



คำชี้แจง

คู่มือการใช้สื่อการสอนวิชาชีววิทยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการใช้ประกอบการสอนวิชาชีววิทยา คู่มือนี้ได้ระบุดจุดประสงค์ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาในสื่อและแนวทางการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ครูเข้าใจเนื้อหาของเรื่องที่สอน สามารถใช้สื่อประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเตรียมตัวและเตรียมแผนการสอนให้เหมาะสมกับนักเรียนในชั้น คู่มือนี้ยังมีส่วนของภาคผนวกที่ประกอบด้วยคำอธิบายศัพท์ และแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะช่วยให้ครูสามารถสอนวิชาชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปิดโลกทัศน์ในการเรียนรู้มากขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ หาญยุทธนากร
อาจารย์ ดร. จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์

ผู้จัดทำคู่มือ

ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	14
ภาคผนวก	17
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน	19



เรื่อง กรดนิวคลีอิก

สื่อเรื่อง “กรดนิวคลีอิก” เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอนในหัวข้อ
สิ่งมีชีวิต ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 3 ตอน คือ

เคมีที่เป็นพื้นฐานของ

1. น้ำ : solvent of life
2. สารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิต
3. functional groups
4. ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis
5. monosaccharides
6. disaccharide และ polysaccharide
7. อะมิโน
8. โปรตีน
9. กรดไขมัน (fatty acid)
10. triacylglycerol และ phospholipid
11. กรดนิวคลีอิก
12. การเปลี่ยนแปลงของพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาเคมีในเซลล์
13. เอ็นไซม์



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายโครงสร้างพื้นฐาน และสมบัติบางประการของกรดนิวคลีอิก พร้อมทั้งอธิบายหน้าที่ของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของกรดนิวคลีอิก
2. อธิบายการเกิดฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจ
3. อธิบายความแตกต่างระหว่างดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ
4. ยกตัวอย่างสมบัติบางประการของกรดนิวคลีอิก
5. อธิบายหน้าที่ของกรดนิวคลีอิกในสิ่งมีชีวิต

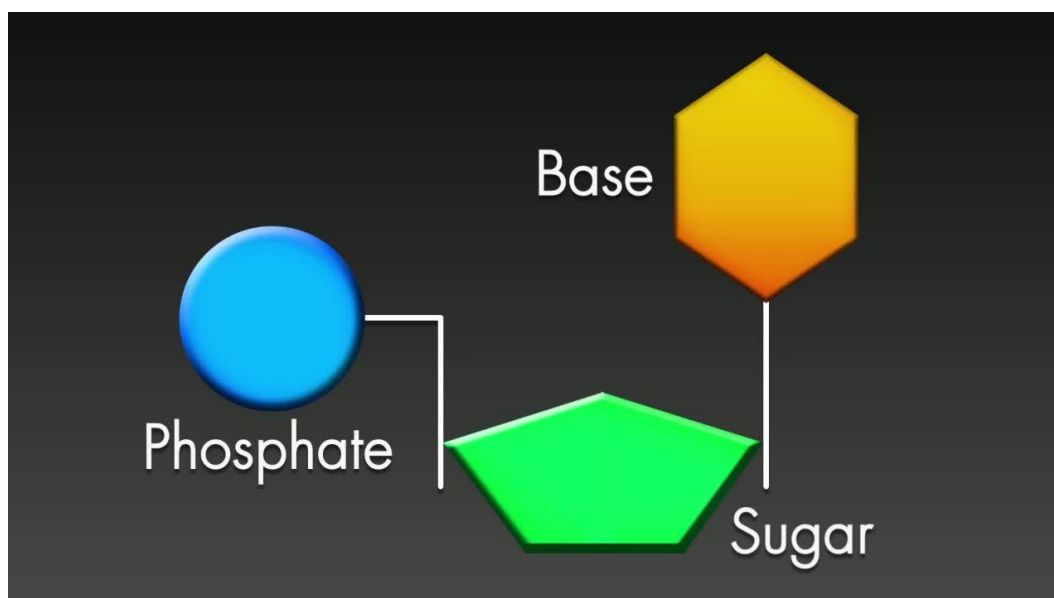


สาระ

กรดนิวคลีอิก

คุณสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิตก็คือ ความสามารถในการสืบพันธุ์และถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ไปสู่รุ่นต่อไปได้ การถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิตแท้ที่จริงแล้ว คือ การส่งผ่านข้อมูลในรูปโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เราเรียกว่า กรดนิวคลีอิก

กรดนิวคลีอิก เป็นสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์ ประกอบด้วยหน่วยย่อย หรือโมโนเมอร์ที่เรียกว่า นิวคลีโอไทด์ ต่อเข้าด้วยกันเป็นสาย นิวคลีโอไทด์เป็นสารอินทรีย์ที่มีอะตอมของ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและฟอสเฟต แตกต่างจาก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และลิพิด ที่มีเพียงอะตอมของ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และ ไนโตรเจน ประกอบเป็นโครงสร้างพื้นฐาน โมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ สามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อย 3 ส่วน คือ น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม หมู่ฟอสเฟต และหมู่เบส (ดังภาพที่ 1)



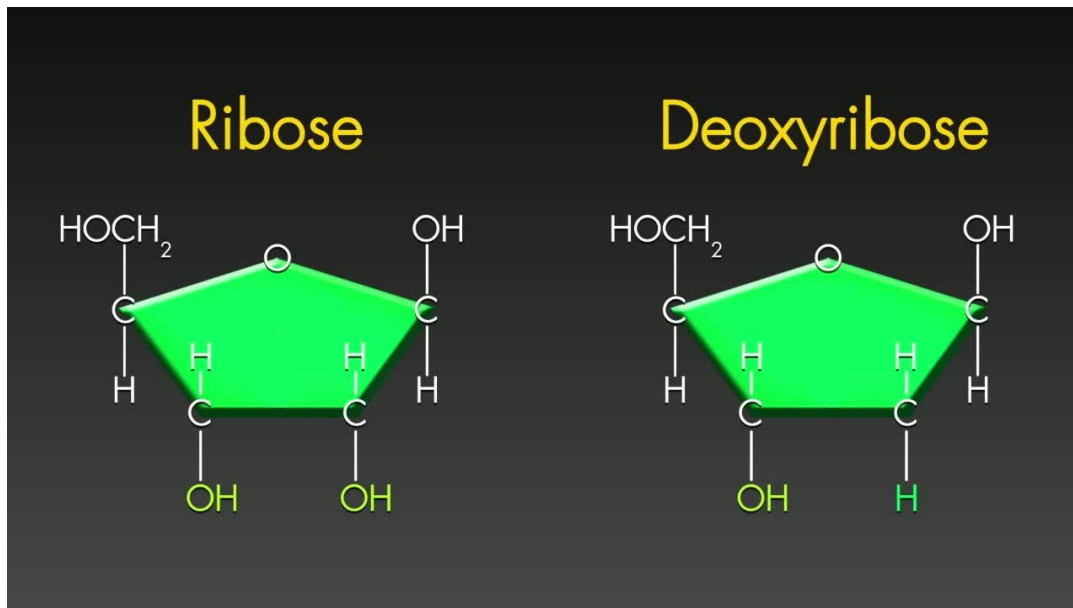
ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วย น้ำตาล (sugar) หมู่เบส (base) และฟอสเฟต (phosphate)

เราสามารถพบนิวคลีโอไทด์หลายชนิดในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันที่กลุ่มน้ำตาล และหมู่เบสในโมเลกุล สำหรับสิ่งมีชีวิต น้ำตาลในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ที่พบมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ น้ำตาลไรโบส และน้ำตาลดีออกซีไรโบส ซึ่งแตกต่างกันที่จำนวนของออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำตาล เพราะน้ำตาลชนิดดีออกซีไรโบสมีออกซิเจนน้อยกว่าน้ำตาลชนิดไรโบส 1 อะตอม (ดังภาพที่ 2)

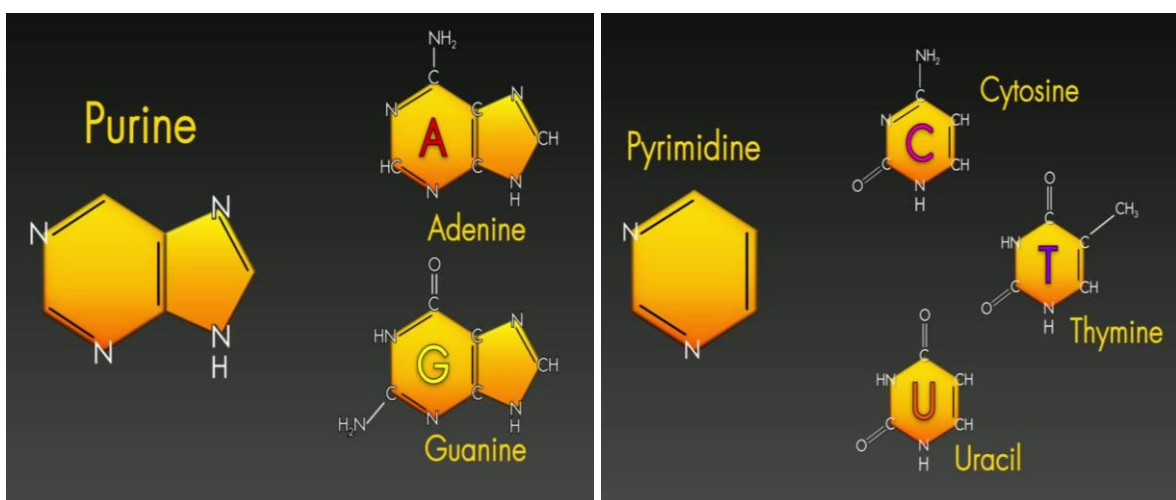


ส่วนหมู่เบสที่พบในสิ่งมีชีวิตมีทั้งหมด 5 ชนิด โดยแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ตามลักษณะทางเคมี คือ พิวรีน และ ไพริมิดีน (ดังภาพที่ 3) พิวรีนที่พบในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิก มี 2 ชนิด ได้แก่ อะดีนีน และ กวานีน โดยสามารถเขียนแทนด้วยอักษร A และ G ส่วนไพริมิดีน มี 3 ชนิด คือ ไซโทซีน ไทมิน และ ยูราซิล โดยสามารถเขียนแทนด้วยอักษร C T และ U

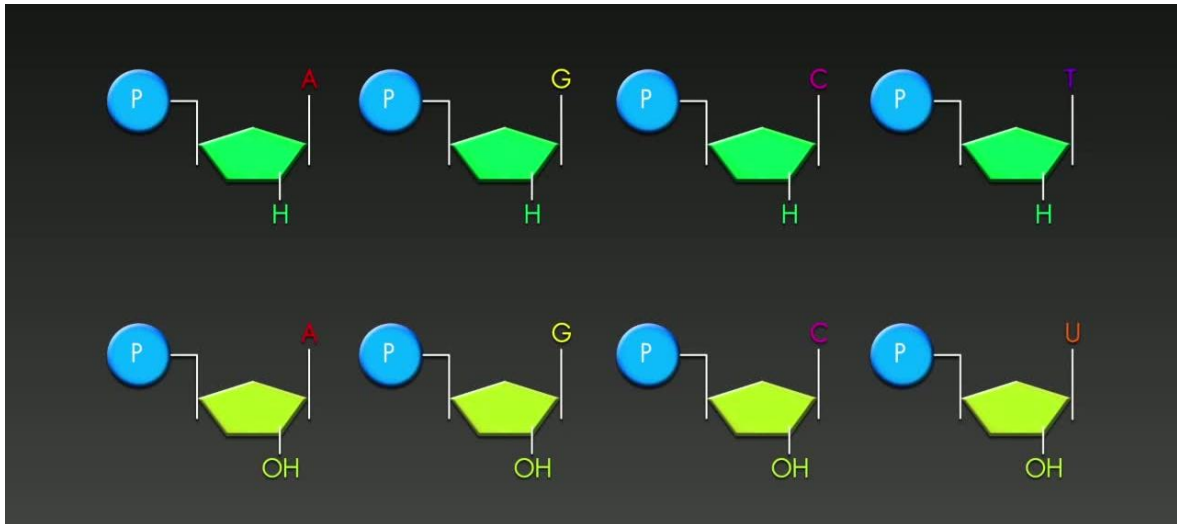
จะเห็นได้ว่า นิวคลีโอไทด์ที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกนั้น มีอยู่หลายชนิดเนื่องจากชนิดน้ำตาลและหมู่เบสในโมเลกุลมีความแตกต่างกัน นิวคลีโอไทด์เหล่านี้อาจอยู่อย่างอิสระภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตโดยมีจำนวนหมู่ฟอสเฟตต่างกันไป อย่างเช่น อาจมีจำนวนหมู่ฟอสเฟตเพียง หนึ่ง สอง หรือ สามหมู่ก็ได้ (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 2 กรดนิวคลีอิก 2 ชนิดประกอบด้วยน้ำตาลที่แตกต่างกัน คือ น้ำตาลชนิดไรโบส (ribose) ในโมเลกุลของอาร์เอ็นเอ และ น้ำตาลชนิดดีออกซีไรโบส (deoxyribose) ในโมเลกุลของดีเอ็นเอ



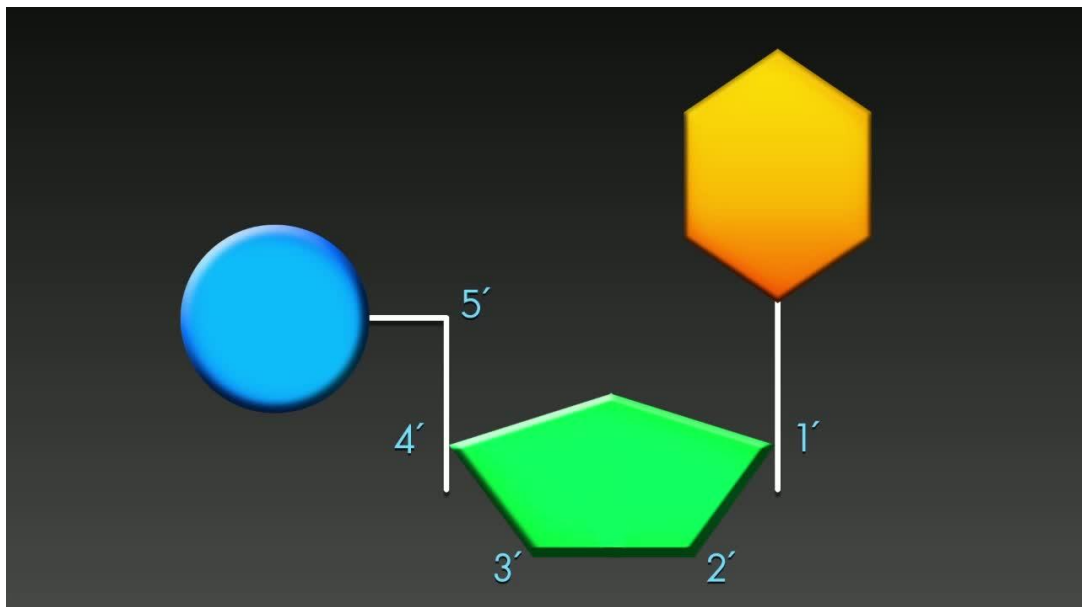
ภาพที่ 3 หมู่เบสในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกมี 2 กลุ่ม ได้แก่ พิวรีน (purine) (มี 2 ชนิด คือ adenine และ guanine) และ ไพริมิดีน (pyrimidine) (มี 3 ชนิด คือ cytosine thymine และ uracil)



ภาพที่ 4 นิวคลีโอไทด์ทั้ง 8 แบบที่พบในสิ่งมีชีวิต

การนับตำแหน่งของคาร์บอนในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์

เนื่องจากโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ ประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วนที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ คือ น้ำตาล และหมู่เบส ดังนั้นเพื่อป้องกันความสับสนในการบอกตำแหน่งของคาร์บอนภายในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ จึงกำหนดให้เรียกตำแหน่งคาร์บอนในโมเลกุลของน้ำตาลด้วยเลขตามด้วยตัว “ไพรม์” เช่น หนึ่งไพรม์ สองไพรม์ ไปจนถึง ห้าไพรม์ จากรูปจะเห็นได้ว่า หมู่เบสจับกับคาร์บอนตำแหน่ง หนึ่งไพรม์ ส่วนหมู่ฟอสเฟตจับกับตำแหน่ง ห้าไพรม์ตามลำดับ (ดังภาพที่ 5)



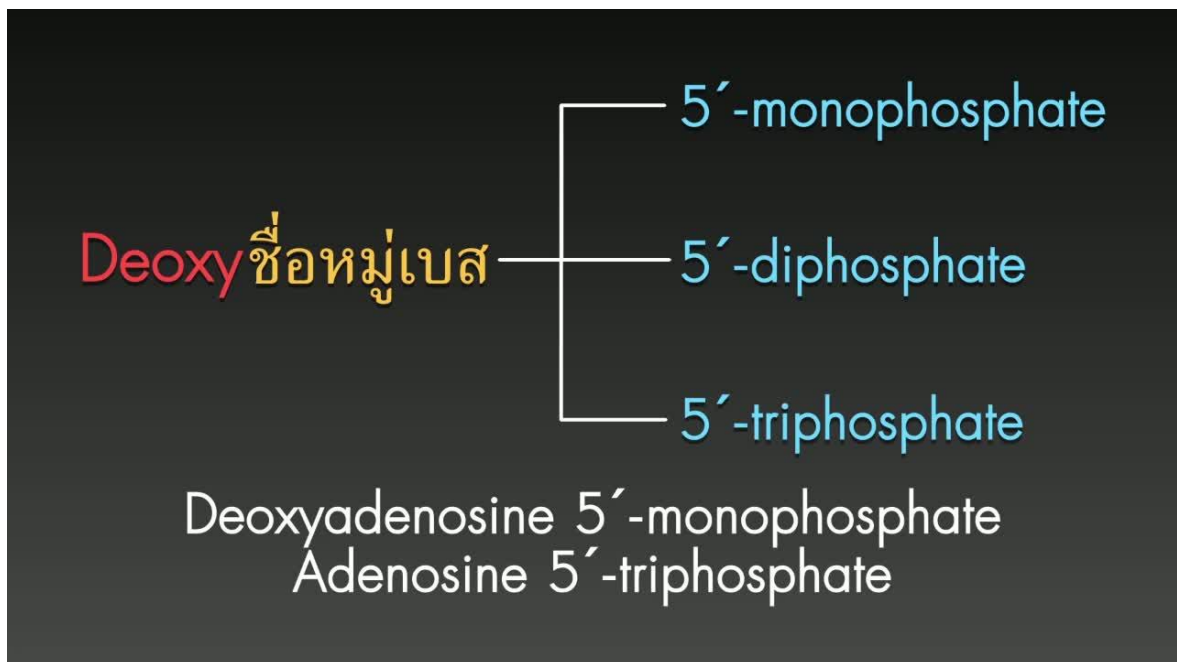
ภาพที่ 5 การนับตำแหน่งของคาร์บอนในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์



การเรียกชื่อนิวคลีโอไทด์

สำหรับการตั้งชื่อของนิวคลีโอไทด์ จะถูกตั้งตามส่วนย่อยทั้ง 3 ส่วนของนิวคลีโอไทด์ โดยชื่อของหมู่เบสเป็นชื่อกลางของนิวคลีโอไทด์ และมีการเปลี่ยนเสียงท้ายชื่อ คือ จากอะดีนีน เป็น อะดีโนซีน กวานีน เป็น กวานโนซีน ไซโตซีน เป็น ไซติดีน ไทมีน เป็นไทมิดีน และยูราซิล เป็น ยูริดีน

ส่วนด้านหลังของชื่อหมู่เบส ให้เติมจำนวนหมู่ฟอสเฟตในโมเลกุล หากมีหมู่เดียวให้เติม คำว่า ไฟว์ไพร์ม โมโนฟอสเฟต หากมีสองหมู่หรือสามหมู่ ให้เติมคำว่า ไฟว์ไพร์ม ไดฟอสเฟต และ ไฟว์ไพร์ม ไตรฟอสเฟต หากน้ำตาลในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์เป็นน้ำตาลดีออกซีไรโบส ให้เติมคำว่า ดีออกซีไว้ที่หน้าชื่อหมู่เบสนั้น อย่างเช่น ดีออกซีอะดีโนซีน ไฟว์ไพร์ม โมโนฟอสเฟต หรือ อะดีโนซีน ไฟว์ไพร์ม ไตรฟอสเฟต (ดังภาพที่ 6)

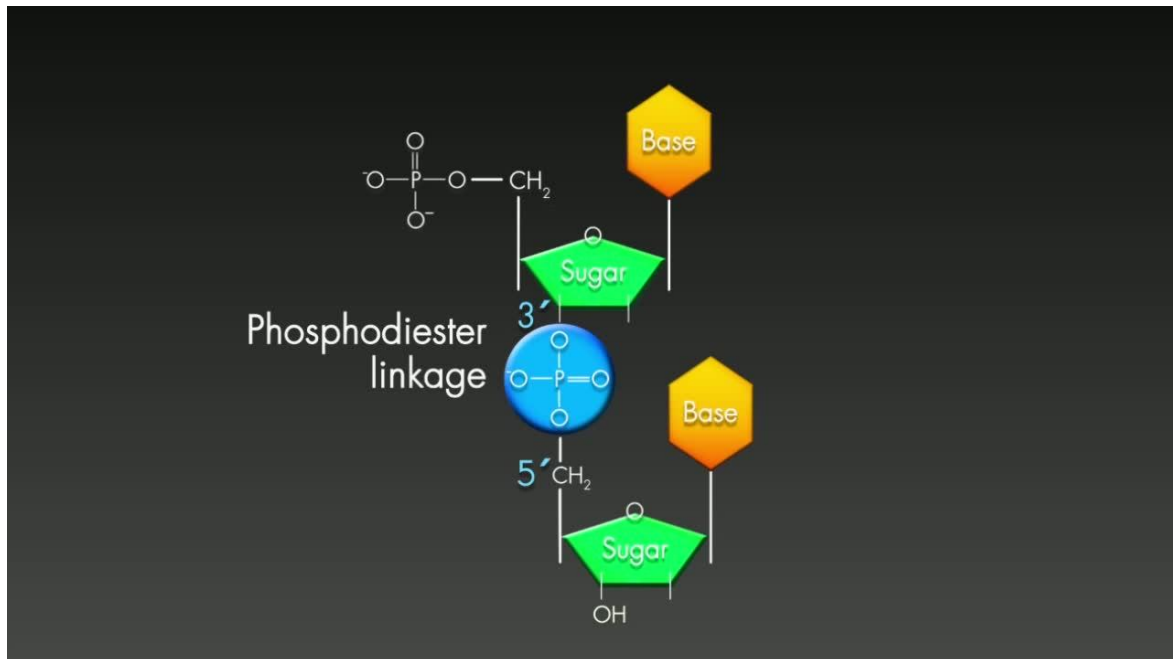


ภาพที่ 6 การเรียกชื่อนิวคลีโอไทด์และตัวอย่างของการเรียกชื่อ



พันธะระหว่างนิวคลีโอไทด์

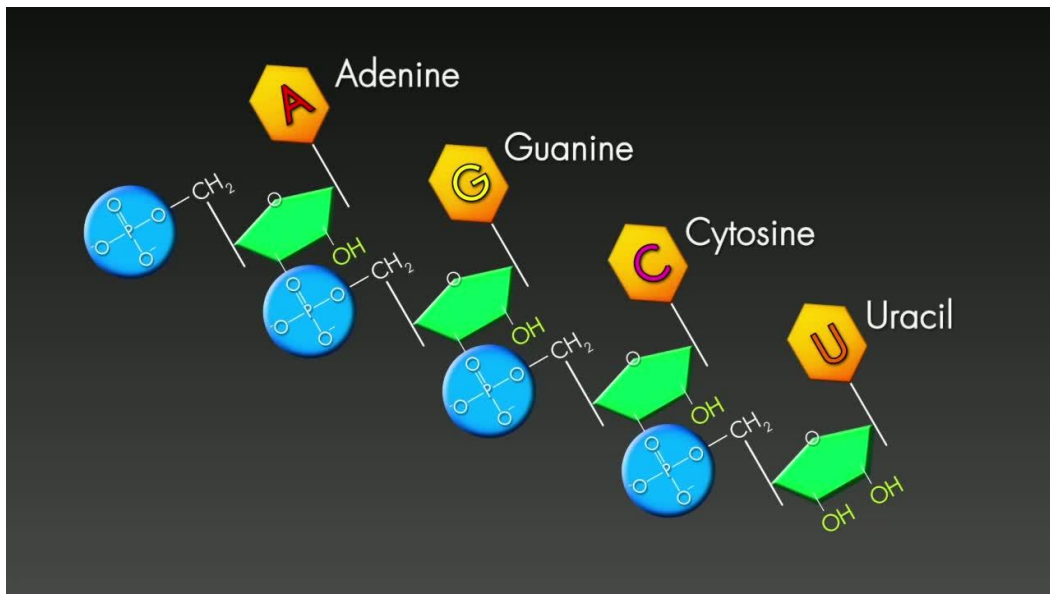
โมเลกุลของกรดนิวคลีอิกอาจประกอบไปด้วยนิวคลีโอไทด์นับล้านโมเลกุลต่อกันเป็นสายยาว ส่วนของโมเลกุล ที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างนิวคลีโอไทด์ในสายกรดนิวคลีอิกคือ หมู่ฟอสเฟต นักวิทยาศาสตร์ เรียกส่วนที่เชื่อมนิวคลีโอไทด์เข้าด้วยกันนี้ว่า ฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจ ซึ่งเกิดจากหมู่ฟอสเฟตที่ต่ออยู่กับอะตอมของคาร์บอนตัวที่ห้า หรือ ไฟว์ไพร์มคาร์บอน ของนิวคลีโอไทด์ โมเลกุลที่สอง ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลที่ต่ออยู่กับอะตอมของคาร์บอนตัวที่สาม หรือ ทรีไพร์มคาร์บอนของนิวคลีโอไทด์ตัวแรก ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างนิวคลีโอไทด์ทั้งสองตัว (ดังภาพที่ 7)



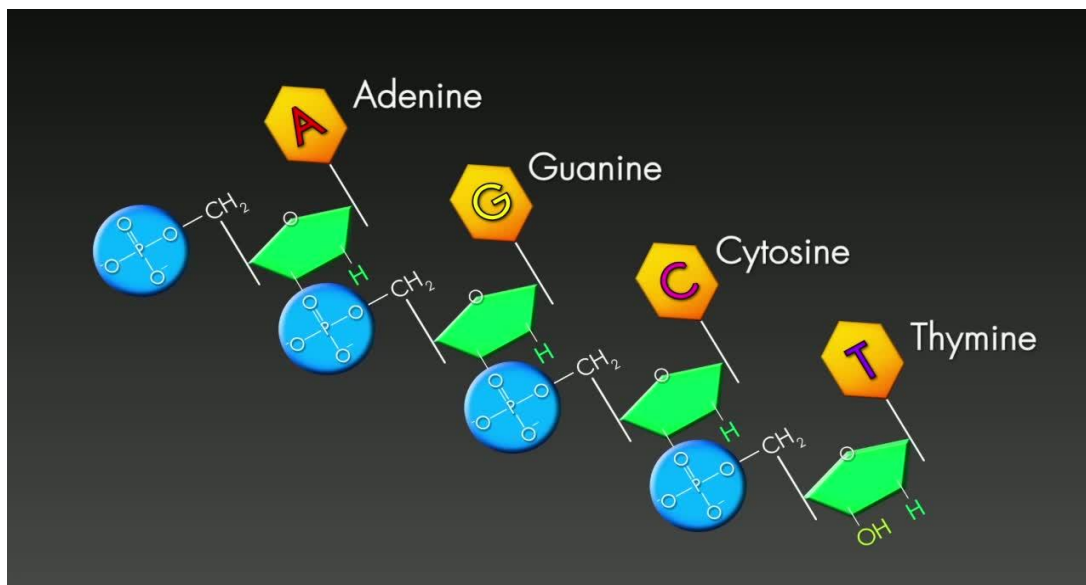
ภาพที่ 7 การเกิดฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจ (phosphodiester linkage) ระหว่างทรีไพร์มคาร์บอน และ ไฟว์ไพร์มคาร์บอน

ฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจที่เกิดขึ้นจึงเปรียบเหมือนกับสะพานที่เชื่อมระหว่าง ทรีไพร์มคาร์บอนของนิวคลีโอไทด์ตัวแรกและไฟว์ไพร์มคาร์บอนของนิวคลีโอไทด์ตัวที่สอง ฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจ ระหว่างนิวคลีโอไทด์ตัวถัดไปจะเชื่อมระหว่าง ทรีไพร์มคาร์บอนของนิวคลีโอไทด์ตัวที่สองและไฟว์ไพร์มคาร์บอนของนิวคลีโอไทด์ตัวที่สามเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเกิดลิงก์เกจในลักษณะเช่นนี้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ (ดังภาพที่ 8)

สายของกรดนิวคลีอิกที่เกิดขึ้นจึงมีปลายทั้งสองด้านไม่เหมือนกัน เพราะปลายของนิวคลีโอไทด์ตัวแรก เป็นปลายของคาร์บอนอะตอมที่ 5 ของน้ำตาล หรือ ไฟว์ไพร์มคาร์บอน เราเรียกปลายนี้ว่า ปลายไฟว์ไพร์ม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเป็นปลายของคาร์บอนอะตอมที่ 3 ของน้ำตาล หรือ ทรีไพร์มคาร์บอน เรียกว่า ปลายทรีไพร์ม โดยกรดนิวคลีอิกที่ประกอบขึ้นจากนิวคลีโอไทด์ที่มีความยาวไม่มากนัก เรียกว่า โอลิโกนิวคลีโอไทด์ แต่ถ้าสายที่เกิดขึ้นประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์เป็นจำนวนมาก จะเรียกสายดังกล่าวนี้ว่า พอลินิวคลีโอไทด์ (ดังภาพที่ 9)



ภาพที่ 8 สายของอาร์เอ็นเอที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจ ทำให้เกิดสายของกรดนิวคลีอิกที่มีปลายสองด้านไม่เหมือนกัน คือ ปลาย 5' และ ปลาย 3'



ภาพที่ 9 สายของดีเอ็นเอที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจ ทำให้เกิดสายของกรดนิวคลีอิกที่มีปลายสองด้านไม่เหมือนกัน คือ ปลาย 5' และ ปลาย 3'

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่นิวคลีโอไทด์ต่อกันเป็นสาย เรามักใช้เพียงตัวอักษรของเบสสำหรับแสดงลำดับของนิวคลีโอไทด์ที่ประกอบขึ้นเป็นสายของกรดนิวคลีอิกเพื่อให้ง่ายต่อการบันทึก โดยเริ่มจากลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ปลายไฟว์ไพร์มไปยังปลายทรีไพร์ม อย่างเช่น AGCTTAGT แสดงว่าเบสของนิวคลีโอไทด์ที่ปลายไฟว์ไพร์มเป็น อะดีนีน ส่วนที่ปลายทรีไพร์มเป็น ไทมีน

กรดนิวคลีอิกที่พบได้ทั่วไปในสิ่งมีชีวิตแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ไรโบนิวคลีอิกแอซิด และ ดีออกซีไรโบนิวคลีอิกแอซิด โดยโมเลกุลของไรโบนิวคลีอิกแอซิด หรือ อาร์เอ็นเอ ประกอบขึ้นจาก

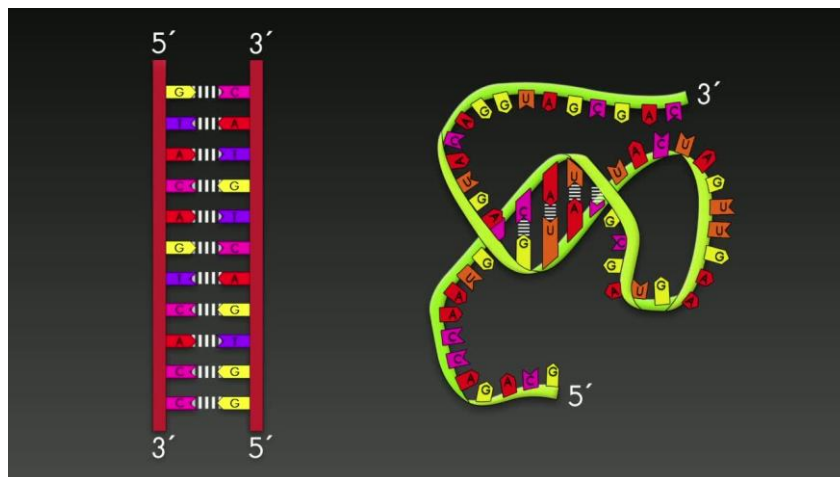


นิวคลีโอไทด์ที่มีน้ำตาลชนิด ไรโบสเป็นองค์ประกอบมาต่อเป็นสาย และมีหมู่เบสเพียง 4 ชนิดเท่านั้น คือ อะดีนีน กวานีน ไซโทซีน และ ยูราซิล หรือแทนด้วยอักษร A G C และ U ตามลำดับ

โดยทั่วไปแล้วโมเลกุลของอาร์เอ็นเอของสิ่งมีชีวิต ประกอบไปด้วยพอลินิวคลีโอไทด์เพียงสายเดียว ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต สายของอาร์เอ็นเออาจเกิดการม้วนพับทำให้เกิดเป็นโครงสร้างสามมิติที่ค่อนข้างจำเพาะโดยขึ้นอยู่กับลำดับของนิวคลีโอไทด์ เนื่องจากหมู่เบส A สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เบส U และหมู่เบส G สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เบส C ได้เช่นกัน เมื่อหมู่เบสบางตำแหน่งสร้างพันธะระหว่างกันการม้วนพับของสายอาร์เอ็นเอ จึงคล้ายกับการเกิดโครงสร้างสามมิติในโปรตีน

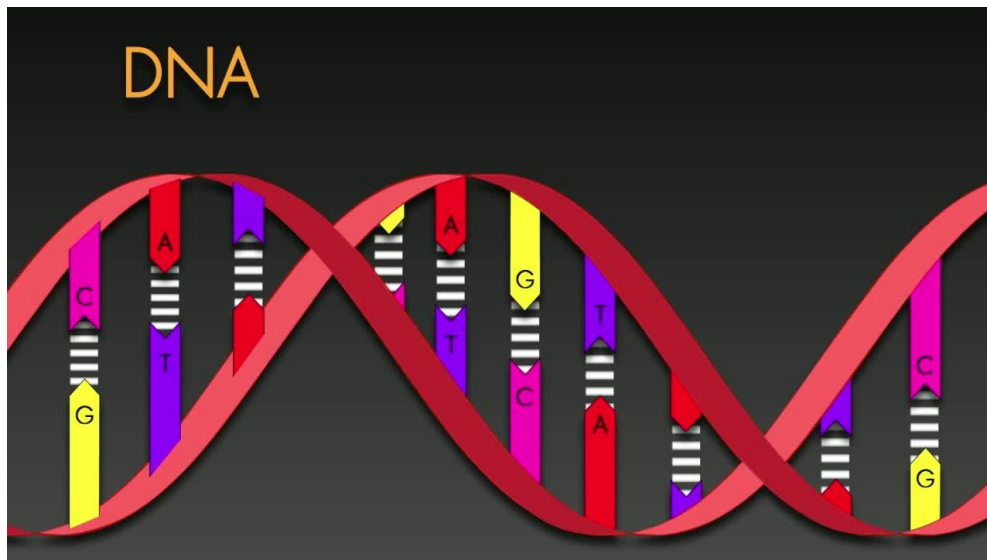
สำหรับโมเลกุลของดีออกซีไรโบนิวคลีอิกแอซิด หรือ ดีเอ็นเอ ประกอบขึ้นจากนิวคลีโอไทด์ที่มีน้ำตาลชนิด ดีออกซีไรโบสมาต่อเป็นสาย ที่มีหมู่เบสเพียง 4 ชนิดเท่านั้นที่พบได้บนสายนั้นก็คือ A G C และ T

โมเลกุลของดีเอ็นเอในสิ่งมีชีวิตมักประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์สองสายเรียงตัวสลับปลายสามไพร์มและห้าไพร์ม และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนของเบสของนิวคลีโอไทด์ทุกโมเลกุลที่อยู่บนสายตรงกันข้าม ต่างกับการเกิดพันธะไฮโดรเจนบนสายอาร์เอ็นเอที่เกิดกับนิวคลีโอไทด์บางโมเลกุลเท่านั้น (ดังภาพที่ 10)



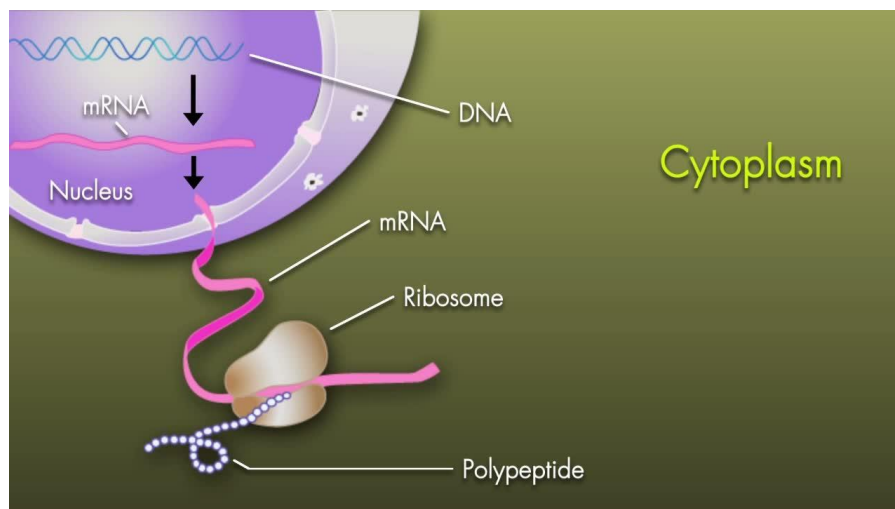
ภาพที่ 10 การเกิดพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของดีเอ็นเอ (ซ้าย) และโมเลกุลของอาร์เอ็นเอ (ขวา)

หมู่เบสที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันของสายดีเอ็นเอ คือ หมู่เบส A และ T เช่นเดียวกับ หมู่เบส G และ C ดังนั้นลำดับของนิวคลีโอไทด์บนสายของพอลินิวคลีโอไทด์สายหนึ่งจึงเป็นตัวกำหนดชนิดของนิวคลีโอไทด์ที่ตำแหน่งเดียวกันบนสายตรงข้าม โมเลกุลของดีเอ็นเอในสิ่งมีชีวิตมักมีโครงสร้างสามมิติเป็นรูปเกลียวโดยมีเบสของนิวคลีโอไทด์ทุกตัวและพันธะไฮโดรเจนอยู่ตรงกลางของรูปเกลียว เราเรียกโครงสร้างสามมิติแบบนี้ว่า ดับเบิลฮีลิกซ์



ภาพที่ 11 รูปร่างสามมิติของดีเอ็นเอ (DNA) รูปร่างของดีเอ็นเอไม่ขึ้นกับลำดับและความยาวของนิวคลีโอไทด์ ซึ่งแตกต่างจากรูปทรงของอาร์เอ็นเอ และโปรตีน

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีลำดับและจำนวนของนิวคลีโอไทด์ในสายดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน และลำดับของนิวคลีโอไทด์นี้เอง คือ ข้อมูลที่ใช้กำหนด ลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต การถ่ายทอดลักษณะไป ยังรุ่นลูกหลาน เพื่อสืบทอดเผ่าพันธุ์ จึงต้องอาศัยกลไกต่างๆ ในการถ่ายทอดลำดับนิวคลีโอไทด์เหล่านี้ไปยังรุ่นต่อไป และใช้โมเลกุลของอาร์เอ็นเอถอดรหัสโมเลกุลของดีเอ็นเอ ให้เป็นลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน เพื่อกำหนดลักษณะของสิ่งมีชีวิตอีกทอดหนึ่ง จึงอาจกล่าวได้ว่า สิ่งมีชีวิตอาจไม่สามารถดำรงชีวิตและเผ่าพันธุ์อยู่ได้ หากขาดโมเลกุลของกรดนิวคลีอิก (ดังภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 บทบาทของกรดนิวคลีอิกในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากลำดับนิวคลีโอไทด์ของสายดีเอ็นเอ (DNA) โดยมีอาร์เอ็นเอ (RNA) เป็นตัวกลางในถอดรหัสออกมาในรูปของลำดับนิวคลีโอไทด์ ในสายอาร์เอ็นเอ และทำหน้าที่ในการกำหนดลำดับของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ (polypeptide) อีกทอดหนึ่ง ทั้งนี้ไรโบโซม (ribosome) ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลรหัสก็ประกอบด้วยโมเลกุลของอาร์เอ็นเอ เช่นกัน



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง “กรดนิวคลีอิก” เป็นสื่อที่เน้นให้เห็นโครงสร้างและรูปร่างของกรดนิวคลีอิกที่เกิดจากหน่วยย่อย คือ นิวคลีโอไทด์ มาต่อกันเข้าด้วยโดยอาศัยฟอสโฟไดเอสเทอร์ลิงก์เกจ เชื่อมระหว่างนิวคลีโอไทด์

การใช้วีดิโอสื่อตอนนี้อาจทำได้หลายวิธี เช่น

1. ทำการสอนวิชาชีววิทยาหัวข้อ “กรดนิวคลีอิก” ตามเนื้อหารายวิชาที่กำหนด หลังจากนั้นก็เปิดวีดิโอตอนนี้ให้ชม แล้ว
 - สุ่มนักเรียนให้อธิบายคำศัพท์หรือหัวข้อในวีดิโอตามหัวข้อที่ผู้สอนกำหนด
 - แบ่งกลุ่มอภิปรายแล้วส่งตัวแทนมานำเสนอหน้าชั้นเรียนตามหัวข้อที่ผู้สอนกำหนด
2. ทำการสอนวิชาชีววิทยาหัวข้อ “กรดนิวคลีอิก” เมื่อทำการสอนตามเนื้อหารายวิชาที่กำหนดแล้ว แบ่งกลุ่มมอบหมายให้ดูวีดิโอนอกเวลา
 - อภิปรายในชั้นเรียนเป็นกลุ่มตามหัวข้อที่ผู้สอนกำหนด
 - ทำรายงานตามหัวข้อที่กำหนด
 - ทำโมเดลของดีเอ็นเอหรืออาร์เอ็นเอ โดยใช้วัสดุต่างๆ เช่น กระดาษ หลอดพลาสติก
 - ทำสไลด์นำเสนอในหัวข้อต่างๆที่เกี่ยวกับ กรดนิวคลีอิก

การแบ่งกลุ่มนักเรียนสามารถทำได้หลายวิธีนอกเหนือไปจากการจับฉลาก ซึ่งอาจใช้เวลาในการแบ่งกลุ่มพอสมควร การแบ่งกลุ่มอาจทำได้โดย

- ตามแถวที่นั่ง
- กลุ่ม 8-10 คนที่นั่งติดกัน
- ตามรายชื่อ
- ปล่อยให้ในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มมีนักเรียนที่มีระดับคะแนนแตกต่างกัน

หัวข้อที่อาจใช้เป็นแนวทางคำถามและคำตอบในการดำเนินการอภิปราย

1. หากพิจารณาจากส่วนที่เป็นน้ำตาลและหมู่เบส นิวคลีโอไทด์ที่พบในสิ่งมีชีวิตมีทั้งหมดกี่ชนิด

ตอบ มีทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่

adenosine	deoxyadenosine
guanosine	deoxyguanosine
uridine	deoxythymidine
cytidine	deoxycytidine



2. การสร้างฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกดต้องใช้พลังงานหรือไม่ หากใช้พลังงานเซลล์จะได้รับพลังงานมาจากที่ใด

ตอบ การสร้างฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกดต้องใช้พลังงานและเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา ในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก เซลล์ต้องใช้นิวคลีโอไทด์ที่มีหมู่ฟอสเฟตสามหมู่ (triphosphate) ในการสร้างฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกด (ในวิดีโอไม่ได้แสดงส่วนนี้ไว้ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ) พลังงานที่ใช้ในการสร้างลิงก์เกดนี้ได้จากการสลายพันธะระหว่างหมู่ฟอสเฟต 2 หมู่ ดังนั้นจึงเหลือหมู่ฟอสเฟตเชื่อมระหว่างนิวคลีโอไทด์เพียงหมู่เดียว เอนไซม์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ชนิด ดีเอ็นเอ คือ ดีเอ็นเอโพลีเมอเรส (DNA polymerase) ส่วนเอนไซม์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์อาร์เอ็นเอ คือ อาร์เอ็นเอโพลีเมอเรส (RNA polymerase)

3. การสร้างฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกด มีลักษณะเหมือนกับการสร้างพันธะเพปไทด์อย่างไร

ตอบ การสร้างฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกด ทำให้หน่วยย่อยของกรดนิวคลีอิก คือ นิวคลีโอไทด์ ต่อกันเป็นสายยาวในลักษณะที่เป็นพอลิเมอร์ และมีการปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมา 1 โมเลกุล เช่นเดียวกับการสร้างพันธะเพปไทด์ (ในวิดีโอไม่ได้แสดงส่วนนี้ไว้ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ)

4. โครงสร้างพื้นฐานของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอในสิ่งมีชีวิตมีลักษณะเหมือนกันอย่างไร

ตอบ โครงสร้างพื้นฐานของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอในสิ่งมีชีวิตมีลักษณะเหมือนกัน เช่น

ความเหมือน	อาร์เอ็นเอและดีเอ็นเอ
1. หน่วยย่อย	นิวคลีโอไทด์
2. ชนิดของน้ำตาล	น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม
3. ชนิดของหมู่เบส	A, G, C
4. พันธะระหว่างหน่วยย่อย	ฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกด
5. ปลาย	ปลายห้าไพรม์และปลายสามไพรม์
6. พันธะระหว่างหมู่เบส	พันธะไฮโดรเจน

5. โดยทั่วไปโครงสร้างพื้นฐานของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอในสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันอย่างไร

ตอบ โครงสร้างพื้นฐานของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอแตกต่างกัน เช่น

ความแตกต่าง	อาร์เอ็นเอ	ดีเอ็นเอ
1. ชนิดของน้ำตาล	ไรโบส	ดีออกซีไรโบส
2. ชนิดของหมู่เบส	U	T
3. จำนวนสาย	1 สาย	2 สาย
4. พันธะในโมเลกุล	เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เบสบนสายเดียวกัน	เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เบสบนสายตรงข้าม
5. รูปร่าง	ไม่แน่นอน	รูปเกลียว (helix)



6. เราสามารถพบโมเลกุลของอาร์เอ็นเอเส้นคู่ และ ดีเอ็นเอเส้นเดี่ยว ในธรรมชาติได้หรือไม่

ตอบ ไวรัสบางชนิดอาจมีสารพันธุกรรมเป็นอาร์เอ็นเอเส้นคู่ ไวรัสบางกลุ่มก็มีสารพันธุกรรมเป็นดีเอ็นเอเส้นเดี่ยว

7. จากความรู้เกี่ยวกับรูปร่างของกรดนิวคลีอิก หากพันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างหมู่เบสบนสายของกรดนิวคลีอิกถูกทำลายจะเกิดอะไรขึ้น

ตอบ เมื่อพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกถูกทำลายรูปร่างของโมเลกุลจะเปลี่ยนไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดนิวคลีอิก เนื่องจากหมู่เบสของสายกรดนิวคลีอิกในโมเลกุลของอาร์เอ็นเอเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างนิวคลีโอไทด์ในสายเดียวกัน ดังนั้นเมื่อพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย สายของอาร์เอ็นเอก็จะเหี่ยยงออกเป็นเส้นตรง ในขณะที่หมู่เบสของดีเอ็นเอเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เบสที่อยู่ต่างสายกัน เมื่อพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายสายของดีเอ็นเอทั้งสองสายจะแยกออกจากกัน เราเรียกการเสียรูปร่างของกรดนิวคลีอิก ว่า การเสียสภาพ (denaturation) เช่นเดียวกับการเสียสภาพของโปรตีน

8. เราสามารถทำลายพันธะในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกได้อย่างไร

ตอบ โดยทั่วไปแล้ว พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกเป็นพันธะที่ไม่แข็งแรงนักจึงสามารถทำลายได้ด้วย ความร้อน (การต้มให้เดือดก็สามารถทำให้สายคู่ของดีเอ็นเอแยกออกจากกันได้) หรือ สารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนฟอสโฟไดเอสเทอร์ ลิงก์เกจ สามารถถูกทำลายได้ด้วย ปฏิกิริยาการเติมโมเลกุลของน้ำ หรือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยการต้มในน้ำเป็นเวลานาน หรือ เปร่งปฏิกิริยาดับด้วยเอนไซม์ DNase (ทำลายดีเอ็นเอ) หรือ RNase (ทำลายอาร์เอ็นเอ) การเขย่าแรงๆก็อาจทำให้สายดีเอ็นเอหักออกเป็นท่อนได้เช่นกัน

9. ในสิ่งมีชีวิต การเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ในสายของดีเอ็นเอเกิดขึ้นได้อย่างไร

ตอบ การเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ในสายดีเอ็นเอหรือ มิวเทชัน (mutation) สามารถเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น สารเคมีบางชนิด รังสีอัลตราไวโอเลต สารกัมมันตรังสี ความผิดปกติในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ ไวรัส

10. การเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ในสายดีเอ็นเอมีผลอย่างไรต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ตอบ การเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์อาจมีผลทำให้เซลล์สร้างโปรตีนที่มีลำดับกรดอะมิโนคงเดิม หรือเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหากกรดอะมิโนที่เปลี่ยนแปลงไปไม่มีความสำคัญต่อรูปร่างหรือการทำงานของโปรตีนก็จะมีผลกระทบต่อเซลล์ ในทางตรงกันข้ามหากกรดอะมิโนที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้รูปร่างหรือการทำงานของโปรตีนผิดไปจากเดิมก็อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อเซลล์ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์อาจทำให้เซลล์สร้างโปรตีนบางชนิดเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง หรือหยุดการสร้างโปรตีน ผลของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจทำให้เซลล์มีรูปร่าง โครงสร้างผิดปกติ หรือ ทำงานได้ไม่เหมือนเดิม หรือ กลายเป็นเซลล์มะเร็ง หรือ ตายได้



ภาคผนวก

ก. อธิบายศัพท์

3' end	ปลายของสายกรดนิวคลีอิก ด้านที่มีนิวคลีโอไทด์โมเลกุลสุดท้ายต่ออยู่โดยมีคาร์บอนสามไพรม์เป็นอิสระไม่ต่ออยู่กับนิวคลีโอไทด์โมเลกุลอื่น
5' end	ปลายของสายกรดนิวคลีอิก ด้านที่มีนิวคลีโอไทด์โมเลกุลแรกต่ออยู่โดยมีคาร์บอนห้าไพรม์เป็นอิสระไม่ต่ออยู่กับนิวคลีโอไทด์โมเลกุลอื่น
Adenine	หมู่เบสชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ จัดอยู่ในกลุ่มพิวรีน
Cytosine	หมู่เบสชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ จัดอยู่ในกลุ่มไพริมิดีน
Deoxyribose	น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีคาร์บอน 5 อะตอมเป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์ที่พบได้ในโมเลกุลของดีออกซีไรโบนิวคลีอิกแอซิด มีอะตอมของออกซิเจนน้อยกว่าน้ำตาลไรโบส 1 อะตอม
Double helix	รูปร่างของดีเอ็นเอเกิดจากสายของกรดนิวคลีอิก 2 เส้นสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เบสในสายตรงกันข้าม และบิดเป็นเกลียวคล้ายบันไดเวียน
Guanine	หมู่เบสชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ จัดอยู่ในกลุ่มพิวรีน
Nucleotide	สารอินทรีย์ที่เป็นหน่วยย่อยของกรดนิวคลีอิก
Phosphate group	หมู่เคมีที่ประกอบด้วยอะตอมของฟอสฟอรัสและออกซิเจนเป็นส่วนประกอบหนึ่งของนิวคลีโอไทด์
Phosphodiester linkage	ส่วนที่เชื่อมนิวคลีโอไทด์ในสายของกรดนิวคลีอิก โดยสร้างระหว่างคาร์บอนสามไพรม์ของนิวคลีโอไทด์ตัวแรกและคาร์บอนห้าไพรม์ของนิวคลีโอไทด์ตัวถัดไป
Purine	หมู่เบสที่เป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์ มีโครงสร้างหลักเป็นอะตอมของคาร์บอนและไนโตรเจนต่อกันเป็นห้าเหลี่ยม 1 วงและหกเหลี่ยม 1 วงติดกัน



pyrimidine	หมู่เบสที่เป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์ มีโครงสร้างหลักเป็นอะตอมของคาร์บอนและไนโตรเจนต่อกันเป็นหกเหลี่ยม 1 วง
Ribose	น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีคาร์บอน 5 อะตอมเป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์ที่พบได้ในโมเลกุลของไรโบนิวคลีอิกแอซิด
Thymine	หมู่เบสชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ จัดอยู่ในกลุ่มไพริมิดีน พบเฉพาะในโมเลกุลของดีออกซีไรโบนิวคลีอิกแอซิด
Uracil	หมู่เบสชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ จัดอยู่ในกลุ่มไพริมิดีน พบเฉพาะในโมเลกุลของไรโบนิวคลีอิกแอซิด

ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Lehninger, L., Nelson, D.L. and Cox, M.M. (2008) Lehninger Principles of Biochemistry. (5th ed.). W.H. Freeman, New York.
2. Reece J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. and Jackson, R.B. (2010) Campbell Biology (9th ed.). The Benjamin/Cummings Publishing company, Inc. New York.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การออกแบบการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยุดธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยุดธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิราธิภรณ์ กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิราธิภรณ์ กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธ์ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยุดธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยุดธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ หาดยุดธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะใกล้ในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะใกล้ในสัตว์	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
15	ทางเดินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	ผศ.ดร.พัชณี สิงห์อาษา
16	การย่อยและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชณี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธ์ พิณสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธ์ พิณสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธ์ พิณสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
22	ไต: หน่วยไตและการผลิตปัสสาวะ	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
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.อรรณพ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรรณพ 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



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปริดา บุญหลง
47	โครงสร้างของดอก (Structure of Flower)	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลนันทน์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ชุมพล คุณวาสี
49	การเกิดและโครงสร้างผล	อ.ดร.สร้อยนภา ญาณวัฒน์
50	การงอกของเมล็ด	รศ.นันทนา อังกินนทน์
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 โชคชัยชำนาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ียิจิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ียิจิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอร่า	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญเขียว
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	ไบโอมบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบนบก	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