหาอายุที่ใช้อัตราการสลายตัวของไอโซโทป (isotope) ที่มีกัมมันตภาพรังสีของธาตุต่างๆ เพื่อประมาณอายุของสิ่งนั้นๆ
ช่วงเวลาทางธรณีวิทยา (geological time)	ลำดับเวลาที่ใช้บรรยายเหตุการณ์ต่างๆ ในประวัติศาสตร์ของโลก
ซากฟอสซิล (fossil)	ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นทั้งตัวของสิ่งมีชีวิต หรือบางส่วนของสิ่งมีชีวิต หรือแม้แต่รอยประทับของสิ่งมีชีวิตนั้นที่ได้รับการรักษาไว้ตั้งแต่โบราณกาลในรูปของหินอำพัน หรือวิธีอื่นๆ เรายังสามารถจะศึกษาฟอสซิลในระดับเซลล์และโมเลกุลได้อีกด้วยเทคนิคสมัยใหม่



สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม (mammal)

กลุ่มของสัตว์ในระดับชั้น (class) ที่เป็นลูกหลานมาจากบรรพบุรุษร่วมซึ่งมีลักษณะที่วิวัฒนาการร่วมกัน มา คือ มีขน (hair หรือ fur) มีต่อมน้ำนม (mammary gland) และมีลักษณะเฉพาะอื่นๆ ของกายวิภาคกระดูก ซึ่งรวมถึงกระดูกของหูชั้นกลาง (middle ear) คน วัว และโลมาล้วนแล้วแต่เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

สายวิวัฒนาการ (lineage)

ลำดับจากบรรพบุรุษมาสู่ลูกหลานทั้งในระดับประชากร ระดับเซลล์ หรือระดับยีน

### ค. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Campbell, N.A. and Reece, J.B 2002. Biology. 6<sup>th</sup> 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, 9<sup>th</sup> edition. Pearson Education, San Francisco.
3. Stickberger, M.W. 2000. Evolution. 3<sup>rd</sup> edition. Jones & Barlett Publ. Int.
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Lucy\\_\(Australopithecus\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Lucy_(Australopithecus))
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/Evolution\\_of\\_cetaceans](http://en.wikipedia.org/wiki/Evolution_of_cetaceans)
6. <http://www.pbs.org/wgbh/evolution/educators/teachstuds/svideos.html>



## รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพถฤทธิ์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
3	การออกแบบการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารักษ์ กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารักษ์ กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรวรรณ 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 ตั้งประพถฤทธิ์กุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพถฤทธิ์กุล
22	ไต: หน่วยไตและการผลิตปัสสาวะ	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพถฤทธิ์กุล





ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
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 มาลัยวิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
37	เซลล์พืช	ผศ.ดร.มานิต คัดอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คัดอยู่
39	ปากใบและการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
40	การลำเลียงน้ำของพืช	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง
41	พลังงานชีวิต	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
42	ปฏิกิริยาแสง (Light reaction)	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
43	ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C <sub>4</sub>	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปรีดา บุญหลง
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 ลิมปะเวช
54	การเคลื่อนไหวของพืช	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
55	ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
56	กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
57	มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัตนี้ยจิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัตนี้ยจิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนีกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอรา	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	พฤติกรรมการเรียนรู้	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	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ 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
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
88	การเพิ่มขนาดประชากร (population growth)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา