



คำชี้แจง

คู่มือการใช้สื่อการสอนวิชาชีววิทยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการใช้ประกอบการสอนวิชาชีววิทยา คู่มือนี้ได้ระบุจุดประสงค์ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาในสื่อและแนวทางการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ครูเข้าใจเนื้อหาของเรื่องที่สอน สามารถใช้สื่อประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเตรียมตัวและเตรียมแผนการสอนให้เหมาะสมกับนักเรียนในชั้น คู่มือนี้ยังมีส่วนของภาคผนวกที่ประกอบด้วยคำอธิบายศัพท์ และแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะช่วยให้ครูสามารถสอนวิชาชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปิดโลกทัศน์ในการเรียนรู้มากขึ้น

อาจารย์ ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์

ผู้จัดทำคู่มือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

หน้า

จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	18
ภาคผนวก	19
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน	20



เรื่อง

Oxidative Phosphorylation

Oxidative Phosphorylation 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

เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation และอธิบายความแตกต่างระหว่างการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation และ substrate level phosphorylation ได้

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนใช้สื่อนี้แล้ว ควรสามารถ

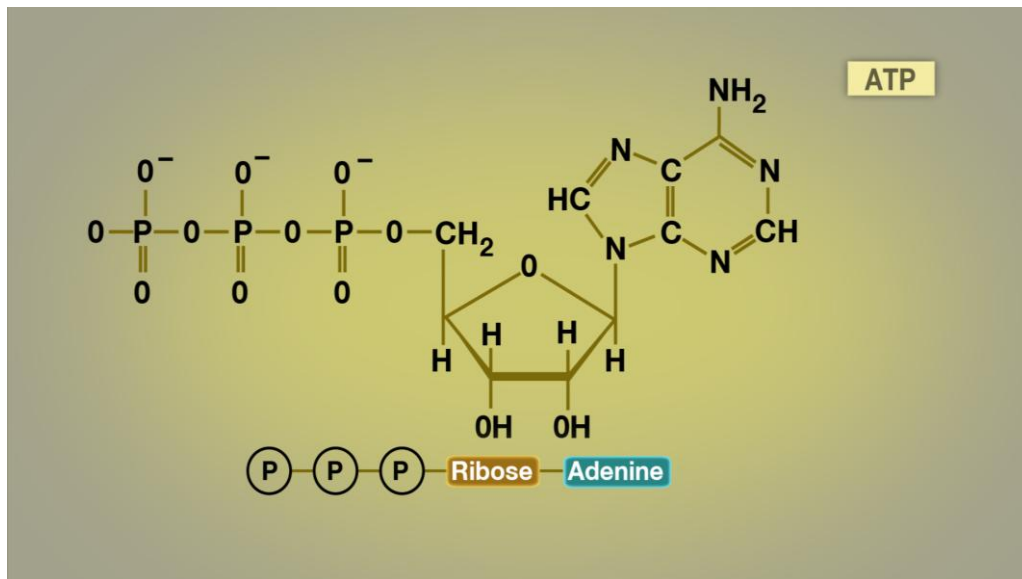
1. อธิบายเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของออร์แกเนลล์ ที่เกิด oxidative phosphorylation
2. อธิบายเกี่ยวกับพลังงานที่ใช้ในการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation
3. อธิบายเกี่ยวกับเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation
4. เปรียบเทียบการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation และ substrate level phosphorylation



สาระ

ATP คืออะไร

เซลล์จะเก็บพลังงานที่ได้จากการเปลี่ยนพลังงานพันธะของชีวโมเลกุลต่างๆในอาหารไว้ในโมเลกุลของ ATP (adenosine triphosphate) (ดังภาพที่ 1) หรือกล่าวได้ว่า ATP เป็นตราสารพลังงาน (energy currency) ของเซลล์

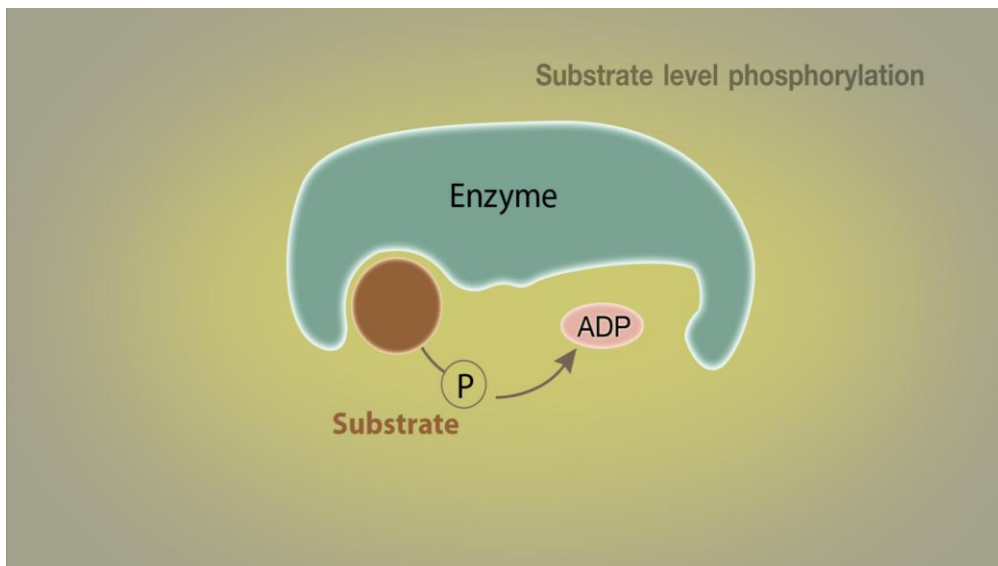


ภาพที่ 1 โครงสร้างของ ATP (adenosine triphosphate)

การสร้าง ATP

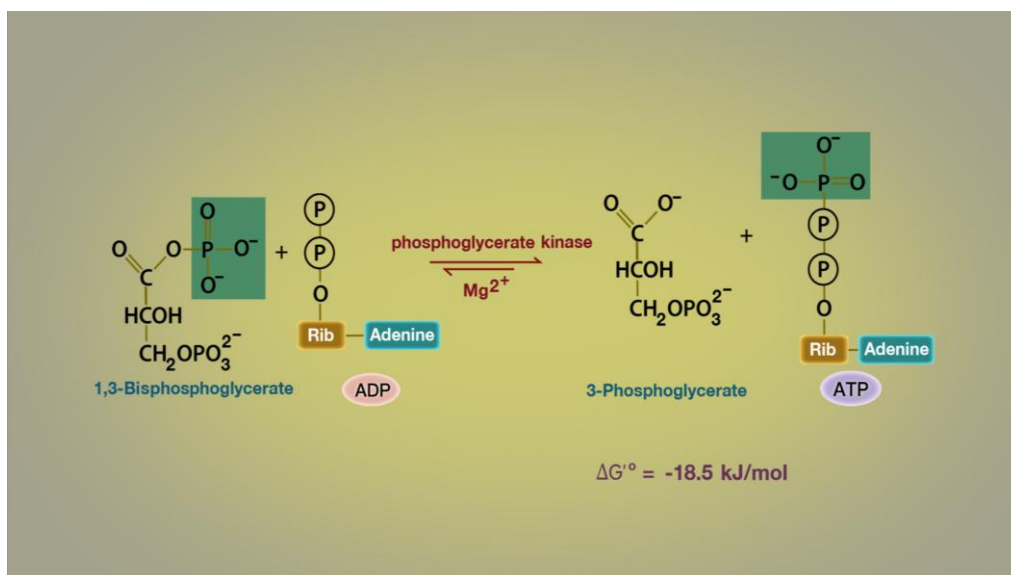
เซลล์สร้าง ATP จาก ADP และ P_i ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงาน (endergonic reaction) เซลล์สามารถสร้าง ATP ได้ 2 วิธีคือ substrate level phosphorylation และ oxidative phosphorylation

substrate level phosphorylation เป็นการสร้าง ATP โดยการถ่ายโอนหมู่ฟอสเฟตจากโมเลกุลของสารตั้งต้น (substrate) มายังโมเลกุลของ ADP (adenosine diphosphate) โดยตรง มักเกิดปฏิกิริยานี้ควบคู่กันกับปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการตัดหมู่ฟอสเฟตออกจากสารตั้งต้น ซึ่งมักเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน (exergonic reaction) (ดังภาพที่ 2)



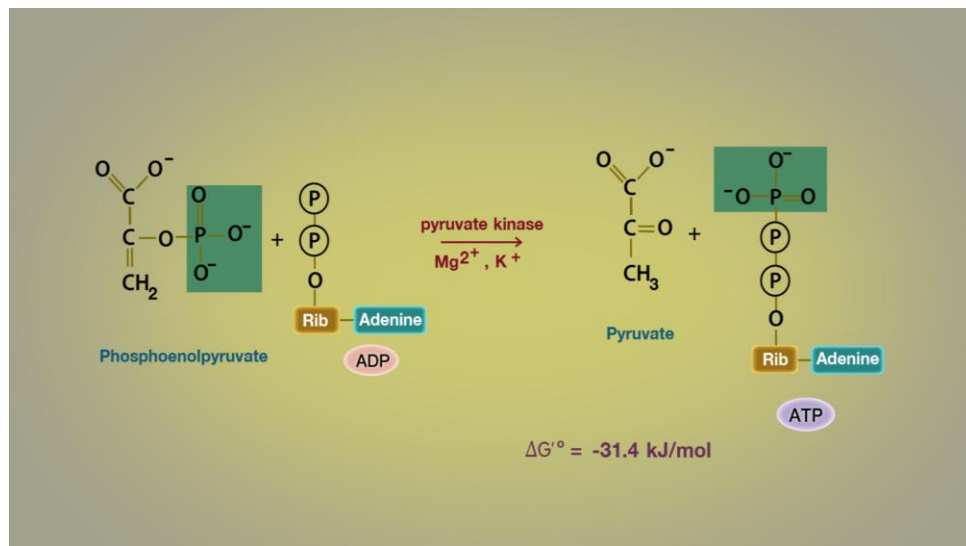
ภาพที่ 2 ปฏิกริยาการถ่ายโอนหมู่ฟอสเฟตจากสารตั้งต้นไปให้ ADP

เช่นปฏิกริยาการเปลี่ยน 1,3 บิสฟอสโฟกลีเซอเรท (1,3-Bisphosphoglycerate) ให้เป็น 3 ฟอสโฟกลีเซอเรท (3-Phosphoglycerate) (ดังภาพที่ 3) หรือปฏิกริยาการเปลี่ยนฟอสโฟอินอลไพรูเวท (Phosphoenolpyruvate) ให้เป็น ไพรูเวท (pyruvate) (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 ปฏิกริยาการเปลี่ยน 1,3-Bisphosphoglycerate ให้เป็น 3-Phosphoglycerate ที่เกิดคู่กับ
ปฏิกริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP เกิดเป็น ATP

หมายเหตุ การเกิดปฏิกริยาในรูปที่ 3 มี $\Delta G'^0 = -18.5 \text{ kJ/mol}$ หมายความว่า ในสภาวะมาตรฐานเมื่อเกิดปฏิกริยานี้แล้ว จะได้พลังงาน 18.5 กิโลจูลต่อ1โมลของสารตั้งต้น

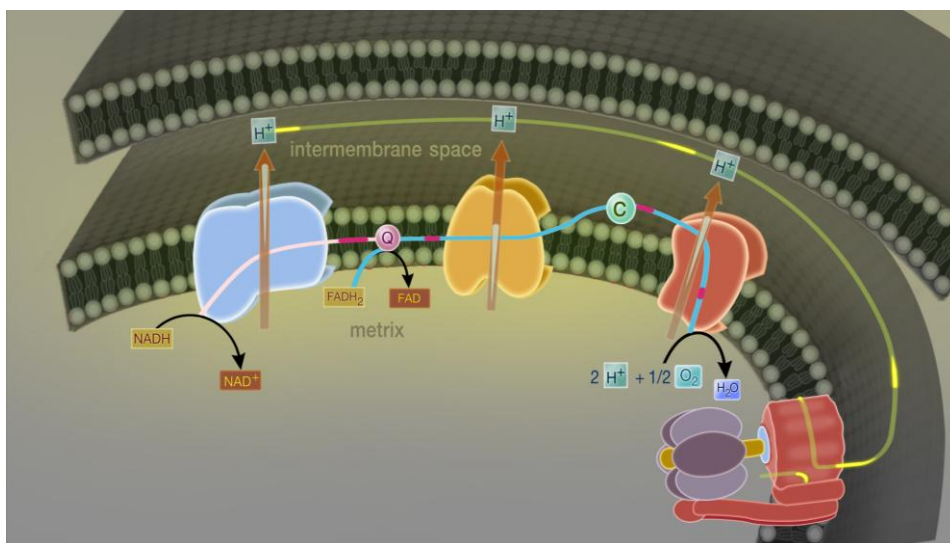


ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาการเปลี่ยน Phosphoenol pyruvate ให้เป็น Pyruvate ที่เกิดคู่กับปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP เกิดเป็น ATP

หมายเหตุ การเกิดปฏิกิริยาในรูปที่มี $\Delta G^\circ = -31.4 \text{ kJ/mol}$ หมายความว่า ในสภาวะมาตรฐานเมื่อเกิดปฏิกิริยานี้แล้ว จะได้พลังงาน 31.4 กิโลจูลต่อ 1 โมลของสารตั้งต้น

จึงอาจกล่าวได้ว่า การสร้าง ATP โดย substrate level phosphorylation นี้ เป็นการนำพลังงานที่คายออกจากปฏิกิริยาการตัดหมู่ฟอสเฟตมาผลักดันการสร้าง ATP ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงานนั่นเอง

oxidative phosphorylation เป็นการสร้าง ATP โดยใช้พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) ในระหว่างการส่งอิเล็กตรอนไปตามลูกโซ่หายใจในไมโทคอนเดรีย (รูปที่ 5) ATP ส่วนใหญ่ในเซลล์ สร้างโดยวิธีนี้

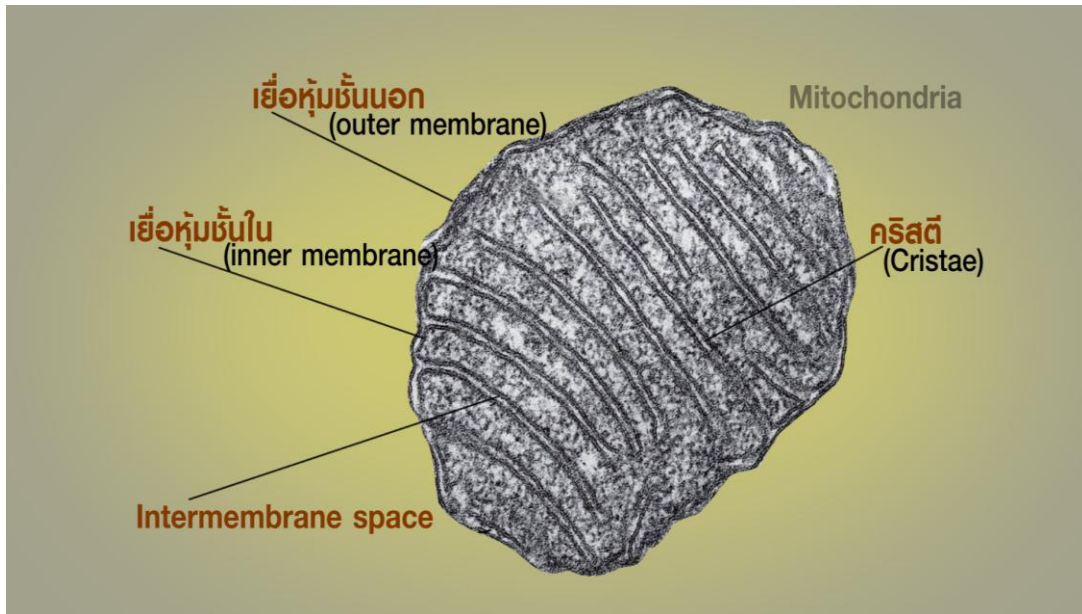


ภาพที่ 5 การส่งอิเล็กตรอนไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆที่อยู่ในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย และการนำพลังงานที่เกิดขึ้นมาใช้ในการสังเคราะห์ ATP



ออร์แกเนลล์ (organelle) ที่เกิด oxidative phosphorylation

ออร์แกเนลล์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการ oxidative phosphorylation คือไมโทคอนเดรีย (ดังภาพที่ 6)



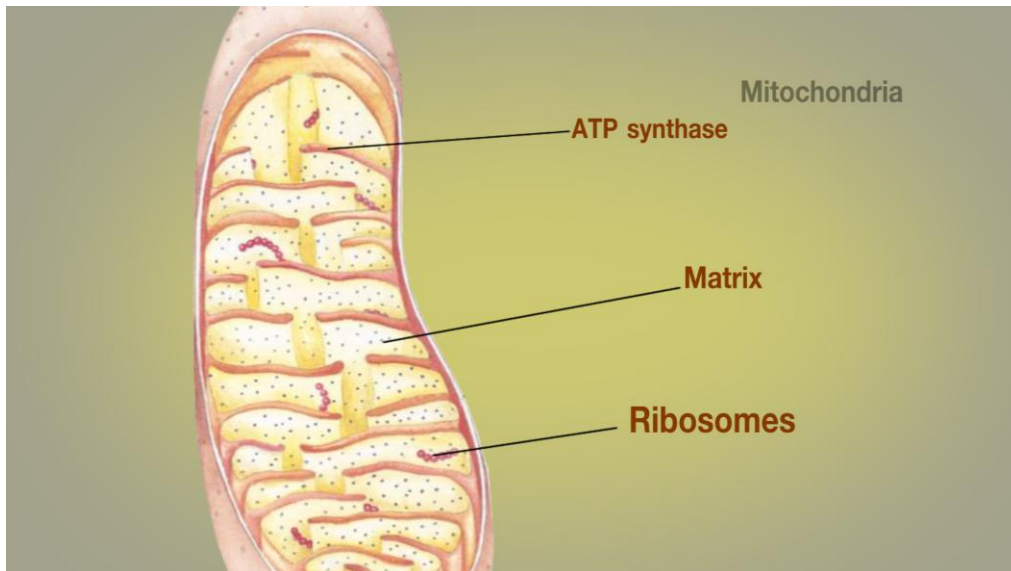
ภาพที่ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของไมโทคอนเดรีย (mtiochondria)

ไมโทคอนเดรียเป็นออร์แกเนลล์ที่ประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือเยื่อหุ้มชั้นนอก (outer membrane) เยื่อหุ้มชั้นใน (inner membrane) เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียจะพับทบไปมา และยื่นเข้าไปด้านในเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว เรียกว่าคริสตี (cristae) บริเวณระหว่างเยื่อหุ้มทั้ง 2 ชั้น เรียกว่า อินเทอเมมเบรน สเปส (intermembrane space)

เยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย มีคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านแตกต่างกัน คือเยื่อหุ้มชั้นนอกจะยอมให้สารโมเลกุลเล็กๆ และไอออนต่างๆ ผ่านได้ดีกว่าเยื่อหุ้มชั้นใน ที่แม้แต่ไอออนเล็กๆ เช่น โปรตอน ก็ไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียอย่างอิสระได้

ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียมีโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของลูกโซ่หายใจเรียงตัวอยู่ นอกจากนี้ ยังมีเอนไซม์ เอทีพี ซินเทส (ATP synthase) และโปรตีนอื่นๆ ที่ทำหน้าที่ขนส่งฝังตัวอยู่ (ดังภาพที่ 7)

ภายในของเยื่อหุ้มชั้นในเรียกว่าเมทริกซ์ (matrix) บรรจุเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์ในวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์ของกรดไขมัน เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์กรดอะมิโน นอกจากนี้ ภายในเมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียยังมีดีเอ็นเอ (DNA) และไรโบโซม (ribosomes)

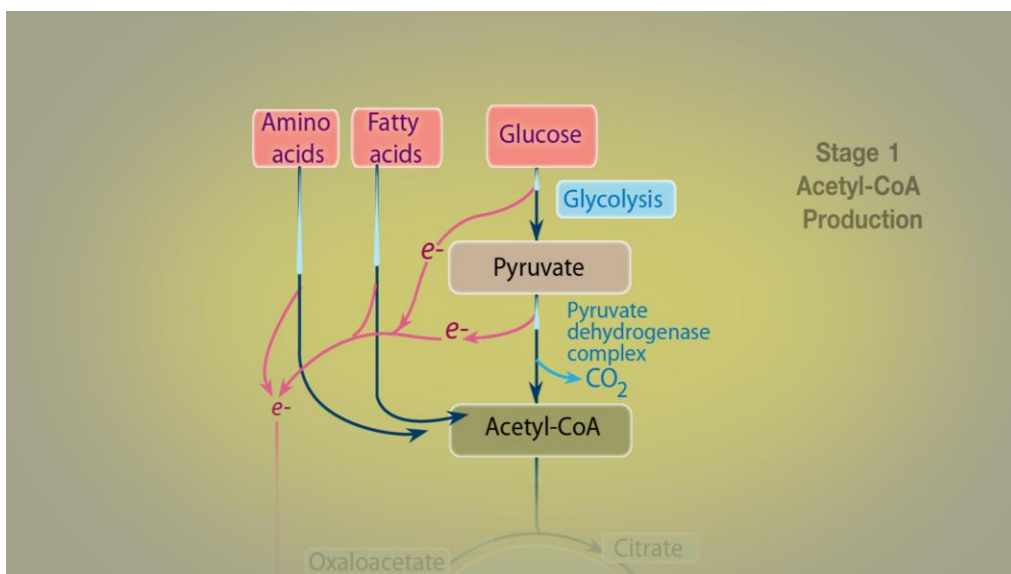


ภาพที่ 7 ภาพวาดไมโทคอนเดรีย (mitochondria) แสดงเมทริกซ์ (matrix) ซึ่งบรรจุเอนไซม์หลายชนิด ดีเอ็นเอ และไรโบโซม(ribosome)

หมายเหตุ ผู้สอนอาจเพิ่มเติมเกี่ยวกับดีเอ็นเอและไรโบโซมในไมโทคอนเดรียว่ามีลักษณะเหมือนดีเอ็นเอและไรโบโซมของโปรคาริโอต (prokaryotes)

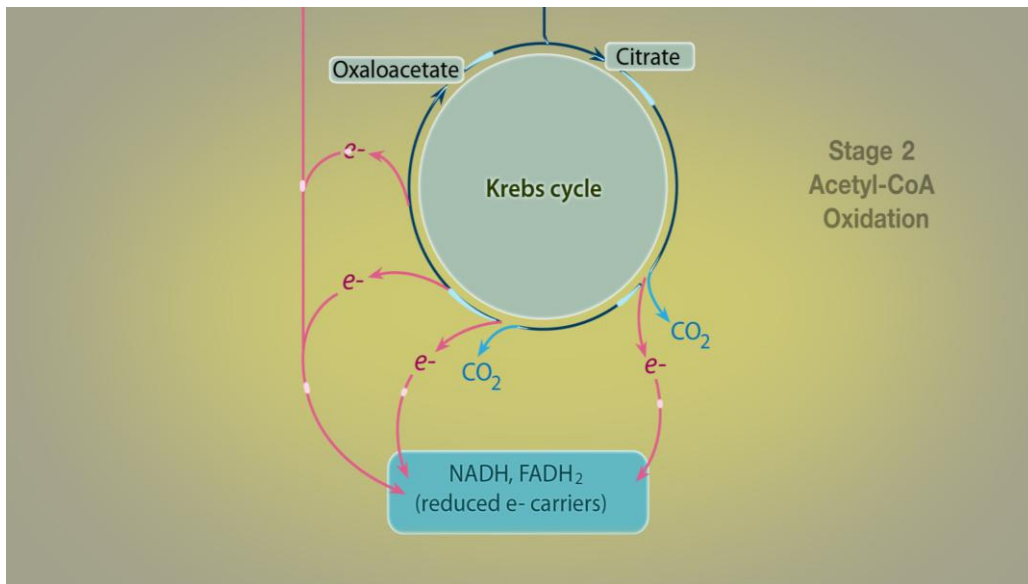
พลังงานที่ใช้ในการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation

อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแคตาบอลิซึม (catabolism) ของชีวโมเลกุลต่างๆ จะถูกส่งไปให้โมเลกุลของ NADH และ $FADH_2$ ซึ่งอิเล็กตรอนในโมเลกุลทั้งสองจัดว่าเป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง (high energy electron) (ดังภาพที่ 8) และ (ดังภาพที่ 9)



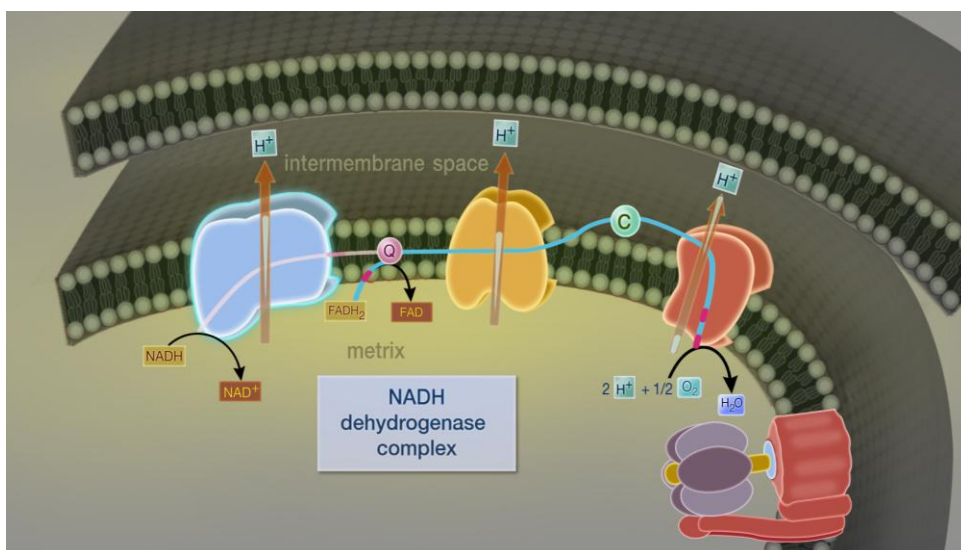
ภาพที่ 8 ขั้นแรกของกระบวนการแคตาบอลิซึม

คือ การเปลี่ยนชีวโมเลกุลให้เป็นแอซิติลโคเอนไซม์เอ (acetyl coenzyme A)

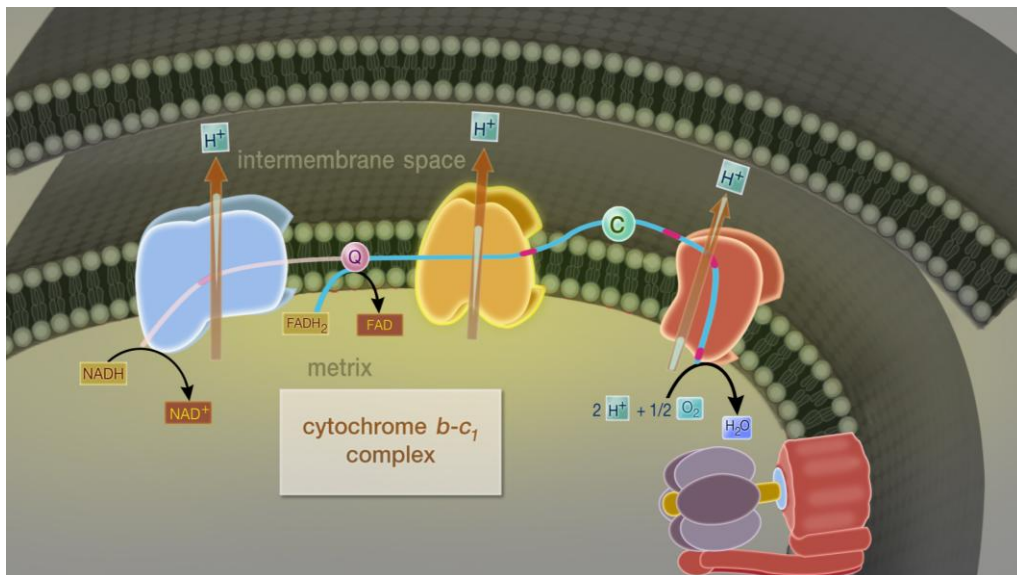


ภาพที่ 9 ขั้นตอนของกระบวนการเผาผลาญไขมัน คือ การเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ของแอซิติลโคเอนไซม์เอ (acetyl-CoA) โดยมีการเก็บอิเล็กตรอนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไว้ในโมเลกุลของ NADH และ FADH₂

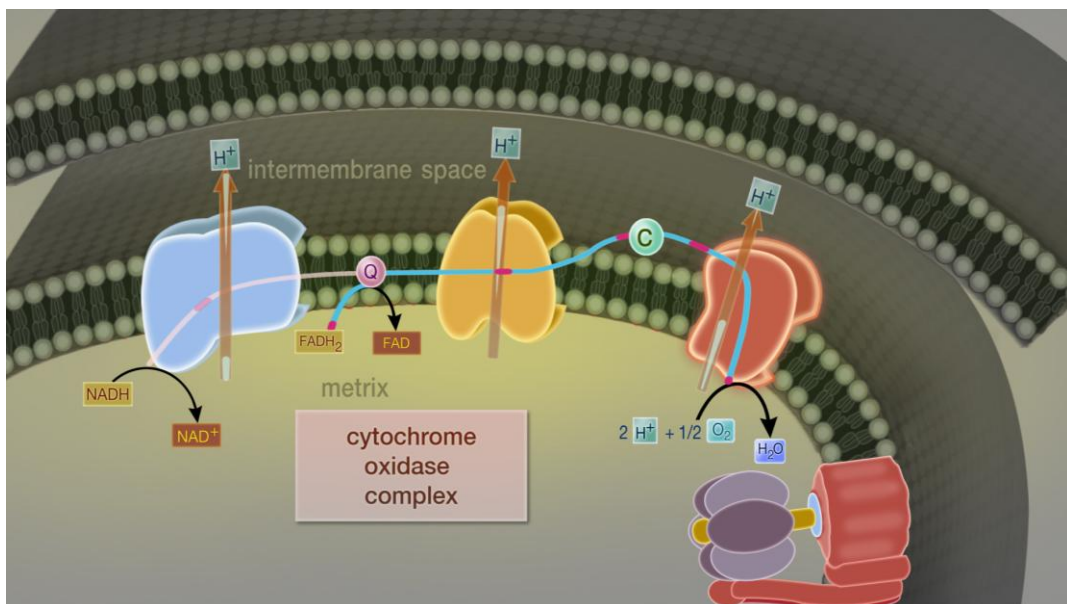
ในขณะที่มีการส่งอิเล็กตรอนจากโมเลกุลทั้งสองนี้ไปตามตัวรับอิเล็กตรอนที่เรียงตัวอยู่ในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย โดยส่งอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นลำดับ จะได้พลังงานออกมา พลังงานนี้จะผลักโปรตอนออกจาก matrix ไปสะสมอยู่ใน intermembrane space โดยผ่านโปรตีนเชิงซ้อนทั้ง 3 กลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน คือ NADH dehydrogenase complex (ดังภาพที่ 10) cytochrome b-c₁ complex (ดังภาพที่ 11) และ cytochrome oxidase complex (ดังภาพที่ 12)



ภาพที่ 10 NADH dehydrogenase complex (โมเลกุลสีฟ้า) เป็นโปรตีนเชิงซ้อนกลุ่มหนึ่งในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย สามารถรับอิเล็กตรอนจาก NADH



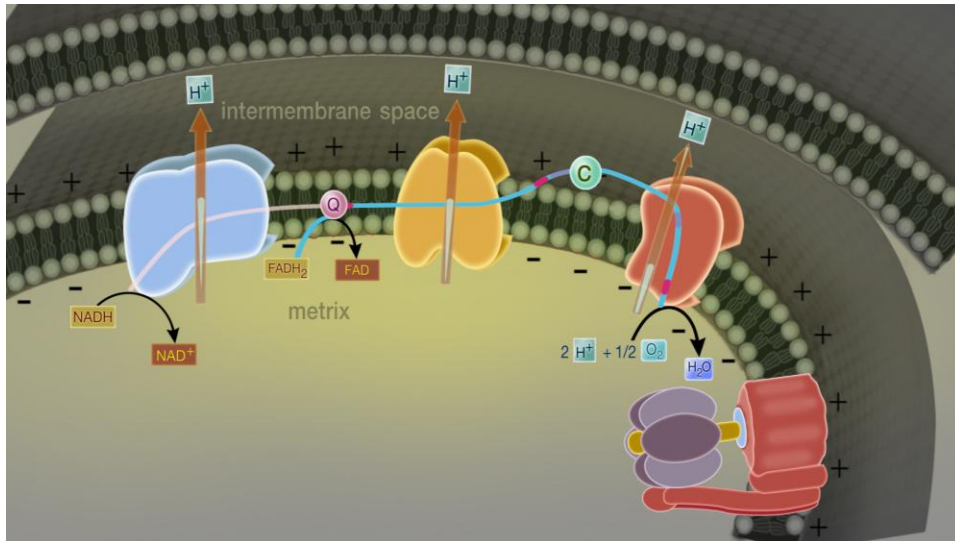
ภาพที่ 11 Cytochrome b - c_1 complex (โมเลกุลสีเหลือง) เป็นโปรตีนเชิงซ้อนกลุ่มหนึ่งในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย สามารถรับอิเล็กตรอนจาก ubiquinone (Q)



ภาพที่ 12 Cytochrome oxidase complex (โมเลกุลสีส้ม) เป็นโปรตีนเชิงซ้อนกลุ่มหนึ่งในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย สามารถรับอิเล็กตรอนจาก cytochrome (C)

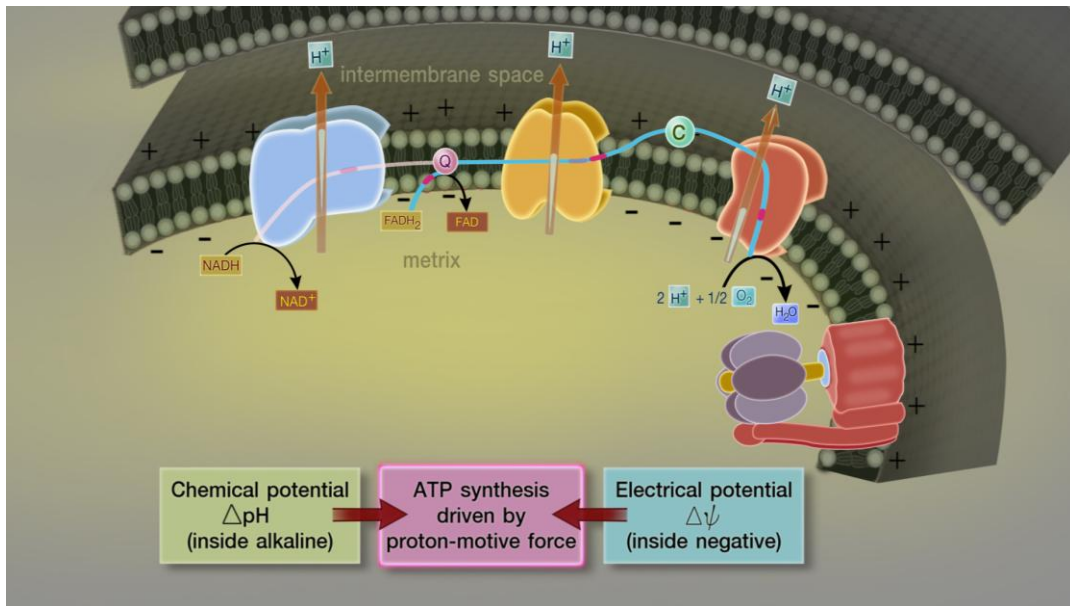


ในขณะที่มีโปรตอนสะสมอยู่ใน intermembrane space นั้น จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า ($\Delta\Psi$) และความต่างศักย์เคมี (ΔpH) ระหว่าง intermembrane space และ matrix เนื่องจากในขณะนั้น บริเวณ intermembrane space มีประจุเป็นบวก และมี pH ต่ำกว่าใน matrix ซึ่งมีประจุเป็นลบ และมี pH สูงกว่าใน intermembrane space (ดังภาพที่ 13)

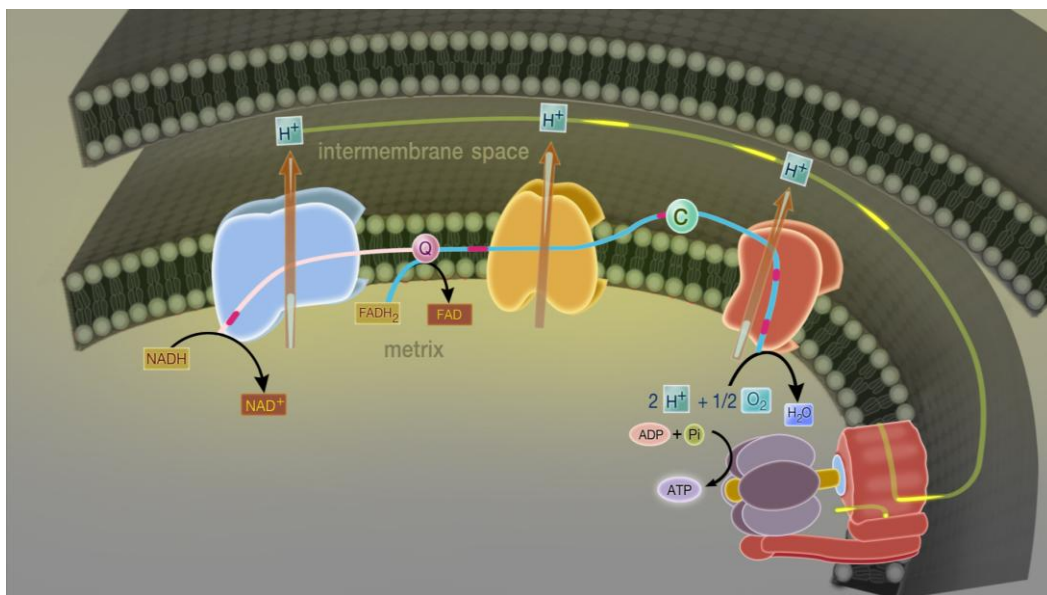


ภาพที่ 13 พลังงานที่เกิดขึ้นในระหว่างการส่งอิเล็กตรอนไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ จะผลักโปรตอนออกจาก matrix ไปสะสมอยู่ใน intermembrane space ทำให้บริเวณ intermembrane space มีประจุเป็นบวก และมี pH ต่ำกว่าใน matrix ซึ่งมีประจุเป็นลบ และมี pH สูงกว่าใน intermembrane space

ความต่างศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์เคมีระหว่าง intermembrane space และ matrix นี้ ประกอบกันเป็นพลังงานศักย์ (potential energy) ที่เรียกว่า proton motive force (ดังภาพที่ 14) พลังงานศักย์นี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ (kinetics energy) เมื่อมีการเคลื่อนที่ของโปรตอนจาก intermembrane space กลับเข้าไปใน matrix (ดังภาพที่ 15) เซลล์ใช้พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากการไหลกลับของโปรตอนนี้ ในกิจกรรมหลายอย่าง รวมทั้งการสังเคราะห์ ATP จาก ADP และ P_i ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงาน



ภาพที่ 14 Proton motive force เป็นพลังงานศักย์ที่เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้า (electrical potential) และความต่างศักย์เคมี (chemical potential) ระหว่าง intermembrane space และ matrix



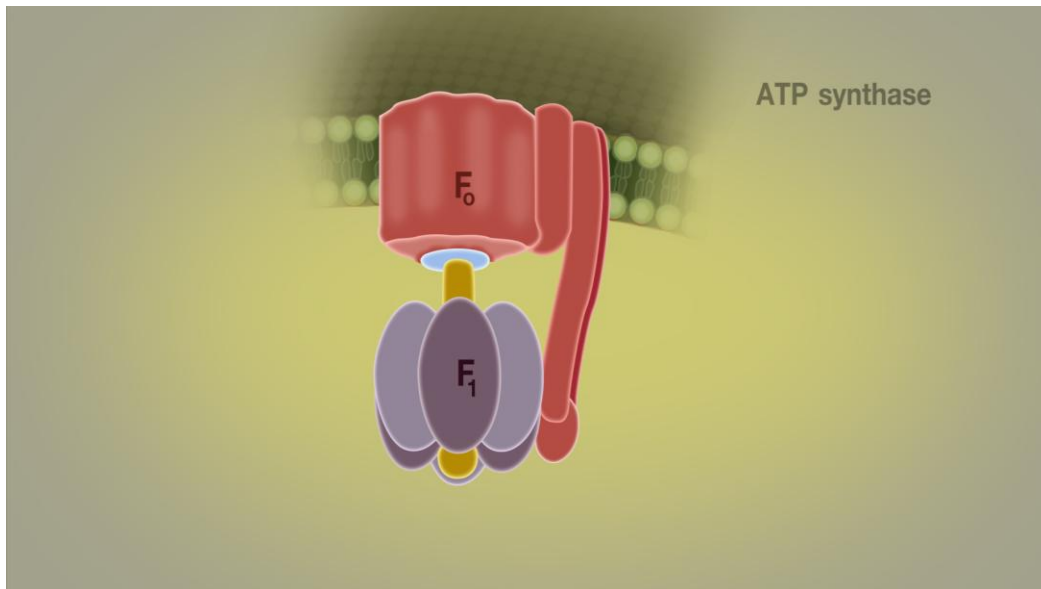
ภาพที่ 15 พลังงานศักย์ในรูปของ proton motive force เปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ เมื่อโปรตอนที่สะสมอยู่ใน intermembrane space ไหลกลับเข้าไปในเมทริกซ์

ดังนั้น จึงเรียกรวมการสังเคราะห์ ATP โดยใช้พลังงานจากการส่งอิเล็กตรอนไปตามลูกโซ่หายใจว่า oxidative phosphorylation เพราะต้องใช้ออกซิเจนและมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ATP ส่วนใหญ่ของเซลล์ สร้างโดย oxidative phosphorylation



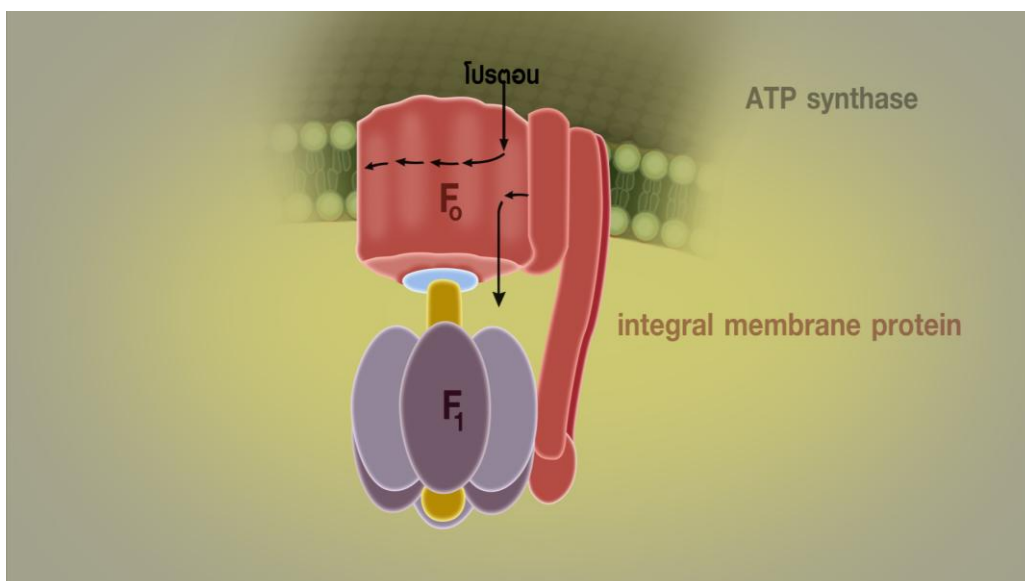
เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation

เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation ในไมโทคอนเดรีย คือ ATP synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์ (polypeptide) หลายสาย ประกอบกันเป็น 2 ส่วน คือ F_0 และ F_1 (ดังภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 เอนไซม์ ATP synthase ในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ประกอบด้วย 2 ส่วน
คือ F_0 และ F_1

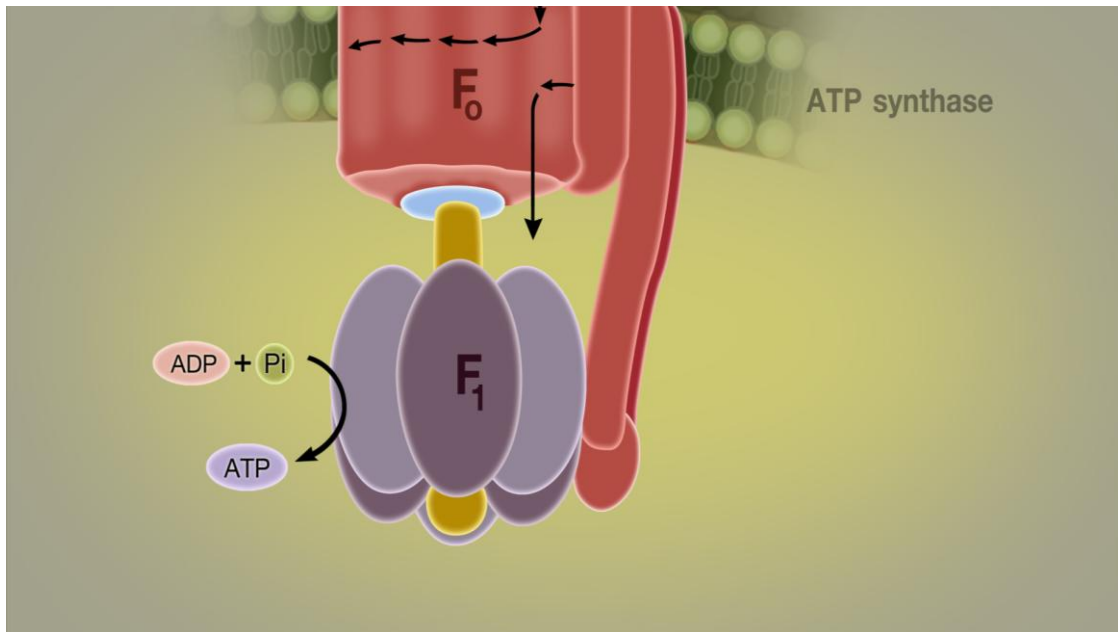
F_0 เป็นส่วนที่ฝังตัวอยู่ในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย หรือเรียกว่าเป็น integral membrane protein มีลักษณะเป็นกระบอก หรือท่อ โปรตอนสามารถไหลผ่านโครงสร้างนี้ได้ (ดังภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ส่วน F_0 ของเอนไซม์ ATP synthase ซึ่งเป็นส่วนที่ฝังอยู่ในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

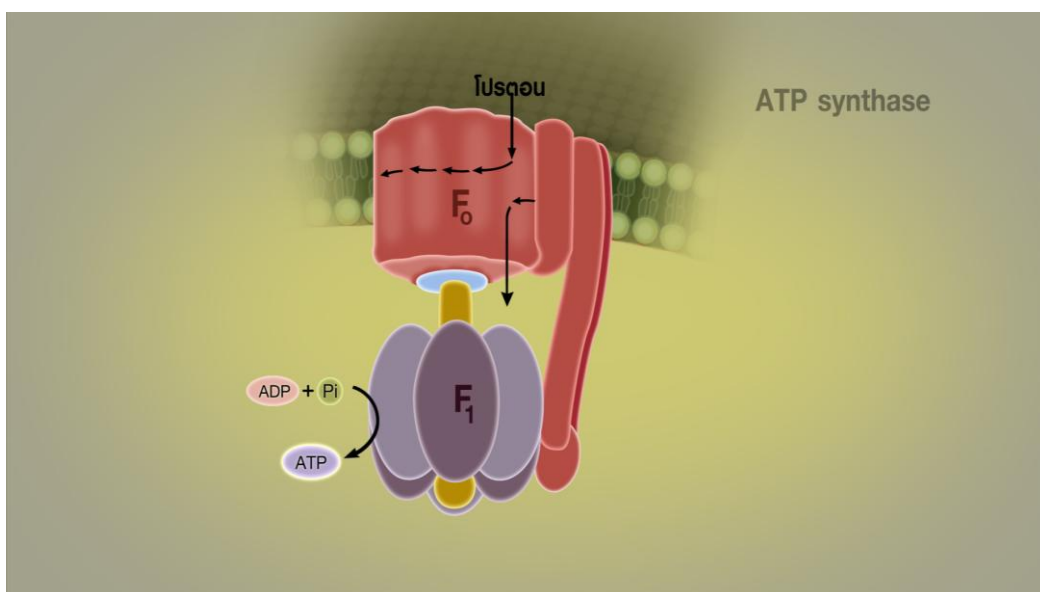


F_1 เป็นส่วนที่หันเข้าไปในเมทริกซ์ และเกาะกับเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย หรือเรียกว่าเป็น peripheral membrane protein ส่วนนี้สามารถจับกับ ADP และ P_i ได้ (ดังภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ส่วน F_1 ของเอนไซม์ ATP synthase ซึ่งสามารถจับกับ ADP และ P_i ได้

เมื่อโปรตอนไหลจาก intermembrane space กลับเข้ามาในเมทริกซ์ ทาง F_0 จะทำให้เอนไซม์นี้มีรูปทรง (conformation) เปลี่ยนไป สามารถเร่งปฏิกิริยาการสร้างพันธะระหว่าง ADP และ P_i เกิดเป็น ATP ได้ (ดังภาพที่ 19)



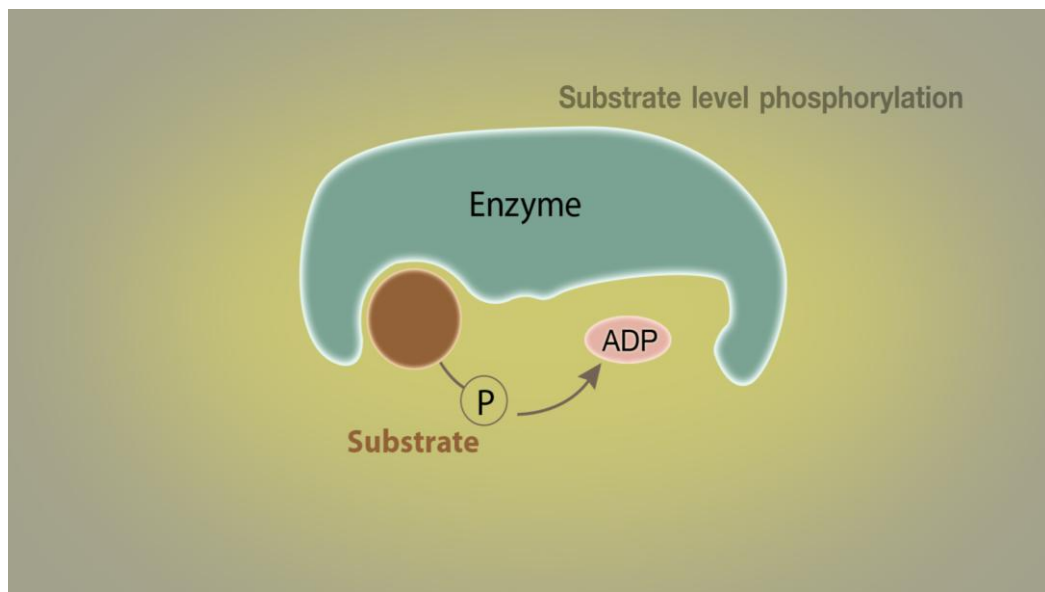
ภาพที่ 19 โปรตอนจะไหลจาก intermembrane space กลับเข้ามาใน matrix ทาง F_0 และทำให้เอนไซม์นี้มีรูปทรงเปลี่ยนไป สามารถเร่งปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP เกิดเป็น ATP ได้



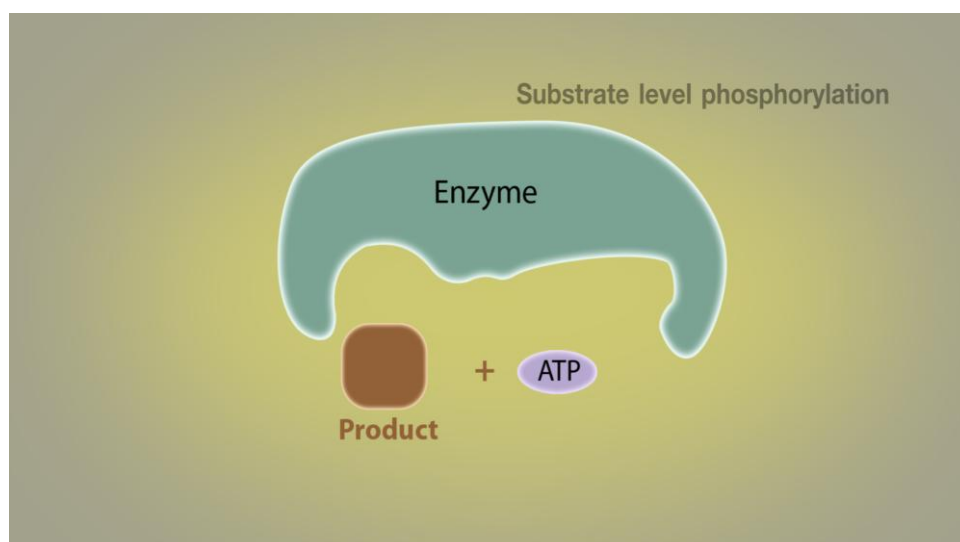
เปรียบเทียบการสร้าง ATP โดย oxidative phosphorylation และ substrate level phosphorylation

ทั้ง substrate level phosphorylation และ oxidative phosphorylation เป็นการสังเคราะห์ ATP จาก ADP และ P_i ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงาน ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่าง 2 กระบวนการ คือ พลังงานที่ใช้ในการสร้าง ATP นั้นเอง

กล่าวคือ substrate level phosphorylation เป็นการถ่ายโอนหมู่ฟอสเฟตจากสารตั้งต้น ((substrate) มาให้โมเลกุลของ ADP โดยตรงและใช้พลังงานจากปฏิกิริยาการตัดหมู่ฟอสเฟตจากสารตั้งต้นมาใช้ในการสร้าง ATP (ดังภาพที่ 20 และ 21)



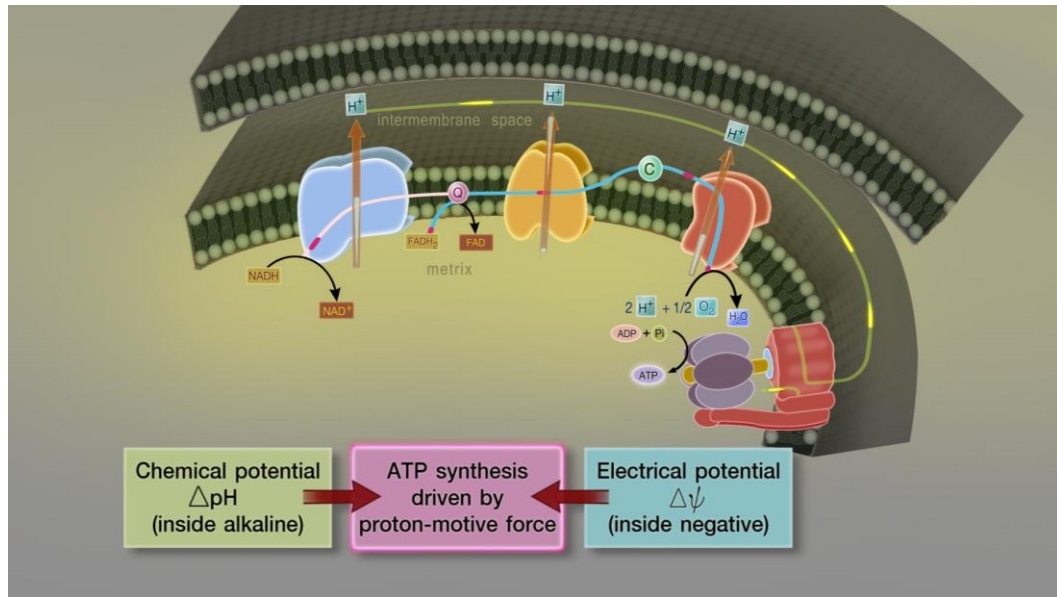
ภาพที่ 20 เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาการตัดหมู่ฟอสเฟตออกจากสารตั้งต้น (substrate) แล้วถ่ายโอนหมู่ฟอสเฟตนั้นให้ ADP



ภาพที่ 21 เมื่อเกิดปฏิกิริยาการตัดหมู่ฟอสเฟตตามภาพที่ 20 แล้ว สารตั้งต้นจะเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (product) และได้ ATP จากปฏิกิริยา



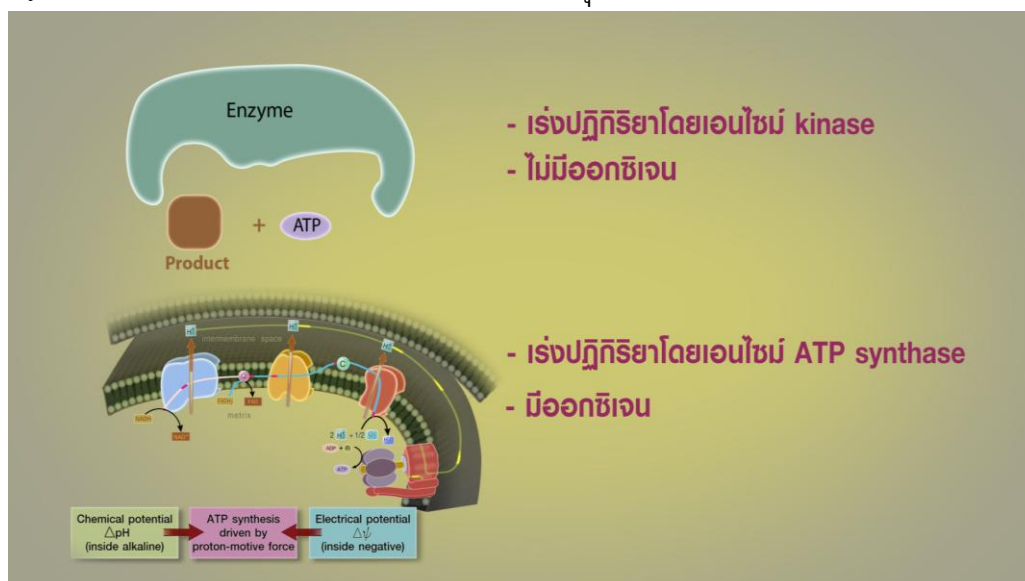
ส่วน oxidative phosphorylation ใช้พลังงานในรูป proton motive force ที่เกิดจากการรับ-ส่ง อิเล็กตรอนไปตามลูกโซ่หายใจในการสร้าง ATP (ดังภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 การสังเคราะห์ ATP โดย oxidative phosphorylation

นอกจากความแตกต่างของพลังงานที่ใช้ในการสร้าง ATP แล้วเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้าง ATP ของสองวิธีนี้ก็แตกต่างกัน คือ substrate level phosphorylation เร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ ไคเนส (kinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ละลายน้ำได้ ส่วน oxidative phosphorylation เร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ ATP synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีส่วนที่ฝังตัวอยู่ในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย (ดังภาพที่ 24)

นอกจากนั้น substrate level phosphorylation เกิดขึ้นโดยไม่ต้องมีออกซิเจน แต่ oxidative phosphorylation ต้องมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบการสังเคราะห์ ATP โดย substrate level phosphorylation และ oxidative phosphorylation



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่องนี้เน้นให้ผู้เรียนรู้จัก ATP ซึ่งเป็นตราสารพลังงาน (energy currency) ของเซลล์ ลักษณะสมบัติของไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ที่เกิด oxidative phosphorylation พลังงานที่ใช้ในการสร้างเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้าง oxidative phosphorylation รวมทั้งให้เปรียบเทียบการสร้าง ATP โดยปฏิกิริยา 2 แบบ คือ oxidative phosphorylation และ substrate level phosphorylation



ภาคผนวก

ก. คำที่ควรทราบ

แคตาบอลิซึม (catabolism) กระบวนการสลายชีวโมเลกุลและเก็บพลังงาน
ที่เกิดขึ้นไว้ในโมเลกุลของ

ATP

ปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงาน (endergonic reation) ปฏิกิริยาที่พลังงานพันธะของผลิตภัณฑ์สูงกว่า
พลังงานพันธะของสารตั้งต้น ดังนั้นจึงต้องการ
พลังงานเพิ่มเติมจากภายนอก เพื่อผลักดันให้
ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้

ปฏิกิริยาคายพลังงาน (exergonic reaction) ปฏิกิริยาที่พลังงานพันธะของสารตั้งต้น สูงกว่า
พลังงานพันธะของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงไม่
ต้องการพลังงานเพิ่มเติมจากภายนอก เพื่อ
ผลักดันให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้

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. 2011. Campbell Biology. 9th edition, Benjamin Cummings, San Francisco.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
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 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.อรรพรรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรรพรรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรรพรรณ สัตยาลัย
37	เซลล์พืช	ผศ.ดร.มานิต 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 ลิ้มปะนะเวช
54	การเคลื่อนไหวของพืช	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
55	ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
56	กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
57	มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ 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 เด่นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์



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 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 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
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา