



คำชี้แจง

คู่มือการใช้สื่อการสอนวิชาชีววิทยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการใช้ประกอบการสอนวิชาชีววิทยา คู่มือนี้ได้รับจุดประสงค์ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาในสื่อและแนวทางการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ครูเข้าใจเนื้อหาของเรื่องที่สอน สามารถใช้สื่อประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเตรียมตัวและเตรียมแผนการสอนให้เหมาะสมกับนักเรียนในชั้น คู่มือนี้ยังมีส่วนของภาคผนวกที่ประกอบด้วยคำอธิบายศัพท์ และแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะช่วยให้ครูสามารถสอนวิชาชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปิดโลกทัศน์ในการเรียนรู้มากขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงชัย หาญยุทธานกร ผู้จัดทำคู่มือ
อาจารย์ ดร. จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์

ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	13
ภาคผนวก	18
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน	20



เรื่อง โปรตีน

โปรตีน เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอน เรื่อง เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีสื่อ
ที่ได้จัดทำทั้งหมด 13 ตอน คือ

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

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายโครงสร้างพื้นฐานของโปรตีน ที่เกิดขึ้นจากกรดอะมิโนและพันธะเพปไทด์ พร้อมทั้งอธิบายสมบัติบางประการของโปรตีน และหน้าที่ของโปรตีนในสิ่งมีชีวิต

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของกรดอะมิโน
2. อธิบายการเกิดพันธะเพปไทด์ระหว่างกรดอะมิโน
3. อธิบายความสำคัญของกรดอะมิโนที่มีต่อรูปร่างของโปรตีน
4. ยกตัวอย่างสมบัติบางประการของโปรตีน
5. ยกตัวอย่างหน้าที่ของโปรตีนในสิ่งมีชีวิต

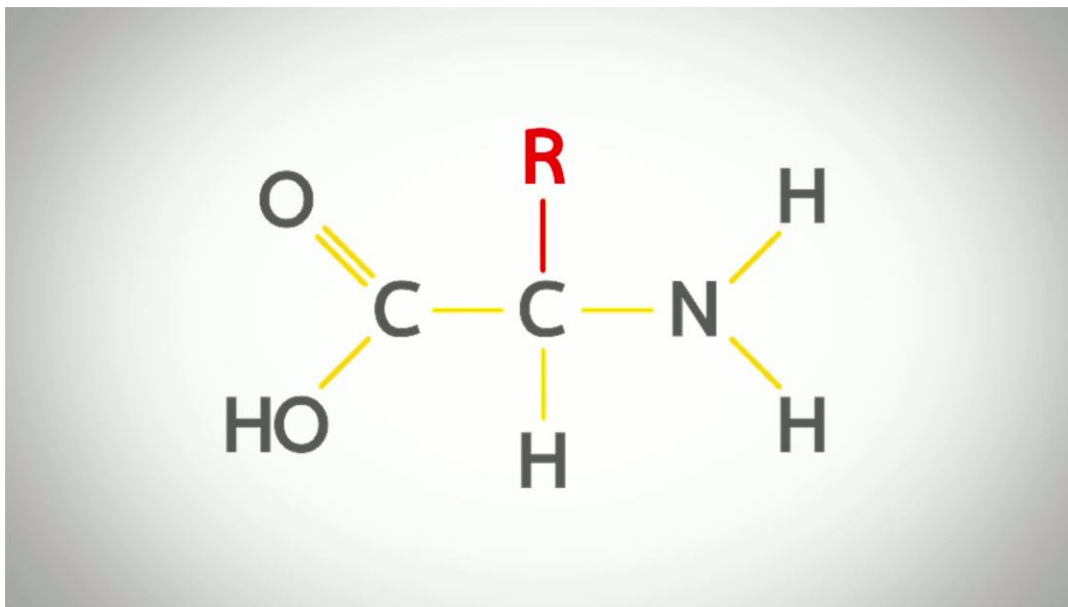


สาระ

กรดอะมิโน : องค์ประกอบของโปรตีน

ร่างกายของสิ่งมีชีวิตประกอบขึ้นจากกลุ่มของสารอินทรีย์หลักเพียง 4 ชนิด นั่นก็คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และกรดนิวคลีอิก โดยมีโปรตีนเป็นสารที่มีสัดส่วนมากที่สุด โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ประเภทพอลิเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีหน่วยย่อยลักษณะคล้ายกันเรียกว่า กรดอะมิโน มาต่อเป็นสายยาว

โครงสร้างพื้นฐานของกรดอะมิโนที่พบทั่วไป ประกอบด้วย อะตอมของคาร์บอนตรงกลาง ที่ต่อเข้ากับอะตอมหรือหมู่เคมี โดยใช้พันธะโควาเลนต์ 4 พันธะ โดยพันธะโควาเลนต์อื่นหนึ่งต่ออยู่กับหมู่คาร์บอกซิล ขณะที่พันธะโควาเลนต์อีกอันหนึ่งต่อกับหมู่อะมิโน และพันธะโควาเลนต์ถัดไปจะต่อกับอะตอมของไฮโดรเจน ส่วนพันธะโควาเลนต์สุดท้าย จะต่อเข้ากับหมู่เคมีที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของกรดอะมิโน เรียกว่า ไซด์เชน (side chain) หรือ อาร์กรุป (R-group) (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของกรดอะมิโน ส่วนสีแดง คือ ไซด์เชน หรือ อาร์กรุป



กรดอะมิโนที่พบทั่วไปในธรรมชาติมีอยู่ 20 ชนิด แต่ละชนิดมี อาร์กิวที่แตกต่างกันไป
กลุ่มแรก เป็นกรดอะมิโนที่มีอาร์กิวเป็นหมู่เคมีแบบไม่มีขั้ว ได้แก่ ไกลซีน อะลานีน วาลีน
ลูซีน ไอโซลิวซีน เมไทโอนีน ฟีนิลอะลานีน ทริปโทฟาน และ โพรลีน

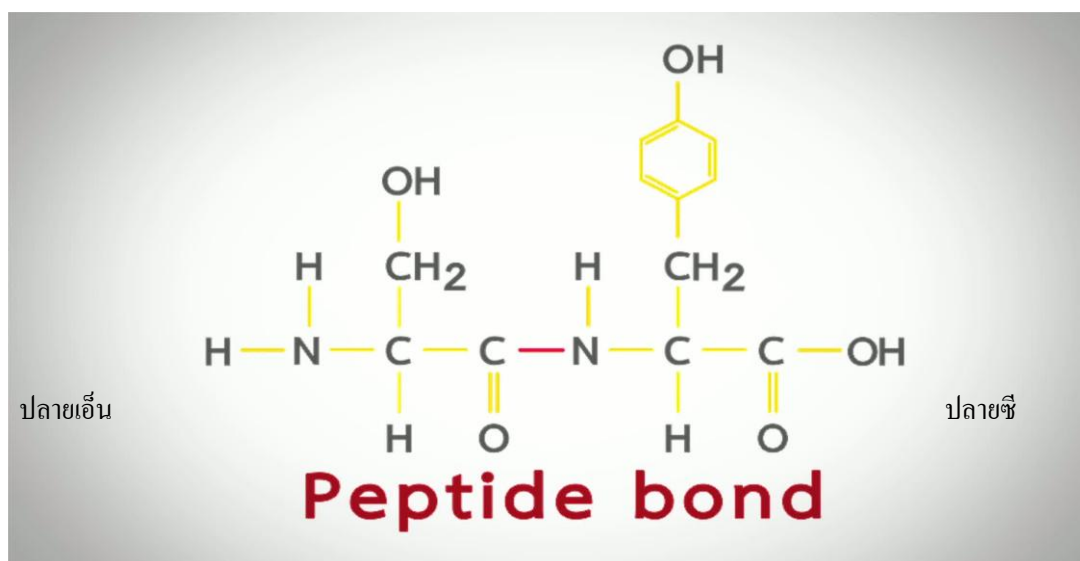
กลุ่มที่สอง เป็นกรดอะมิโนที่มีอาร์กิวเป็นหมู่เคมีแบบมีขั้ว ได้แก่ ซีรีน ทรีโอนีน ฮิสติดีน
ไทโรซีน แอสปาราจีน และ กลูตามีน

กลุ่มที่สาม เป็นกรดอะมิโนซึ่งมีอาร์กิว ที่สามารถแตกตัวได้ในสิ่งมีชีวิต โดยอาร์กิวที่
แตกตัวให้ประจุลบ ได้แก่ แอสปาดิกแอซิด และ กลูตามิกแอซิด ส่วนกรดอะมิโนซึ่งอาร์ กิวที่แตกตัวให้
ประจุบวก ได้แก่ ไลซีน อาร์จินีน และ ฮิสติดีน

การเขียนชื่อของกรดอะมิโน เราสามารถเขียนได้ 3 วิธี วิธีแรก คือเขียนชื่อเต็ม อย่างเช่น
ไกลซีน (Glycine) วิธีที่สอง ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษสามตัวแรกของชื่อกรดอะมิโน โดยเขียนตัวอักษร
ตัวแรกด้วยอักษรตัวใหญ่ อย่างเช่น จี-แอล-วาลีน หมายถึง กรดอะมิโนไกลซีน (Glycine → Gly) และ
วิธีที่สาม จะใช้ตัวอักษรเพียงตัวเดียวแทนชื่อกรดอะมิโน โดยใช้อักษรตัวใหญ่ อย่างเช่น อักษร จี แทน
ไกลซีน (Glycine → Gly → G) โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เราเรียกว่า โปรตีนประกอบกันขึ้นจาก
กรดอะมิโนเหล่านี้

การเชื่อมต่อของกรดอะมิโน

กรดอะมิโน 2 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากัน ทำให้เกิดการเชื่อมกรดอะมิโน 2 โมเลกุลเข้า
ด้วยกัน การเชื่อมต่อจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวหนึ่ง กับหมู่อะมิโน
ของกรดอะมิโนอีกตัวหนึ่ง จนทำให้เกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนทั้ง 2 โมเลกุล ที่
เรียกว่า พันธะเพปไทด์ ซึ่งโมเลกุลที่เกิดจากกรดอะมิโน 2 โมเลกุลมาเชื่อมต่อ จะมีปลายทั้ง 2 ด้านไม่
เหมือนกัน เราเรียกปลายด้านที่มีหมู่อะมิโนว่า ปลายอะมิโน หรือ ปลายเอ็น ส่วนปลายที่มีหมู่คาร์บอก
ซิลนั้น เรียกว่า ปลายคาร์บอกซิล หรือ ปลายซี และเรียกสายที่เกิดขึ้นนี้ว่า เพปไทด์ (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 สายเพปไทด์ที่เกิดจากกรดอะมิโน 2 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (ขีดสีแดง)
ทำให้เกิดปลายอะมิโน หรือปลายเอ็น และปลายคาร์บอกซิล หรือ ปลายซี



ในสิ่งมีชีวิต สายเพปไทด์อาจจะยาวขึ้นได้ หากมีการดะมิโนตัวถัดไปใช้หมู่อะมิโนทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลที่ปลายซี้ของสายเพปไทด์ เมื่อกรดอะมิโนมาเชื่อมต่อกันจนเป็นสายยาวมาก เราจะเรียกสายของกรดอะมิโนที่ต่อกันเป็นสายยาวนี้ว่า (ดังภาพที่ 3) สายพอลิเพปไทด์ พอลิเพปไทด์แต่ละชนิดจะมีลำดับ และจำนวนของกรดอะมิโนที่แตกต่างกัน เพราะพอลิเพปไทด์บางชนิดประกอบขึ้นจากกรดอะมิโนเพียงไม่กี่ร้อยโมเลกุล ในขณะที่บางชนิด อาจประกอบขึ้นจากกรดอะมิโนนับพันโมเลกุล (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 พอลิเพปไทด์อาจประกอบขึ้นจากกรดอะมิโนหลายร้อยหรือหลายพันโมเลกุล



ภาพที่ 4 พอลิเพปไทด์แต่ละชนิดมีทั้งลำดับและจำนวนกรดอะมิโนไม่เหมือนกัน
จากรูปแสดงพอลิเพปไทด์ 4 ชนิดที่แตกต่างกันทั้งความยาวและจำนวนของกรดอะมิโน

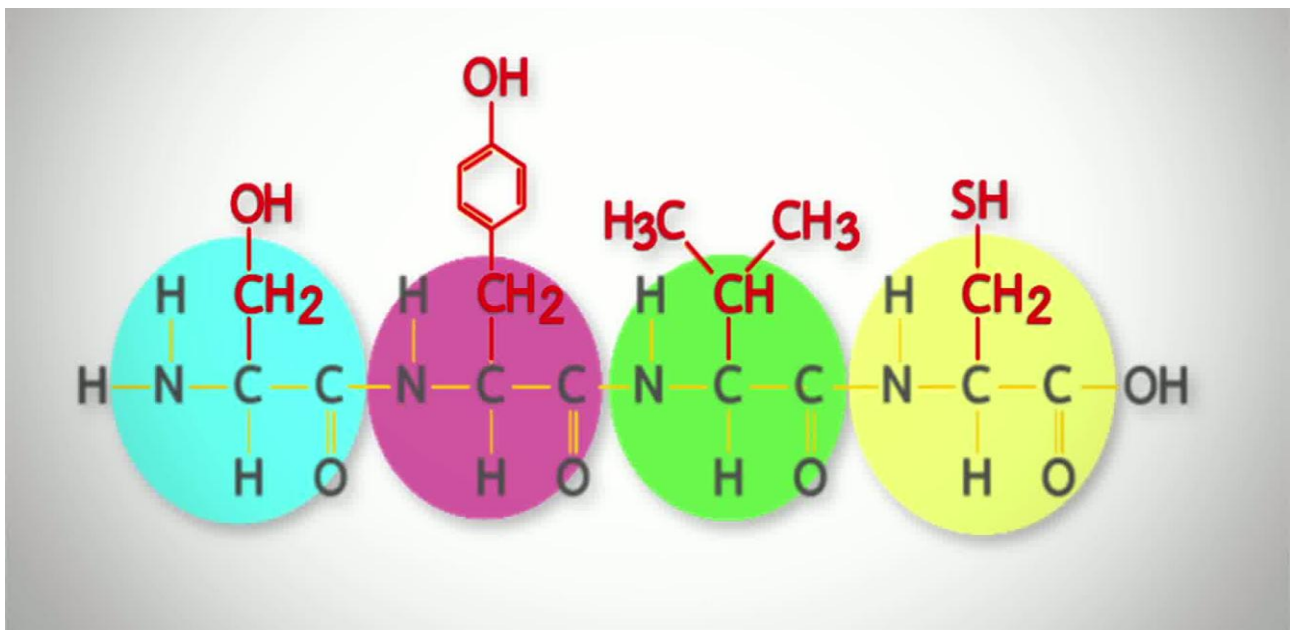


พอลิเพปไทด์เพียงสายเดียว อาจทำหน้าที่เป็นโปรตีนได้ ในขณะที่โปรตีนบางชนิดอาจจะต้องประกอบขึ้นจากพอลิเพปไทด์หลายสาย จึงจะสามารถทำงานได้ แต่โปรตีนในสิ่งมีชีวิตไม่ได้อยู่ในรูปเส้นยาวๆจากการต่อกันของกรดอะมิโนเพราะการทำงานของโปรตีน ยังต้องอาศัยรูปทรงของโมเลกุลที่เกิดจากการม้วนพับของสายพอลิเพปไทด์ด้วย

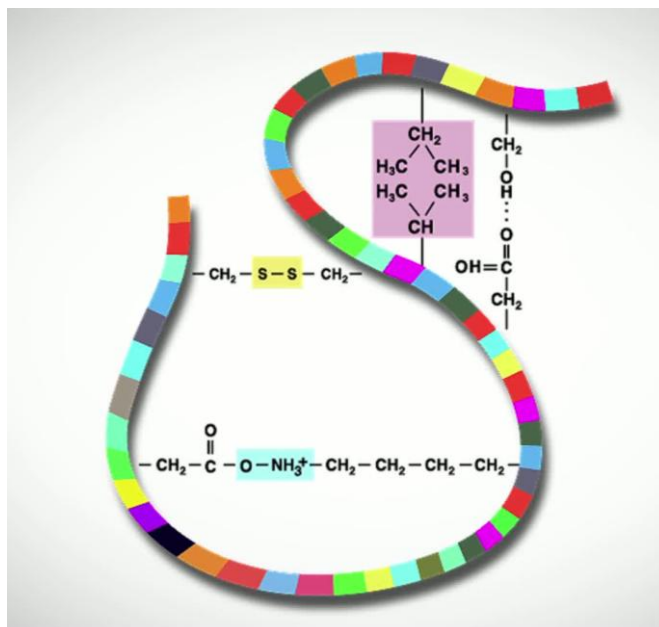
รูปทรงของโปรตีน

โปรตีนแต่ละชนิดมีโครงสร้าง 3 มิติที่จำเพาะ ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานในสิ่งมีชีวิต เรามาลองดูว่ารูปทรงของโปรตีนเกิดขึ้นได้อย่างไร

หากพิจารณาจากสายเพปไทด์ในรูปด้านล่างจะเห็นว่า อาร์กิวของกรดอะมิโนในสายเพปไทด์ไม่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อสายเพปไทด์ อาร์กิวเหล่านี้จึงเรียงตัวไปตลอดความยาวของสายเพปไทด์ (ดังภาพที่ 5) ดังนั้น อาร์กิวที่อยู่บนสายเพปไทด์เดียวกัน จึงอาจทำปฏิกิริยากันเอง จนเกิดแรงยึดเหนี่ยวดึงสายเพปไทด์บางส่วนไว้ใกล้กัน ทำให้เกิดการม้วนตัวหรือพับตัวของสายเพปไทด์ (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 อาร์กิวของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะเพปไทด์
จึงเรียงตัวไปตลอดความยาวของสายพอลิเพปไทด์



ภาพที่ 6 อาร์กรุปของสายพอลิเพปไทด์อาจทำปฏิกิริยากัน ทำให้ดึงสายพอลิเพปไทด์บางส่วนเข้าหากัน ทำให้เกิดเป็นรูปทรงของโปรตีน

สายพอลิเพปไทด์ที่มีกรดอะมิโนต่อกันเป็นจำนวนมาก ยังมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาของอาร์กรุปได้มากขึ้น สายพอลิเพปไทด์จึงมักเกิดการม้วนพับจนรูปทรงมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งจากรูปตัวอย่าง เป็นการแสดงภาพกรดอะมิโนที่ชื่อ ซิสตีอีน บางตัว ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์เชื่อมติดกัน จนทำให้รูปทรงของโปรตีนมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (ดังภาพที่ 7)

แต่เนื่องจากลำดับของกรดอะมิโนบนสายพอลิเพปไทด์แต่ละช่วงนั้นแตกต่างกัน สายพอลิเพปไทด์แต่ละช่วงจึงเกิดการม้วนพับไม่เหมือนกัน ซึ่งจากรูปตัวอย่างด้านล่าง สายพอลิเพปไทด์บางช่วงอาจม้วนเกลียวคล้ายบันไดเวียน หรือบางช่วงอาจสร้างพันธะไปตามความยาวของสายพอลิเพปไทด์กับช่วงอื่นที่เรียงตัวขนานกัน ดังนั้น พอลิเพปไทด์สายหนึ่งจึงอาจมีโครงสร้างแต่ละช่วงแตกต่างกัน

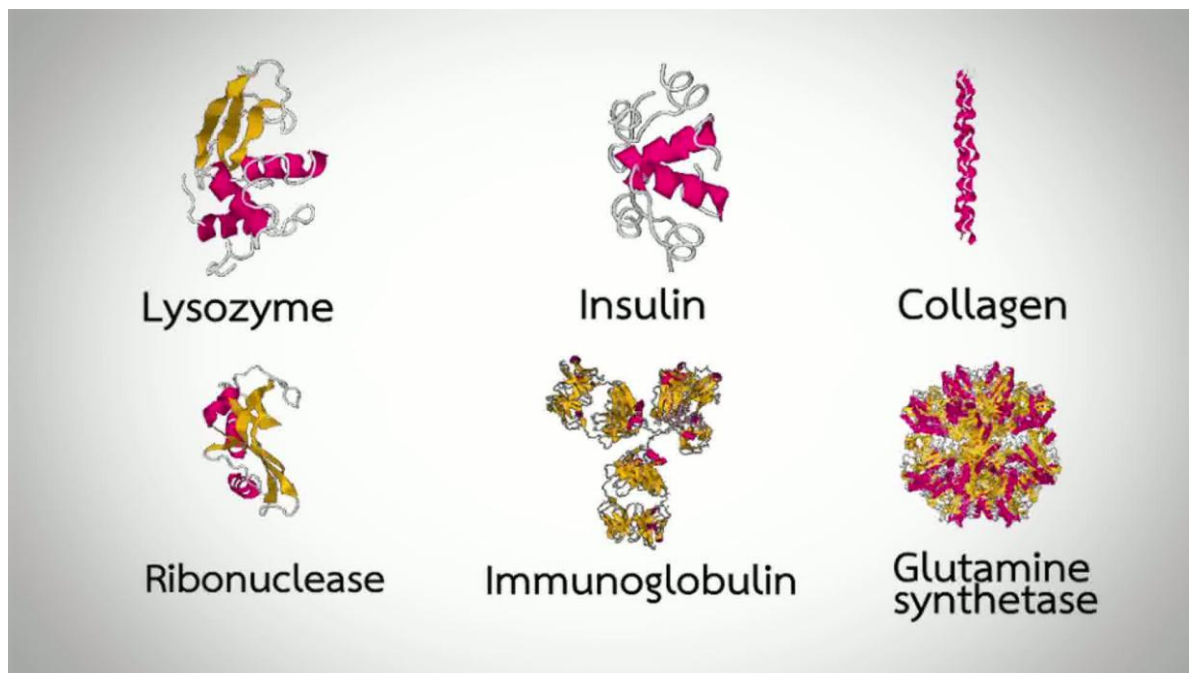


ภาพที่ 7 บางส่วนของสายพอลิเพปไทด์โมเลกุลเดียวกัน อาจเกิดเป็นรูปร่างคล้ายบันไดเวียน (helix) หรือ เรียงตัวขนานกัน และอาจมีโครงสร้างลักษณะนี้เกิดขึ้นได้หลายตำแหน่งในโมเลกุลเดียวกัน



นอกจากนี้ โปรตีนบางชนิดอาจประกอบด้วยพอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งสาย โครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนจึงเกิดขึ้นจากการรวมกันของพอลิเพปไทด์เหล่านั้น เช่น โปรตีนคอลลาเจนที่ประกอบไปด้วยพอลิเพปไทด์ 3 สาย และ โปรตีนฮีโมโกลบินที่ประกอบไปด้วยพอลิเพปไทด์ 4 สาย (ดังภาพที่ 8)

ดังนั้น โครงสร้าง 3 มิติของโปรตีน จึงขึ้นอยู่กับความยาวและชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของพอลิเพปไทด์ ปฏิกิริยาระหว่างอาร์กิวของกรดอะมิโนและจำนวนสายพอลิเพปไทด์ โครงสร้าง 3 มิติอย่างหยาบของโปรตีนหลายชนิดในรูปด้านล่าง แสดงให้เห็นว่า โปรตีนมีโครงสร้าง 3 มิติที่หลากหลาย และโครงสร้าง 3 มิติเหล่านี้เองที่ทำให้โปรตีนสามารถทำงานได้ แต่ถ้าหากโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนเปลี่ยนไป ก็จะมีผลให้โปรตีนทำงานได้ไม่ดีหรืออาจทำงานไม่ได้เลย



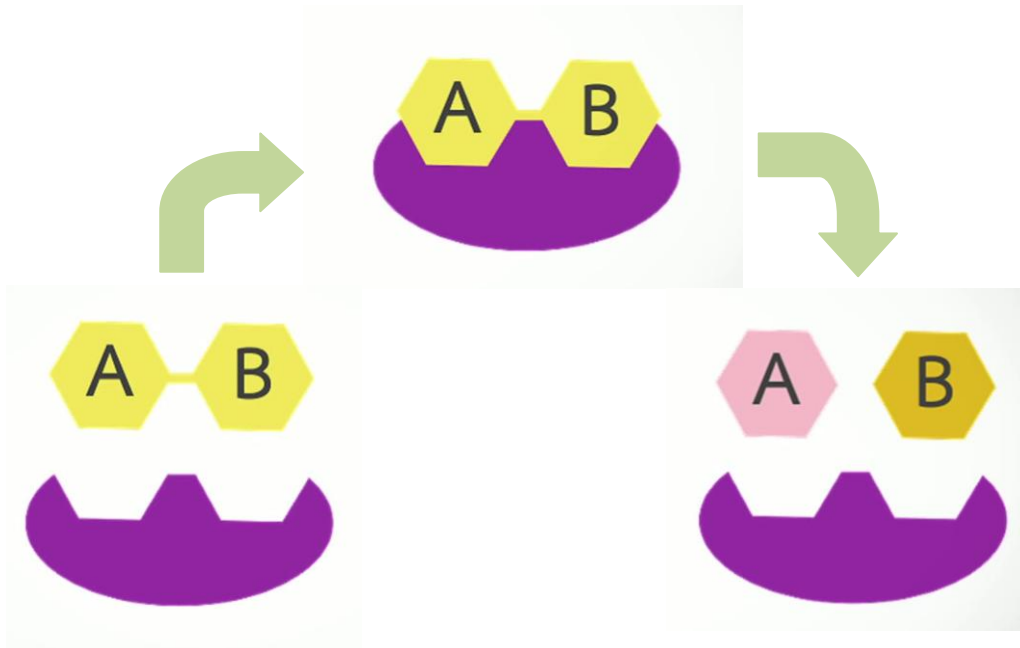
ภาพที่ 8 โมเลกุลของโปรตีนอาจมีรูปร่างได้หลากหลายแบบขึ้นอยู่กับ ความยาวและชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของพอลิเพปไทด์ ปฏิกิริยาระหว่างอาร์กิวของกรดอะมิโนและจำนวนสายพอลิเพปไทด์



หน้าที่ของโปรตีนในสิ่งมีชีวิต

โปรตีนมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องอาศัยโปรตีนจำนวนมากในการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย เช่น โปรตีนแอคติน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างสำคัญในกล้ามเนื้อ โปรตีนฮีโมโกลบิน ทำหน้าที่ในการนำออกซิเจนในระบบไหลเวียนของสัตว์ (ดังภาพที่ 9)

นอกจากนี้ ยังมีโปรตีนอีกเป็นจำนวนมาก ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี หรือ เอนไซม์ ในสิ่งมีชีวิต ทั้งปฏิกิริยาการสลายสารอาหารเพื่อสร้างพลังงาน และปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารต่างๆ ซึ่งหากปฏิกิริยาใดปฏิกิริยาหนึ่งเกิดความผิดปกติ ก็อาจทำให้สิ่งมีชีวิตถึงแก่ความตายได้



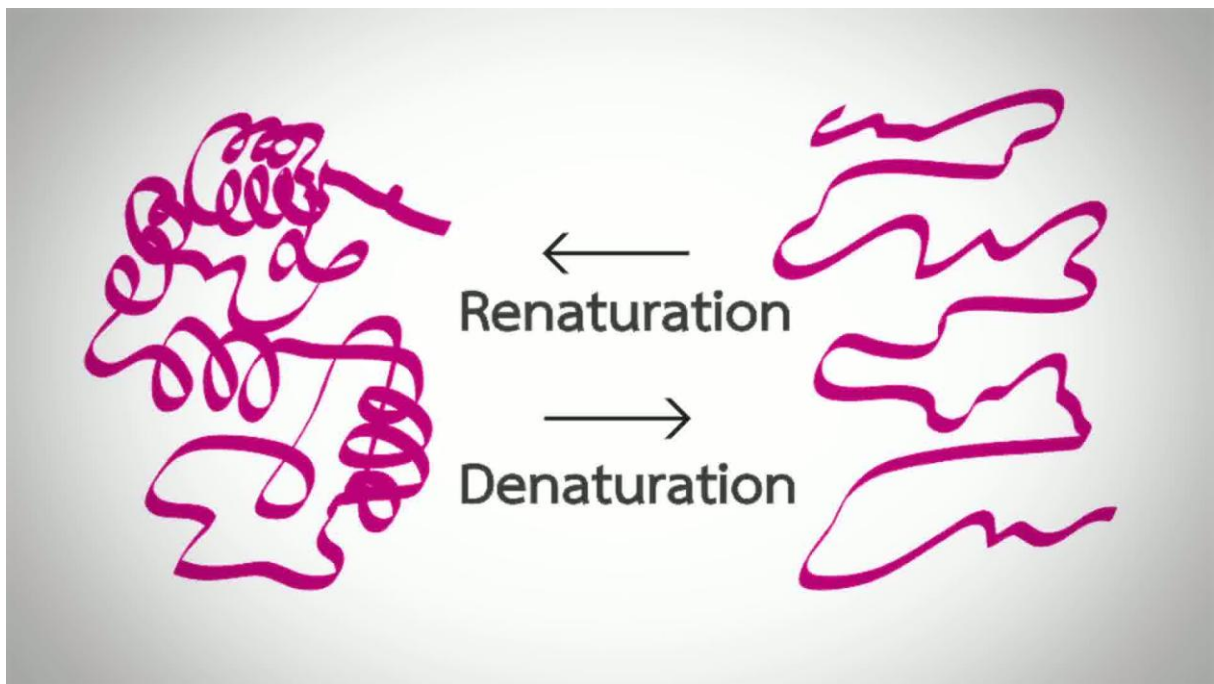
ภาพที่ 9 โปรตีนบางชนิดทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต เช่น เอนไซม์ (สีม่วง)
เร่งปฏิกิริยาการสลายสาร A-B ให้แตกออกเป็นสาร A และ B



การเสียสภาพของโปรตีน

โครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนอาจถูกทำลายได้ ด้วยความร้อน หรือสารเคมีบางชนิด ซึ่งอาจมีผลให้การทำงานของโปรตีนช้าลงหรือทำงานไม่ได้เลย เราเรียกการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสามมิตินี้ว่า การเสียสภาพของโปรตีน (denaturation)

โปรตีนบางชนิดเมื่อเสียสภาพแล้วจะไม่สามารถกลับคืนสู่โครงสร้าง 3 มิติเดิมได้อีกเลย ขณะที่โปรตีนบางชนิดสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมทั้งยังสามารถทำหน้าที่ได้เหมือนเดิม เราเรียกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนแบบนี้ว่า การกลับสู่สภาพเดิม (renaturation) (ดังภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 โปรตีนบางชนิดอาจเกิดการเสียสภาพ (denaturation) ทำให้รูปทรงของโปรตีนเสียไป แต่กรดอะมิโนยังต่อกันอยู่เป็นสายพอลิเพปไทด์ และเกิดการกลับสู่สภาพเดิม (renaturation) ได้

จากที่กล่าวมา จะเห็นว่าโปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว และมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ทั้งในเรื่องโครงสร้าง และโมเลกุลที่ทำงานภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตาม ยังมีโปรตีนอีกเป็นจำนวนมากที่ยังไม่ถูกศึกษา หรือ ค้นพบ ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับโปรตีนต่างๆ จึงอาจให้ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกมากมายในอนาคต



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง “โปรตีน” เป็นสื่อที่เน้นให้เห็นโครงสร้างและรูปร่างของโปรตีนที่เกิดขึ้นจากหน่วยย่อย คือ กรดอะมิโน มาต่อกันเข้าด้วยโดยอาศัยพันธะเพปไทด์เป็นพันธะเชื่อมระหว่างกรดอะมิโนเหล่านั้น

การใช้วีดิโอสื่อตอนนี้อาจทำได้หลายวิธี เช่น

1. ทำการสอนวิชาชีววิทยาหัวข้อ “โปรตีน” ตามเนื้อหารายวิชาที่กำหนด หลังจากนั้นจึงเปิดวีดิโอตอนนี้ให้ชม แล้ว
 - สุ่มนักเรียนให้อธิบายคำศัพท์หรือหัวข้อในวีดิโอตามหัวข้อที่ผู้สอนกำหนด
 - แบ่งกลุ่มอภิปรายแล้วส่งตัวแทนมานำเสนอหน้าชั้นเรียนตามหัวข้อที่ผู้สอนกำหนด
2. ทำการสอนวิชาชีววิทยาหัวข้อ “โปรตีน” เมื่อทำการสอนตามเนื้อหารายวิชาที่กำหนดแล้ว แบ่งกลุ่มมอบหมายให้ดูวีดิโอนอกเวลา
 - อภิปรายในชั้นเรียนเป็นกลุ่มตามหัวข้อที่ผู้สอนกำหนด
 - ทำรายงานตามหัวข้อที่กำหนด
 - หาตัวอย่างของโปรตีนมาแสดงให้ดูในชั้นเรียน

การแบ่งกลุ่มนักเรียนสามารถทำได้หลายวิธีนอกเหนือไปจากการจับฉลาก ซึ่งอาจใช้เวลาในการแบ่งกลุ่มพอสมควร การแบ่งกลุ่มอาจทำได้โดย

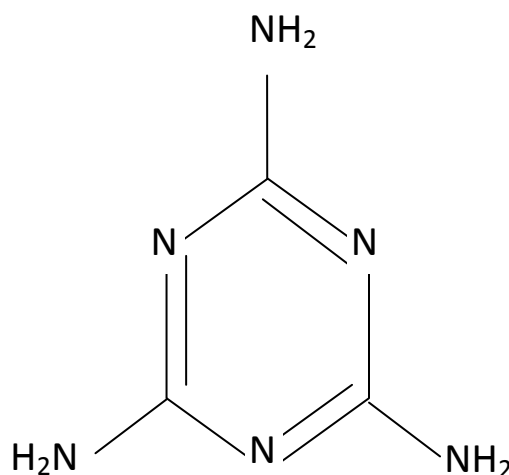
- ตามแถวที่นั่ง
- กลุ่ม 8-10 คนที่นั่งติดกัน
- ตามรายชื่อ
- คละให้ในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มมีนักเรียนที่มีระดับคะแนนแตกต่างกัน



หัวข้อที่อาจใช้เป็นแนวทางคำถามและคำตอบในการดำเนินการอภิปราย

1. จากโครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโน สารเคมีที่มีหมู่อะมิโนจัดว่าเป็นกรดอะมิโนหรือไม่

ตอบ สารเคมีที่มีหมู่อะมิโนอื่นๆที่มีโครงสร้างหลักแตกต่างไปจากกรดอะมิโนไม่จัดว่าเป็นกรดอะมิโน เช่น เมลามีน (melamine) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีหมู่อะมิโนอยู่ในโมเลกุล ไม่จัดว่าเป็นกรดอะมิโนเพราะมีโครงสร้างต่างจากกรดอะมิโนโดยสิ้นเชิง (ภาพที่ 1) แต่เนื่องจากเมลามีนมีหมู่อะมิโนอยู่ในโมเลกุลหลายหมู่ และมีราคาถูก จึงถูกนำไปใช้ปนในอาหาร เพื่อแสดงให้เห็นว่า อาหารมีปริมาณไนโตรเจนสูง (โดยปกติการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในอาหารมักตรวจดูจากปริมาณไนโตรเจน) ซึ่งหากรับประทานเมลามีนเป็นจำนวนมากหรือเป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดความผิดปกติต่อร่างกายได้ อย่างไรก็ตาม กรดอะมิโนบางตัวโดยเฉพาะกรดอะมิโนที่อยู่ในสายเพปไทด์อาจเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้มีหมู่เคมีบางชนิดเพิ่มขึ้น แต่ยังมีโครงสร้างหลักเหมือนเดิม



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเมลามีน

2. ในโปรตีนสายหนึ่งจะต้อง

-มีกรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิด อยู่ในสายของโปรตีนหรือไม่

-สัดส่วนของกรดอะมิโนแต่ละชนิดจะเป็นอย่างไร เท่ากันหรือไม่

ตอบ โปรตีนสายหนึ่งไม่จำเป็นต้องมีกรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิดเป็นองค์ประกอบ และสัดส่วนของกรดอะมิโนในสายของโปรตีนสายหนึ่งไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ในโปรตีนสายหนึ่งกรดอะมิโนบางตัวอาจมีจำนวนมากกว่ากรดอะมิโนตัวอื่นๆ



3. ในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน โปรตีนชนิดเดียวกัน มีจำนวนและลำดับของกรดอะมิโนเหมือนกันหรือไม่
ตอบ โดยทั่วไปแล้ว ในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน โปรตีนชนิดเดียวกันจะมีจำนวนและลำดับของกรดอะมิโนเหมือนกัน

4. ในสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกัน (เช่น แบคทีเรีย และ มนุษย์) โปรตีนที่ทำหน้าที่เดียวกัน มีจำนวนและลำดับของกรดอะมิโนเหมือนกันหรือไม่

ตอบ ในสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกัน โปรตีนที่ทำหน้าที่เดียวกัน มักจะมีจำนวนและลำดับของกรดอะมิโนแตกต่างกัน นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า สิ่งมีชีวิตที่มีบรรพบุรุษใกล้เคียงกัน จะมีจำนวนและลำดับของกรดอะมิโนใกล้เคียงกันมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่มีบรรพบุรุษห่างกัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

5. พันธะเพปไทด์สามารถถูกทำลายได้หรือไม่

ตอบ พันธะเพปไทด์สามารถถูกทำลายได้เช่นเดียวกับพันธะโควาเลนต์อื่นๆ เนื่องจากพันธะเพปไทด์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโน และ หมู่คาร์บอกซิล โดยมีการปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมาหลังปฏิกิริยา ดังนั้นการทำลายพันธะเพปไทด์จะเกิดขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือ การเติมโมเลกุลของน้ำเข้าไปในปฏิกิริยาการสลายพันธะเพปไทด์ ในสิ่งมีชีวิตการย่อยสลายโมเลกุลของโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโนจะอาศัยปฏิกิริยาการสลายพันธะเพปไทด์ด้วยการเติมโมเลกุลของน้ำ หรือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis reaction) และมีกลุ่มของเอนไซม์โปรตีเอส (protease) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การต้มหรือการตุ๋นเป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการเร่งปฏิกิริยาการทำปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและน้ำด้วยความร้อนทำให้สายของโปรตีนขาดออก

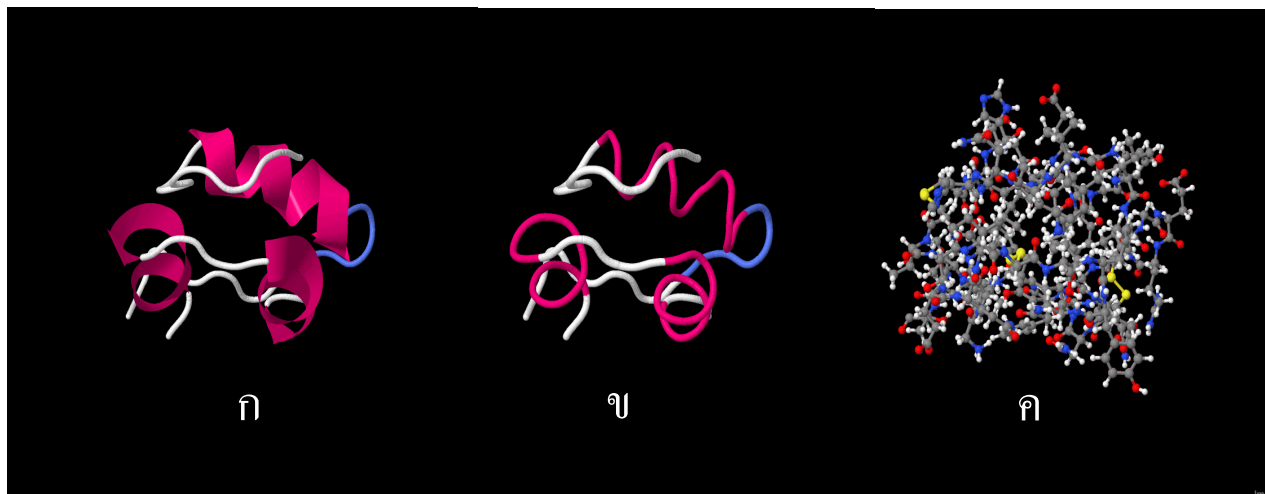
6. ลำดับของกรดอะมิโนในสายโปรตีนเป็นตัวกำหนดรูปร่างของโปรตีนได้อย่างไร

ตอบ รูปร่างของโปรตีนเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง อาร์กิวป์ ของกรดอะมิโนในโปรตีนสายเดียวกัน หรือ คนละสาย เกิดเป็นพันธะหรือแรงที่ทำให้บางส่วนของสายโปรตีนยึดไว้ด้วยกัน พันธะหรือแรงที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการม้วนพับของสายโปรตีน เช่น พันธะโควาเลนต์ระหว่างกรดอะมิโนซีสทีน พันธะไอออนิก ปฏิสัมพันธ์ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) และพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นหากโปรตีนมีลำดับกรดอะมิโนเปลี่ยนไปเพียงตัวเดียวหากมีผลทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไปด้วยเนื่องจากไม่มีอาร์กิวป์มาสร้างพันธะให้สายโปรตีนมายึดติดกันได้



7. เราสามารถแสดงรูปร่างของโปรตีนด้วยรูปแบบอื่นๆนอกเหนือจากรูปแบบที่แสดงในสื่อหรือไม่

ตอบ รูปร่างของโปรตีนที่แสดงในสื่อตอนนี้ใช้รูปแบบ cartoon ในการแสดงสายของโปรตีน เพื่อให้ง่ายต่อการแสดงให้เห็นส่วนที่เรียงตัวเป็นเกลียวหรือบันไดเวียน (helix) และส่วนที่เรียงตัวขนานกัน (pleated sheet) แต่รูปร่างของโปรตีนอาจแสดงในรูปแบบอื่นๆได้ (ภาพที่ 2) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการแสดงรายละเอียดที่ต้องการ



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของรูปแบบต่างๆในการแสดงรูปร่างของโปรตีน

ก. รูปแบบ cartoon ใช้แถบคล้ายริบบิ้นแสดงส่วนที่เป็นเกลียวหรือบันไดเวียนและส่วนที่เรียงตัวขนานกัน (โมเลกุลนี้ไม่มีส่วนที่เรียงตัวขนานกัน)

ข. รูปแบบ trace ใช้เส้นกลมเหมือนเส้นลวดแสดงแทนสายโปรตีน

ค. รูปแบบ ball and stick ใช้รูปทรงกลมแทนอะตอม และส่วนที่เป็นพันธะแทนด้วยแท่งตรง

หมายเหตุ การเกิด helix หรือ pleated sheet เกิดจากพันธะไฮโดรเจน ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล และหมู่เอมิโน ของกรดอะมิโน ไม่เกี่ยวข้องกับ อาร์กไทป์ แต่อย่างไรก็ตามการเกิดโครงสร้าง helix และ pleated sheet มักเกิดกับการเรียงตัวของกรดอะมิโนบางแบบเท่านั้น หมายความว่าโครงสร้างทั้งสองแบบยังขึ้นอยู่กับลำดับของกรดอะมิโนในสายโปรตีนเช่นกัน



8. โปรตีนเสียสภาพได้อย่างไร

ตอบ การเสียสภาพของโปรตีนเกิดขึ้นเมื่อพันธะระหว่างอาร์กิวถูกทำลายในขณะที่สายของโปรตีนยังอยู่ในสภาพของพอลิเพปไทด์ พันธะระหว่างอาร์กิว เช่น พันธะไฮโดรเจน ปฏิสัมพันธ์ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) พันธะไฮโดรเจน สามารถถูกทำลายได้ โดยความร้อน สารเคมี (กรด-เบส ตัวทำละลายอินทรีย์) หรือ แรงกล ส่วนพันธะระหว่างกรดอะมิโนซิสเทอีนซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ที่อาจสามารถถูกทำลายได้ด้วยสารเคมีบางชนิด ตัวอย่างของการเสียสภาพของโปรตีน เช่น การต้ม หรือ ทอดไข่ ทำให้โปรตีนในไข่เสียสภาพไป หรือ การตีไข่เพื่อทำเมอแรงค์ (meringue) เป็นการทำให้โปรตีนในไข่ขาวเสียสภาพโดยแรงกลเกาะกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ และวิธีการตีที่ทำให้อากาศถูกกักอยู่ในเนื้อของโปรตีนที่เสียสภาพแล้ว ทำให้เนื้อไข่มีลักษณะฟูนุ่ม เมื่อนำไปอบจนแห้งเมอแรงค์ที่ได้จึงน้ำหนักเบาเนื่องจากในเนื้อของเมอแรงค์มีรูพรุนจำนวนมาก

9. โปรตีนมีบทบาทอย่างไรในสิ่งมีชีวิต

ตอบ โปรตีนแต่ละชนิดมีบทบาทแตกต่างกันในสิ่งมีชีวิต โปรตีนบางชนิดทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง เช่น โปรตีนทิวบูลิน (tubulin) จำนวนมากประกอบกันขึ้นเป็นไมโครทิวบูล (microtubule) ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญของไซโตสเกเลตอน (cytoskeleton) ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตช่วยรักษารูปร่างของเซลล์ รวมถึงมีบทบาทในการขนส่งออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ และ การแยกโครโมโซมในระหว่างการแบ่งเซลล์ โปรตีน คอลลาเจน (collagen) เป็นตัวอย่างของโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นโปรตีนโครงสร้างในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหลายชนิด

โปรตีนบางชนิดทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น เอนไซม์ไลโซไซม์ (lysozyme) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบได้ในเม็ดเลือดขาว สามารถเร่งปฏิกิริยาในการสลายองค์ประกอบในผนังเซลล์ของแบคทีเรีย เอนไซม์ไรโบนิวคลีเอส (ribonuclease) หรือ อาร์เอ็นเอส (RNase) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยโมเลกุลของอาร์เอ็นเอ ส่วนเอนไซม์กลูตาามินซินเทเอส (glutamine synthetase) ที่แสดงในสื่อเป็นเอนไซม์ที่ประกอบขึ้นพอลิเพปไทด์ 12 สายประกอบกันขึ้น เป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดกลูตาามิน (glutamine)

โปรตีนยังสามารถทำหน้าที่อื่น ๆ นอกเหนือไปจากที่กล่าวมาแล้ว เช่น โปรตีนอินซูลิน (insulin) ทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โปรตีนฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไหลเวียนของสิ่งมีชีวิต โปรตีนอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) หรือ แอนติบอดี (antibody) ทำหน้าที่ในการจับกับสิ่งแปลกปลอมในระบบภูมิคุ้มกัน



ภาคผนวก

ก. อธิบายคำศัพท์

Amino acid (กรดอะมิโน)	สารอินทรีย์ที่ประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนเป็นหลัก ที่มีการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนตัวกลางต่ออยู่กับหมู่คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโนอย่างละ 1 หมู่ โดยมีหมู่ไฮโดรเจนเป็นตัวกำหนดชนิดของกรดอะมิโน
Amino terminal (ปลายอะมิโน)	ปลายของสายเพปไทด์ด้านกรดอะมิโนโมเลกุลแรก ที่มีหมู่อะมิโนอิสระ
Carboxyl terminal (ปลายคาร์บอกซิล)	ปลายของสายเพปไทด์ด้านกรดอะมิโนโมเลกุลสุดท้ายที่มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ
Covalent bond (พันธะโควาเลนต์)	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมสองอะตอมที่เกิดจากการใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน
Denaturation (การเสียสภาพของโปรตีน)	การทำลายการม้วนพับของโปรตีน ทำให้รูปร่างของโปรตีนแตกต่างไปจากรูปร่างเดิม เป็นผลเนื่องมาจากพันธะระหว่างไฮโดรเจนถูกทำลาย
Peptide (เพปไทด์)	สายของกรดอะมิโนที่ยึดกันด้วยพันธะเพปไทด์
Peptide bond (พันธะเพปไทด์)	พันธะโควาเลนต์ที่ยึดระหว่างกรดอะมิโน เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนโมเลกุลแรก และหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนโมเลกุลถัดไป
Renaturation (การกลับคืนสู่สภาพเดิม)	การทำให้โปรตีนที่เสียรูปร่างไป กลับคืนสู่รูปร่างเดิมก่อนเสียสภาพไป
Side chain (ไฮโดรเจน)	หมู่เคมีที่ต่ออยู่กับคาร์บอนตัวกลางในโมเลกุลของกรดอะมิโน เป็นหมู่เคมีที่ใช้เป็นตัวกำหนดชนิดของกรดอะมิโน อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อาร์กรุป



ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Lehninger, L., Nelson, D.L. and Cox, M.M. 2008. Lehninger Principles of Biochemistry. 5th edition, 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 (9^{6h} 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.จุฑาพันธ์ุ พินสวัสดิ์
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.พัชนี สิงห์อาษา
16	การย่อยและการดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พินสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พินสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พินสวัสดิ์
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 คีตอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คีตอยู่
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 ญาณทัศน์ย์จิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
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	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	วิธีการหาความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (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