



คำชี้แจง

คู่มือการใช้สื่อการสอนวิชาชีววิทยา จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการใช้ประกอบการสอนวิชาชีววิทยา คู่มือนี้ได้ระบุจุดประสงค์ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาในสื่อและแนวทางการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ครูเข้าใจเนื้อหาของเรื่องที่สอน สามารถใช้สื่อประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเตรียมตัวและเตรียมแผนการสอนให้เหมาะสมกับนักเรียนในชั้น คู่มือนี้ยังมีส่วนของภาคผนวกที่ประกอบด้วยแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้จะช่วยให้ครูสามารถสอนวิชาชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปิดโลกทัศน์ในการเรียนรู้มากขึ้น

อาจารย์.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์

ผู้จัดทำคู่มือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	4
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	4
สาระ	5
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	15
ภาคผนวก	16
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวนทั้งหมด 92 ตอน	17



เรื่อง

ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์

ภาพรวมของการสลายอาหารระดับ 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

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายการนำสารอาหารชนิดต่างๆไปใช้เป็นพลังงานในเซลล์

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสลายอาหารระดับเซลล์
2. อธิบายออร์แกเนลที่เกิดการสลายอาหารระดับเซลล์
3. อธิบายการสลายอาหารระดับเซลล์ในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน
4. อธิบายการสลายอาหารระดับเซลล์ของกลูโคส ลิพิด และโปรตีน



สาระ

การสลายอาหารระดับเซลล์

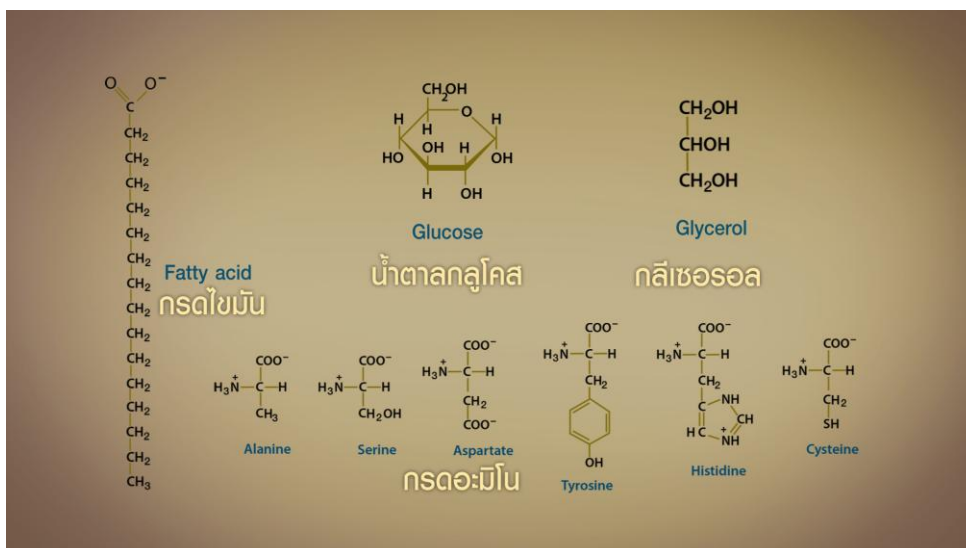
สิ่งมีชีวิตต่างๆในโลกของเราล้วนมีกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน เพื่อดำรงชีวิต เช่น การกินหาอาหารของนก การว่ายน้ำของปลา การชักใยของแมงมุม การบินเพื่อหาดอกไม้ของแมลง การเดินทางมาโรงเรียน การเดินทางไปทำงานของมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ ล้วนต้องอาศัยพลังงานเป็นตัวขับเคลื่อนทั้งสิ้น แล้วสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นได้พลังงานมาจากที่ไหนกัน คำตอบก็คืออาหารนั่นเอง

สิ่งมีชีวิตได้พลังงานจากอาหารเช่น คาร์โบไฮเดรตจากข้าว ขนมปัง มันฝรั่ง โปรตีนจากเนื้อสัตว์ ถั่ว และไขมันจากน้ำมัน นม เนย (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 อาหารที่ให้พลังงานคือ คาร์โบไฮเดรต (ข้าว ขนมปัง มันฝรั่ง) โปรตีน (เนื้อสัตว์ ถั่ว) และไขมัน (น้ำมัน นม เนย)

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะสลายพันธะเคมีต่างๆ ของชีวโมเลกุลของอาหารเหล่านั้น เช่น น้ำตาล กลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน กลีเซอรอล (ดังภาพ ที่ 2) เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน เราเรียกกระบวนการนี้ว่า แคทาบอลิซึม (catabolism)

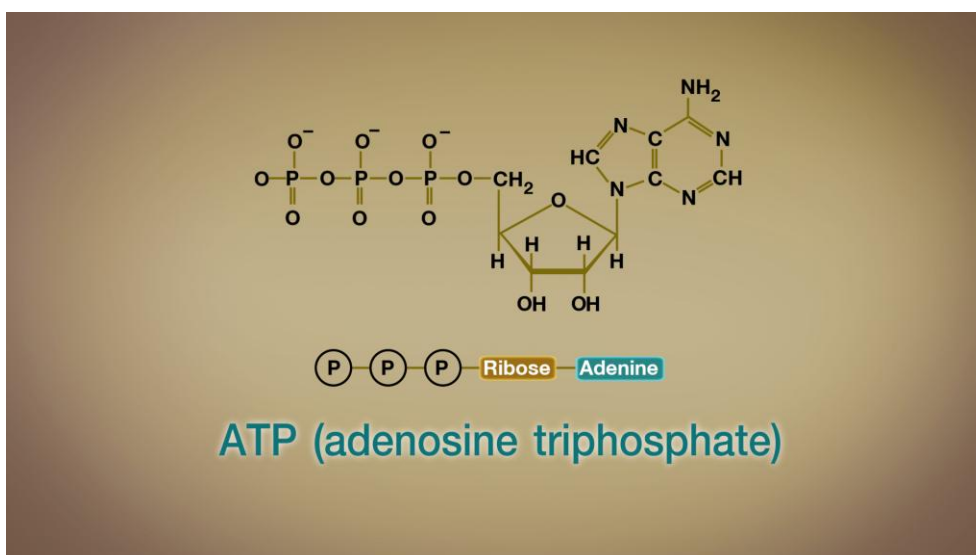


ภาพที่ 2 ชีวโมเลกุลต่างๆที่เซลล์สามารถใช้พลังงานพันธะได้
เช่น กลูโคส กลีเซอรอล กรดไขมัน กรดอะมิโน

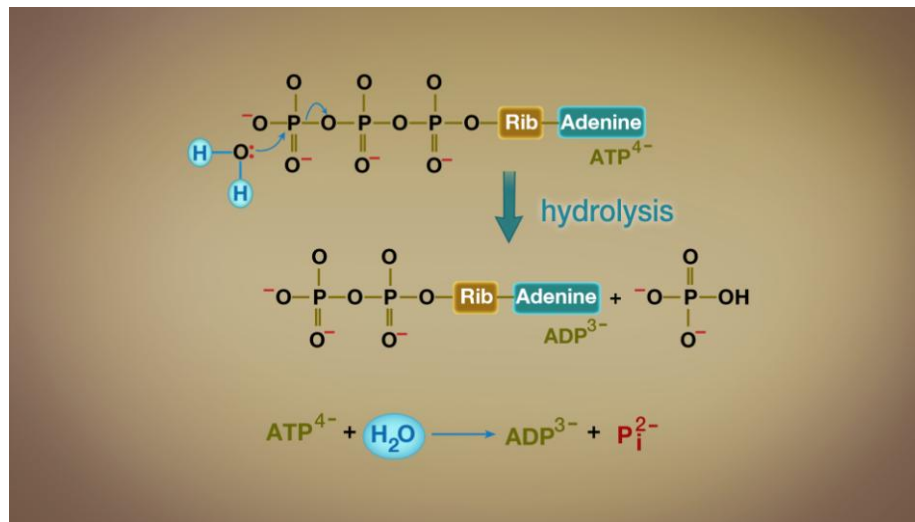
กระบวนการสลายอาหารระดับเซลล์ หรือ การหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration)

หลังจากได้พลังงานจากกระบวนการแตกาบอลิซึมแล้ว เซลล์จะเก็บพลังงานที่ได้ไว้ในโมเลกุลอื่นที่เซลล์สามารถนำไปใช้ได้ เช่น โมเลกุลของ ATP (adenosine triphosphate) (ดังภาพที่ 3) เมื่อใดที่เซลล์ต้องการใช้พลังงานเพื่อขับเคลื่อนกิจกรรมต่างๆ เซลล์จะทำการสลาย ATP ด้วยน้ำเพื่อให้ได้พลังงานมา (ดังภาพที่ 4)

กระบวนการสลายอาหารในเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานนี้ เรียกว่า การหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ ATP (adenosine triphosphate)



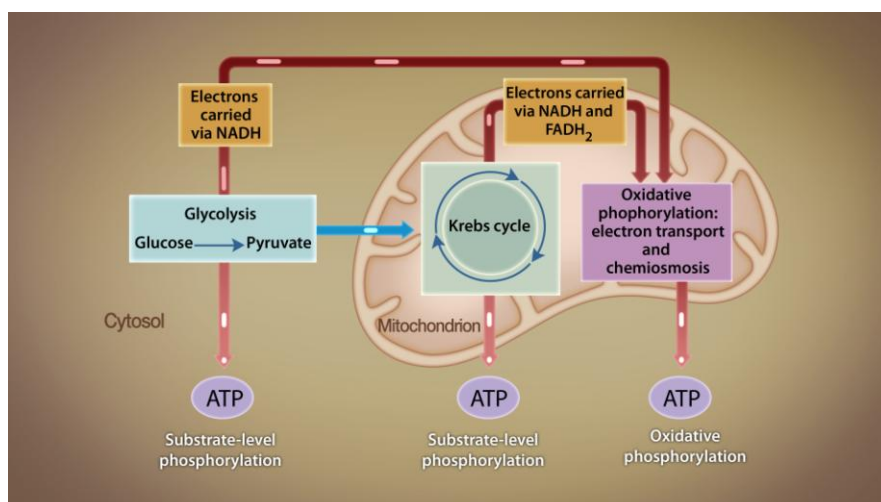
ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำของ ATP ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน

ขั้นตอนการสลายอาหารระดับเซลล์

เราจะเรียนรู้เรื่องการหายใจระดับเซลล์ โดยเริ่มจากน้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นชีวโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอน 6 อะตอม

การสลายอาหารระดับเซลล์นั้น ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

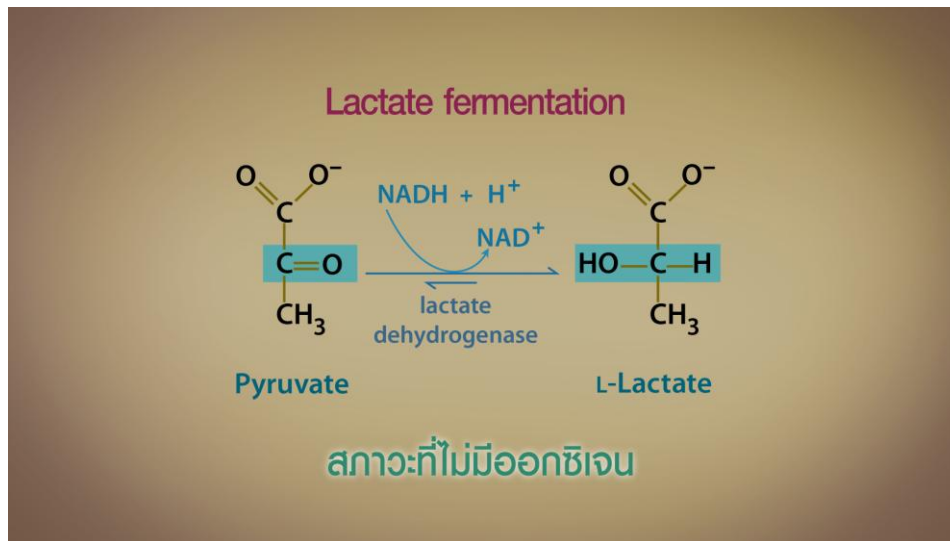
- 1) ไกลโคไลซิส (glycolysis) ซึ่งเกิดในไซโทพลาสซึมของเซลล์
- 2) วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ซึ่งเกิดในเมทริกซ์ (matrix) ของไมโทคอนเดรีย และ
- 3) การส่งอิเล็กตรอนไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ที่เรียกว่าลูกโซ่หายใจ (electron transport chain) ซึ่งเรียงตัวอยู่ตามเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย (ดังภาพที่ 5) เซลล์จะเก็บพลังงานที่ได้ในระหว่างการสลายกลูโคสนี้ไว้ในโมเลกุลของ ATP โดยกระบวนการ substrate level phosphorylation และ oxidative phosphorylation



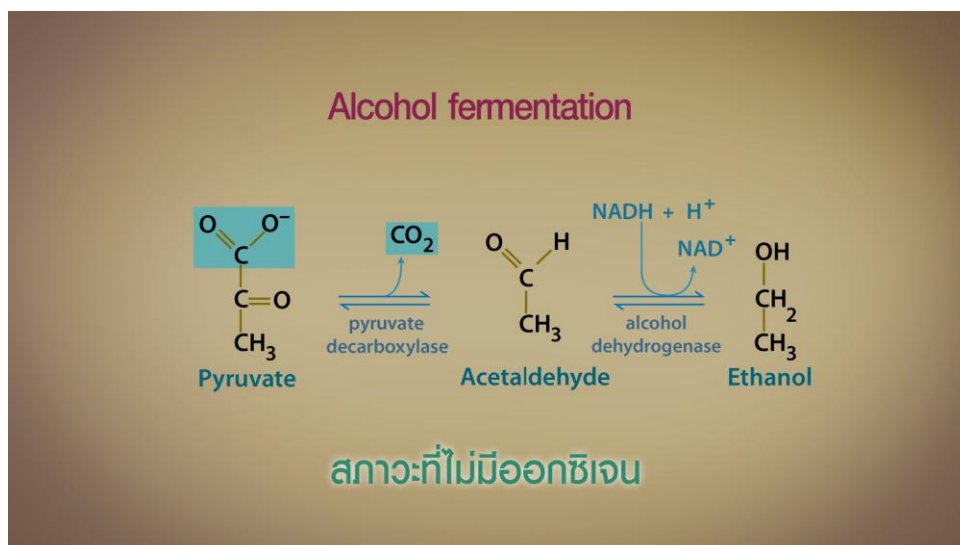
ภาพที่ 5 กระบวนการสลายอาหารระดับเซลล์ประกอบด้วย กระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และการส่งอิเล็กตรอนไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ที่เรียกว่าลูกโซ่หายใจ (electron transport chain)



ในกรณีที่ไม่มีออกซิเจน จะเกิดกระบวนการหมัก (fermentation) (ดังภาพที่ 6 และ 7) ขึ้นแทนกระบวนการที่เกิดในไมโทคอนเดรีย กล่าว คือ วัฏจักรเครบส์ และการส่งอิเล็กตรอนไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ในลูกโซ่หายใจ



ภาพที่ 6 การหมักกรดแลคติก (Lactate fermentation)



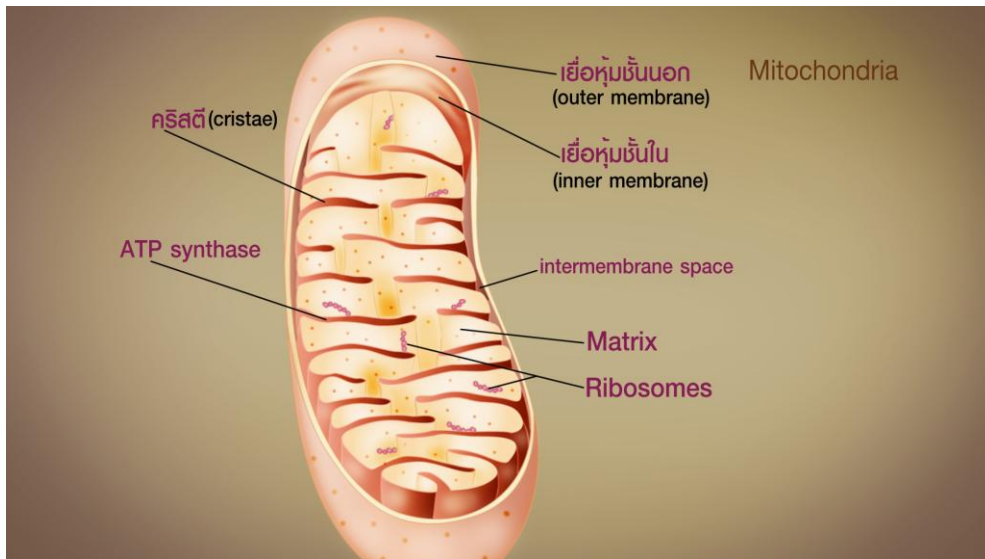
ภาพที่ 7 การหมักแอลกอฮอล์ (Alcohol fermentation)

นอกจากนั้น ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จะมีการสร้าง ATP โดยกระบวนการ substrate level phosphorylation เท่านั้น จะไม่มีการสร้าง ATP โดยกระบวนการ oxidative phosphorylation



ออร์แกเนลล์ที่เกิดการสลายอาหารระดับเซลล์

ออร์แกเนลล์ ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสลายอาหารระดับเซลล์ คือไมโทคอนเดรีย (mitochondria) (ดังภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) แสดงเยื่อหุ้มชั้นนอก เยื่อหุ้มชั้นใน คริสตี (cristae) และเมทริกซ์ (matrix)

ไมโทคอนเดรียเป็นออร์แกเนลล์ ที่ประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือเยื่อหุ้มชั้นนอก (outer membrane) เยื่อหุ้มชั้นใน (inner membrane) เยื่อหุ้มชั้นในนั้นจะพับทบไปมา และยื่นเข้าไปด้านใน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว เรียกว่า คริสตี (cristae) ส่วนบริเวณระหว่างเยื่อหุ้มทั้ง 2 ชั้น เรียกว่า intermembrane space เยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียนั้น มีคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน แตกต่างกัน กล่าวคือเยื่อหุ้มชั้นนอกจะยอมให้สารโมเลกุลเล็กๆ และไอออนต่างๆ ผ่านได้ดีกว่าเยื่อหุ้มชั้นใน ที่แม้แต่ไอออนขนาดเล็ก เช่น โปรตอนก็ไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียอย่างอิสระได้

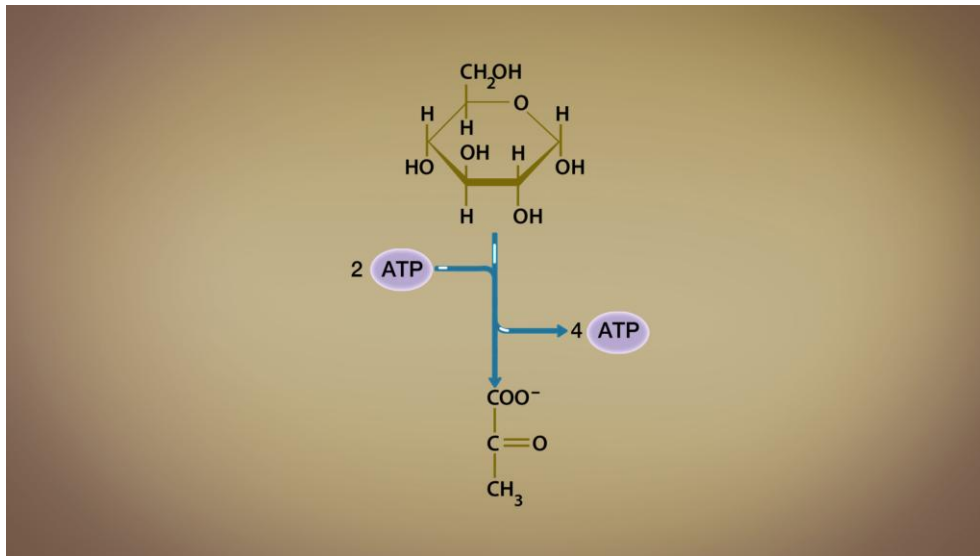
ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียมีโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของลูกโซ่หายใจเรียงตัวอยู่ นอกจากนี้ ยังมีเอนไซม์ ATP synthase และโปรตีนอื่นๆ ที่ทำหน้าที่ขนส่งฝังตัวอยู่

ภายในของเยื่อหุ้มชั้นในเรียกว่าเมทริกซ์ (matrix) บรรจุเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์ในวัฏจักรเครบส์ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์กรดไขมัน เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์กรดอะมิโน



กระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการสลายอาหารระดับเซลล์

เมื่อกลูโคสถูกนำเข้ามาในเซลล์แล้ว จะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวต (pyruvate) โดยกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งเกิดในไซโทพลาสซึมของเซลล์ กลูโคสซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 6 อะตอมจะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม นอกจากนี้ยังได้พลังงานในโมเลกุลของ ATP จากกระบวนการ substrate level phosphorylation อีกด้วย (ดังภาพที่ 9)

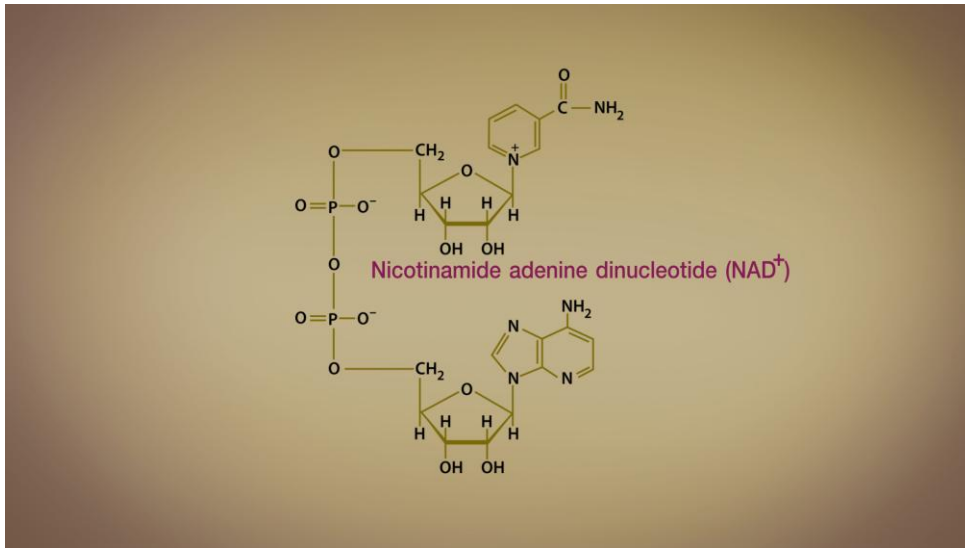


ภาพที่ 9 สรุปกระบวนการไกลโคไลซิสในไซโทพลาสซึม ซึ่งเปลี่ยนกลูโคสเป็นไพรูเวต และได้พลังงานในโมเลกุลของ ATP โดย substrate level phosphorylation

หมายเหตุ ผู้สอนอาจอธิบายเพิ่มเติมว่า จากกระบวนการไกลโคไลซิส กลูโคส 1 โมล จะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวต 2 โมล โดยใช้ ATP 2 โมล และได้ ATP 4 โมล ดังนั้นจึงได้ ATP สุทธิ 2 โมลต่อ 1 โมลของกลูโคส



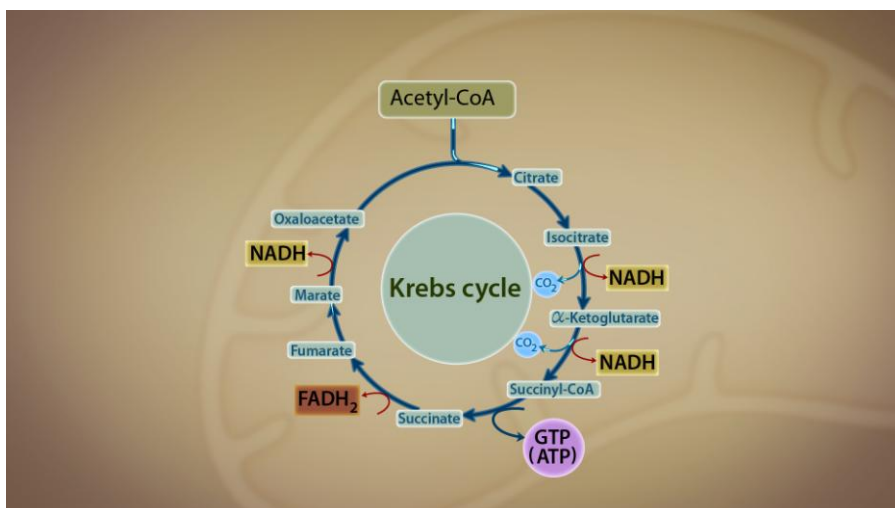
ส่วนอิเล็กตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ในกระบวนการไกลโคไลซิส นั้น จะถูกส่งให้ NAD^+ (ดังภาพที่ 10) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น NADH ดังนั้น จากกระบวนการไกลโคไลซิส นอกจาก ATP แล้ว ยังได้ NADH เป็นผลิตภัณฑ์อีกด้วย



ภาพที่ 10 โครงสร้างของ NAD^+

ในสภาวะที่มีออกซิเจน ไพรูเวตจากกระบวนการไกลโคไลซิส จะถูกส่งเข้าไปในเมทริกซ์ของไมโทคอนเดรีย เพื่อถูกสลายต่อไปโดยวัฏจักรเครบส์ ส่วน NADH ที่เกิดขึ้น จะถูกส่งเข้ามาในเมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียเพื่อถ่ายทอดไปให้ตัวรับอิเล็กตรอนอื่นๆ ในลูกโซ่หายใจต่อไป (ดังภาพที่ 5)

ในเมทริกซ์ ของไมโทคอนเดรีย การสลายไพรูเวตจะได้พลังงานในโมเลกุลของ ATP หรือ GTP จากกระบวนการ substrate level phosphorylation (ดังภาพที่ 11)

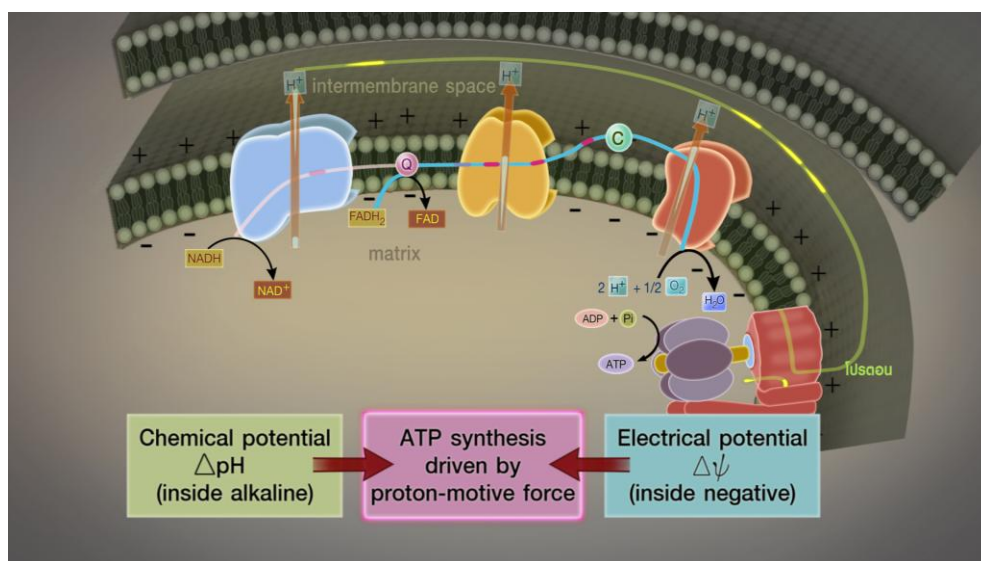


ภาพที่ 11 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ในเมทริกซ์ (matrix) ของไมโทคอนเดรีย ไพรูเวต (pyruvate) จะต้องถูกเปลี่ยนเป็น อะเซทิลโคเอนไซม์เอ (Acetyl-CoA) ก่อนการออกซิเดชันในวัฏจักรเครบส์



อิเล็กตรอนจากปฏิกิริยาต่างๆ ในวัฏจักรเครบส์ จะถูกส่งให้ NAD^+ และ FAD เกิด NADH และ FADH_2 จากนั้นอิเล็กตรอนในโมเลกุลของ NADH และ FADH_2 จะถูกส่งไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ที่เรียงตัวอยู่ตามเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ในการส่งอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆนี้ อิเล็กตรอนจะถูกส่งไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย (ดังภาพที่ 12)

การส่งอิเล็กตรอนในลักษณะนี้ จะก่อให้เกิดพลังงานในรูปของ proton motive force พลังงานนี้เอง ที่เซลล์นำไปใช้ในการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP โดยใช้เอนไซม์ ATP synthase เร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ ATP ดังนั้น จึงเรียกการสังเคราะห์ ATP โดยใช้พลังงานจากการส่งอิเล็กตรอนไปตามตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ นี้ว่า oxidative phosphorylation



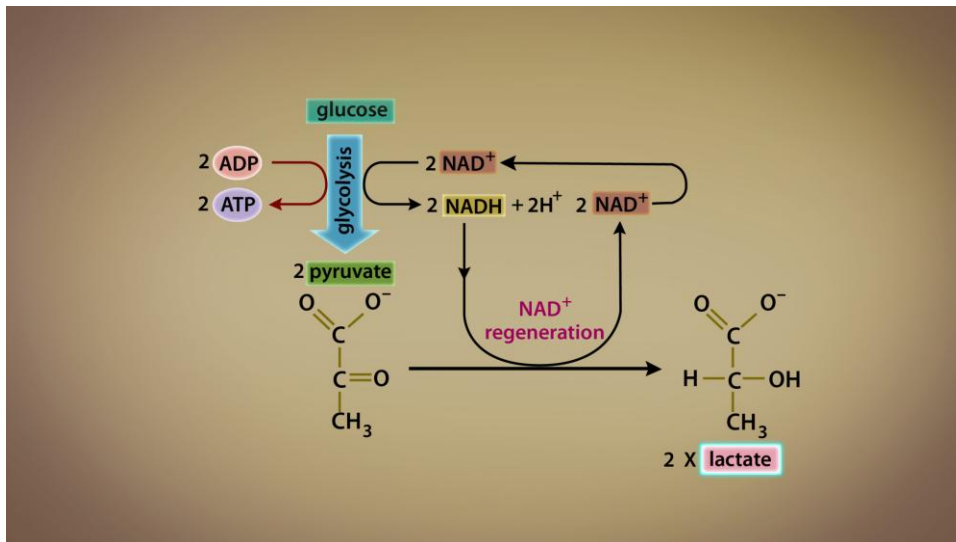
ภาพที่ 12 การส่งอิเล็กตรอนจาก NADH และ FADH_2 ไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆในลูกโซ่หายใจ ก่อให้เกิดพลังงานในรูป proton motive force ซึ่งสามารถนำไปใช้สร้าง ATP ได้

ในขณะเดียวกัน เมื่อ NADH และ FADH_2 ส่งอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียแล้ว จะได้ NAD^+ และ FAD กลับคืนมา และสามารถนำไปใช้รับอิเล็กตรอน ในการสลายกลูโคสโมเลกุลต่อไปได้

การสลายกลูโคสในสภาวะที่มีออกซิเจนนี้ เรียกว่าการหายใจระดับเซลล์ เซลล์จะได้พลังงานในรูปโมเลกุลของ ATP เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ดังภาพที่ 11)

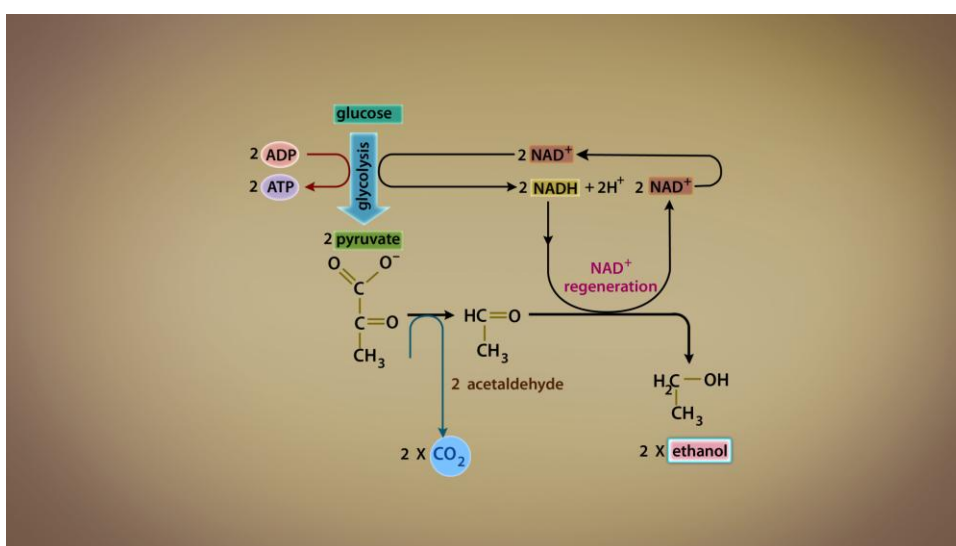


แต่ถ้าไม่มีออกซิเจน ไพรูเวตที่ได้จากไกลโคไลซิสจะไม่สามารถถูกสลายต่อไปในวัฏจักรเครบส์ได้ นอกจากนั้น NADH ก็ไม่สามารถส่งอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียได้ ในสภาวะเช่นนี้ เซลล์แต่ละชนิดจะมีการสลายไพรูเวตแตกต่างกัน เช่นในเซลล์กล้ามเนื้อ ไพรูเวตจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลกติก เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการหมักกรดแลกติก (lactic acid fermentation) (ดังภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 กระบวนการหมักกรดแลกติกในเซลล์กล้ามเนื้อ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน
ไพรูเวต (pyruvate) จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลกติก

ถ้าเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวเช่นยีสต์ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไพรูเวตจะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอล เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (alcohol fermentation) (ดังภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ ในเซลล์ยีสต์ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไพรูเวตจะถูก
เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์



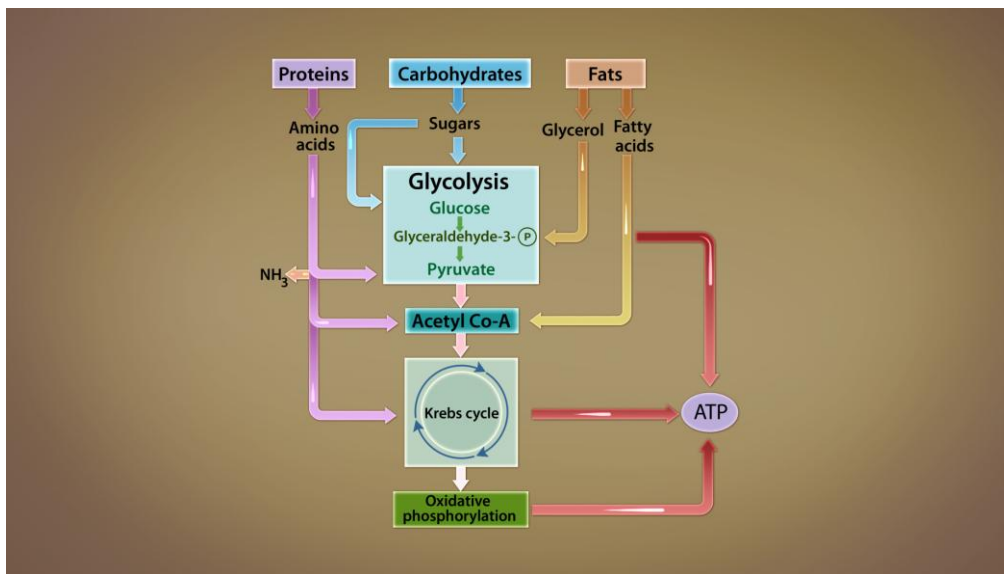
เราจะสังเกตได้ว่า ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เซลล์จะไม่ได้พลังงานในรูปของ ATP เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหมัก แต่เซลล์จะได้ NAD^+ กลับคืนมา เพื่อใช้อับอิเล็กตรอนในการสลายกลูโคสครั้งต่อไปได้

หมายเหตุ ผู้สอนอาจตั้งคำถามต่อไปนี้แก่ผู้เรียน

1. อธิบายความแตกต่างของการสลายอาหารระดับเซลล์ในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน
2. อธิบายความสำคัญของกระบวนการหมัก

การสลายอาหารระดับเซลล์ของโมเลกุลอื่นนอกจากกลูโคส

นอกจากกลูโคสที่เราได้ชมเป็นตัวอย่างแล้ว เซลล์สามารถสร้างพลังงานจากโมเลกุลอื่นๆได้เช่นกัน เช่นกรดอะมิโนต่างๆที่ได้จากการสลายด้วยน้ำของโปรตีน กรดไขมันชนิดต่างๆ และกลีเซอรอลที่ได้จากการสลายด้วยน้ำของลิพิด โดยเซลล์จะมีกระบวนการเพิ่มเติม เพื่อเปลี่ยนกรดอะมิโน กรดไขมัน หรือ กลีเซอรอลให้เป็นโมเลกุลที่สามารถเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส หรือ วัฏจักรเครบส์ เพื่อสร้างพลังงานจากโมเลกุลเหล่านั้น (ดังภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 แคทาบอลิซึมของชีวโมเลกุลต่างๆ คือกรดอะมิโน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กลีเซอรอล และกรดไขมันที่ใช้กระบวนการไกลโคไลซิส และ วัฏจักรเครบส์เป็นแกนหลัก

เราจะสังเกตได้ว่า เซลล์จะใช้ กระบวนการไกลโคไลซิส และ วัฏจักรเครบส์เป็นแกนหลักในการสร้างพลังงานจากอาหารต่างๆ เพื่อผลักดันกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง ภาพรวมการสลายอาหารระดับเซลล์ เป็นสื่อที่เน้นให้ผู้เรียนได้เข้าใจกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสลายอาหารระดับเซลล์ หรือการหายใจระดับเซลล์ในภาพรวม ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

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

ให้ผู้เรียนรู้จักองค์ประกอบของไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ที่เกิดการสลายอาหารระดับเซลล์ ผู้สอนอาจดูคำอธิบายตรงหมายเหตุ ของแต่ละตอนที่ปรากฏในคู่มือเพิ่มเติมได้ตามความเหมาะสม



ภาคผนวก

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	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.จุฑาพันธ์ุ พินสวัสดิ์
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.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



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
22	ไต: หน่วยไตและการผลิตปัสสาวะ	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
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.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 คิตอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
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



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
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 บุญ-หลง
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 อังกินันท์
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 มัญชุพानी
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพानी
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
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	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 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 ธีรคุปต์
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	อ.ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา