



คำชี้แจง

คู่มือการใช้สื่อการสอนวิชาชีววิทยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการใช้ประกอบการสอนวิชาชีววิทยา คู่มือนี้ได้ระบุจุดประสงค์ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาในสื่อ และแนวทางจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ครูเข้าใจเนื้อหาของเรื่องที่สอน สามารถใช้ประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเตรียมตัวและเตรียมแผนการสอนให้เหมาะสมกับนักเรียนในชั้น คู่มือนี้ยังมีส่วนภาคผนวกที่ประกอบด้วยคำอธิบายศัพท์ และแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะช่วยให้ครูสามารถสอนชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปิดโลกทัศน์ในการเรียนรู้มากขึ้น

อาจารย์.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์

ผู้จัดทำคู่มือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	16
ภาคผนวก	17
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน	18



เรื่อง ลูกโซ่หายใจ

ลูกโซ่หายใจ เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอนเรื่อง การสลายอาหารระดับเซลล์
ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 9 ตอนคือ

1. ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์
2. ATP สารประกอบพลังงานสูงของเซลล์
3. Redox reaction ในเซลล์
4. กระบวนการ glycolysis
5. Krebs cycle
6. ลูกโซ่หายใจ
7. Oxidative Phosphorylation
8. Fermentation และ anaerobic respiration
9. ATP ที่เซลล์ได้จากการใช้กลูโคสเป็นสารอาหาร



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายความสำคัญ หมายและองค์ประกอบ ตลอดจนความสำคัญของ
ลูกโซ่หายใจในการสร้างพลังงานในเซลล์

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายองค์ประกอบของลูกโซ่หายใจ
2. อธิบายตำแหน่ง หรือที่ตั้งของลูกโซ่หายใจในเซลล์
3. อธิบายหลักการรับส่งอิเล็กตรอนในลูกโซ่หายใจ
4. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการรับส่งอิเล็กตรอนในลูกโซ่หายใจ

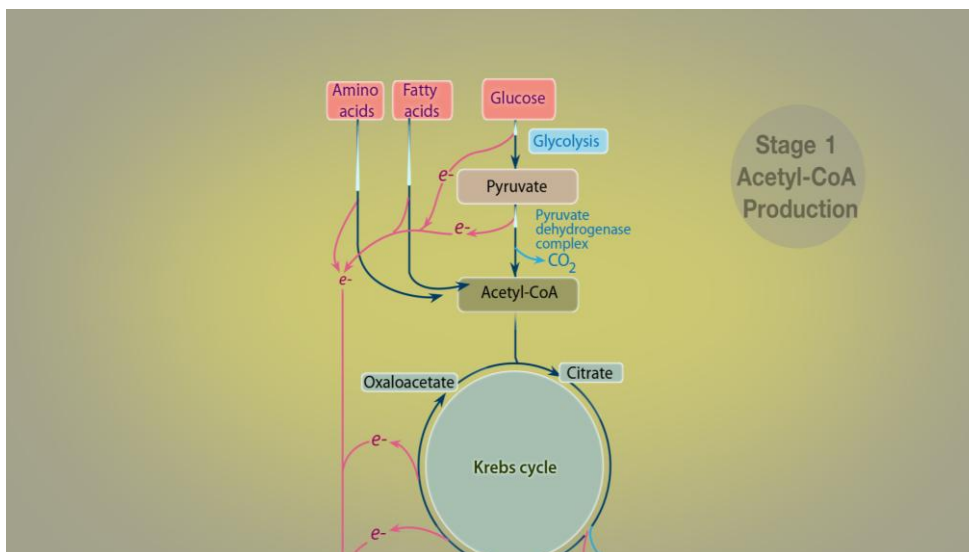


สาระ

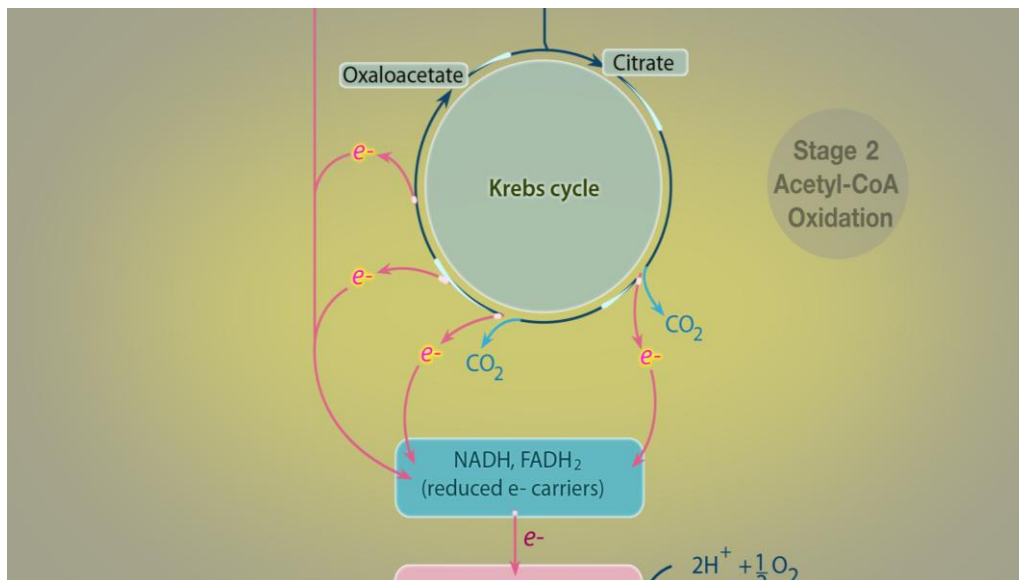
ลูกโซ่หายใจ (Electron transport chain)

เซลล์ใช้กระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) (ดังภาพที่ 1) และ วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) (ดังภาพที่ 2) เป็นแกนหลักในการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมีของชีวโมเลกุลต่างๆ ในอาหารให้อยู่ในโมเลกุลของ ATP ซึ่งเป็นโมเลกุลที่จัดว่าเป็นตราสารพลังงานของเซลล์ (energy currency) เพราะกิจกรรมส่วนใหญ่ของเซลล์ สามารถใช้พลังงานที่ได้จากการสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ของ ATP นี้

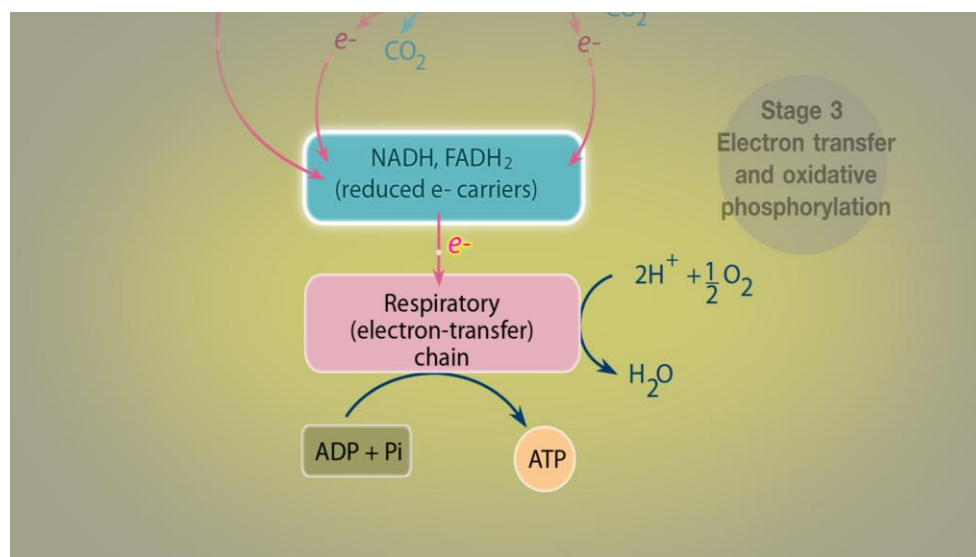
ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมีของชีวโมเลกุลต่างๆ จะมีการดึงอิเล็กตรอนออกจากชีวโมเลกุลในปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) อิเล็กตรอนเหล่านั้นจะถูกส่งไปยัง NAD^+ หรือ FAD ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น NADH และ FADH_2 อิเล็กตรอนในโมเลกุลทั้งสองนี้จัดเป็นอิเล็กตรอนพลังงานสูง (high-energy electron) ซึ่งหากมีการส่งอิเล็กตรอนเหล่านี้ไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอื่นๆ ด้วยรูปแบบที่เหมาะสมจะได้พลังงาน เช่นการส่งอิเล็กตรอนจาก NADH และ FADH_2 ไปยังโมเลกุลเชิงซ้อนต่างๆ ที่เรียงตัวเป็นลูกโซ่หายใจ (electron transport chain) ในเยื่อหุ้มชั้นใน (inner membrane) ของไมโทคอนเดรีย (mitochondria) (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 1 ไกลโคไลซิส (glycolysis) เป็นกระบวนการหนึ่งในการเปลี่ยนพลังงานพันธะของชีวโมเลกุลต่างๆ จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นอะเซทิลโคเอนไซม์ เอ (Acetyl CoA)



ภาพที่ 2 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชันของอะเซทิลโคเอนไซม์ เอ

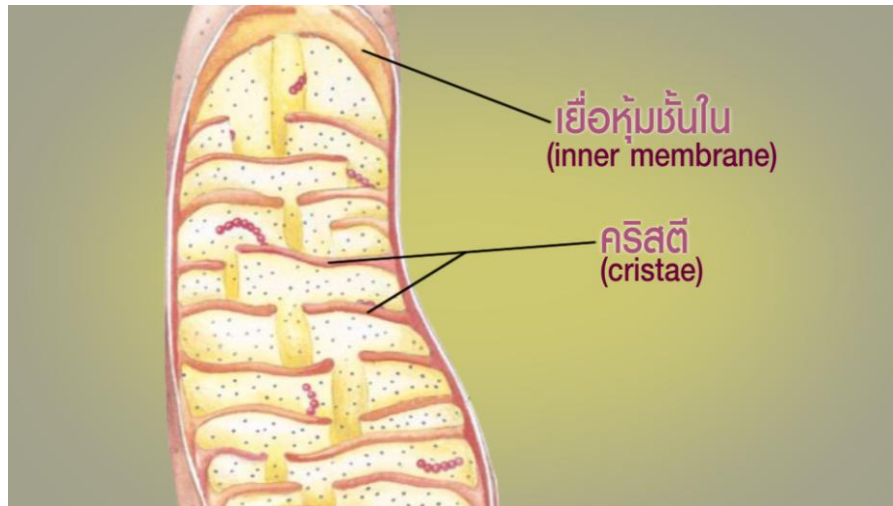


ภาพที่ 3 อิเล็กตรอนจากไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครบส์จะถูกเก็บไว้ในโมเลกุลของ NADH และ FADH₂ แล้วส่งให้กับตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ในลูกโซ่หายใจต่อไป



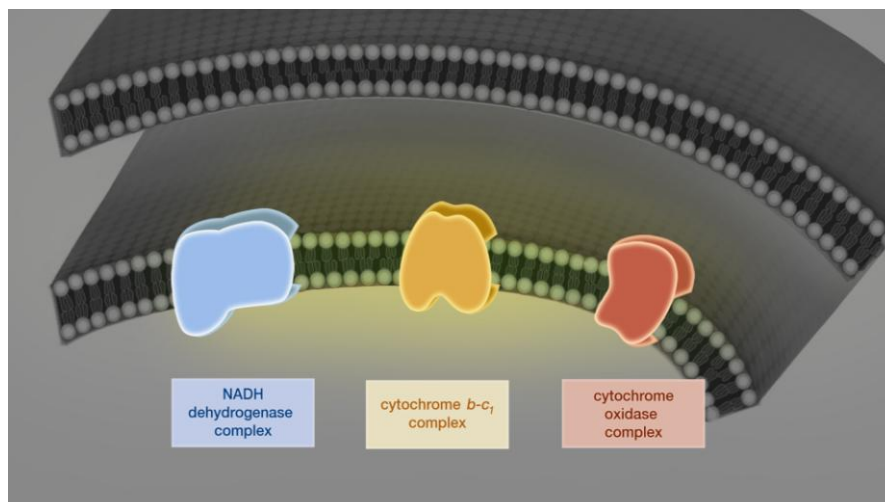
ตำแหน่งที่ตั้งและองค์ประกอบของลูกโซ่หายใจ

ในเซลล์ของยูคาริโอต (eukaryotes) จะพบโมเลกุลต่างๆ ที่ประกอบเป็นลูกโซ่หายใจหลายๆ ชุด เรียงตัวอยู่ตามเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียนี้จะมีการพับทบไปมา เข้าไปด้านในเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว เกิดเป็นรูปร่างที่เรียกว่าคริสตี (cristae) (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของไมโทคอนเดรียที่ประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้นเยื่อหุ้มชั้นในจะพับทบไปมาเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่าคริสตี

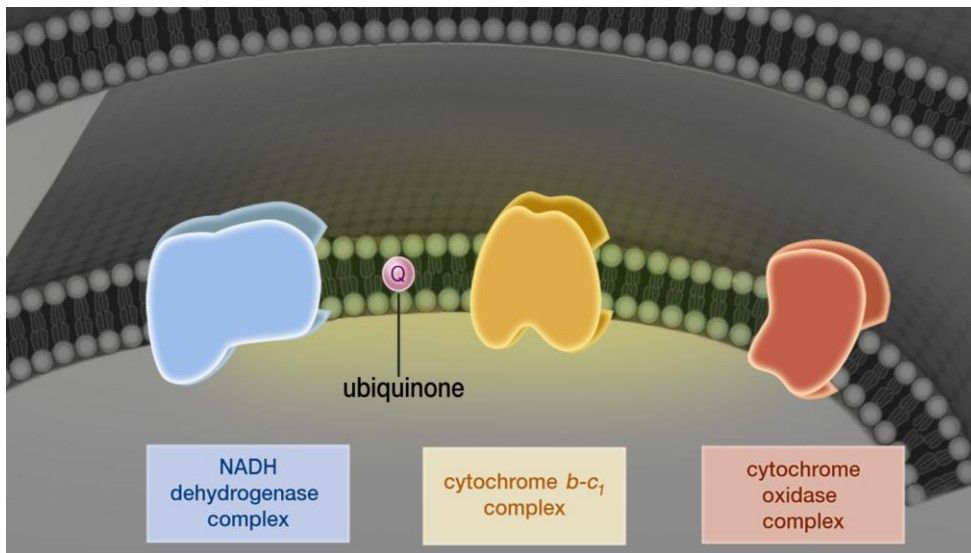
โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของลูกโซ่หายใจที่พบในไมโทคอนเดรีย คือโปรตีนเชิงซ้อน 3 กลุ่มที่ฝังตัวอยู่ในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ได้แก่ NADH dehydrogenase complex cytochrome *b-c₁* complex และ cytochrome oxidase complex โปรตีนเชิงซ้อนแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วย polypeptide หลายชนิด และไอออนของโลหะต่างๆ เช่น เหล็ก (Fe) ซัลเฟอร์ (S) ทองแดง (Cu) (ดังภาพที่ 5)



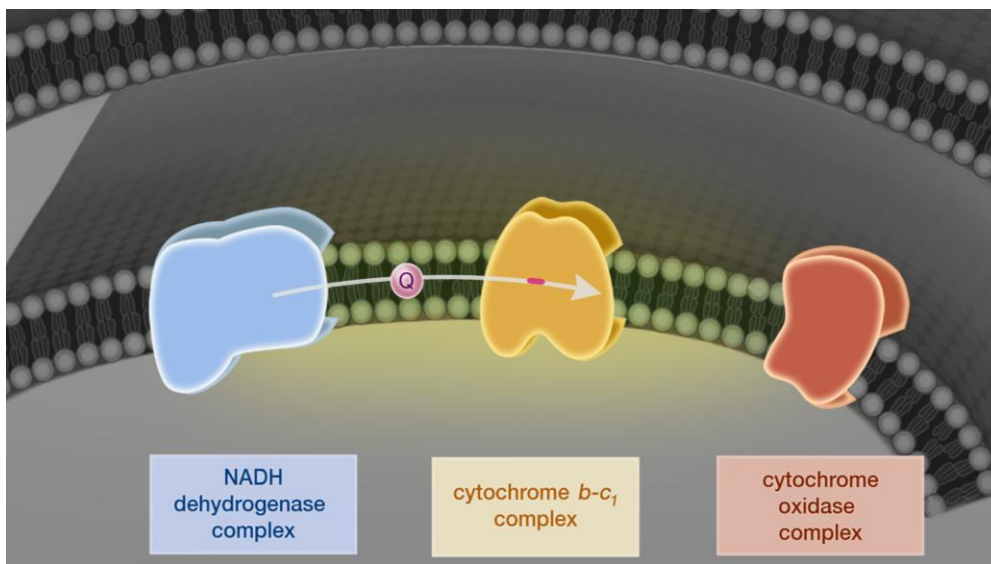
ภาพที่ 5 โปรตีนเชิงซ้อน 3 กลุ่มทำหน้าที่รับส่งอิเล็กตรอนในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย คือ NADH dehydrogenase complex cytochrome *b-c₁* complex และ cytochrome oxidase complex



นอกจากโปรตีนเชิงซ้อนทั้ง 3 กลุ่มนี้แล้ว ลูกโซ่หายใจในไมโทคอนเดรียยังประกอบด้วยโมเลกุลอีก 2 ชนิดคือ ยูบิควิโนน (ubiquinone) ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็กและมีคุณสมบัติ hydrophobic (ดังภาพที่ 6) สามารถรับอิเล็กตรอนจาก NADH dehydrogenase complex แล้วส่งให้กับ cytochrome *b-c*₁ complex (ดังภาพที่ 7)



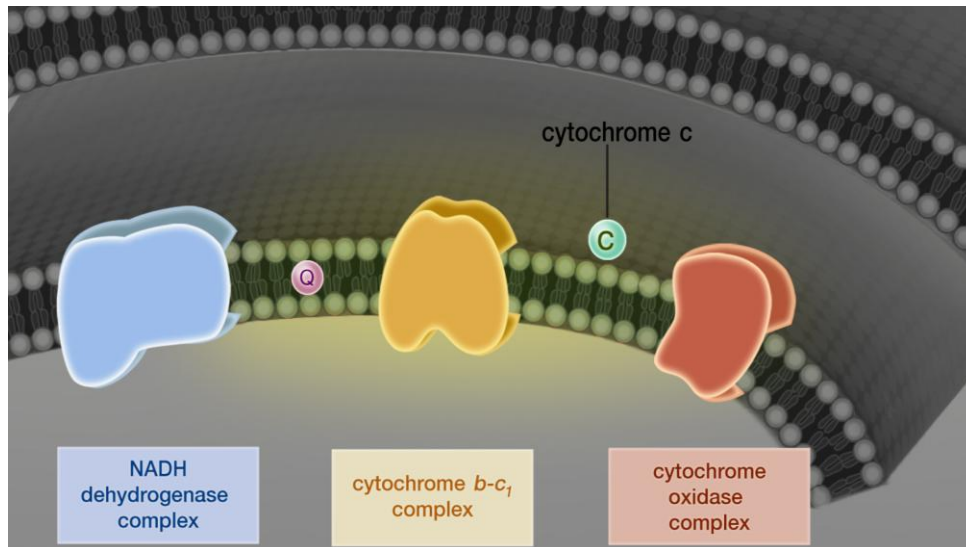
ภาพที่ 6 ยูบิควิโนน ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถรับอิเล็กตรอนจาก NADH dehydrogenase complex แล้วส่งให้กับ cytochrome *b-c*₁ complex



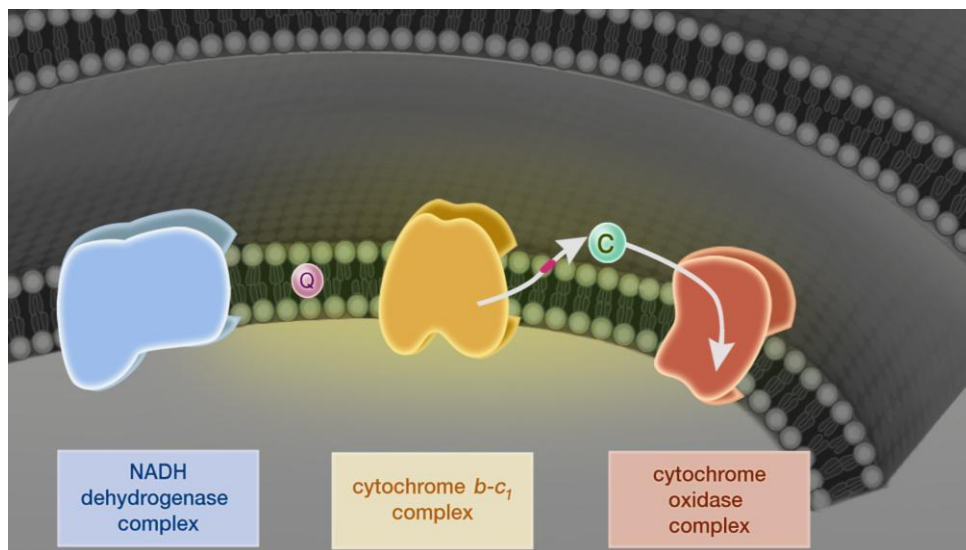
ภาพที่ 7 การส่งอิเล็กตรอนจาก NADH dehydrogenase complex ให้กับ cytochrome *b-c*₁ complex โดยผ่านโมเลกุลของยูบิควิโนน



โมเลกุลอีกชนิดหนึ่งในลูกโซ่หายใจคือไซโทโครมซี (cytochrome c) (ภาพที่ 8) รับอิเล็กตรอนจาก cytochrome b - c_1 complex แล้วส่งให้ cytochrome oxidase complex (ภาพที่ 9)



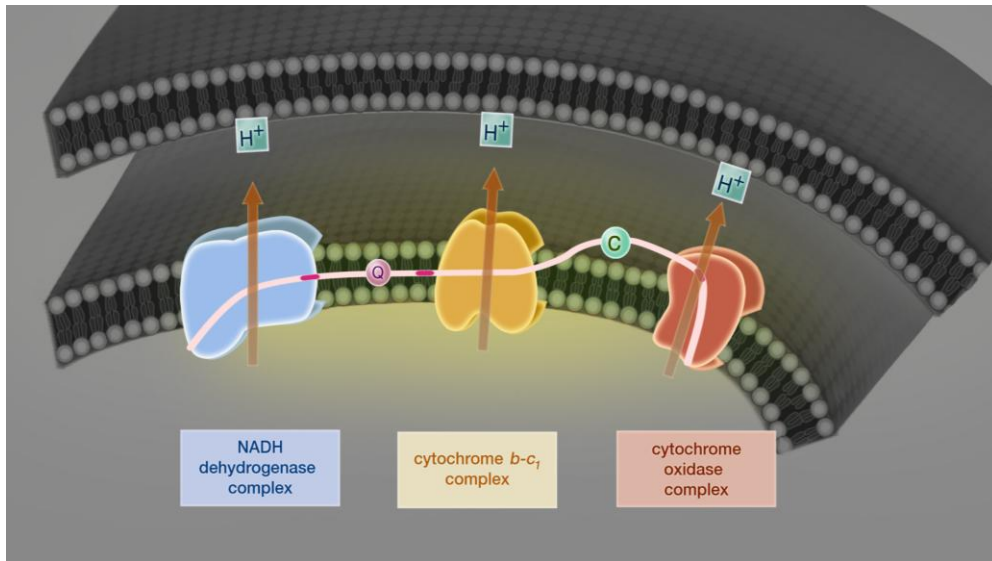
ภาพที่ 8 ไซโทโครมซี (cytochrome c) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวหนึ่งในลูกโซ่หายใจ



ภาพที่ 9 การส่งอิเล็กตรอนจาก cytochrome b - c_1 complex ให้กับ cytochrome oxidase complex โดยผ่านโมเลกุลของไซโทโครมซี (cytochrome c)



ข้อมูลในปัจจุบันแสดงว่า ในระหว่างมีการรับส่งอิเล็กตรอนไปตามโมเลกุลต่างๆ ของลูกโซ่หายใจในไมโทคอนเดรีย จะมีการผลักโปรตอนจากเมทริกซ์ (matrix) ไปยัง intermembrane space ที่โปรตีนเชิงซ้อน 3 กลุ่มนี้ด้วย (ดังภาพที่ 10)

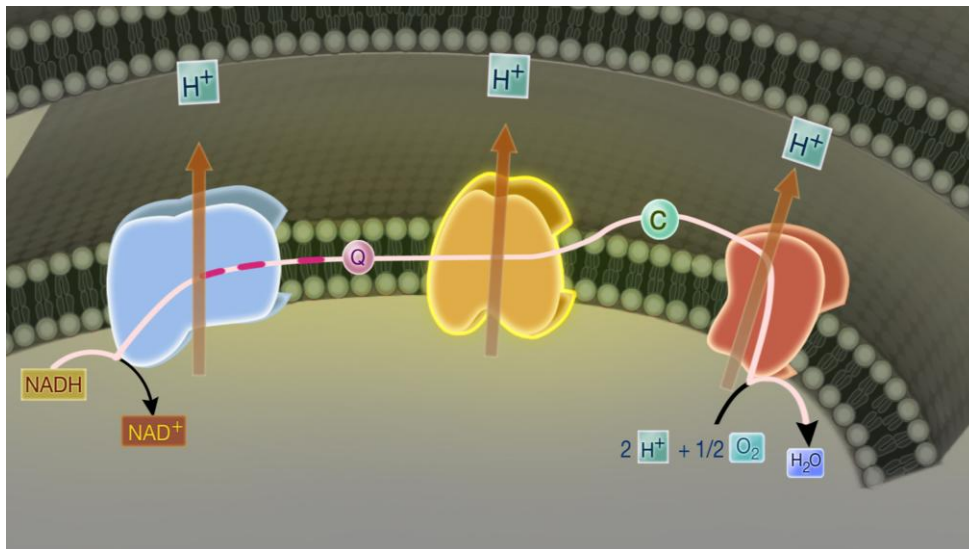


ภาพที่ 10 ในระหว่างการรับส่งอิเล็กตรอนตามลูกโซ่หายใจ มีการผลักโปรตอนจากเมทริกซ์ผ่านเยื่อหุ้มชั้นใน ออกไปยัง intermembrane space ที่โปรตีนเชิงซ้อนทั้ง 3 กลุ่ม

หลักการรับส่งอิเล็กตรอนในลูกโซ่หายใจ

อิเล็กตรอนในโมเลกุลของ NADH และ FADH_2 จะถูกส่งไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของลูกโซ่หายใจ และเรียงตัวอยู่ตามเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย โดยอิเล็กตรอนจะส่งไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนดีขึ้นเรื่อยๆเป็นลำดับไป

เริ่มจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลของ NADH ทั้งที่เกิดจากไกลโคไลซิส แล้วถูกส่งเข้ามาในเมทริกซ์ และ NADH ที่เกิดจากวัฏจักรเครบส์ อิเล็กตรอนนี้จะถูกส่งไปให้กับ $\text{NADH dehydrogenase complex}$ แล้ว ยูบิควิโนน จะมารับอิเล็กตรอนจาก $\text{NADH dehydrogenase complex}$ นี้ เพื่อส่งต่อไปยัง $\text{cytochrome b-c}_1 \text{ complex}$ จากนั้นไซโทโครมซี จะมารับอิเล็กตรอนต่อไป เพื่อส่งให้กับ $\text{cytochrome oxidase complex}$ โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ (ดังภาพที่ 11)

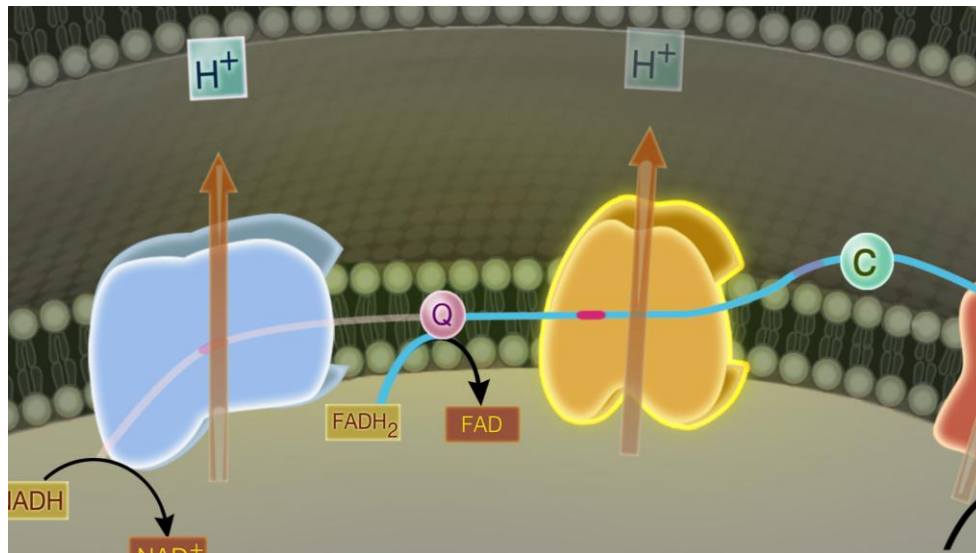


ภาพที่ 11 การส่งอิเล็กตรอนจาก NADH ไปตามลูกโซ่หายใจโดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน
ตัวสุดท้าย และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์

อาจกล่าวได้อีกหนึ่งว่า ถ้าเรียงลำดับตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ในไมโทคอนเดรีย ตามความสามารถในการรับอิเล็กตรอนจากดีที่สุดตามลำดับลงมา จะเรียงลำดับได้คือ ออกซิเจนสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ cytochrome oxidase complex, cytochrome c, cytochrome $b-c_1$ complex, ubiquinone และ NADH dehydrogenase complex สามารถรับอิเล็กตรอนได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวรับอิเล็กตรอนอื่นๆ

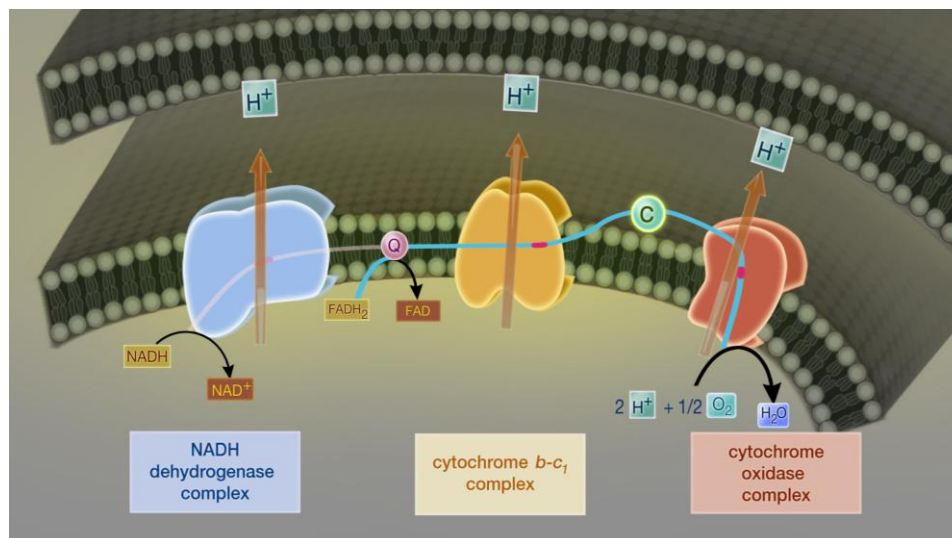
การส่งอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนดีขึ้นเรื่อยๆ นี้จะได้พลังงานออกมา พลังงานนี้จะถูกใช้ผลักดันโปรตอนจากเมทริกซ์ ผ่านเยื่อหุ้มชั้นใน ออกไปยัง intermembrane space ของไมโทคอนเดรีย ทำให้ในขณะนั้น มีโปรตอนสะสมอยู่ใน intermembrane space สูง ข้อมูลในปัจจุบันชี้ว่า มีการผลักโปรตอนจากเมทริกซ์ ไปยัง intermembrane space ของไมโทคอนเดรีย ผ่านโปรตีนเชิงซ้อนทั้ง 3 กลุ่ม (ดังภาพที่ 11)

หากอิเล็กตรอนอยู่ในโมเลกุลของ $FADH_2$ จะไม่สามารถส่งให้กับ NADH dehydrogenase complex ได้ เพราะ $FADH_2$ มีความสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า NADH dehydrogenase complex ดังนั้นอิเล็กตรอนจาก $FADH_2$ จะถูกส่งไปยังยูบิควิโนน เพื่อถ่ายทอดไปยัง cytochrome $b-c_1$ complex cytochrome c cytochrome oxidase complex และออกซิเจนตามลำดับ (ดังภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การส่งอิเล็กตรอนจาก FADH_2 ให้กับยูบิควิโน

ดังนั้นการส่งอิเล็กตรอนจาก FADH_2 จึงมีการผลักโปรตอนจากเมทริกซ์ ไปยัง intermembrane space ของไมโทคอนเดรีย ผ่านโปรตีนเชิงซ้อนเพียง 2 กลุ่ม คือ cytochrome b-c₁ complex และ cytochrome oxidase complex เท่านั้น (ดังภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 การผลักโปรตอนจากเมทริกซ์ ไปยัง intermembrane space ของไมโทคอนเดรีย ผ่านโปรตีนเชิงซ้อนเพียง 2 กลุ่ม คือ cytochrome b-c₁ complex และ cytochrome oxidase complex ในการส่งอิเล็กตรอนจาก FADH_2 ไปตามลูกโซ่หายใจ



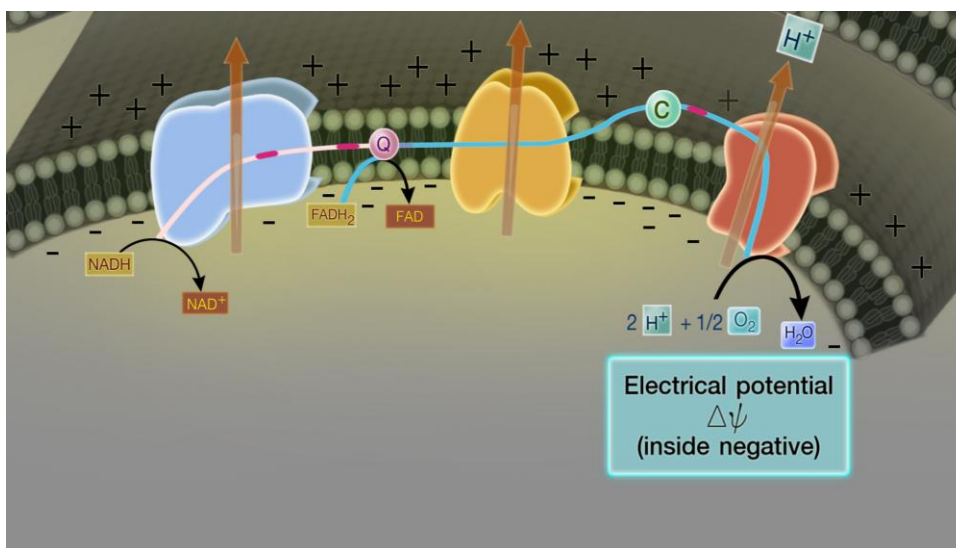
พลังงานที่เกิดขึ้นจากการรับส่งอิเล็กตรอนในลูกโซ่หายใจ

อิเล็กตรอนของลูกโซ่หายใจในไมโทคอนเดรีย โดยส่งอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนดีขึ้นเป็นลำดับนั้น จะใช้ผลักโปรตอนจากเมทริกซ์ผ่านเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย การผลักโปรตอนผ่านเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียนี้ ต้องใช้พลังงาน เพราะเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียไม่ยอมให้โมเลกุลใดๆ แพร่ผ่านอย่างอิสระได้ แม้แต่โปรตอนซึ่งมีขนาดเล็ก

หมายเหตุ ผู้สอนควรเน้นกับผู้เรียนหลายประเด็น ได้แก่

1. ความสำคัญของคุณสมบัติของเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียที่ไม่ยอมให้โมเลกุลใดๆ แพร่ผ่านอย่างอิสระได้ แม้แต่โปรตอนซึ่งมีขนาดเล็ก
2. การส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนสูงขึ้นเรื่อยๆ นี้ เป็นกระบวนการที่ได้พลังงานออกมา
3. พลังงานนี้เองที่ใช้ผลักโปรตอนจากเมทริกซ์ ผ่านเยื่อหุ้มชั้นใน ออกไปยังบริเวณ intermembrane space

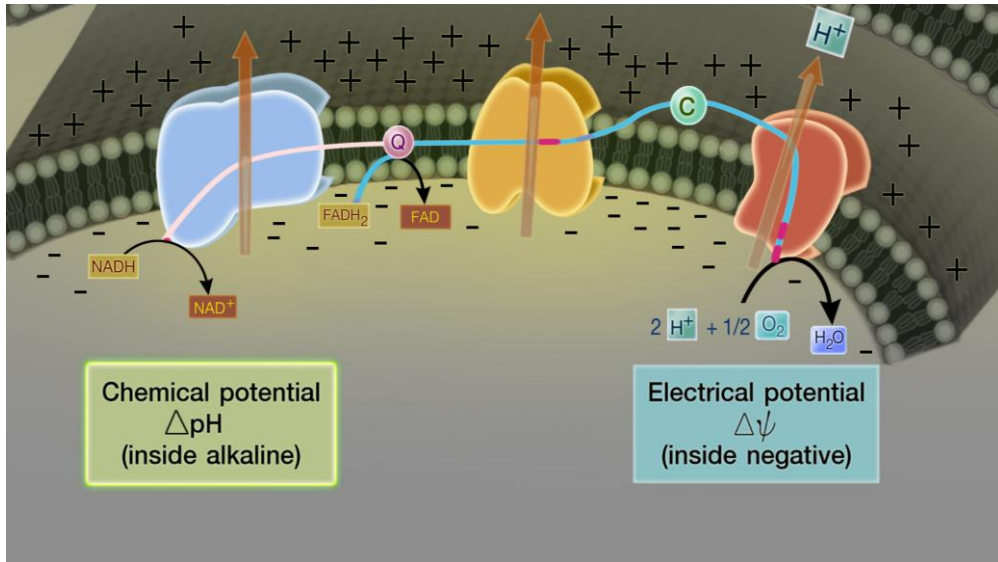
เมื่อโปรตอนถูกผลักออกไปอยู่ใน intermembrane space ทำให้ในขณะนั้น เกิดความแตกต่างของประจุระหว่างเมทริกซ์ และบริเวณ intermembrane space ความแตกต่างของประจุทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า ($\Delta\Psi$, electrical potential) ซึ่งเป็นพลังงานศักย์ (potential energy) มีศักยภาพในการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ (ดังภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ความต่างศักย์ไฟฟ้า ($\Delta\Psi$) ที่เกิดขึ้นเมื่อโปรตอนถูกผลักออกไปจากเมทริกซ์ไปสะสมอยู่ใน intermembrane space ทำให้เมทริกซ์มีประจุเป็นลบในขณะที่ intermembrane space มีประจุเป็นบวก

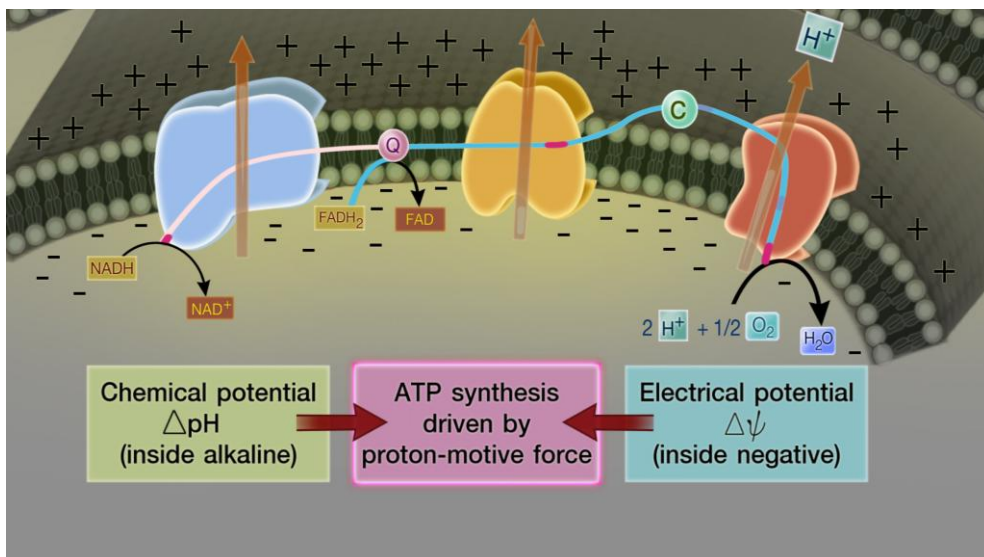


นอกจากนั้น ในขณะที่มีโปรตอนสะสมอยู่ใน intermembrane space ทำให้ใน intermembrane space มี pH ต่ำกว่าในเมทริกซ์ ทำให้เกิดความต่างศักย์เคมี (ΔpH , chemical potential) ซึ่งเป็นพลังงานศักย์เช่นกัน มีศักยภาพในการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ (ดังภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ความต่างศักย์เคมี (ΔpH) ที่เกิดขึ้นเมื่อมีโปรตอนสะสมอยู่ใน intermembrane space ทำให้ intermembrane space มี pH ต่ำกว่าในเมทริกซ์

ความต่างศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์เคมีที่เกิดขึ้น ในขณะที่มีโปรตอนสะสมอยู่ใน intermembrane space นี้ ประกอบกันเป็นพลังงานศักย์ที่เรียกว่า proton motive force (ดังภาพที่ 16) ซึ่งเซลล์สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆได้ เช่นใช้ในการสังเคราะห์ ATP



ภาพที่ 16 proton motive force เป็นพลังงานศักย์ที่เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้า ($\Delta\psi$) และความต่างศักย์เคมี (ΔpH) ระหว่างที่มีการรับส่งอิเล็กตรอนไปตามลูกโซ่หายใจ



หมายเหตุ ผู้สอนอาจตั้งคำถามผู้เรียนเกี่ยวกับ

1. กิจกรรมอื่นๆที่เซลล์สามารถใช้ proton motive force ผลักดัน
2. ตำแหน่งของลูกโซ่หายใจในโพรคาริโอต รวมทั้งหลักการรับส่งอิเล็กตรอนและพลังงานที่เกิดขึ้น
ในระหว่างการรับส่งอิเล็กตรอน



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอน เรื่องลูกโซ่หายใจ เน้นให้ผู้เรียนเข้าใจว่า ลูกโซ่หายใจเป็นกระบวนการหนึ่งของการสลายอาหารระดับเซลล์ หรือการหายใจระดับเซลล์ ซึ่งประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ

- 1) ไกลโคไลซิส (glycolysis) ซึ่งเกิดในไซโทพลาสซึมของเซลล์
- 2) วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ซึ่งเกิดในเมทริกซ์ (matrix) ของไมโทคอนเดรีย และ
- 3) การส่งอิเล็กตรอนไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ที่เรียกว่าลูกโซ่หายใจ (electron

transport chain)

เน้นให้ผู้เรียนรู้จักตำแหน่งและองค์ประกอบของลูกโซ่หายใจ หลักการรับส่งอิเล็กตรอน และพลังงานที่เกิดขึ้นจากการรับส่งอิเล็กตรอนในลูกโซ่หายใจ ตลอดจนความสำคัญของลูกโซ่หายใจ ซึ่งผู้สอนอาจจะนำประเด็นตรงหมายเหตุ ในคู่มือมาเน้นอีกครั้งหนึ่งตามความเหมาะสม



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

Hydrophobic (ไฮโดรโฟบิก)

แสดงคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ หรือไม่มีขั้ว

pH ค่าแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

โดย $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ ดังนั้นค่า pH ต่ำ แสดงว่า
มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสูง

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. 9th edition, Benjamin Cummings, San Francisco.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การออกแบบการทดลอง 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.อรรณพ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	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.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: หน่วยไตและการผลิตปัสสาวะ	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 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.ปรีดา 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 เต็มดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
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 คนชื้อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คนชื้อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คนชื้อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คนชื้อ
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
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