



คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิชาชีววิทยา

เรื่อง

การถอดรหัสพันธุกรรม

โดย

อาจารย์ ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพาทิ

พุทธศักราช 2554



กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันท์

รองศาสตราจารย์สุมิตรา คงชื่นสิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชรา ลิ้มปะนะเวช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์

นางปริญญา กลินรัตน์

นางจุปนา บางยี่ขัน

สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ ข้อมูล

ภาควิชาชีวเคมี และภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คำชี้แจง

การถอดรหัสพันธุกรรม เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอนเรื่อง ยีนและโครโมโซม ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 10 ตอน คือ

1. ยีนและโครโมโซม
2. โครงสร้างของดีเอ็นเอ
3. โครงสร้างของโครโมโซม
4. ความสัมพันธ์ระหว่างยีน ดีเอ็นเอ โครโมโซม และจีโนม
5. การจำลองตัวของดีเอ็นเอ
6. การถอดรหัสพันธุกรรม
7. การแปลรหัสพันธุกรรม
8. มิวเทชันระดับยีน
9. มิวเทชันระดับโครโมโซม
10. โรคทางพันธุกรรม

คู่มือประกอบการสอนเรื่อง การถอดรหัสพันธุกรรมนี้ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ ผู้สอนเข้าใจ จุดประสงค์และขอบเขตของเนื้อหาของสื่อประกอบการสอนที่ผลิตขึ้น อีกทั้งเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำสื่อประกอบการสอนไปใช้ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและกระตุ้นความสนใจเนื้อหา ของบทเรียน นอกจากนี้ ยังสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับ โดยการอภิปราย ร่วมกัน ซึ่งหากบรรลุลักษณะที่กล่าวมา ข้างต้นแล้ว จะทำให้การจัดการเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

อาจารย์ ดร.

อาจารย์ ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ

ผู้ตรวจคู่มือ

ธนะกาญจน์ มัญชุพาศน์

ผู้จัดทำคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	17
ภาคผนวก	20
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีพวิชาจำนวน 92 ตอน	22



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายขั้นตอนการถอดรหัสพันธุกรรมได้

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายความสอดคล้องระหว่างคุณสมบัติทางเคมี และหน้าที่การทำงานของ DNA RNA และโปรตีนในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต
2. อธิบายความหมายและความสำคัญของแกนกลางของชีววิทยาโมเลกุล
3. อธิบายข้อดีของการถอดรหัสพันธุกรรมจากโมเลกุล DNA ไปสู่ RNA และจากการแปลรหัสพันธุกรรมจาก RNA ไปสู่โปรตีน
4. อธิบายขั้นตอนการถอดรหัสพันธุกรรม และระบุลำดับเบสและทิศทางของ RNA ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถอดรหัสพันธุกรรม
5. ระบุตำแหน่งของเซลล์ที่เกิดการถอดรหัสและแปลรหัสพันธุกรรม ในเซลล์โพรคาริโอตและเซลล์ยูแคริโอต



เนื้อหา

ความสัมพันธ์ระหว่าง DNA RNA และโปรตีน

Deoxyribonucleic acid (DNA) Ribonucleic acid (RNA) และโปรตีน (protein) เป็นชีวโมเลกุลหลักที่มีความสำคัญในเซลล์ โดย DNA บรรจุข้อมูลพันธุกรรมในรูปลำดับเบส และถูกถอดรหัสพันธุกรรม (transcription of genetic code) ไปเป็น RNA ซึ่งเป็นโมเลกุลที่บรรจุข้อมูลพันธุกรรมในรูปลำดับเบสเช่นเดียวกับ DNA

หลังจากนั้น RNA ถูกแปลรหัสพันธุกรรมไปเป็นโปรตีน (translation of genetic code) โดยข้อมูลพันธุกรรมในรูปลำดับเบสบน RNA ถูกแปลเป็นลำดับกรดอะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน ทั้งนี้โปรตีนเป็นชีวโมเลกุลหลักในด้านโครงสร้างและด้านหน้าที่การทำงานต่าง ๆ ของเซลล์

ความสอดคล้องระหว่างหน้าที่การทำงาน และสมบัติทางกายภาพและเคมีของ DNA RNA และโปรตีน

คำถามที่น่าสนใจประการหนึ่งคือ เหตุใดในกระบวนการวิวัฒนาการของชีวิตได้เลือกโมเลกุลทั้งสามชนิดดังกล่าวให้ทำหน้าที่นั้น ๆ คำตอบสามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ประการแรก DNA มีความเหมาะสมที่จะเป็นโมเลกุลบรรจุข้อมูลพันธุกรรมระยะยาว เพราะมีความเสถียรทางเคมีสูง และมีหน่วยย่อยเป็นเบสเพียงสี่ชนิดจึงมีความสะดวกเรียบง่ายในการเก็บข้อมูลพันธุกรรม อย่างไรก็ตาม DNA ไม่เหมาะที่จะถูกใช้เป็นตัวแบบในการสร้างโปรตีนโดยตรงเพราะ DNA เป็นสายคู่ มีขนาดใหญ่ มีโครงสร้างซับซ้อนและขดกันแน่นซึ่งเป็นอุปสรรคอย่างมากในการเป็นตัวแบบสำหรับการสร้างโปรตีน นอกจากนี้ในเซลล์หนึ่ง ๆ มี DNA เพียงไม่กี่ชุด หากใช้ DNA ในการสร้างโปรตีนแล้วก็จะได้ปริมาณโปรตีนไม่มาก

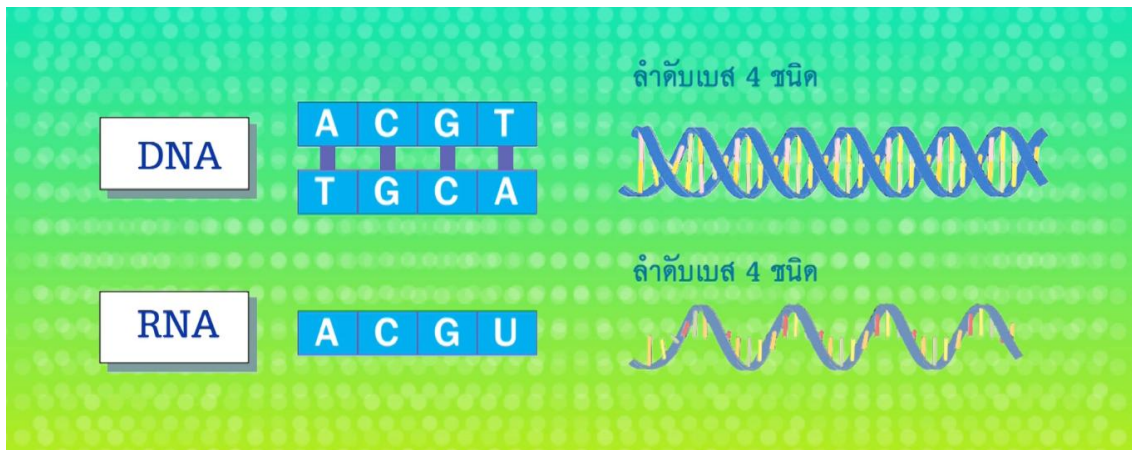
ประการที่สอง RNA มีหน่วยย่อยเป็นเบสสี่ชนิดคล้ายกับ DNA แต่ RNA เหมาะเป็นโมเลกุลที่บรรจุข้อมูลพันธุกรรมเพียงระยะเวลาชั่วคราวเท่านั้นเพราะมีความเสถียรทางเคมีต่ำ อย่างไรก็ตาม RNA มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างโปรตีน เพราะ RNA เป็นสายเดี่ยวที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของเซลล์ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการสร้างโปรตีนได้สะดวก นอกจากนี้ RNA มีจำนวนหลายชุดในเซลล์ เมื่อใช้ RNA สร้างโปรตีนก็จะได้โปรตีนจำนวนมาก



ประการที่สาม โปรตีน มีหน่วยย่อยเป็นกรดอะมิโนถึง 20 ชนิด ดังนั้นจึงมีความหลากหลายทางเคมีสูง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เหมาะสมในการเป็นโครงสร้างและเป็นตัวทำงานในกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์ที่มีความหลากหลายและซับซ้อน

ตารางที่ 1 ความสอดคล้องระหว่างหน้าที่การทำงานและสมบัติทางกายภาพและเคมีของ DNA RNA และโปรตีน

โมเลกุล	หน้าที่การทำงาน	สมบัติทางกายภาพและเคมี				
		ความเสถียร	โครงสร้าง	หน่วยย่อย	ความหลากหลายทางเคมี	จำนวนโมเลกุลในเซลล์
DNA	บรรจุข้อมูลพันธุกรรมระยะยาว เพื่อเป็นแม่แบบข้อมูลพันธุกรรมสำหรับใช้ในเซลล์ และสำหรับการถ่ายทอดไปสู่ลูกหลาน	สูง	สายคู่ ยาว ขดแน่น	เบส 4 ชนิด	ต่ำ	น้อย
RNA	บรรจุข้อมูลพันธุกรรมระยะสั้น โดยเป็นเสมือนสำเนาพันธุกรรมที่ถอดรหัสมาจาก DNA เพื่อนำไปแปลรหัสสร้างเป็นโปรตีน	ต่ำ	สายเดี่ยว สั้น เคลื่อนที่สะดวก	เบส 4 ชนิด	ต่ำ	มาก
โปรตีน	เป็นโครงสร้างและเป็นตัวทำงานหลัก ในกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์ที่หลากหลายและซับซ้อน	มีหลายระดับ	หลากหลาย ซับซ้อน	กรดอะมิโน 20 ชนิด	สูง	มาก



รูปที่ 1 รูปร่างทางกายภาพและจำนวนหน่วยย่อยทางเคมีของโมเลกุล DNA RNA (รูปบน) และโปรตีน (รูปล่าง)

จากความสอดคล้องของคุณสมบัติและหน้าที่การทำงานของโมเลกุลทั้งสามชนิดดังกล่าว เซลล์ของสิ่งมีชีวิตจึงเกิดกระบวนการแสดงออกของข้อมูลพันธุกรรมโดยผ่านสองขั้นตอน (รูปที่ 2)

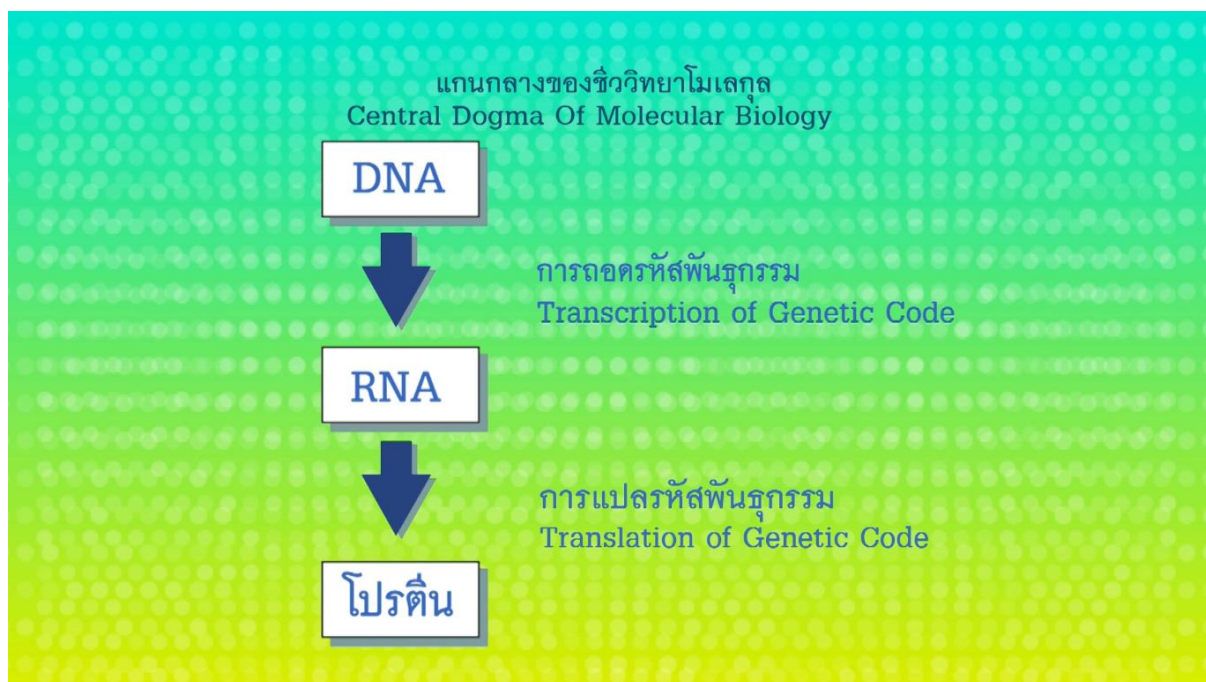
ขั้นตอนแรก คือการถอดรหัสพันธุกรรมจาก DNA ไปเป็น RNA ที่เรียกว่า transcription of genetic code



ขั้นตอนที่สอง คือการแปลรหัสพันธุกรรมจาก RNA ไปเป็นโปรตีน ที่เรียกว่า translation of genetic code

แกนกลางของชีววิทยาโมเลกุล (Central Dogma of Molecular Biology)

กระบวนการทั้งหมดที่เป็นการส่งผ่านและการแสดงออกข้อมูลพันธุกรรมซึ่งเกิดในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เรียกกระบวนการทั้งหมดนี้ว่าแกนกลางของชีววิทยาโมเลกุล (central dogma of molecular biology) ดังนั้นเซลล์จะมีการแสดงออกของข้อมูลพันธุกรรมให้มีรูปร่างลักษณะแบบใด มีสี มีขนาดอย่างไรนั้น ล้วนผ่านแกนกลางของชีววิทยาโมเลกุลนี้ทั้งสิ้น ความเข้าใจในกระบวนการนี้จึงเป็นรากฐานในการเข้าใจการแสดงออกทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงกระบวนการแรกของแกนกลางชีววิทยาโมเลกุล ซึ่งก็คือการถอดรหัสพันธุกรรมจาก DNA ไปสร้างเป็น RNA



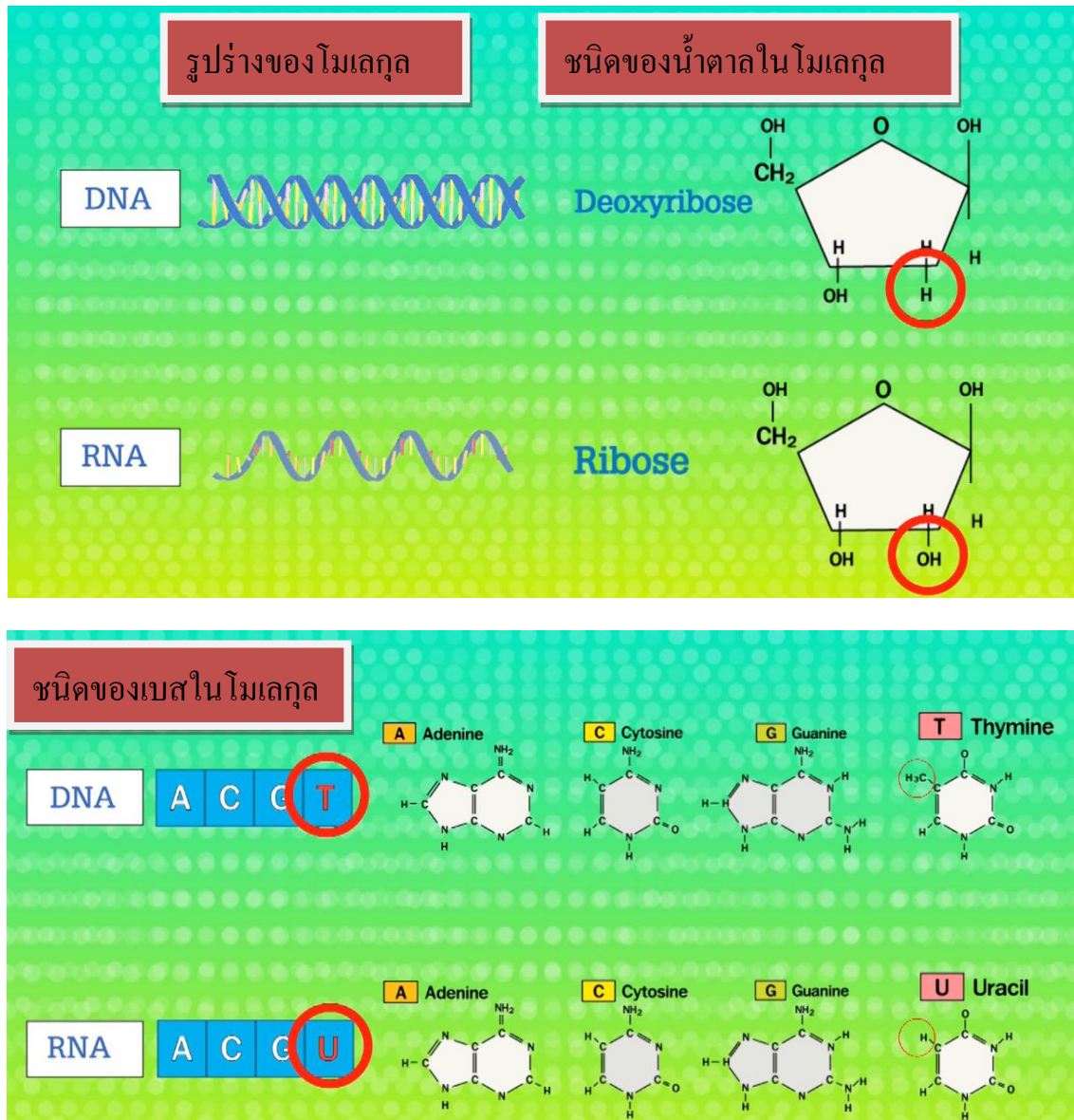
รูปที่ 2 การแสดงออกของข้อมูลพันธุกรรมผ่านแกนกลางของชีววิทยาโมเลกุล

ความแตกต่างระหว่าง DNA และ RNA

DNA และ RNA เป็นชีวโมเลกุลในกลุ่มกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) เหมือนกัน ซึ่งกรดนิวคลีอิกนี้ประกอบไปด้วยโครงสร้างพื้นฐานสามชนิดคือ ไนโตรจีนัสเบส (nitrogenous base) ในบทเรียนนี้จะเรียกสั้น ๆ ว่าเบส) น้ำตาล และ หมู่ฟอสเฟต



แม้ว่า DNA และ RNA จะอยู่ในชีวโมเลกุลกลุ่มเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีโดยละเอียดแล้วพบว่า DNA และ RNA มีความแตกต่างกันดังสรุปได้ในรูปที่ 3 และตารางที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 3 ความแตกต่างในด้านสมบัติทางกายภาพและเคมีของ DNA และ RNA



ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของ ของ DNA RNA และโปรตีน

ความแตกต่างทางด้าน กายภาพและเคมี (ดูรูปที่ 3 ประกอบ)	Deoxyribonucleic acid (DNA)	Ribonucleic acid (RNA)
รูปร่างของโมเลกุล	ส่วนมากพบเป็นสายคู่ ขดกัน แน่น และมีความยาวมาก	ส่วนมากพบเป็นสายเดี่ยว ขดกัน ไม่แน่นมาก และมีความยาวไม่ มาก
ชนิดของน้ำตาลในโมเลกุล	ดีออกซีไรโบส (Deoxyribose) *	ไรโบส (Ribose) *
ชนิดของเบสในโมเลกุล	Adenine (A) Guanine (G) Cytosine (C) Thymine (T) **	Adenine (A) Guanine (G) Cytosine (C) Uracil (U) **

* น้ำตาลทั้งสองชนิดต่างกันที่ น้ำตาลไรโบสมีอะตอมของออกซิเจนมากกว่าน้ำตาลดีออกซีไรโบสหนึ่ง
อะตอม (รูปที่ 3)

** เบสทั้งสองชนิดต่างกันที่ เบส thymine มีหมู่เมทิล ($-CH_3$) แต่ เบส uracil ไม่มีหมู่เมทิล (รูปที่ 3)

ความแตกต่างดังกล่าวสอดคล้องกับหน้าที่การทำงานของ DNA และ RNA ดังนี้

โครงสร้างของ DNA ไม่เหมาะสมในการใช้สร้างโปรตีน แต่โครงสร้างของ RNA เหมาะสมในการ
นำไปใช้สร้างโปรตีน

DNA มีน้ำตาลดีออกซีไรโบสที่มีความเสถียรสูง และมีเบส thymine (T) ที่ก่อให้เกิดอัตราการ
กลาย (mutation) ต่ำ ดังนั้นโมเลกุล DNA มีความเสถียรและมีอัตราการกลายต่ำกว่า RNA จึงมีความ
เหมาะสมต่อการบรรจุข้อมูลพันธุกรรมแบบถาวร

RNA มีน้ำตาลไรโบสที่มีความเสถียรไม่มาก และมีเบส uracil (U) ที่ก่อให้เกิดอัตราการกลาย
พันธุสูง (เนื่องจากเบส U นอกจากจะจับคู่กับเบส adenine (A) แล้ว ยังอาจเกิดการจับคู่ที่ผิดปกติกับ
เบสชนิดอื่นได้อีกด้วย) ดังนั้นโมเลกุล RNA จึงมีความเสถียรทางเคมีต่ำและมีอัตราการกลายสูงกว่า
DNA จึงมีความเหมาะสมต่อการบรรจุข้อมูลพันธุกรรมเพียงชั่วคราวเท่านั้น

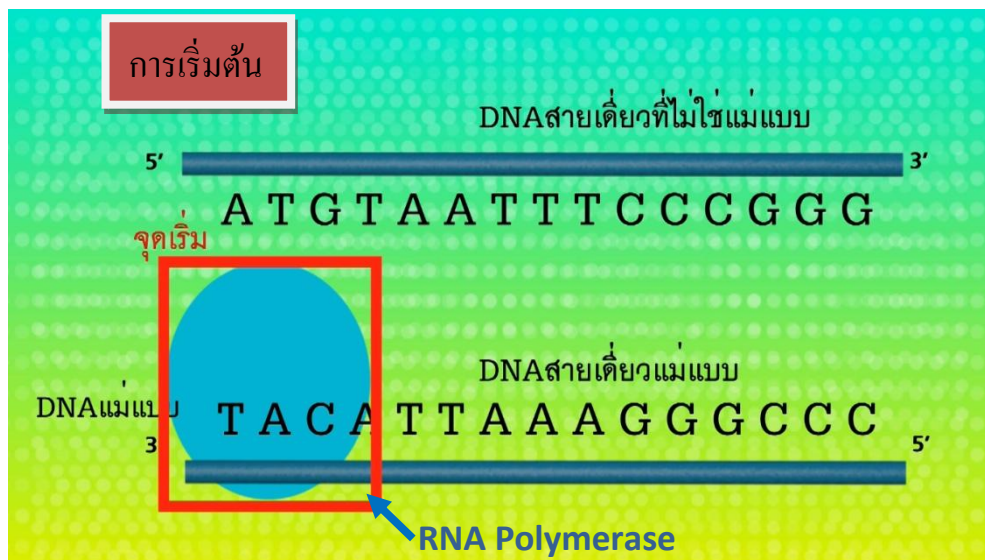


การถอดรหัสพันธุกรรม (transcription of genetic code)

มีความหมายคือ กระบวนการสร้างโมเลกุล RNA โดยใช้โมเลกุล DNA เพียงสายเดียวเท่านั้น เป็นแม่แบบ (template) โดย RNA ที่ได้จะมีลำดับเบสคู่สมและมีทิศทางขั้วกับ DNA แม่แบบเสมอโดยกระบวนการถอดรหัสพันธุกรรม มีดังนี้

1. การเริ่มต้นของการถอดรหัสพันธุกรรม (initiation of transcription)

เกิดที่จุดเริ่มต้นของการถอดรหัสที่ตำแหน่งจำเพาะของ DNA (ซึ่งมีลำดับเบสหรือมีโครงสร้างที่จำเพาะซึ่งตำแหน่งนี้ DNA สายคู่จับกันไม่แน่นมากและคลายเกลียวแยกออกจากกันได้) จุดเริ่มต้นนี้จะอยู่ทางด้านหน้าของยีน (gene) เสมอ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การเริ่มต้นของการถอดรหัส

2. การเลือก DNA สายใดสายหนึ่งเป็นแม่แบบ

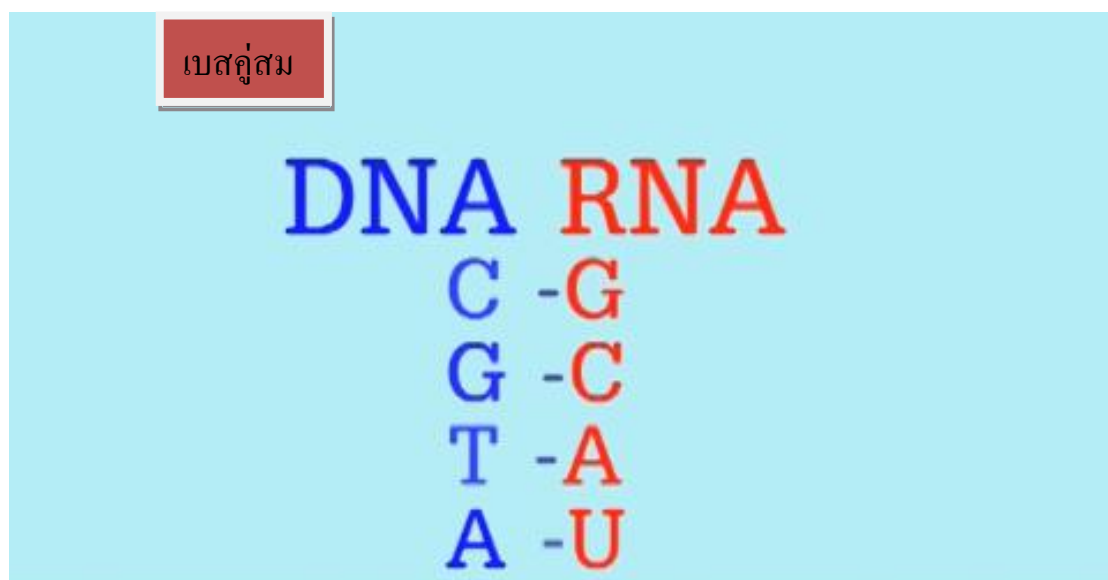
ใน DNA สายคู่ **จุดเริ่ม** (รูปที่ 4) จะปรากฏอยู่ใน DNA สายใดสายหนึ่งเพียงสายเดียว ดังนั้นจุดเริ่มต้นเองเป็นตัวกำหนดว่า DNA สายเดี่ยวสายใดในสองสายจะถูกใช้เป็นแม่แบบในการถอดรหัส โดยที่ **จุดเริ่ม** นี้จะมีกลุ่มของโปรตีนหลายชนิดมารวมตัวกันเกิดเป็นกลุ่มของเอนไซม์ขนาดใหญ่ที่เรียกว่า อาร์เอ็นเอ พอลิเมอเรส (RNA polymerase) ซึ่งมีความหมายว่าเอนไซม์สร้าง RNA นั้นเอง เมื่อ RNA polymerase จับที่จุดเริ่มของ DNA แล้ว ก็จะคลายเกลียว DNA สายคู่ออกเป็น DNA สายเดี่ยวสองสายที่แยกออกจากกัน



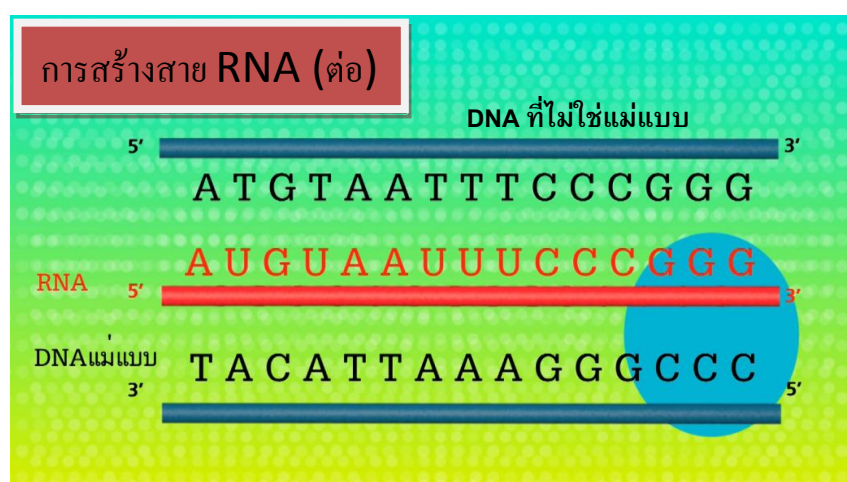
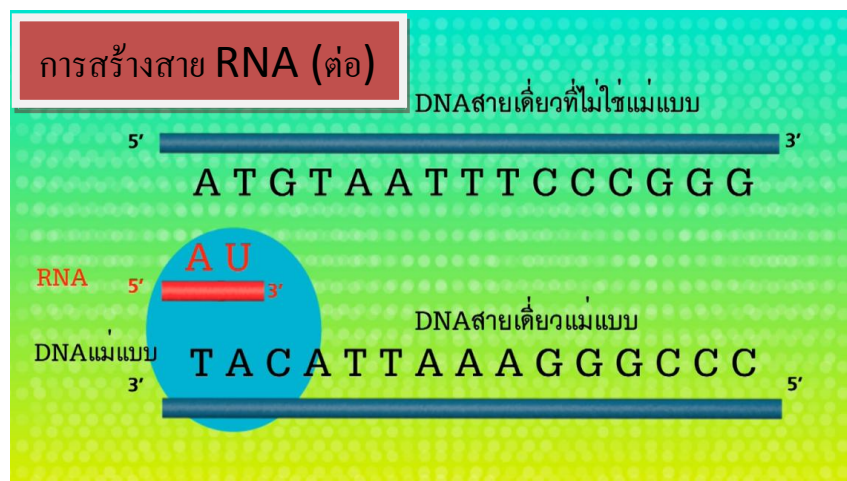
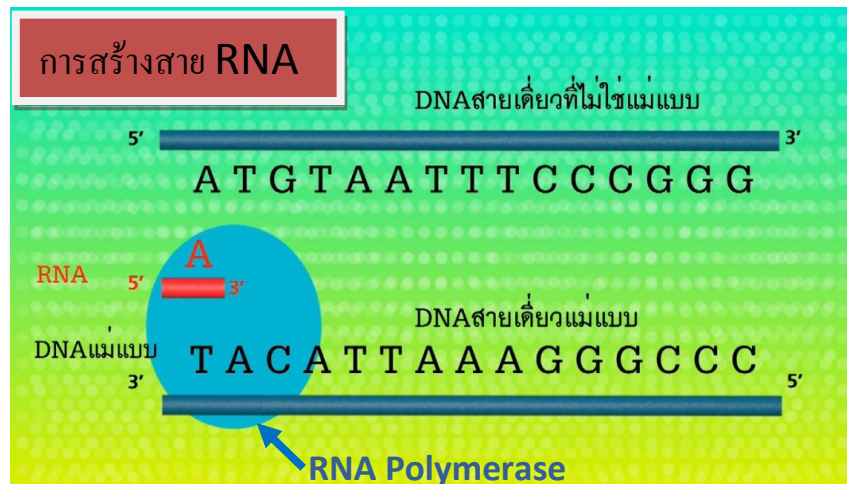
3. การสร้างสาย RNA (elongation of transcription)

เมื่อ RNA polymerase จับกับ DNA สายเดี่ยวที่เป็นแม่แบบแล้ว จะเกิดการนำหน่วยย่อยของ RNA ซึ่งก็คือ ไรโบนิวคลีโอไทด์ (ribonucleotide) ที่มีเบสคู่สมกับ DNA แม่แบบ (complementary base) มาต่อกันด้วยพันธะเคมีที่ชื่อว่า ฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phosphodiester bond) เกิดเป็นสาย RNA ยาวขึ้นเรื่อยๆ โดย RNA polymerase จะอ่าน DNA จากทิศ $3' \rightarrow 5'$ และสร้าง RNA ผลัดกันทีละเบสในทิศตรงข้ามคือจากทิศ $5' \rightarrow 3'$ ดังนั้น RNA ที่ได้จะมีลำดับเบสคู่สม และมีทิศตรงข้ามกับ DNA แม่แบบเสมอ (รูปที่ 6)

หนึ่งจะเห็นว่า RNA ที่ได้จะมีลำดับเบสเหมือนกับ DNA ที่ไม่ใช่แม่แบบ (ยกเว้นการเปลี่ยนจากเบส T เป็น เบส U) และมีทิศเหมือนกันด้วย



รูปที่ 5 เบสคู่สมระหว่าง DNA และ RNA



รูปที่ 6 กระบวนการสร้างสาย RNA

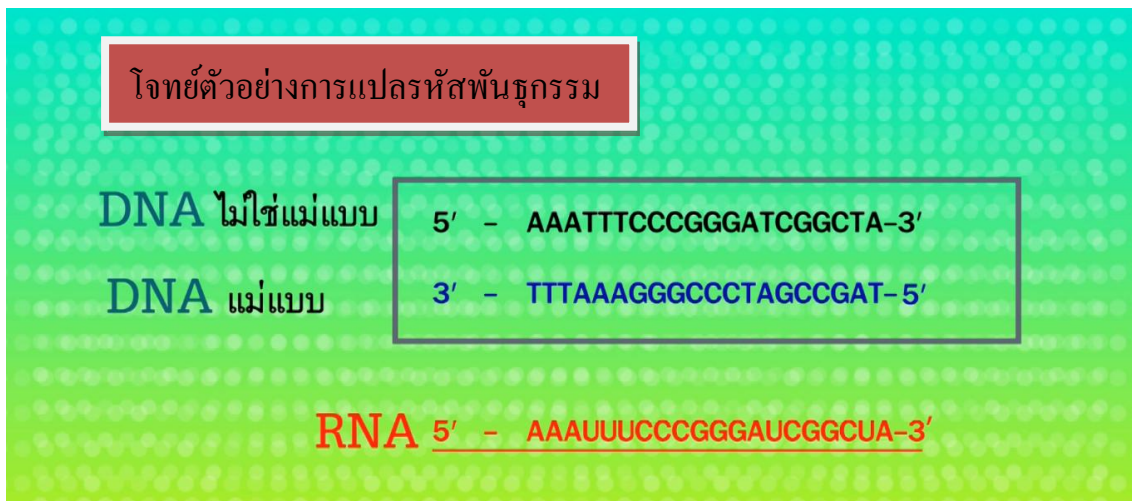


การสิ้นสุดของการถอดรหัสพันธุกรรม

การถอดรหัสจะสิ้นสุดที่ตำแหน่งจำเพาะของ DNA แม่แบบที่เรียกว่าจุดสิ้นสุดซึ่งจะอยู่ทางด้านหลังของยีน โดยจุดสิ้นสุดนี้จะมีลำดับเบสหรือโครงสร้างของ DNA สายคู่ที่จับกันแน่น และทำให้เอนไซม์ RNA polymerase ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่าน DNA สายคู่ที่ขดกันแน่นนี้ได้ เอนไซม์ RNA polymerase จึงหลุดออกไปจาก DNA และเป็นการสิ้นสุดกระบวนการถอดรหัส

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการถอดรหัสจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น RNA 1 โมเลกุล อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้สามารถเกิดซ้ำได้อีกหลายรอบ ดังนั้น DNA แม่แบบ 1 โมเลกุลจึงสามารถถูกใช้เป็นแม่แบบสร้าง RNA ได้หลายโมเลกุล

ตัวอย่างลำดับเบสและทิศทางของ RNA ผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก DNA แม่แบบแสดงในรูปที่ 7

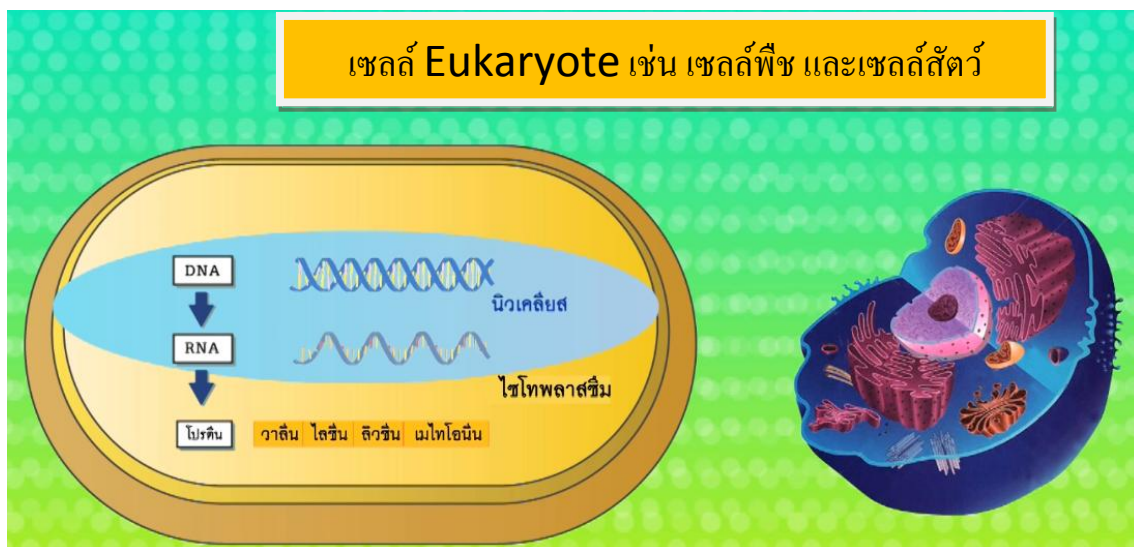


รูปที่ 7 RNA ที่ได้จากการถอดรหัสพันธุกรรม มีลำดับเบสคู่สมและมีทิศตรงข้ามกับ DNA แม่แบบเสมอ นอกจากนี้ RNA ที่ได้มีลำดับเบสเดียวกับ DNA ที่ไม่ใช่แม่แบบ (ยกเว้นเปลี่ยนจากเบส T เป็น U) และมีทิศทางเดียวกันด้วย

การถอดรหัสพันธุกรรมในโพรแคริโอตและยูแคริโอต

ในเซลล์โพรแคริโอต (prokaryote) เช่นเซลล์แบคทีเรียซึ่งไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส การถอดรหัสและการแปลรหัสจะเกิดที่ไซโทพลาซึมทั้งหมด (รูปที่ 8)

ในเซลล์ยูแคริโอต (eukaryote) เช่นเซลล์พืชและสัตว์ซึ่งมีเยื่อหุ้มนิวเคลียส การถอดรหัสจะเกิดขึ้นในนิวเคลียส (ตำแหน่งที่บรรจุ DNA) หลังจากนั้น RNA ผลิตภัณฑ์จะถูกส่งออกจากนิวเคลียสไปยังไซโทพลาซึมเพื่อเกิดการแปลรหัสเป็นโปรตีนต่อไป



รูปที่ 8 ตำแหน่งของการถอดรหัสและการแปลรหัสพันธุกรรมในเซลล์โพรแคริโอตและยูแคริโอต



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

เมื่อผู้สอน สอนเรื่อง การถอดรหัส พันธุกรรมแล้ว ให้ผู้เรียนดูสื่อประกอบการสอน โดยควรหลีกเลี่ยงการดูสื่อรวดเดียวตั้งแต่ต้นจนจบเพราะธรรมชาติของเนื้อหาเป็นชีววิทยาโมเลกุลที่มีความซับซ้อน อย่างไรก็ตามหากผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาแล้วจะมีประโยชน์ในการศึกษาชีววิทยาโมเลกุลต่อไป

ขอแนะนำให้ผู้สอนเปิดสื่อให้ผู้เรียนดูเป็นช่วง ๆ โดยกดยืด เพื่อให้ผู้สอนช่วยอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจ ผู้สอนอาจบอกข้อมูลบางส่วน หรือชี้ให้เห็นข้อมูลบางอย่างที่เป็นการบอกใบ้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้คิดเพื่อหาคำตอบเอง (ฝึกทักษะคิดแก้ปัญหาด้วยตนเอง) ซึ่งดีกว่าการบอกเฉลยให้ผู้เรียนทั้งหมด

กระบวนการต่าง ๆ ในการถอดรหัสนี้มีเหตุผลประกอบในตัวของมันเองว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น การเชื่อมโยงกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมกับเหตุผลที่สนับสนุนดังกล่าวจะทำให้การเรียนการสอนมีความเชื่อมโยง น่าสนใจ นอกจากนี้ ยังช่วยฝึกให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์อย่างมีเหตุผลอีกด้วย

ในการเรียนการสอน ผู้สอนอาจถามโจทย์ปัญหาโดยให้ผู้เรียนจับกลุ่มระดมสมองและนำโจทย์มาอภิปรายในห้องเรียน การอภิปรายต้องเปิดโอกาสให้ผู้เรียนผู้ฟังมีการเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติมหรือเสนอข้อโต้แย้ง (ถ้ามี) กับผู้อภิปรายด้วย โดยมีผู้สอนเป็นคนช่วยดำเนินการอภิปราย

โจทย์

1. **คำถาม** เหตุใดเซลล์จึงเลือกใช้โมเลกุลของโปรตีนทำหน้าที่ต่าง ๆ ภายในเซลล์ แต่เลือกใช้โมเลกุล DNA และ RNA เก็บข้อมูลพันธุกรรม

ตอบ เพราะโปรตีนมีความหลากหลายทางเคมีสูง (มีหน่วยย่อยเป็นกรดอะมิโนถึง 20 ชนิด) จึงเกิดรูปร่างได้หลากหลายและซับซ้อน ซึ่งเหมาะสมในการเป็นตัวทำงานต่าง ๆ ภายในเซลล์ที่มีอยู่อย่างมากมาย ในขณะที่ DNA และ RNA มีความหลากหลายทางเคมีต่ำ (มีหน่วยย่อยเป็นเบสเพียง 4 ชนิด) ประกอบกับมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน จึงมีความสะดวกและเรียบง่ายในการเก็บข้อมูลพันธุกรรม

2. **คำถาม** เหตุใดเซลล์จึงไม่สร้างโปรตีนจาก DNA โดยตรง ทำไมจึงต้องสร้างโปรตีนจาก RNA

ตอบ เหตุผลประการแรก โครงสร้าง DNA ไม่เหมาะสมในการสร้างโปรตีนเพราะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ และเป็นสายคู่ที่ขดกันแน่น แต่ RNA มีรูปร่างทางกายภาพที่เอื้อต่อการสร้างโปรตีนคือ มีโมเลกุลขนาดเล็ก เป็นสายเดี่ยวที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน นอกจากนี้ RNA ยังเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่เซลล์เกิดการสร้างโปรตีนได้สะดวก



เหตุผลประการที่สองคือ DNA มีจำนวนไม่กี่ชุดในเซลล์ หากใช้สร้างโปรตีน ก็จะได้โปรตีนปริมาณไม่มาก ในขณะที่ RNA มีจำนวนหลายชุดในเซลล์ เมื่อถูกนำไปสร้างโปรตีนแล้วก็จะได้โปรตีนปริมาณมาก

3. คำถาม RNA เหมือนหรือแตกต่างจาก DNA อย่างไร

ตอบ สิ่งที่ DNA และ RNA เหมือนกัน คือ ทั้งสองชนิดเป็นชีวโมเลกุลในกลุ่มกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) เหมือนกัน ซึ่งกรดนิวคลีอิกนี้ประกอบไปด้วยโครงสร้างพื้นฐานสามชนิดคือ ไนโตรจีนัสเบส น้ำตาล และ หมู่ฟอสเฟต นอกจากนี้ DNA และ RNA มีเบสสามชนิดเหมือนกัน คือ adenine (A), cytosine (C) และ guanine (G)

สิ่งที่ DNA และ RNA ต่างกัน สรุปได้ดังตารางด้านล่าง

คุณสมบัติที่ต่างกัน	DNA	RNA
รูปร่างของโมเลกุล	ส่วนมากเป็นสายคู่ มีความยาวมาก	ส่วนมากเป็นสายเดี่ยว มีความยาวไม่มาก
ชนิดของน้ำตาลในโมเลกุล	ดีออกซีไรโบส	ไรโบส
ชนิดของเบสในโมเลกุลที่ต่างกัน	thymine (T)	uracil (U)

4. คำถาม กระบวนการถอดรหัสพันธุกรรมใช้เอนไซม์และสารตั้งต้น (substrate) ชนิดใด

ตอบ ใช้เอนไซม์ RNA polymerase ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีนหลายชนิดใช้สารตั้งต้นคือ ribonucleotide

5. คำถาม RNA ที่ได้มีลำดับเบสและทิศทาง เหมือนหรือแตกต่างจาก DNA แม่แบบ

ตอบ RNA ที่ได้มีลำดับเบสคู่สมและมีทิศตรงข้ามกับ DNA สายเดี่ยวที่ใช้เป็นแม่แบบเสมอ



โจทย์ตัวอย่างลำดับเบสและทิศทางของ RNA ที่ได้จากการแปลรหัส

DNA ไม่ใช้แม่แบบ

5' - AAATTTCCCGGATCGGCTA-3'

DNA แม่แบบ

3' - TTTAAAGGGCCCTAGCCGAT-5'

RNA 5' - AAUUUCCCGGGAUCGGCUA-3'

6. คำถาม DNA แม่แบบหนึ่งชุดสร้าง RNA ได้กี่ชุด

ตอบ สร้างได้หลายชุด ตั้งแต่หลักสิบชุดขึ้นไปถึงหลักพันหรือหลักล้านชุด

7. คำถาม ในเซลล์มนุษย์การถอดรหัสพันธุกรรมเกิดในตำแหน่งใดของเซลล์

ตอบ เซลล์มนุษย์เป็นเซลล์ยูแคริโอตการถอดรหัสจึงเกิดในนิวเคลียส หลังจากนั้น RNA ที่ได้จะถูกส่งออกนอกนิวเคลียสไปยังไซโทพลาซึมเพื่อถอดรหัสสร้างเป็นโปรตีนต่อไป



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

central dogma of molecular biology (แกนกลางของชีววิทยาโมเลกุล)	การส่งต่อข้อมูลพันธุกรรมจาก DNA $\rightarrow$ RNA $\rightarrow$ โปรตีน
complementary base (เบสคู่สม)	เบสสองชนิดที่เข้าคู่กันได้ทางเคมี โดยสามารถเกิดแรงดึงดูดแบบอ่อนต่อกันและกันจึงเข้าจับกันได้
nitrogenous base (ไนโตรจีนัสเบส)	ชีวโมเลกุลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ และมีสมบัติเป็นเบส ตัวอย่างของชีวโมเลกุลกลุ่มนี้คือ adenine (A), cytosine (C), guanine (G), thymine (T) และ uracil (U)
nucleic acid (กรดนิวคลีอิก)	กลุ่มของชีวโมเลกุลที่ประกอบไปด้วย โมเลกุลพื้นฐานสามชนิด คือ ไนโตรจีนัสเบส น้ำตาล และ หมู่ฟอสเฟต ตัวอย่างชีวโมเลกุลกลุ่มนี้คือ DNA และ RNA
phosphodiester bond (พันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์)	พันธะเคมีที่เชื่อมหน่วยย่อยของกรดนิวคลีอิกเข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่นเชื่อมหน่วยย่อย ribonucleotide แต่ละหน่วยเข้าด้วยกันจนได้เป็นสายยาวของ RNA
ribonucleotide (ไรโบนิวคลีโอไทด์)	ชีวโมเลกุลที่เป็นหน่วยย่อยในการใช้เป็นสารตั้งต้น (substrate) ในการสร้าง RNA
RNA polymerase (อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส)	เอนไซม์ขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีนหลายชนิด ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาการสร้างสาย RNA โดยใช้ DNA สายเดียวเพียงสายเดียวเป็นแม่แบบ
transcription of genetic code (การถอดรหัสพันธุกรรม)	การถอดรหัสพันธุกรรมจากโมเลกุล DNA เพื่อไปสร้างเป็นโมเลกุล RNA



translation of
genetic code
(การแปลรหัสพันธุกรรม)

การแปลรหัสพันธุกรรมจากโมเลกุล RNA ไปเป็นลำดับกรดอะมิโนบนโมเลกุลของโปรตีน

ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. สุกัญญา สุนทรส และ วิเชียร ริมพณิชยกิจ. 2553. ชีวโมเลกุล. พิมพ์ครั้งที่ 3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ
2. Nelson, D.L. & Cox M.M. 2008. Lehninger Principles of Biochemistry: DNA & RNA Metabolism. 5th edition. W. H. Freeman and Company, New York.
3. Reece. J.B.; Urry, L.A.; Cain, M.L.; Wasserman, S.A.; Minorsky, P.V. and Jackson, R.B. 2011. Campbell Biology 9th edition (Global Edition). Pearson Education, Inc., San Francisco.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง 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.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	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 พิณสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล



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 ตั้งประพฤทธิกุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
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 คิตอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
39	ปากใบและการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
40	การลำเลียงน้ำของพืช	รศ.ดร.ปรีดา บุญหลง
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 บุญหลง



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
47	โครงสร้างของดอก (Structure of Flower)	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลำนันท์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลำนันท์
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 เกษตรนันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรนันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ
61	การถอดรหัสพันธุกรรม (Transcription of genetic code)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัสพันธุกรรม (Translation of genetic code)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนียิจิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนียิจิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
71	อาณาจักรมอเนอรา	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	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.วิเชษฐ کنzio
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ کنzio
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ کنzio
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ کنzio
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