



คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิชาชีววิทยา

เรื่อง

โครงสร้างของดีเอ็นเอ

โดย

อาจารย์ ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ

พุทธศักราช 2554



กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันท์

รองศาสตราจารย์สุมิตรา คงชื่นสิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชรา สิมปะนะเวช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์

นางปริญญา นุช กลิ่นรัตน์

นางจุฬนา บางยี่ขัน

สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ ภาพวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ข้อมูล



คำชี้แจง

สื่อประกอบการสอนเรื่อง โครงสร้างของดีเอ็นเอ เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอนเรื่อง ยีน และโครโมโซม ซึ่งมีทั้งหมด 10 ตอน คือ

1. ยีนและโครโมโซม (Gene and chromosome)
2. โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)
3. โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)
4. ความสัมพันธ์ระหว่างยีน ดีเอ็นเอ โครโมโซม และจีโนม
5. การจำลองตัวของดีเอ็นเอ (DNA replication)
6. การถอดรหัสพันธุกรรม (Transcription)
7. การแปลรหัสพันธุกรรม (Translation)
8. มิวเทชันระดับยีน (Gene mutation)
9. มิวเทชันระดับโครโมโซม (Chromosome mutation)
10. โรคทางพันธุกรรม

คู่มือประกอบ สื่อการสอน เรื่อง โครงสร้างของดีเอ็นเอนี้ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ ผู้สอนเข้าใจ จุดประสงค์ของสื่อประกอบการสอนที่ผลิตขึ้น รวมทั้งทราบ ขอบเขตของเนื้อหา สารที่สื่อประกอบการสอนเรื่องนี้กล่าวถึง และมี แนวทางในการใช้สื่อประกอบการสอนอย่างเหมาะสม เพื่อช่วยส่งเสริมความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนของผู้เรียน ตลอดจนกระตุ้นความสนใจ รวมถึงให้ความกระจ่างเกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับจากการอภิปรายได้อย่างกว้างขวาง เพื่อให้การจัดการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

อาจารย์ ดร.
อาจารย์ ดร.

เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ ผู้จัดทำคู่มือ
วรลักษณ์ เกษตรานันท์ ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	13
ภาคผนวก	14
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีพวิชาจำนวน 92 ตอน	15



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบาย

1. องค์ประกอบต่าง ๆ ของดีเอ็นเอ
2. โครงสร้างของดีเอ็นเอ

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถอธิบายได้ว่า

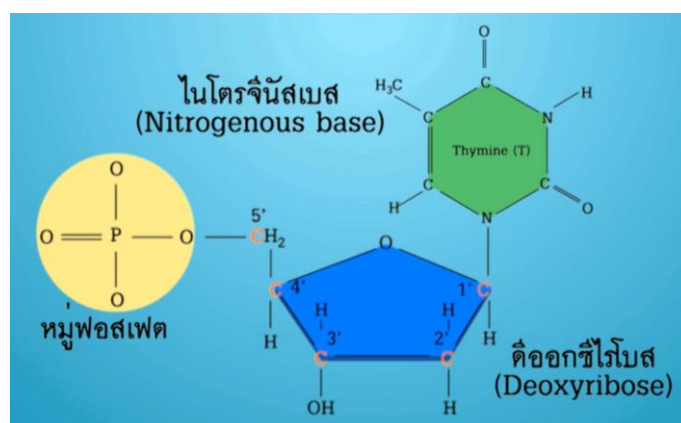
1. ดีเอ็นเอเป็นสารประเภทใด มีองค์ประกอบอะไรบ้าง
2. ดีเอ็นเอมีโครงสร้างเป็นอย่างไร



เนื้อหา

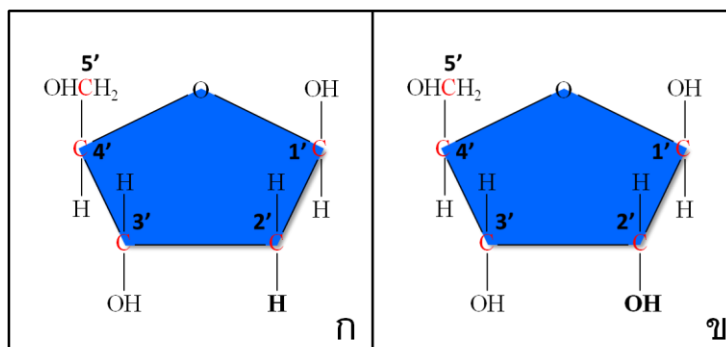
สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ มีสารพันธุกรรมกำหนดลักษณะทางพันธุกรรมและสามารถถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นต่อไปได้ ซึ่งเมื่อกล่าวถึงสารพันธุกรรมในระดับโมเลกุล จะหมายถึง กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid) หรือดีเอ็นเอ (DNA) สำหรับสิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอต (prokaryote) นั้น สารพันธุกรรมที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตภายในเซลล์มักประกอบด้วยดีเอ็นเอเพียง 1 โมเลกุล ส่วนสิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอต (eukaryote) สารพันธุกรรมที่อยู่ภายในเซลล์ถูกบรรจุอยู่ในนิวเคลียส โดยในแต่ละนิวเคลียสมักประกอบด้วยดีเอ็นเอหลายโมเลกุล ดีเอ็นเอแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยยีนหลายยีนเรียงตัวอยู่ นอกจากนี้ ในสิ่งมีชีวิตบางชนิดอาจมีกรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid) หรืออาร์เอ็นเอ (RNA) เป็นสารพันธุกรรม

ดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอเป็นพอลิเมอร์ (polymer) ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) (รูปที่ 1) แต่ละนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วยน้ำตาลเพนโทส (pentose sugar) หมู่ฟอสเฟต (phosphate group) และไนโตรจีนัสเบส (nitrogenous base)



รูปที่ 1 นิวคลีโอไทด์ของดีเอ็นเอประกอบด้วยน้ำตาลดีออกซีไรโบส หมู่ฟอสเฟต และไนโตรจีนัสเบส

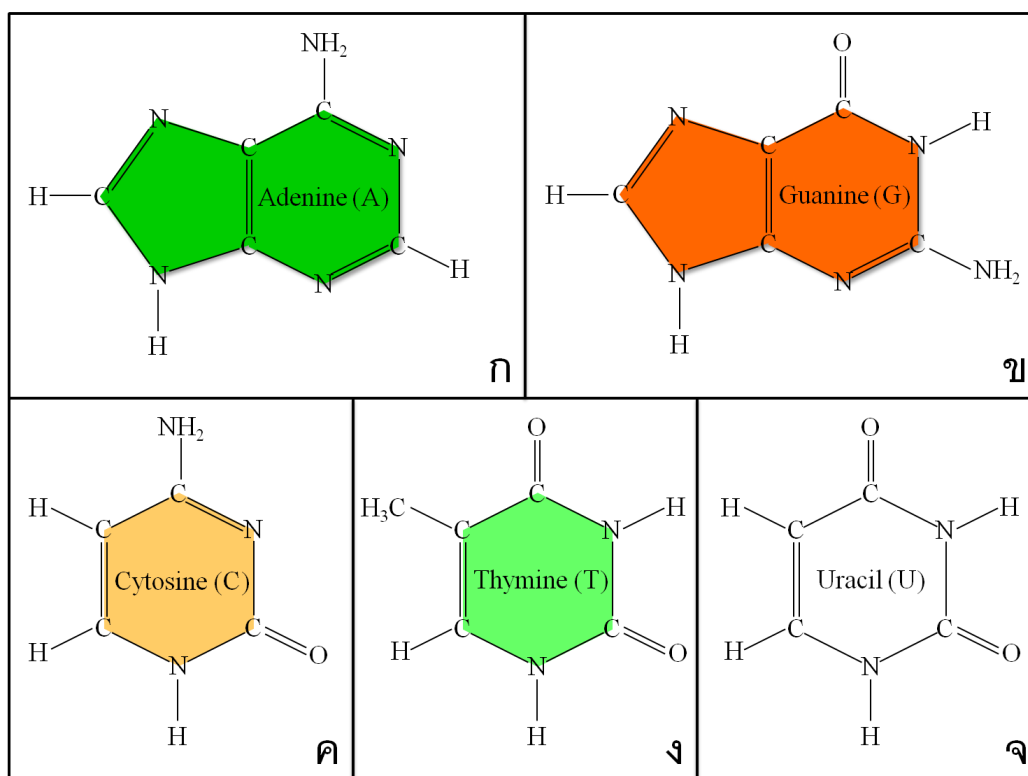
1. น้ำตาลเพนโทสเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม นิยมเขียนเครื่องหมาย ' (อ่านว่า ไพรม) ต่อท้ายตัวเลขที่ตำแหน่งคาร์บอนของน้ำตาลเพนโทส เพื่อไม่ให้สับสนกับตำแหน่งคาร์บอนของไนโตรจีนัสเบส โดยน้ำตาลเพนโทสของดีเอ็นเอเป็นชนิดดีออกซีไรโบส (deoxyribose) ส่วนน้ำตาลเพนโทสของอาร์เอ็นเอเป็นชนิดไรโบส (ribose) น้ำตาลเพนโทสทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันคือ คาร์บอนที่ตำแหน่ง 2' ของน้ำตาลดีออกซีไรโบสต่ออยู่กับไฮโดรเจน (H) ส่วนคาร์บอนที่ตำแหน่ง 2' ของน้ำตาลไรโบสต่ออยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล (OH) (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 น้ำตาลเพนโทส (ก) ชนิดดีออกซีไรโบส และ (ข) ชนิดไรโบส

2. หมู่ฟอสเฟตในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ต่ออยู่ที่คาร์บอนตำแหน่ง 5' ของน้ำตาลเพนโทส

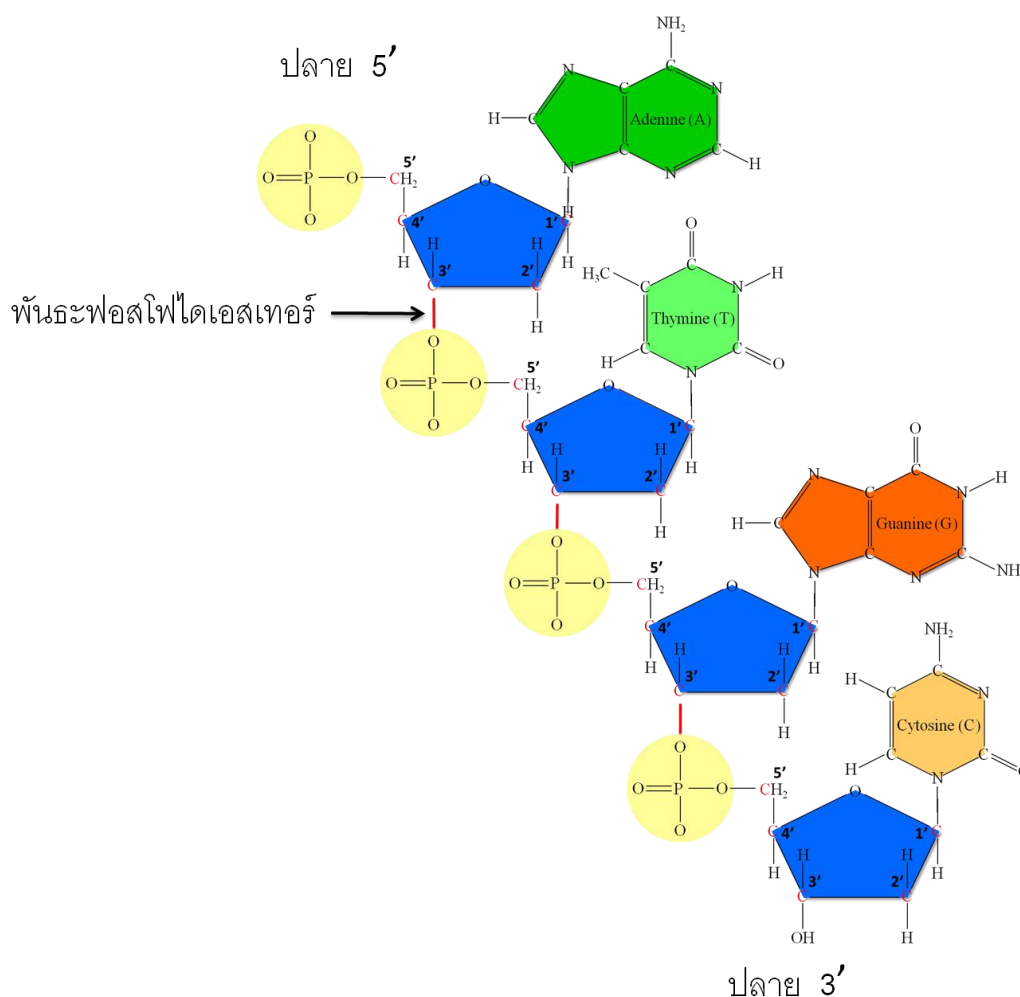
3. ไนโตรจีนัสเบส อาจเรียกสั้น ๆ ว่า เบส ต่ออยู่ที่คาร์บอนตำแหน่ง 1' ของน้ำตาลเพนโทส โดยไนโตรจีนัสเบสนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พิวรีน (purine) และไพริมิดีน (pyrimidine) (รูปที่ 3) โดยเบสกลุ่มพิวรีน มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยวงแหวนที่มีอะตอมของคาร์บอนและไนโตรเจน 2 วง เบสกลุ่มนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ อะดีนีน (adenine หรือ A) และกัวนีน (guanine หรือ G) ส่วนเบสกลุ่มไพริมิดีน มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยวงแหวนที่มีอะตอมของคาร์บอนและไนโตรเจน 1 วง เบสกลุ่มไพริมิดีน มี 3 ชนิด ได้แก่ ไซโทซีน (cytosine หรือ C) ไทมีน (thymine หรือ T) และยูราซิล (uracil หรือ U) โดยไนโตรจีนัสเบสชนิดอะดีนีน กัวนีน และไซโทซีนพบทั้งในดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ ส่วนไทมีนพบเฉพาะในดีเอ็นเอ และยูราซิลพบเฉพาะในอาร์เอ็นเอ



รูปที่ 3 ไนโตรจีนัสเบสกลุ่มพิวรีน (ก) อะดีนีน (ข) กัวนีน และไนโตรจีนัสเบสกลุ่มไพริมิดีน (ค) ไซโทซีน (ง) ไทมีน (จ) ยูราซิล



ดีเอ็นเอประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์หลายโมเลกุลมาต่อกันเป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ (polynucleotide) โดยนิวคลีโอไทด์แต่ละโมเลกุลจะเชื่อมต่อกัน ด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phosphodiester bond) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนที่ตำแหน่ง 3' ของน้ำตาลดีออกซีไรโบสของนิวคลีโอไทด์โมเลกุลหนึ่งกับหมู่ฟอสเฟต ของนิวคลีโอไทด์อีกโมเลกุลหนึ่ง เมื่อนิวคลีโอไทด์หลายโมเลกุลมาเชื่อมต่อกันจึงเกิดเป็นดีเอ็นเอ 1 สาย โดยนิวคลีโอไทด์ตัวสุดท้ายที่ปลายด้านหนึ่งของสายดีเอ็นเอ นั้น คาร์บอนตำแหน่ง 5' ของน้ำตาล ดีออกซีไรโบส ต่อกับหมู่ฟอสเฟต และไม่ได้เชื่อมต่อกับโมเลกุลของ นิวคลีโอไทด์อีก จึงเรียกปลาย 5' ส่วนนิวคลีโอไทด์ตัวสุดท้ายที่ปลายอีกด้านหนึ่งนั้น คาร์บอนตำแหน่ง 3' ของน้ำตาล ดีออกซีไรโบสต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลและไม่ได้เชื่อมต่อกับโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์อีก จึง เรียกปลาย 3' (รูปที่ 4)

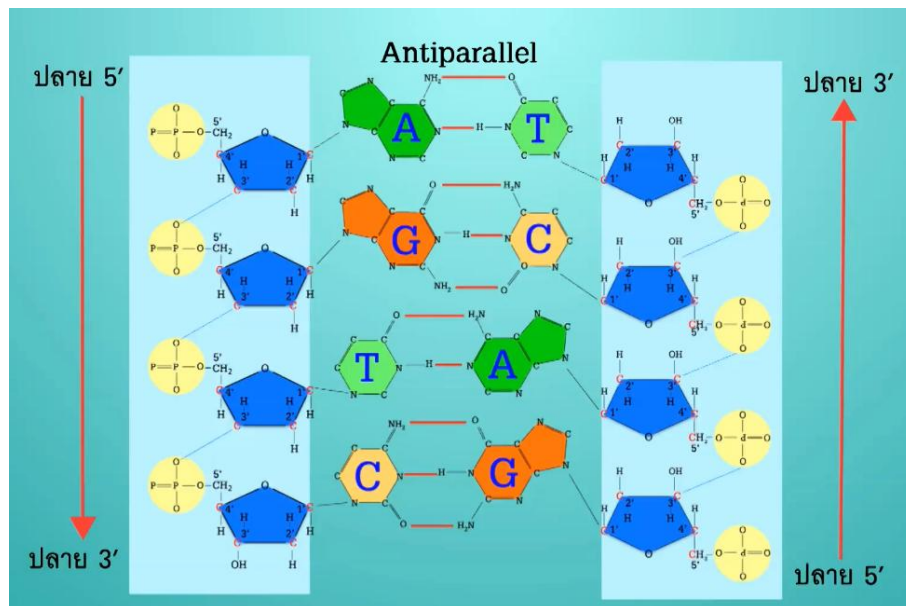


รูปที่ 4 พอลินิวคลีโอไทด์ 1 สาย แสดงพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ ปลาย 5' และปลาย 3'

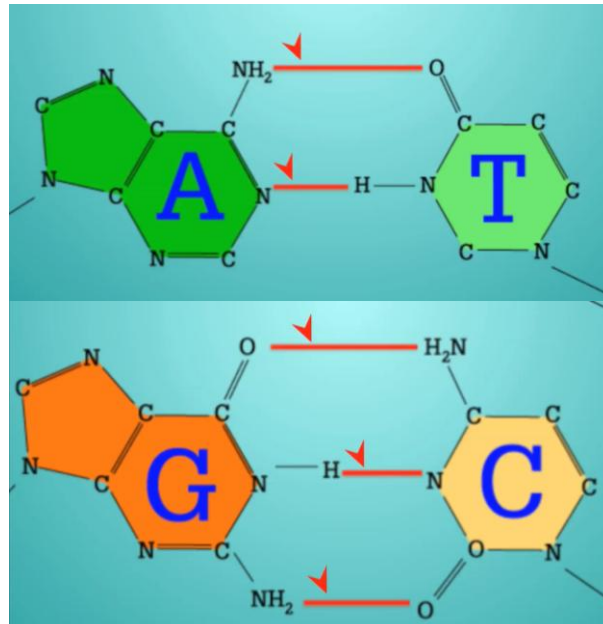
ดีเอ็นเอที่ทำหน้าที่เป็นสารพันธุกรรมประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย เข้าคู่กันแบบขนานสวน (antiparallel) คือมีทิศทางตรงกันข้าม โดยดีเอ็นเอสายหนึ่งมีทิศ $5' \rightarrow 3'$ ส่วนดีเอ็นเออีกสายหนึ่งที่เป็นคู่กัน จะมีทิศ $3' \rightarrow 5'$ (รูปที่ 5) ดีเอ็นเอ 2 สายที่เข้าคู่กันนี้เชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างไนโตรจีนัสเบสกลุ่มพิวรีน และกลุ่มไพริมิดีน ซึ่งมีความจำเพาะ คือ กัวนีนเข้าคู่กับไซโทซีน



ด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ และอะดีนีนเข้าคู่กับไทมีนด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ การเข้าคู่กันของไนโตรจีนัสเบสที่มีความจำเพาะนี้ เรียกว่า เบสคู่สม (complementary base pair) (รูปที่ 6)

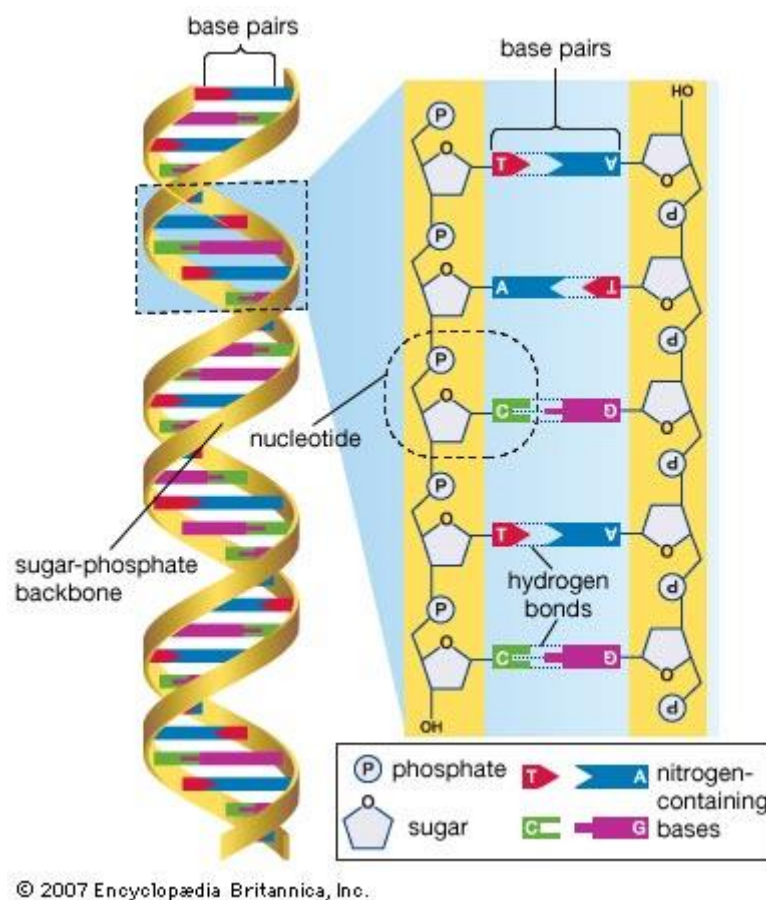


รูปที่ 5 ดีเอ็นเอซึ่งเกิดจากพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายที่เข้าคู่กันแบบขนานสวน (antiparallel)



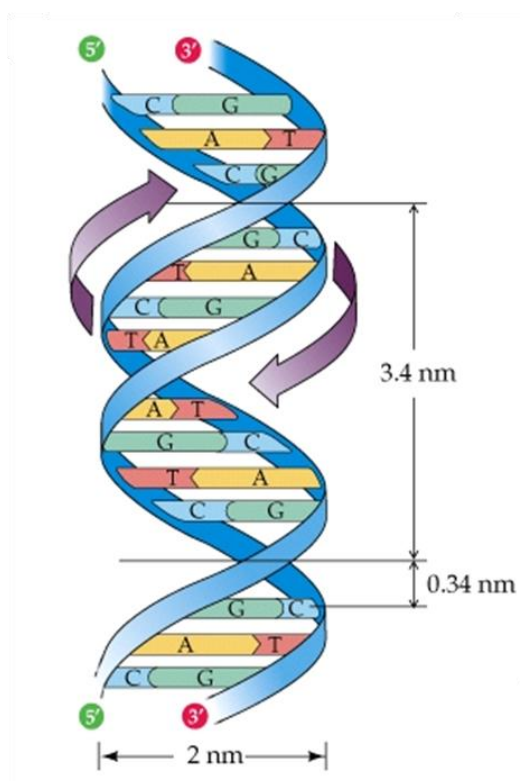
รูปที่ 6 การเข้าคู่กันของเบสคู่สมด้วยพันธะไฮโดรเจน

การเข้าคู่กันของดีเอ็นเอ 2 สายก่อให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเกลียวคล้ายบันไดเวียน โดยมีน้ำตาลดีออกซีไรโบสและหมู่ฟอสเฟตเป็น backbone มีลักษณะคล้ายราวบันได และมีไนโตรจีนัสเบสอยู่ระหว่างราวบันไดทั้งสองข้าง เปรียบเสมือนขั้นบันได (รูปที่ 7)

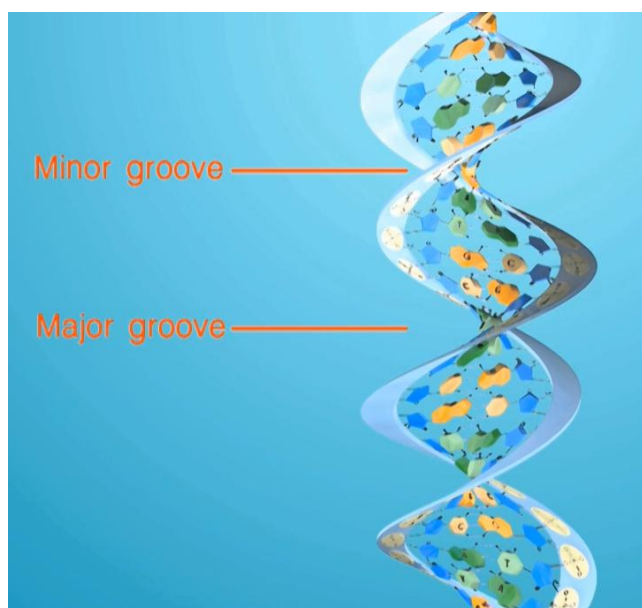


รูปที่ 7 การเข้าคู่กันของดีเอ็นเอ 2 สาย

James Watson นักชีววิทยาชาวอเมริกัน และ Francis Crick นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาโครงสร้างของดีเอ็นเอที่มีนักวิทยาศาสตร์หลายคนเคยศึกษาไว้คือ จากภาพถ่ายของดีเอ็นเอด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) ซึ่งศึกษาโดย Rosalind Franklin และ Maurice Wilkins จากข้อมูลอัตราส่วนของไนโตรจีนัสเบส 4 ชนิดในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งศึกษาโดย Erwin Chargaff และจากข้อมูลโครงสร้างของโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเกลียว ซึ่งศึกษาโดย Linus Pauling จากนั้น James Watson และ Francis Crick จึงได้สรุปและอธิบายโครงสร้างของดีเอ็นเอในปี พ.ศ. 2496 (ค.ศ.1953) ว่า ดีเอ็นเอมีโครงสร้างเป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ (polynucleotide) 2 สาย เข้าคู่กัน เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเกลียวเวียนขวา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นาโนเมตร เกลียวดีเอ็นเอที่เวียนครบ 1 รอบหรือ 360 องศา จะมีความยาว 3.4 นาโนเมตร และประกอบด้วยเบสคู่สมจำนวน 10 คู่เบส จึงทำให้เบสแต่ละคู่อยู่ห่างกัน 0.34 นาโนเมตร (รูปที่ 8) นอกจากนี้ โครงสร้างที่เป็นเกลียวของดีเอ็นเอจะมีรอยเว้าของดีเอ็นเอ เรียกว่า groove ซึ่งมี 2 แบบ คือ minor groove และ major groove รอยเว้าเหล่านี้เป็นบริเวณที่จะมีโปรตีนมาจับเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดีเอ็นเอ และเกี่ยวข้องกับการทำงานของยีน (รูปที่ 9) ซึ่งข้อสรุปและอธิบายโครงสร้างของดีเอ็นเอดังกล่าว ทำให้ James Watson, Francis Crick และ Maurice Wilkins ได้รับรางวัล Nobel ในปี พ.ศ. 2505 (ค.ศ. 1962)



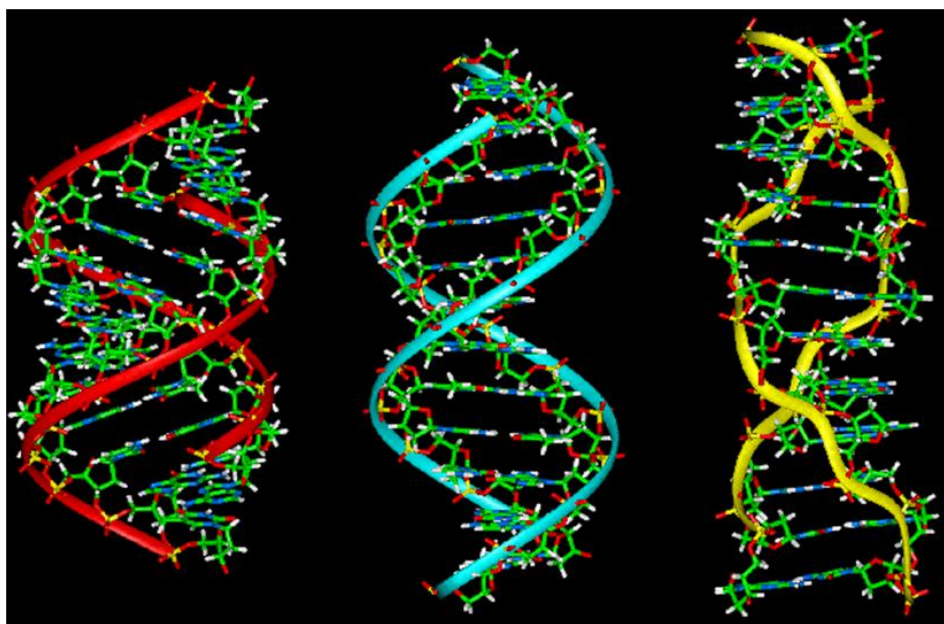
รูปที่ 8 โครงสร้างของดีเอ็นเอซึ่งอธิบายโดย James Watson และ Francis Crick มีลักษณะเป็นเกลียวเวียนขวา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นาโนเมตร โดยเกลียวดีเอ็นเอที่เวียนครบ 1 รอบหรือ 360 องศา จะมีความยาว 3.4 นาโนเมตร และประกอบด้วยเบสคู่สมจำนวน 10 คู่เบส เบสแต่ละคู่อยู่ห่างกัน 0.34 นาโนเมตร



รูปที่ 9 โครงสร้างของดีเอ็นเอแสดง minor groove และ major groove



โครงสร้างดีเอ็นเอแบบเกลียวเวียนขวาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นรูปแบบของโครงสร้างดีเอ็นเอที่พบในสิ่งมีชีวิตทั่ว ๆ ไป เรียกโครงสร้างดีเอ็นเอแบบนี้ว่า โครงสร้างแบบ B นอกจากนี้ในบางสภาวะยังพบดีเอ็นเอที่มีโครงสร้างแบบ A และแบบ Z (รูปที่ 10) โดยโครงสร้างดีเอ็นเอแบบ A มีลักษณะเป็นเกลียวเวียนขวาเช่นเดียวกับโครงสร้างดีเอ็นเอแบบ B แต่เมื่อเกลียวดีเอ็นเอเวียนครบ 1 รอบหรือ 360 องศา จะประกอบด้วยเบสคู่สม 11 คู่เบส เกิดขึ้นในสภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง หรือในสภาวะที่มีน้ำน้อย ส่วนโครงสร้างดีเอ็นเอแบบ Z มีลักษณะเป็นเกลียวเวียนซ้าย เมื่อเกลียวดีเอ็นเอเวียนครบ 1 รอบหรือ 360 องศา จะประกอบด้วยเบสคู่สม 12 คู่เบส เกิดขึ้นเมื่อมีลำดับเบส กัวนีนและไซโทซีนเรียงต่อกันเป็นจำนวนมากหรือในสภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือมาก โดยโครงสร้างดีเอ็นเอแบบ B สามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้างดีเอ็นเอแบบ A หรือแบบ Z ได้ ขึ้นอยู่กับสภาวะภายในเซลล์



A-DNA

B-DNA

Z-DNA

รูปที่ 10 โครงสร้างดีเอ็นเอแบบ A ดีเอ็นเอแบบ B และดีเอ็นเอแบบ Z

สารพันธุกรรมมีสมบัติในการถ่ายทอดข้อมูลพันธุกรรม กำหนดลักษณะพันธุกรรม และสามารถเปลี่ยนแปลงได้บ้าง ซึ่ง องค์ประกอบและโครงสร้างของดีเอ็นเอที่กล่าวมาข้างต้น มีความเหมาะสมที่ทำให้ดีเอ็นเอทำหน้าที่เป็นสารพันธุกรรมได้เป็นอย่างดี ได้แก่ การถ่ายทอดข้อมูลพันธุกรรม ผ่านกระบวนการจำลองตัวของดีเอ็นเอ (DNA replication) และทำหน้าที่กำหนดลักษณะพันธุกรรมที่ปรากฏในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดผ่านกระบวนการถอดรหัส (transcription) และแปลรหัส (translation) โดยลักษณะพันธุกรรมที่แตกต่างกันเกิดจากรหัสพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากลำดับการเรียงตัวของไนโตรจีนัสเบสบนสายดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ลำดับเบสบนดีเอ็นเอยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้บ้าง ผ่านการเกิดมิวเทชัน ซึ่งถึงแม้ว่าจะเกิดขึ้นได้น้อยมากในธรรมชาติ แต่ก็ส่งผลให้เกิดลักษณะใหม่ ๆ เพื่อให้สิ่งมีชีวิตสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ และยังก่อให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมขึ้นในธรรมชาติด้วย



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง โครงสร้างของดีเอ็นเอ เป็นสื่อที่อธิบายถึงองค์ประกอบและโครงสร้างในระดับโมเลกุลของดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม อย่างไรก็ตาม นอกจากดีเอ็นเอแล้วยังมีสารพันธุกรรมอีกชนิดหนึ่งคือ อาร์เอ็นเอ ซึ่งยังไม่ได้กล่าวรายละเอียดในเนื้อหาของตอนนี้ ดังนั้นเมื่อผู้เรียนเรียนรู้องค์ประกอบและโครงสร้างของดีเอ็นเอแล้ว ผู้สอนควรอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับอาร์เอ็นเอ ซึ่งมีองค์ประกอบและโครงสร้างคล้ายกันมาก โดยอาร์เอ็นเออาจมีโครงสร้างเป็นสายเดี่ยว หรืออาจมีโครงสร้างเป็นสายคู่เช่นเดียวกับดีเอ็นเอก็ได้ และอาร์เอ็นเอมีข้อแตกต่างจากดีเอ็นเอดังนี้

	RNA	DNA
ชนิดของน้ำตาลเพนโทส	ไรโบส (ribose)	ดีออกซีไรโบส (deoxyribose)
ชนิดของไนโตรจีนัสเบส	A U C G	A T C G

หลังจากที่ผู้เรียนศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างของดีเอ็นเอแล้ว ผู้สอนอาจให้ผู้เรียน อภิปรายโดยใช้คำถามและมีแนวทางคำตอบดังนี้

- คำถาม :** นิวคลีโอไทด์ ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของดีเอ็นเอ ประกอบด้วยอะไรบ้าง

ตอบ : น้ำตาลเพนโทสชนิดดีออกซีไรโบส หมู่ฟอสเฟต และไนโตรจีนัสเบส
- คำถาม :** หากดีเอ็นเอสายโมเลกุลหนึ่ง ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์สายหนึ่งที่มีลำดับเบสดังนี้

3' A C G T T T A A C G G C T G A C T G A A C C G T 5'

พอลินิวคลีโอไทด์อีกสายหนึ่งที่เป็นคู่สมกันจะมีลำดับเบสอย่างไร

ตอบ : 5' T G C A A A T T G C C G A C T G A C T T G G C A 3'
- คำถาม :** โมเลกุลดีเอ็นเอซึ่งเกิดจากพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายเข้าคู่กันนั้น ดีเอ็นเอที่มีลำดับของไนโตรจีนัสเบสแบบใดที่ทำให้แรงยึดระหว่างดีเอ็นเอ 2 สายที่เข้าคู่กันมีมาก

ตอบ : ดีเอ็นเอที่มีลำดับของไนโตรจีนัสเบสมีกัวนีนและไซโทซีน เป็นจำนวนมาก เพราะกัวนีนและไซโทซีนเข้าคู่กันด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ ส่วนอะดีนีนและไทมีนเข้าคู่กันด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

ขนานสวน antiparallel	การเข้าคู่กันของพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายในทิศทางตรงกันข้าม โดยพอลินิวคลีโอไทด์ สายหนึ่งมีทิศ $5' \rightarrow 3'$ ส่วนพอลินิวคลีโอไทด์อีกสายหนึ่งมีทิศ $3' \rightarrow 5'$
นิวคลีโอไทด์ nucleotide	หน่วยที่เล็กที่สุดของสารพันธุกรรม ประกอบด้วย น้ำตาลเพนโทส หมู่ฟอสเฟต และไนโตรจีนัสเบส
เบสคู่สม complementary base pair	คู่ของไนโตรจีนัสเบสที่มีความจำเพาะ ระหว่างไนโตรจีนัสเบสกลุ่มพิวรีน และไพริมิดีน คือ อะดีนีนเข้าคู่กับไทมีน และ กัวนีนเข้าคู่กับไซโทซีน
พอลินิวคลีโอไทด์ polynucleotide	นิวคลีโอไทด์หลายโมเลกุลที่เรียงต่อกัน โดยแต่ละนิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์
พิวรีน purine	ไนโตรจีนัสเบสที่มีวงของคาร์บอน (C) และไนโตรเจน (N) จำนวน 2 วง ได้แก่ อะดีนีน (A) และกัวนีน (G)
ไพริมิดีน pyrimidine	ไนโตรจีนัสเบสที่มีวงของคาร์บอน (C) และไนโตรเจน (N) จำนวน 1 วง ได้แก่ ไซโทซีน (C) ไทมีน (T) และยูราซิล(U)

ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Brooker, R.J. 2009. Genetics: analysis and principle. 3rd ed. Addison-Wesley. California, USA.
2. Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, R.V. and Jackson, R.B. 2011. Campbell Biology. 9th edition (Global Edition). Pearson Education, Inc., San Franciscs.
3. Snustad, D.P. and Simmous, M.J. 2010. Principles of Genetics. 5th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยูนทนาการ
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยูนทนาการ
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พินสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยูนทนาการ
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยูนทนาการ
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยูนทนาการ
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะใกล้ในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะใกล้ในสัตว์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
15	ทางเดินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
16	การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พินสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พินสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พินสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
24	องค์ประกอบของเลือด หมู่เลือด และ การแข็งตัวของเลือด	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
25	การป้องกันตนเองของร่างกาย และ ระบบภูมิคุ้มกัน	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
26	การเคลื่อนที่ของปลา	รศ.วีณา เมฆวิชัย
27	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรรพรรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรรพรรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรรพรรณ 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 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 สีลานนท์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลานนท์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
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 ลิ้มปะนะเวช
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 ไชคชัยชำนาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ ไชคชัยชำนาญกิจ
61	การถอดรหัสพันธุกรรม (Transcription)	อ.ดร.ชนะกาญจน์ มัญชุพानी
62	การแปลรหัสพันธุกรรม (Translation)	อ.ดร.ชนะกาญจน์ มัญชุพानी
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนรา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญเขียว



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
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	ไบโอมบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชฐฐ์ คนชื้อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชฐฐ์ คนชื้อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชฐฐ์ คนชื้อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชฐฐ์ คนชื้อ
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
87	วิธีการหาความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา