



คำชี้แจง

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ประคอง ตั้งประพศกร

ผู้จัดทำคู่มือ
ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	15
ภาคผนวก	16
ก. คำอธิบายเพิ่มเติม	
ข. คำอธิบายศัพท์	
ค. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน	22



เรื่อง วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา

“วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา” 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

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบทางพันธุกรรมและปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เชื้อแบคทีเรียโรควัณโรควิวัฒนาการไปจนสามารถดื้อยาปฏิชีวนะได้ และอธิบายกลไกการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ที่ทำให้ผู้ที่มียีนกลายพันธุ์ของโรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียว สามารถต้านทานต่อการติดเชื้อโรคมาลาเรียได้

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายกลไกที่เชื้อแบคทีเรียโรควัณโรควิวัฒนาการจนดื้อยาปฏิชีวนะ
2. บอกความสำคัญของการคัดเลือกโดยธรรมชาติที่มีต่อวิวัฒนาการของเชื้อโรค
3. อธิบายผลกระทบเชิงลบและเชิงบวกของการกลายพันธุ์ที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
4. บอกความสำคัญของการศึกษาเรื่องวิวัฒนาการต่อการใช้ชีวิตประจำวัน
5. บอกบทบาทของนักชีววิทยาต่อการรับมือกับโรคต่างๆ

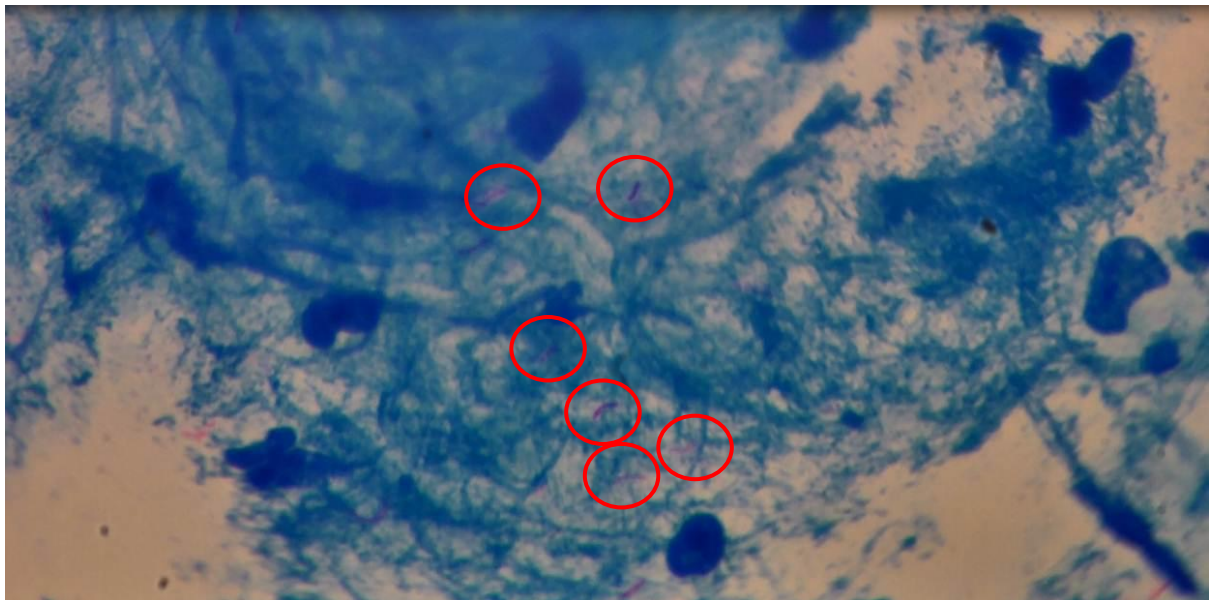


สาระ

เชื้อแบคทีเรียเป็นสาเหตุของโรควัณโรค

ตัวอย่างหนึ่งของการเกิดวิวัฒนาการระดับเล็กจิ๋วที่ตามองไม่เห็น คือ วิวัฒนาการของโรคต่างๆ ที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งจะช่วยให้เห็นว่าวิวัฒนาการนั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอยู่ทุกวันและเป็นเรื่องใกล้ตัวเราอย่างยิ่ง จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตตัวเล็กจิ๋วที่ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์จึงจะมองเห็น ได้แก่แบคทีเรียไวรัส mycobacteria (มายคอบแบคทีเรีย) เชื้อรา ซึ่งสามารถก่อให้เกิดโรคในมนุษย์และสัตว์ขึ้นได้ เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหลายอาศัยร่างกายของมนุษย์เป็นที่อยู่ และเป็นโลกที่พวกมันจะวิวัฒนาการให้อยู่รอดต่อไป

มนุษย์ได้มีส่วนร่วมสำคัญในวิวัฒนาการของพวกจุลินทรีย์อย่างไม่รู้ตัว การที่ใช้ยาปฏิชีวนะ (antibiotic) อย่างไม่เหมาะสมได้ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการคัดเลือกให้เชื้อที่เป็นอันตรายกลับอยู่รอดได้ ตัวอย่างเช่น วิวัฒนาการของเชื้อที่ทำให้เกิดวัณโรค (tuberculosis) ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย (ดังภาพที่ 1) และเป็นโรคติดเชื้อมาตรึงที่เคยระบาดหนักในช่วง 50-60 ปีที่ผ่านมา จนกระทั่งเมื่อเริ่มมีการพัฒนาวัคซีน BCG (บีซีจี) และฉีดให้แก่ประชาชนอย่างแพร่หลายแล้ว อุบัติการณ์ของวัณโรคจึงลดลง



ภาพที่ 1 แสดงเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดวัณโรค (ในวงกลม)

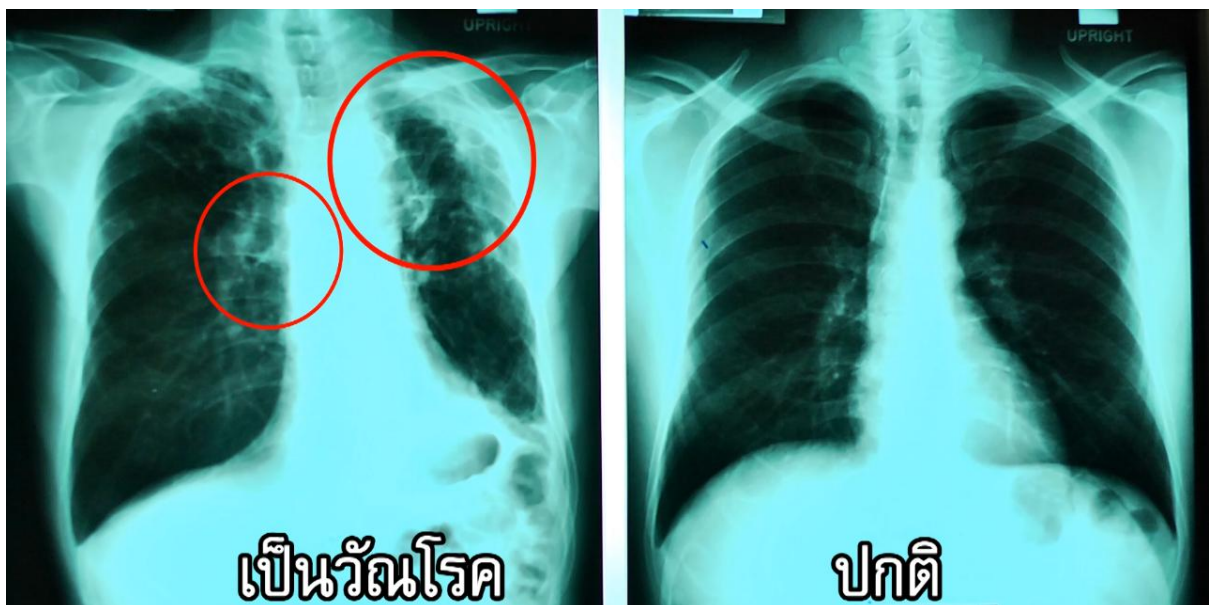


อันตรายของเชื้อโรควัณโรค

ถึงกระนั้น วัณโรคก็ยังคงเป็นโรคติดต่อที่ทำให้คนตายเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน และยังคงติดอันดับของหนึ่งในเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ที่สุด ตัวอย่างเช่น ได้มีการพบเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดวัณโรคในเรือนจำของประเทศรัสเซีย ที่วิวัฒนาการไปจนสามารถติดต่ออายุชนิดต่างๆ ได้ เชื้อที่นำสะพรึงกลัวนี้กำลังคุกคามต่อชีวิตของผู้คนนับแสน ขณะที่คุกที่มีนักโทษของรัสเซียได้กลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อ และเป็นจุดเริ่มต้นของวัณโรคสายพันธุ์ใหม่ที่จะแพร่ระบาดไปทั่วโลก

วัณโรคนั้นแพร่กระจายได้ในอากาศ มันจึงเป็นโรคที่น่ากลัวมาก เมื่อผู้ป่วยวัณโรคไอออกมา แม้เวลาจะผ่านไปกว่าชั่วโมงแล้วก็ตาม ใครอีกคนที่เดินเข้ามาในห้องก็อาจหายใจเอาเชื้อแบคทีเรียวัณโรคที่กระจายอยู่ในอากาศเข้าไป คนๆ นั้นก็อาจจะติดเชื้อป่วยเป็นวัณโรคไปด้วยอีกคน คนที่ป่วยด้วยวัณโรคจะไอมีไข้และน้ำหนักจะเริ่มตัวลดลงอย่างมาก

ถ้าดูตัวอย่างของฟิล์ม X-ray (เอ็กซเรย์) ปอด เอ็กซเรย์ของปอดที่สุขภาพดีจะเห็นพื้นที่สีดำมากมายในปอด นั่นเป็นเพราะปอดบรรจุอากาศไว้เต็มภายในปอด ดังนั้น ถ้าเห็นฟิล์มเอ็กซเรย์ปอดที่เป็นแบบนี้ แสดงว่าปอดมีสุขภาพดี ส่วนปอดที่เป็นวัณโรค จะเห็นพื้นที่สีขาวหลายแห่งซึ่งในนั้นจะเป็นเสมหะ เลือด และหนอง คนป่วยจะไอมากขึ้นเรื่อยๆ การเริ่มไอนั้นเป็นสัญญาณว่าคนนั้นป่วยมากแล้ว (ดังภาพที่ 2)

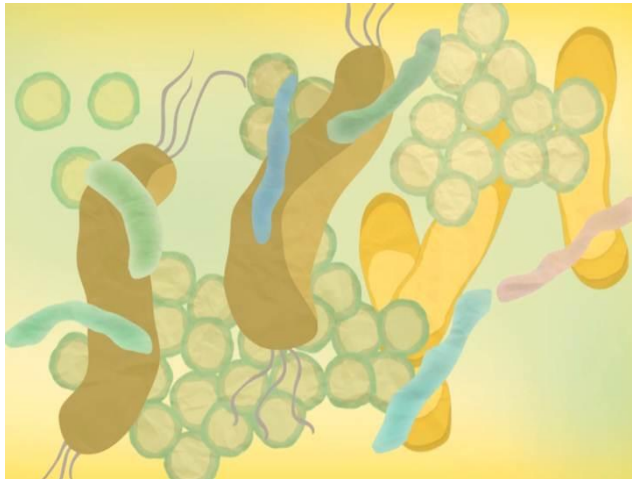


ภาพที่ 2 แสดงฟิล์มเอ็กซเรย์ของปอดคนที่ไม่เป็นวัณโรค เทียบกับปอดคนที่เป็นวัณโรค

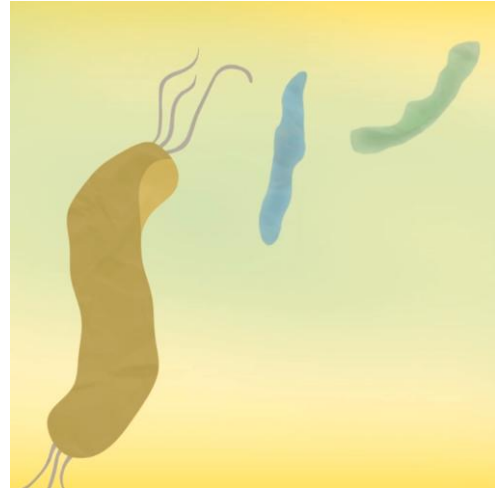


การกลายพันธุ์และการคัดเลือก เป็นสาเหตุทำให้เชื้อดื้อยา

นักจุลชีววิทยา (microbiologist) ชาวรัสเซีย Alex Goldfarb (อเล็กซ์ โกลด์ฟาร์บ) เป็นหนึ่งในมืออาชีพด้านการแพทย์ที่เดินทางจากอเมริกาไปรัสเซีย เพื่อหาทางกำจัดเชื้อวัณโรคที่ดื้อยา เมื่อพบผู้ป่วยวัณโรค เขามักจะต้องให้ยาปฏิชีวนะมากกว่าหนึ่งชุดเพื่อที่จะได้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดที่อาศัยอยู่ในคนคนนั้น การรักษาเริ่มขึ้นจากการให้ยาชุดที่หนึ่ง ยาปฏิชีวนะจะฆ่าแบคทีเรียไปจำนวนมาก (ดังภาพที่ 3)



ก.



ข.

ภาพที่ 3 แสดง ก. เชื้อวัณโรคเมื่อก่อน และหลัง ข. การให้ยาปฏิชีวนะ

ต่อมา เขาจะให้ยาปฏิชีวนะชุดที่ 2 ซึ่งจะฆ่าแบคทีเรียที่ยังคงหลงเหลืออยู่หลังจากยาชุดแรกถึงกระนั้น ก็อาจจะมีแบคทีเรียที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะรอดชีวิตอยู่หลังได้รับยาชุดที่ 2 ดังนั้น ถ้าคนไข้ไม่ได้กินยาปฏิชีวนะที่หมอสั่งให้หมด เชื้อแบคทีเรียพวกที่ดื้อยานี้ก็จะแบ่งตัวเพิ่มจำนวนมากขึ้นในคนไข้และถ่ายทอดการดื้อยาไปให้เชื้อรุ่นลูกหลานของมัน จนทำให้คนไข้ยังคงป่วยต่อไป (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 4 แสดงเชื้อวัณโรคกลายเป็นพยาธิที่รอดจากยาปฏิชีวนะ เพิ่มจำนวนตัวขึ้นหลังจากไม่มีการให้ยาต่อเนื่อง

ด้วยกระบวนการนี้ เชื้อวัณโรคจึงวิวัฒนาการไปจนกลายเป็นสายพันธุ์ที่ดื้อยาอย่างสมบูรณ์ วัฏจักรการดื้อยาของแบคทีเรียนี้จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งคนไข้ดื้อต่อยาปฏิชีวนะทุกชนิดที่เราเคยใช้รักษาวัณโรค โดยยาปฏิชีวนะที่หมอสั่งให้แก่คนไข้กลับกลายเป็นตัวการที่คัดเลือกเฉพาะแบคทีเรียที่ดื้อต่อยาให้อยู่รอด ส่วนเชื้อที่อ่อนแอจะทนยาปฏิชีวนะไม่ได้และตายไป

จะเห็นได้ว่า การดื้อยาของเชื้อโรคนั้นเป็นตัวอย่างที่ดีของผลรวมระหว่างการคัดเลือกโดยธรรมชาติและคามผันแปรทางพันธุกรรม ที่ทำให้เชื้อแบคทีเรียบางสายพันธุ์ทนทานต่อยาปฏิชีวนะ เชื้อที่รอดจากยาได้จะถูกคัดเลือกไว้และวิวัฒนาการต่อไป หากผู้ป่วยไม่ได้รับยากำจัดแบคทีเรียเหล่านี้ อย่างเต็มที่และต่อเนื่องแล้ว แบคทีเรียสายพันธุ์ดื้อยาเพียงเซลล์เดียวก็จะสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้เป็นล้านเท่าในช่วงชีวิตของผู้ป่วย

ความสำคัญของการศึกษาวิวัฒนาการของเชื้อโรค

ด้วยเหตุนี้ แพทย์จึงต้อง กำชับให้คนไข้ ใช้อาปฏิชีวนะในการรักษาวัณโรค ให้ถูกต้อง (ดังภาพที่ 5) ถ้าหากแพทย์ไม่เข้าใจกลไกการดื้อยาของเชื้อ ซึ่งก็คือกลไกการคัดเลือกในการเกิดวิวัฒนาการ เราก็จะไม่มีทางกำจัดวัณโรคได้ ความเข้าใจในกลไกการเกิดวิวัฒนาการนั้นเป็นกุญแจสำคัญในการรักษาและทำความเข้าใจต่อโรคติดเชื้อต่างๆ



ภาพที่ 5 แพทย์ให้คำปรึกษากับคนไข้

ทำไมเราจึงควรที่จะสนใจว่าวิวัฒนาการของเชื้อโรคนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร แม้ว่าจะเกิดไกลจากบ้านเราดังเช่นในเรือนจำที่ประเทศรัสเซีย โลกาภิวัตน์ (globalisation) ไม่ได้ทำให้ตลาดธุรกิจหรือการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารขยายขึ้นจากระดับชาติสู่ระดับโลกเท่านั้น แต่แบคทีเรียเองก็ได้ขยายเขตนิเวศวิทยาของมันเข้าสู่ระดับโลกเช่นกัน

เมื่อไม่นานมานี้ มีรายงานเกี่ยวกับชายคนหนึ่งในประเทศรัสเซียที่ป่วยอย่างมากด้วยวัณโรคที่ดื้อยา เนื่องจากไม่มีวิธีการที่จะรักษาเขาได้ในรัสเซีย ชายคนนั้นจึงถูกพาขึ้นเครื่องบิน บินจากกรุงมอสโก ไปยังกรุงนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อไปทำการรักษาเชื้อวัณโรคดื้อยาของเขา แต่ระหว่างที่อยู่บนเครื่องบิน ผู้ป่วยคนนั้นได้ไอออกมา และด้วยระบบอากาศที่หมุนเวียนภายในเครื่อง ทำให้ผู้โดยสารอีก 34 คนติดเชื้อวัณโรคดื้อยา จากเที่ยวบินเพียงเที่ยวเดียว (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แสดงภาพการ์ตูนคนป่วยที่แพร่เชื้อไวรัสในเครื่องบิน

โรคมาลาเรียเกิดจากเชื้อปรสิต

จากตัวอย่างวิวัฒนาการของการติดยาของเชื้อโรค เนื่องจากการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างไม่ต่อเนื่อง เป็นตัวการที่คัดเลือกให้เชื้อโรคสามารถอยู่รอดได้

มาดูอีกตัวอย่างหนึ่งของกลไกการเกิดวิวัฒนาการ ตัวอย่างนี้จะแสดงให้เห็นว่ามนุษย์เราเองก็มีวิวัฒนาการไปเพื่อให้สามารถต่อสู้อยู่รอดได้จากโรคร้าย ตัวอย่างนี้เกิดขึ้นในทวีปแอฟริกา กว่าหมื่นปีแล้วที่มนุษย์ได้มาตั้งรกรากอยู่ในแผ่นดินทวีปแอฟริกาฝั่งตะวันตก พวกเขาอาศัยการประมง ในการดำรงชีพ แต่เมื่อ 4,000 ปีก่อนโรคร้ายได้ระบาดมาถึงที่นี่และทำให้ผู้คนล้มตายไปมาก มันคือโรคมาลาเรียหรือโรคไข้นั่น ผู้คนที่ยังคงมีชีวิตอยู่ในปัจจุบันนี้ เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงพลังของวิวัฒนาการที่ทำให้พวกเขาสามารถรอดชีวิตจากโรคร้ายได้ เพราะผลจากการกลายพันธุ์ของยีนเพียงแค่นั้นเดียว

มาลาเรียเกิดจากเชื้อปรสิตตัวเล็กจิ๋วที่ยุ่งกันปล่องพามา มนุษย์จะติดโรคจากเชื้อปรสิตนี้ผ่านการถูกยุงกัด ปรสิตจะทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดงของมนุษย์ ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการนำส่งออกซิเจนไปทั่วร่างกาย ภายในเวลาเพียงแค่วันเดียว ปรสิตที่รุกรานเข้าไปในเซลล์เม็ดเลือดแดงนั้นจะเพิ่มจำนวนตัวขึ้น จนทำให้เซลล์แตกออก ปรสิตรุ่นลูกจะเป็นอิสระในกระแสเลือด และเริ่มรุกรานเซลล์เม็ดเลือดแดงอื่นๆ ต่อไป (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 แสดงซีอมาลาเรียกำลังเพิ่มจำนวนอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดง

การกลายพันธุ์ทำให้เกิดเซลล์เม็ดเลือดแดงรูปเคียว

โรคมาลาเรียระบาดอยู่ทั่วไปในเขตแอฟริกาตะวันตก เช่นที่ประเทศเซเนกัล (Senegal) พบว่าเด็กส่วนใหญ่ติดโรคมาลาเรีย แต่น่าแปลกใจที่ว่า ถึงแม้พวกเขาจะเจ็บป่วยจนต้องเข้าโรงพยาบาล แต่กลับไม่รุนแรงจนทำให้พวกเขาถึงแก่ความตาย

Dr. Ronald Nagle (ดร.โรนาลด์ เนเกิล) ชาวเซเนกัล ได้ศึกษายีนที่สร้างโปรตีน hemoglobin (ฮีโมโกลบิน) ซึ่งเป็นสารสำคัญของเซลล์เม็ดเลือดแดง ยีนของเราทั้งหมดจะอยู่กันเป็นคู่โดยพ่อแม่จะเป็นผู้ให้มาอย่างละครึ่ง ถ้ายีน hemoglobin เกิดการกลายพันธุ์ขึ้น โปรตีน hemoglobin ที่ยีนสร้างขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย การกลายพันธุ์เปลี่ยนแปลงภายในยีนเพียงเล็กน้อยนี้กลับมีพลังมากพอที่จะทำให้โครงสร้างโมเลกุลของ hemoglobin ผิดปกติไป ส่งผลให้มีเซลล์เม็ดเลือดแดงมีลักษณะผิดปกติไปคล้ายรูปเคียวหรือพระจันทร์เสี้ยว เราเรียกยีน hemoglobin ที่กลายพันธุ์ผิดปกตินี้ว่า ยีนเซลล์รูปเคียว (sickle cell gene) (ดังภาพที่ 8)



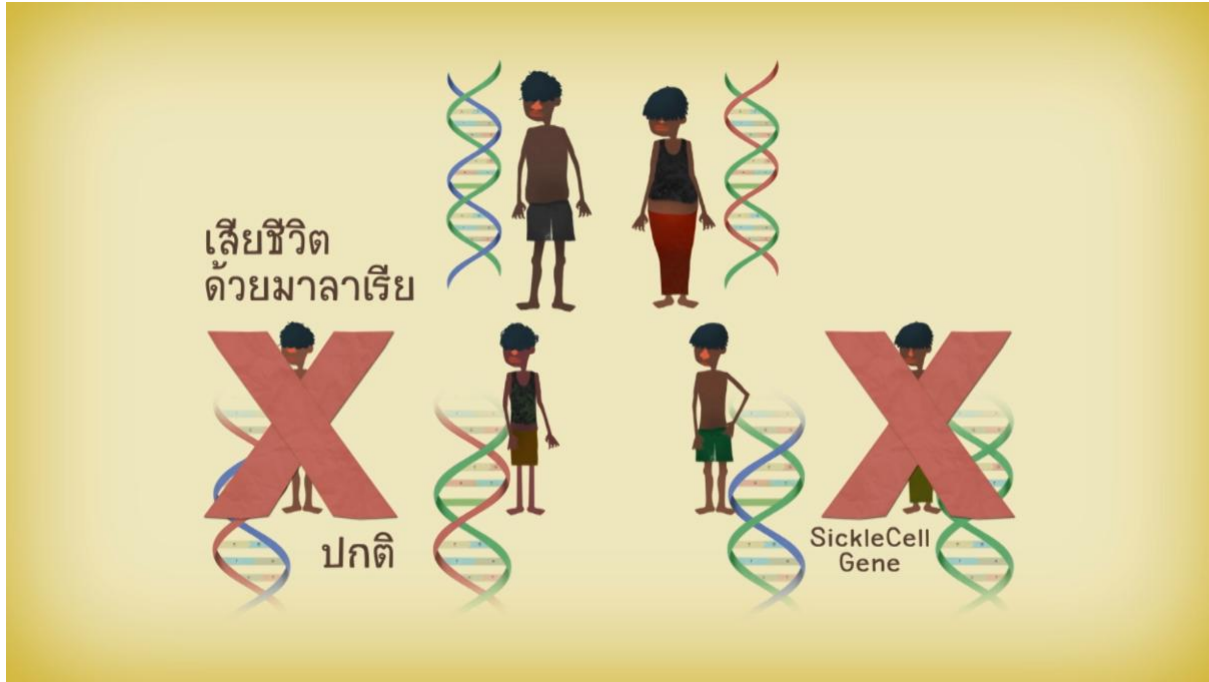
ภาพที่ 8 แสดงเซลล์เม็ดเลือดแดงรูปเคียว (ในวงกลม) เทียบกับเซลล์เม็ดเลือดแดงปกติ

ยีนกลายพันธุ์กลับทำให้รอดพ้นจากโรคมาลาเรียได้

ที่น่าแปลกใจอย่างยิ่งคือ คนที่มียีนเซลล์รูปเคียวนี้กลับสามารถรอดพ้นจากการติดเชื้อปรสิตของโรคมาลาเรียได้ ดังนั้น พวกเขาจึงไม่ตายเพราะมาลาเรีย สามารถเติบโตขึ้นเป็นผู้ใหญ่ แต่งงาน และส่งต่อยีนนี้ไปสู่รุ่นลูกหลานต่อไปได้ ในพื้นที่ที่มีการระบาดของเชื้อไข้มาลาเรีย คนที่มียีน hemoglobin ที่กลายพันธุ์ผิดปกติอยู่ในตัว กลับมีโอกาสรอด มีลูกมีหลานในสิ่งแวดล้อมจำเพาะได้ดีกว่าคนปกติ แสดงให้เห็นว่า แรงกดดันในการคัดเลือกแบบหนึ่งกลับสามารถช่วยให้สิ่งมีชีวิตรอดชีวิตจากการคัดเลือกอีกแบบหนึ่งได้

ในร่างกายของพวกเราทุกคนนั้นมียีนที่กลายพันธุ์เล็กน้อยนั้นอยู่มากมาย เพียงแต่ส่วนใหญ่แล้วจะไม่อาจสังเกตเห็นได้ แต่ถ้าเมื่อไรสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ยีนกลายพันธุ์บางยีนอาจจะแสดงผลออกมาได้อย่างที่คาดไม่ถึงทั้งผลดีและผลร้าย ในกรณีของเซลล์เม็ดเลือดแดงรูปเคียวนี้ ถ้ามียีนกลายพันธุ์แค่ชุดเดียวก็จะส่งผลดี แต่ถ้ามียีนกลายพันธุ์สองชุดกลับจะกลายเป็นหายนะใหญ่ได้

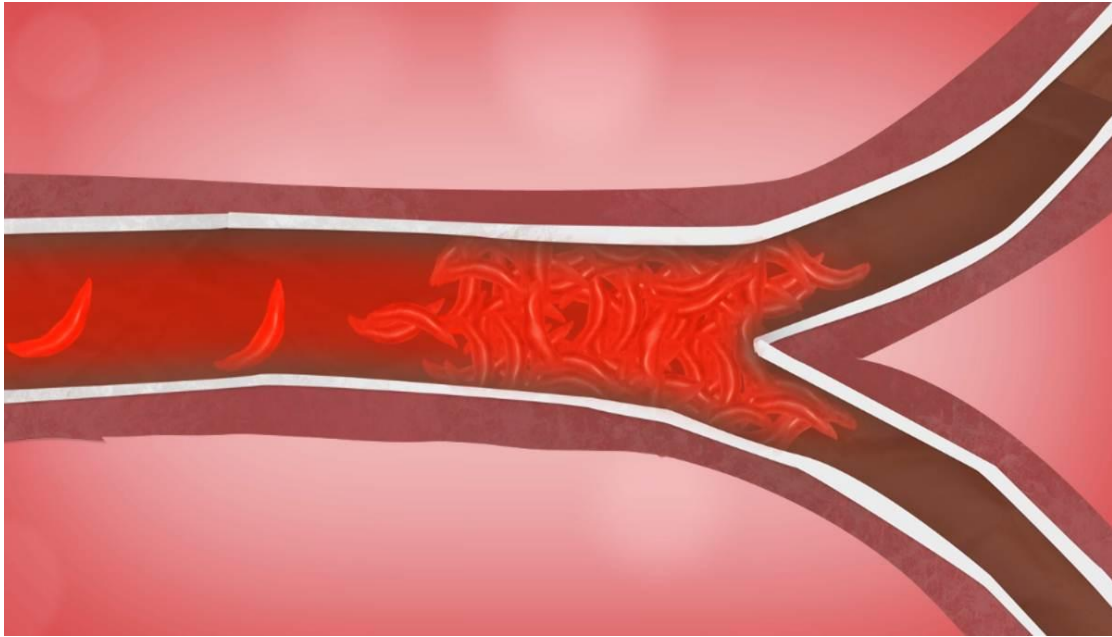
จากกรณีตัวอย่างของสามภรรยาคุณี่ที่ต้องประสบเมื่อพวกเขาเริ่มสร้างครอบครัว ฟาห์ตูและฮาติม สองสามีภรรยา ได้รับการป้องกันจากมาลาเรียเพราะพวกเขาแต่ละคนนั้นมียีนเซลล์รูปเคียวอยู่เพียงชุดเดียว ส่วนลูกของพวกเขานั้นจะมีโอกาส 50% ที่จะได้รับยีนกลายพันธุ์มาเพียงหนึ่งชุด หรือมีโอกาส 25% ที่จะได้รับปกติทั้งคู่จากพ่อแม่ แล้วกลับทำให้เด็กที่มียีนปกตินี้เป็นอันตรายจากการติดเชื้อมาลาเรียได้ (ดังภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 แสดงแผนผังอัตราส่วนของลูก ที่หนึ่งในสี่จะมีพันธุกรรมปกติแต่ติดโรคมาลาเรีย สองในสี่จะเป็นเพียงพาหะและไม่ติดโรคมาลาเรีย และหนึ่งในสี่ที่เหลือจะเป็นโรคโลหิตจาง

อันตรายจากโรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียว

ในขณะที่ยังมีโอกาสอีก 25% ด้วยที่ลูกสาวของพวกเขาจะได้รับยีนกลายพันธุ์มา 2 ชุด เด็กที่โชคร้ายได้รับยีนผิดปกติทั้งสองชุดนี้จะทำให้เกิดผลร้ายกับ hemoglobin อย่างเต็มที่ ไม่ใช่เพียงแค่ครั้งหนึ่งเหมือนในกรณีแรก hemoglobin ของเธอจะกลายเป็นแท่งแข็งแล้วทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงดูคล้ายรูปเคียว เม็ดเลือดของเธอกลายเป็นรูปเคียวที่ละเซลล์ทีละเซลล์ จนไปกีดขวาง หลอดเลือดฝอย ทำให้เลือดหยุดไหลเวียน (ดังภาพที่ 10) แล้วทำให้เธออ่อนแรงลงและมีอาการเจ็บปวดทรมาน นักวิทยาศาสตร์เรียกอาการที่เลือดหยุดไหลเวียนเพราะเซลล์เม็ดเลือดแดงกลายเป็นรูปเคียวว่า โรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียว (sickle cell anemia) ถึงแม้ว่าชีวิตของเด็กที่ป่วยนั้นจะไม่สุขสบาย แต่ก็ยังสามารถใช้วิธีการทางการแพทย์ช่วยให้เธอรอดชีวิตจากโรคนี้ได้



ภาพที่ 10 หลอดเลือดที่ถูกเซลล์เม็ดเลือดแดงรูปเคียวอุดตันไว้

ดังนั้น แม้ว่าโรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียวนี้จะมีความผิดปกติที่ทำให้หลายคนเป็นอันตรายร้ายแรง แต่สำหรับอีกหลายคน มันเป็นเครื่องป้องกันที่หาค่าไม่ได้ในการต้านทานโรคมalaria เรียกรณีเช่นนี้ได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของวิวัฒนาการ จากการกลายพันธุ์ที่ได้เกิดขึ้นโดยสุ่ม แล้วอาจจะส่งผลเสียหรือกลับกลายเป็นผลดีตามมาก็ได้

การแข่งขันวิวัฒนาการระหว่างเชื้อโรคกับมนุษย์

ในประเทศไทยของเราก็มีคนไทยหลายล้านคนเคยได้รับเชื้อแบคทีเรีย ก่อวัณโรคมามาก่อน และคาดกันว่าอีกหลายหมื่นคนจะป่วยเพิ่มขึ้นจนเป็นโรคได้ การศึกษาวิวัฒนาการของโรคต่างๆ ซึ่งกำลังกลายเป็นเรื่องใกล้ตัวเรา จึงมีความสำคัญมาก เพราะการดื้อยาของเชื้อโรคที่เกิดขึ้นกับแบคทีเรียในเรือนจำของประเทศรัสเซียนั้น อาจเกิดขึ้นที่ประเทศไทยได้เช่นกันถ้าเราใช้ยาปฏิชีวนะกันอย่างไม่เหมาะสม หรือไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น การที่มนุษย์เราจะสามารถอยู่รอดได้ในธรรมชาติที่เชื้อโรคเองก็มีวิวัฒนาการอยู่ทุกวันเช่นนี้ เราก็จะต้องค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับวิวัฒนาการมาช่วย

ยิ่งกว่านั้น จะเห็นได้ว่า ยิ่งสิ่งมีชีวิตมีความหลากหลายทางพันธุกรรมมากเท่าไร ประชากรของสิ่งมีชีวิตนั้นก็ยังมีแนวโน้มที่จะอยู่รอดได้แม้ว่าจะต้องเผชิญกับอันตรายในอนาคต ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการระบาดของโรคชนิดใหม่ที่เรายังไม่เคยรู้จักในตอนี้และอาจจะคร่าชีวิตผู้คนล้มตายไปมหาศาลบางที อาจจะมีคนบางคนโชคดีสามารถต้านทานการติดเชื้โรคระบาดใหม่นี้ได้ แต่ถ้าสิ่งมีชีวิตใดมีพันธุกรรมของทุกๆ ตัวเหมือนกันทั้งหมด ประชากรของสิ่งมีชีวิตนั้นก็จะถูกกำจัดทิ้งไปโดยง่ายจากโรคระบาดเพียงครั้งเดียว



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง “วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา ” เป็นสื่อที่เน้นให้เห็นว่า เราควรที่จะเรียนรู้เกี่ยวกับกลไกการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ ดังเช่น เราควร จะรู้ว่าเชื้อโรคดื้อยาปฏิชีวนะได้อย่างไร เพื่อที่จะทราบแนวทางในการใช้ยาอย่างถูกต้องและสามารถ รักษาโรคดังกล่าวได้ รวมถึงควรจะรู้ว่าโรคทางพันธุกรรมเกิดขึ้นได้อย่างไร และมีโอกาสมากน้อย เพียงไรที่โรคนั้นจะส่งผลร้ายต่อสมาชิกในครอบครัวของเรา

เมื่อครูสอนเรื่อง วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา กล่าวถึงผลของการกลายพันธุ์และการคัดเลือกโดย ธรรมชาติที่มีต่อการดื้อยาของเชื้อโรคแล้ว ให้นักเรียนดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้ไปพร้อม ๆ กับครู

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปราย โดยใช้คำถามและมีแนวทางในการตอบดังนี้

คำถาม : นักเรียนคิดว่ามนุษย์เราจะสามารถ ต่อสู้กับเชื้อโรค ที่มีวิวัฒนาการให้ดื้อยา ได้ หรือไม่?

คำตอบ : ไม่มีคำตอบตายตัว ขึ้นอยู่กับการแสดงความคิดเห็นของนักเรียนว่าได้ยกหลักการ เรื่องวิวัฒนาการมาอธิบายได้อย่างเหมาะสมหรือไม่ เช่น นักเรียนน่าจะเข้าใจได้ว่า ถึงแม้ มนุษย์จะมีความรู้เกี่ยวกับ วิธีการรักษา โรคติดเชื้อต่าง ๆ มากขึ้น แต่มนุษย์เองกลับเป็นผู้ สร้าง เชื้อโรคดื้อยาให้เพิ่มขึ้นโดยไม่ตั้งใจจากการใช้ยาปฏิชีวนะอย่างไม่เหมาะสม ทำให้เชื้อที่กลาย พันธุ์ให้ดื้อยาได้กลับถูกคัดเลือกเอาไว้และเพิ่มจำนวนขึ้นจนก่อให้เกิดโรคได้

นอกจากนี้แล้ว ครูผู้สอนยังสามารถที่จะยกตัวอย่างปัญหาอื่นที่คล้ายคลึงกันมา ให้นักเรียนอภิปรายเพิ่มเติม เช่น วิวัฒนาการของไวรัสโรคเอดส์ หรือการดื้อยาฆ่าแมลงของ แมลงศัตรูพืช เป็นต้น



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายเพิ่มเติม

วัณโรค

วัณโรค (tuberculosis) คือ โรคติดต่อที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Mycobacterium tuberculosis* ติดต่อกันโดยการสูดอากาศที่มีตัวเชื้อมีเข้าไป ซึ่งเชื้อโรคนี้นี้มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความคงทนต่ออากาศแห้ง ความเย็น ความร้อน สารเคมี และอยู่ในอากาศได้นาน แต่ไม่ทนทานต่อแสงแดด วัณโรคเป็นโรคที่เป็นได้กับอวัยวะทุกส่วนของร่างกาย เช่น ต่อม้ำเหลือง กระดูก เยื่อหุ้มสมอง ปอด แต่ที่พบบ่อยและเป็นปัญหามากที่สุดในปัจจุบันคือ "วัณโรคปอด" มักพบในคนที่ร่างกายอ่อนแอจากการเป็นโรคอื่น ๆ มาก่อน หรือในคนที่มีความใกล้ชิดกับคนที่เป็วัณโรค เช่น อยู่บ้านเดียวกัน และพบว่าผู้ป่วยโรคเอดส์เป็นวัณโรคแทรกซ้อนกันมาก ทำให้วัณโรคที่เคยลดลง มีการแพร่กระจายมากขึ้น หากไม่ได้รับการรักษาอย่างถูกต้องจะทำให้แพร่กระจายไปได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากติดต่อได้ง่ายโดยระบบทางเดินหายใจ

ผู้ป่วยเป็นวัณโรคจะมีอาการไอเรื้อรังเกิน 2 สัปดาห์ บางรายอาจมีอาการไอมีเสมหะ หรือไอปนเลือด เจ็บแน่นหน้าอก มีไข้ต่ำโดยเฉพาะตอนบ่ายหรือค่ำ เหนื่อยหอบ อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร น้ำหนักลด เมื่อเป็นวัณโรคควรกินยาตามชนิดและขนาดที่แพทย์สั่งให้อย่างสม่ำเสมอจนครบกำหนด (วัณโรคจะต้องใช้เวลาในการรักษาระยะสั้นที่สุด 6 เดือน ยาวที่สุด 1 - 2 ปี) หลังกินยาไประยะหนึ่งอาการไอและอาการต่างๆไปจะดีขึ้น แต่อย่าหยุดกินยาเด็ดขาด ถ้ากินๆหยุดๆอาจทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อวัณโรคดื้อยาได้ จะทำให้ระยะเวลาการรักษายาวนานและการรักษายากมากยิ่งขึ้น ควรสวมผ้าปิดจมูกเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อไปสู่ผู้อื่น บ้วนเสมหะลงในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด จัดบ้านให้อากาศถ่ายเทสะดวก ให้แสงแดดส่องถึง นอนแยกห้องกับสมาชิกในครอบครัว และหมั่นนำเครื่องนอนออกตากแดด ไม่เที่ยวในสถานที่ที่มีผู้คนแออัดเพราะอาจนำเชื้อไปแพร่ให้ผู้อื่นหรือติดเชื้อโรคจากผู้อื่นเข้าสู่ร่างกายเพิ่มเติม จนกว่าแพทย์จะลงความเห็นว่าพ้นจากระยะแพร่เชื้อโรคแล้ว ผู้ป่วยจึงสามารถกลับมาทำกิจกรรมร่วมกับครอบครัวได้ดังเช่นเดิม

ประชาชนทั่วไป ควรตรวจร่างกายโดยการเอกซเรย์ปอดหรือตรวจเสมหะ (AFB) อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ถ้าพบว่าเป็นวัณโรคจะได้รับการรักษาก่อนที่จะลุกลามมากขึ้น ในเด็กควรได้รับการฉีดวัคซีน BCG (บีซีจี หรือ Bacillus Calmette Guerin) รวมถึงผู้ที่ทำการทดสอบ Tuberculin test (ทูเบอร์คูลินเทสต์) ให้ผลเป็นลบ เพื่อสร้างภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ยังควรหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคเอดส์ เช่น การสำส่อนทางเพศ เพราะจะทำให้ภูมิคุ้มกันของร่างกายเสื่อมลง มีโอกาสที่จะป่วยเป็นวัณโรคได้ง่ายขึ้น



มาลาเรีย

มาลาเรีย (malaria) หรือไข้จับสั่น มาจากภาษาอิตาเลียนคำว่า mal รวมกับคำว่า aria แปลว่า "อากาศไม่ดี" เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อ protozoa (โปรโตซัว) ชื่อพลาสโมเดียม (*Plasmodium*) ได้มีการค้นพบการติดเชื้อมาลาเรียไว้อย่างต่อเนื่องในช่วงประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติ นับตั้งแต่ในประเทศจีนเมื่อ 2700 ปีก่อนคริสตกาล จนถึงปี พ.ศ. 2423 Charles Louis Alphonse Laveran แพทย์ทหารชาวฝรั่งเศสที่ทำงานในประเทศอัลจีเรียได้สังเกตเห็นปรสิตในเม็ดเลือดแดงของคนไข้ป่วยด้วยโรคมาลาเรีย จึงเสนอแนวคิดว่าเชื้อ protozoa เป็นสาเหตุก่อโรคมมาลาเรีย ทำให้เขาได้รับรางวัลโนเบลสาขาสรีรวิทยาและการแพทย์ ต่อมาแพทย์ชาวอังกฤษชื่อ Sir Ronald Ross ที่ทำงานอยู่ในประเทศอินเดียได้พิสูจน์ในปี พ.ศ. 2441 ว่าเชื้อมาลาเรียติดต่อผ่านทางยุง จนทำให้ Ross ได้รับรางวัลโนเบลสาขาสรีรวิทยาและการแพทย์เช่นกัน ผลการค้นพบเหล่านี้ทำให้เกิดความพยายามในการต่อสู้กับโรคมมาลาเรียและได้ช่วยชีวิตคนจำนวนมหาศาล

มาลาเรียเกิดจากเชื้อปรสิตสกุล *Plasmodium* 4 ชนิด โดยชนิดที่ร้ายแรงที่สุด คือ *Plasmodium falciparum* ซึ่งสามารถบุกรุกเข้าไปทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดงทุกระยะ เชื้อมาลาเรียติดต่อสู่คนโดยการถูกยุงก้นปล่อง (*Anopheles*) ตัวเมียที่มีเชื้อมาลาเรียกัด ยุงก้นปล่องชอบออกไปตามแอ่งน้ำนิ่ง ชอบ ดูดเลือดคนมาก ไม่ ดูดเลือดสัตว์อื่น ออกหากินตอนกลางคืนถึงเข้ามืด ในปีพ.ศ. 2550 มีการประเมินว่าจะมีผู้ติดเชื้อมาลาเรียกว่า 500 ล้านคน โดยมีผู้เสียชีวิตด้วยโรคนี้อย่างน้อยหนึ่งล้านคน แหล่งระบาดของมาลาเรียในประเทศไทยอยู่ตามจังหวัดชายแดน โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นภูเขาสูง ป่าทึบ และมีแหล่งน้ำลำธารอันเป็นแหล่งแพร่พันธุ์ของยุงก้นปล่อง

โรคมมาลาเรียในมนุษย์มีสองระยะ ระยะหนึ่งอยู่ภายนอกเม็ดเลือดแดง (exoerythrocytic phase) คืออยู่ในเซลล์ตับ อีกระยะหนึ่งอยู่ภายในเม็ดเลือดแดง (erythrocytic phase) เมื่อยุงที่ติดเชื้อมาลาเรียไปดูดเลือดจากมนุษย์ เชื้อในน้ำลายของยุงตัวนั้นจะเข้าไปสู่กระแสเลือดของมนุษย์ แล้วจะไปเดินทางเข้าไปอยู่ในเซลล์ตับ หลังจากนั้นเชื้อจะสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศอยู่ประมาณ 6-15 วันโดยไม่ก่อให้เกิดอาการผิดปกติใดๆ เชื้อในตับจะเพิ่มจำนวนขึ้นได้นับพันหรือหมื่นตัวต่อหนึ่งเซลล์ตับ เมื่อเจริญมากถึงระดับหนึ่ง เซลล์ตับจะแตกออก และเชื้อจำนวนมากจะเข้าสู่กระแสเลือดและเม็ดเลือดแดง เป็นการเริ่ม erythrocytic phase เชื้อจะเพิ่มจำนวนแบบไม่อาศัยเพศอีกครั้ง เมื่อได้จำนวนมากถึงระดับหนึ่งก็จะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกออก และเชื้อจำนวนมากก็จะถูกแพร่เข้าสู่กระแสเลือดไปสู่เม็ดเลือดแดงใหม่ต่อไป



ในแต่ละครั้งที่เม็ดเลือดแดงแตกออกและมีเชื้อจำนวนมากเข้าสู่กระแสเลือด ผู้ป่วยจะมีไข้เป็นระยะๆ การมีไข้จับเป็นระยะๆ นี้เองที่เรียกว่า "จับไข้" ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากได้รับเชื้อมาลาเรียประมาณ 1-2 สัปดาห์ ผู้ป่วยจะมีอาการนำคล้ายกับเป็นหวัด คือ มีไข้ ปวดศีรษะ ปวดเมื่อยตามตัว อาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหารได้ แต่จะลักษณะเฉพาะของโรค คือ มีอาการหนาวสั่น ไข้สูง และตามด้วยเหงื่อออก

มาลาเรียเป็นโรคที่รักษาให้หายขาดได้ ถ้าได้รับการวินิจฉัยที่ถูกต้อง รวดเร็ว และได้รับการรักษาด้วยยาที่มีประสิทธิภาพ ตรงตามชนิดของเชื้อที่เป็นสาเหตุ ยารักษามาลาเรียชนิดแรกทำจากเปลือกของต้นชิงโคนาและเรียกชื่อว่า ยา quinine (ควินิน) เป็นตัวยายับยั้งการแบ่งตัวของปรสิต ปัจจุบัน ปรสิตโรคมาลาเรียได้วิวัฒนาการจนดื้อยาทุกตัวที่ใช้รักษารวมทั้ง quinine ด้วย จึงมีการพัฒนาการรักษามาลาเรียที่ทำจากสมุนไพรชื่อ อาร์ทีมิเซีย เรียกว่า ยา artemisinin (อาร์ทีมิซินิน) ซึ่งมีประสิทธิภาพเทียบเท่า quinine แต่มีผลข้างเคียงน้อยกว่า โดยมีการนำอนุพันธ์ของยา artemisinin ไปให้ร่วมกับยาอื่นเพื่อลดโอกาสในการดื้อยา artemisinin ของปรสิต กลายเป็นยาชุดต้านมาลาเรีย ACT (เอซีที) หรือ artemisinin-based combination therapy การป้องกันโรคมาลาเรีย ทำได้โดยการป้องกันตนเองไม่ให้ยุงกัดเมื่อจะต้องเข้าไปในพื้นที่ที่มีแหล่งระบาดของมาลาเรีย เช่น สวมเสื้อผ้ามืดปิดร่างกายให้มิดชิด ทายากันยุง นอนในมุ้ง เป็นต้น

โรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียว

โรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียว (sickle-cell anaemia) เป็นโรคพันธุกรรมที่เกิดจากการกลายพันธุ์ของยีน hemoglobin ซึ่งยีนที่กลายพันธุ์นี้จะเป็นยีนด้อย (recessive gene) บนโครโมโซมตัวไป (autosomal chromosome) ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงหนาขึ้นผิดปกติจนกลายเป็นรูปเคียวหรือรูปพระจันทร์เสี้ยว ส่งผลให้ความยืดหยุ่นของเซลล์ลดลงและเกิดอาการผิดปกติอื่นๆ ตามมา จนอาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ ผู้ที่ป่วยเป็นโรคนี้จะมีอายุสั้น โดยมีอายุเฉลี่ยเพียงแค่ 42 ปีในผู้ชายและ 48 ปีในผู้หญิง

โรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียวมักจะแสดงออกตั้งแต่วัยเด็ก และพบมากในคนที่อยู่ในบริเวณเขตร้อนที่มักจะพบว่ามีโรคมาลาเรียระบาดอยู่ด้วย (รวมถึงลูกหลานของคนกลุ่มนี้) เช่น หนึ่งในสามของคนพื้นเมืองในเขตซบซารา เนื่องจากผู้ที่เป็นพาหะ (carrier) ของโรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียวซึ่งมียีนของโรคนี้เพียงแค่ชุดเดียว จะได้เปรียบในการมีชีวิตรอดต่อไป เนื่องจากคนที่มี allele (อัลลีล) ของโรคนี้เพียงแค่ allele เดียวจากสอง allele จะสามารถต้านทานการติดเชื้อโรคมาลาเรียได้ดีกว่าและเจ็บป่วยน้อยกว่า



ลักษณะ allele ที่กลายพันธุ์ผิดปกติไปของโรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียวนี้ จะกำหนดให้เป็น HbS โดยคนที่มีลักษณะทางพันธุกรรมเป็น homozygote (โฮโมไซโกต) จะมีคู่ allele เป็น HbSS ขณะที่คนที่มีลักษณะเป็น heterozygote (เฮเทอโรไซโกต) จะมี allele ที่กลายพันธุ์นี้เพียง allele เดียว ส่วนอีก allele หนึ่งจะปกติ กำหนดเป็น HbAS นอกจากโรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียวแบบทั่วๆ ไปแล้ว ยังมีโรคคล้ายคลึงกันนี้ที่หายากอีกหลายโรค เช่น โรค sickle-haemoglobin C (ฮีโมโกลบินซีรูปเคียว) หรือ HbSC) โรค sickle beta-plus-thalassaemia (เบตาทาลัสซีเมียบวกกรุปเคียว) (หรือ HbS/ β^+) และ โรค sickle beta-zero-thalassaemia (เบตาทาลัสซีเมียศูนย์กรุปเคียว) หรือ HbS/ β^0 คนที่เป็นโรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียวแบบที่หายากเหล่านี้ จะมีลักษณะทางพันธุกรรมเป็น heterozygote แต่นอกจากนี้มี allele หนึ่งที่กลายพันธุ์จนเป็นแบบ HbS แล้ว อีก allele หนึ่งยังก่อให้เกิดความผิดปกติกับ hemoglobin ดังกล่าวอีกด้วย



ข. คำอธิบายศัพท์

เชื้อจุลินทรีย์ (microbe)	คำเรียกทั่วไปของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องอาศัย กล้องจุลทรรศน์ในการมอง โดยมากจะหมายถึงแบคทีเรียหรือ ไวรัสที่อาจก่อให้เกิดโรค
แบคทีเรีย (bacteria)	สิ่งมีชีวิตเซลล์เดี่ยวขนาดเล็กจัดกลุ่ม prokaryote (โพรคาริโอต) ที่ สามารถอยู่รอดในสิ่งแวดล้อมหลากหลายรูปแบบ หลายชนิด ทำให้เกิดโรคติดเชื้อได้ทั้งในมนุษย์ สัตว์ และพืช
โรคโลหิตจางเซลล์รูปเคียว (sickle cell anemia)	โรคที่เซลล์เม็ดเลือดแดงมีรูปร่างผิดปกติ ทำให้ไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้ดี ส่งผลให้เกิดภาวะมีธาตุเหล็กต่ำ เลือดแข็งตัว และเจ็บปวดตามข้อต่อ
การกลายพันธุ์ (mutation)	การเปลี่ยนแปลงของสารพันธุกรรมที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการจำลองตัวของสายดีเอ็นเอ การกลายพันธุ์อาจจะ ทำให้เกิดโทษหรือเกิดประโยชน์ หรือไม่มีความเปลี่ยนแปลงใดๆ ก็ได้
การดื้อยาปฏิชีวนะ(antibioticresistance)	ลักษณะทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์ที่ช่วยให้มันสามารถอยู่รอด ได้ แม้ว่าจะมีการใช้ยาปฏิชีวนะก็ตาม
ปรสิต (parasite)	สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพืชหรือสัตว์ชนิดอื่น คอยแย่งเอาสารอาหารไป โดยไม่ส่งผลดีใดๆ ให้กับเจ้าบ้าน (host)
มาลาเรีย (malaria)	โรคร้ายแรงชนิดหนึ่งที่มียุงเป็นพาหะ ทำให้เกิดการติดเชื้อในกระแสเลือด
ยาปฏิชีวนะ (antibiotics)	สารที่ไปทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะพวกแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค
วัณโรค (tuberculosis)	โรคติดเชื้อที่ปอด มีอาการร่วมกับไข้และสูญเสียความอยากอาหาร เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย <i>Mycobacterium tuberculosis</i>
HIV (เอชไอวี)	ไวรัสที่ทำให้ภูมิคุ้มกันของมนุษย์บกพร่อง (human immunodeficiency virus) เป็นสาเหตุของ โรค AIDS (เอดส์) จากการไปกดการทำงานของ T cell (ทีเซลล์) ในระบบภูมิคุ้มกัน ของร่างกาย



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/วัณโรค>
5. <http://th.wikipedia.org/wiki/มาลาเรีย>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Sickle_cell_trait
7. <http://www.pbs.org/wgbh/evolution/educators/teachstuds/svideos.html>



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
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.อรารรณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรารรณ 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 ตั้งประพฤทธิกุล



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
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 ตั้งประพทธีกุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
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



ตอน ที่	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.ปริดา 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.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.ชนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ชนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัตต์เนย์จิต
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	อาณาจักรมอเนอรา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญภูเขียว
74	ความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
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 ประทัตสุนทรสาร
80	ไบโอมบอบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบอบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
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