

### คำชี้แจงสำหรับครูผู้สอน

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาชีววิทยา หน่วยการเรียนรู้ ระบบย่อยอาหารและการสลายสารอาหารระดับเซลล์ วิชาชีววิทยา 1 รหัส ว31241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ชุดที่ 4 การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน ใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนรู้เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน โดยให้ครูผู้สอนปฏิบัติตามคำแนะนำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ครูเตรียมความพร้อม โดยศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับคำแนะนำการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาชีววิทยา การจัดกระบวนการเรียนการสอน และการเตรียมสื่อการเรียนรู้
2. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูต้องจัดกิจกรรมให้ครบตามที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้กิจกรรมเป็นไปอย่างต่อเนื่องและบรรลุวัตถุประสงค์
3. ครูควรเน้นให้นักเรียนปฏิบัติตามขั้นตอนการทำกิจกรรมอย่างเคร่งครัด และให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนรู้จักการทำงานร่วมกัน ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน รับผิดชอบต่อหน้าที่ และกล้าแสดงออก
4. ขณะทำกิจกรรมครูให้คำแนะนำแก่นักเรียนเมื่อมีปัญหา และสังเกตกระบวนการทำงานกลุ่มของนักเรียนแต่ละกลุ่ม
5. เมื่อเสร็จสิ้นการทำกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาชีววิทยา ให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน

#### สิ่งที่ครูต้องเตรียม

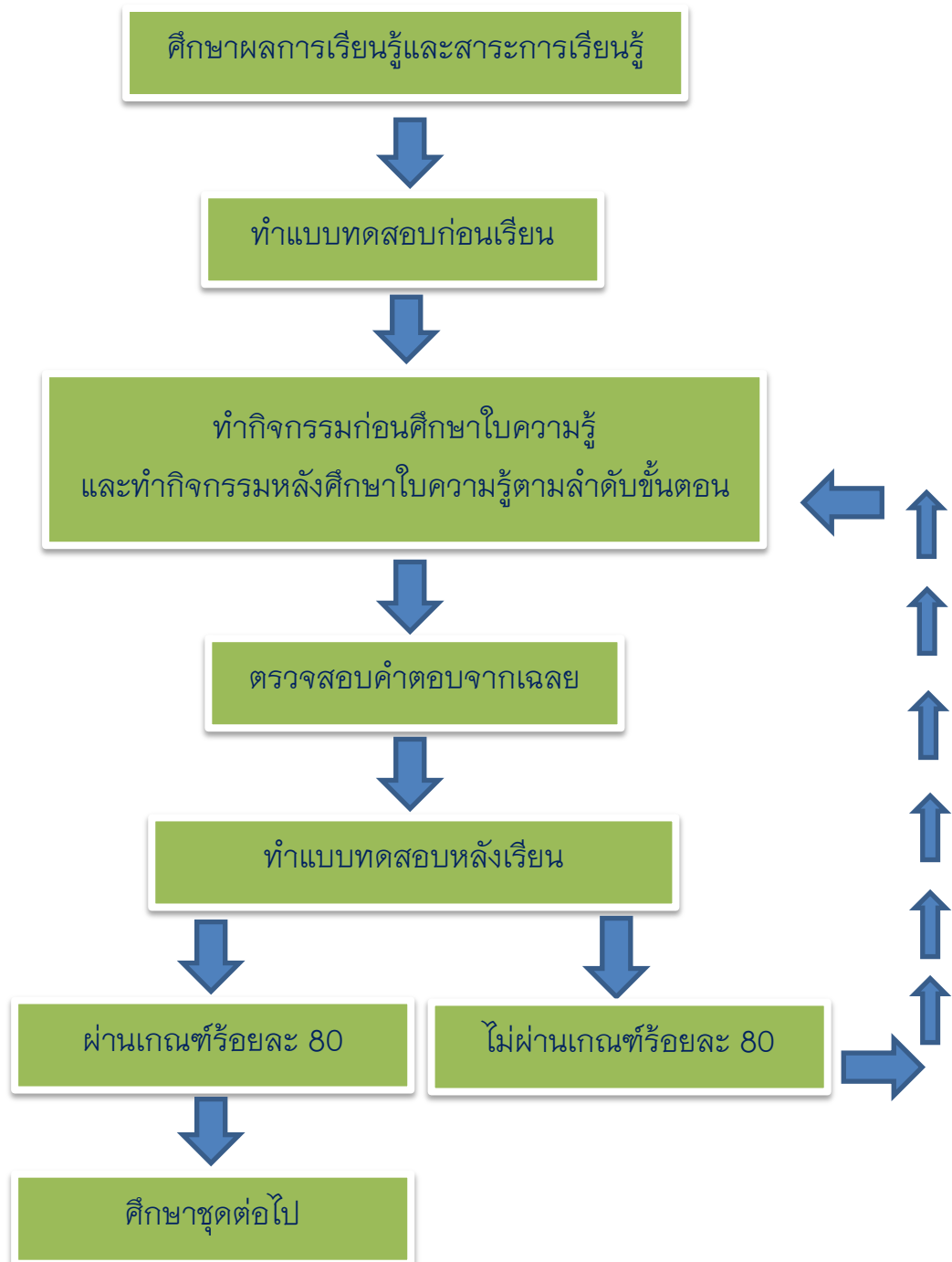
- แผนการจัดการเรียนรู้
- ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาชีววิทยา หน่วยการเรียนรู้ ระบบย่อยอาหารและการสลายสารอาหารระดับเซลล์ วิชาชีววิทยา 1 รหัส ว31241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ชุดที่ 4 การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน
- แบบบันทึกผลการประเมินนักเรียนเป็นรายกลุ่มและรายบุคคล

### คำชี้แจงสำหรับผู้เรียน

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ชีววิทยา หน่วยการเรียนรู้ ระบบย่อยอาหารและการสลายสารอาหารระดับเซลล์ วิชชีววิทยา 1 รหัส ว31241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ชุดที่ 4 การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน สร้างขึ้นเพื่อเป็นสื่อประกอบการจัดการเรียนการสอน วิชชีววิทยา 1 รหัส ว31241 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเอง โดยผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ด้วยการปฏิบัติตามคำแนะนำต่อไปนี้

1. ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน
2. ผู้เรียนต้องศึกษาชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาชีววิทยาด้วยตนเอง
3. ผู้เรียนร่วมอภิปรายเกี่ยวกับประเด็นความรู้ในเนื้อหากับครูผู้สอน และซักถามข้อสงสัย
4. เมื่อผู้เรียนศึกษาเนื้อหาจนเข้าใจแล้ว ทำใบกิจกรรมและแบบทดสอบหลังเรียน

## ขั้นตอนการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ชีววิทยา



**ข้อสำคัญ** นักเรียนต้องซื่อสัตย์ตนเอง ไม่เปิดดูเฉลยก่อน และห้ามลอกเพื่อน เพราะนักเรียนจะไม่ประสบความสำเร็จในการเรียนตามชุดกิจกรรมการเรียนรู้



### แบบทดสอบก่อนเรียน

#### เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

คำชี้แจง 1. แบบทดสอบเป็นแบบปรนัยมีทั้งหมด 10 ข้อ คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที

2. ให้นักเรียนพิจารณาคำถามและเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในในกระดาษคำตอบ

1. สารในข้อใดไม่เกิดขึ้นจากกระบวนการไกลโคลิซิส

1. NADH

2. FADH<sub>2</sub>

3. CO<sub>2</sub>

ก. 1

ข. 2

ค. 1 3

ง. 2 3

2. ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ออกซิเจนเข้าไปเกี่ยวข้องในช่วงใด

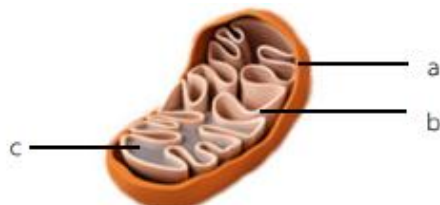
ก. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ข. วัฏจักรเครบส์

ค. ไกลโคลิซิส

ง. การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์เอ

3. จากภาพต่อไปนี้ส่วนใดของไมโทคอนเดรียที่มีสารประกอบเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน



ก. a

ข. b

ค. c

ง. a b

4. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจนในเซลล์ยูคาริโอต จากกลูโคส 1 โมเลกุล จะได้พลังงาน ATP ทั้งหมดกี่โมเลกุล

- ก. 30                      ข. 34                      ค. 38                      ง. 32

5. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

- ก. กระบวนการไกลโคไลซิสเกิดขึ้นในไซโทพลาสซึม  
ข. วัฏจักรเครบส์เกิดในไมโทคอนเดรียในชั้นเมทริกซ์  
ค. กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย  
ง. การสร้างแอสิดิลโคเอนไซม์ เอ เกิดนอกไมโทคอนเดรีย

6. ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน  $\text{NADH}$  2 โมเลกุล และ  $\text{FADH}_2$  3 โมเลกุล ถูกนำไปใช้ในการสร้าง ATP ได้จำนวนหนึ่งกี่โมเลกุล

- ก. 8                      ข. 10                      ค. 12                      ง. 14

7. ไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในส่วนใดของเซลล์ตามลำดับ

1. เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย  
2. เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรีย  
3. ไซโทพลาสซึม

ก. 1 2 3

ข. 2 1 3

ค. 3 1 2

ง. 3 2 1

8. เฉพาะในวัฏจักรเครบส์ 1 รอบ จะได้พลังงานเกิดขึ้นเท่าใด หลังจากผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแล้ว

ก. 2 ATP

ข. 12 ATP

ค. 15 ATP

ง. 30 ATP

9. ในปฏิกิริยา  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$  ก๊าซ  $CO_2$  เกิดขึ้นในขั้นตอนใด

1. วัฏจักรเครบส์
2. ไกลโคลิซิส วัฏจักรเครบส์
3. วัฏจักรเครบส์ การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน

10. ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากสารอาหารจะเป็นไปตามข้อใด

1. วัฏจักรเครบส์  $\longrightarrow$  ATP  $\longrightarrow$   $NAD^+$
  2.  $NADH \longrightarrow$  กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน  $\longrightarrow O_2$
  3. ATP  $\longrightarrow$  กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน  $\longrightarrow$  NADH
  4. ไกลโคลิซิส  $\longrightarrow$  วัฏจักรเครบส์  $\longrightarrow$   $NAD^+$   $\longrightarrow$  ATP
- .....



### กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียน

ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....

แบบทดสอบก่อนเรียน				
ข้อ	ก	ข	ค	ง
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

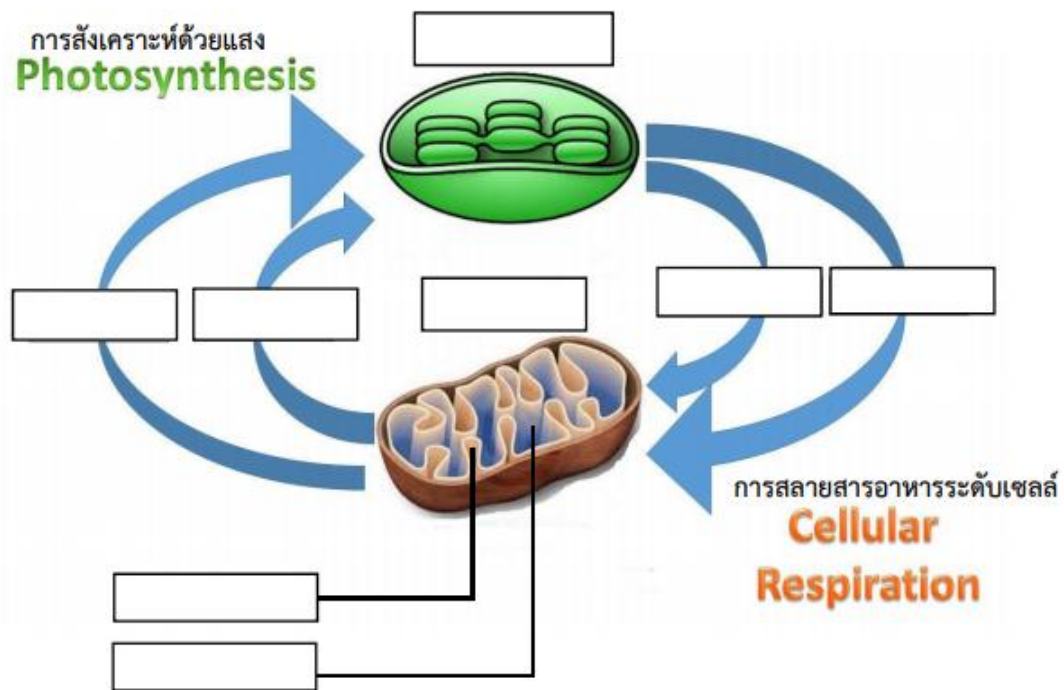
คะแนนเต็ม 10 คะแนน ได้ ..... คะแนน



### ใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง What is missing?

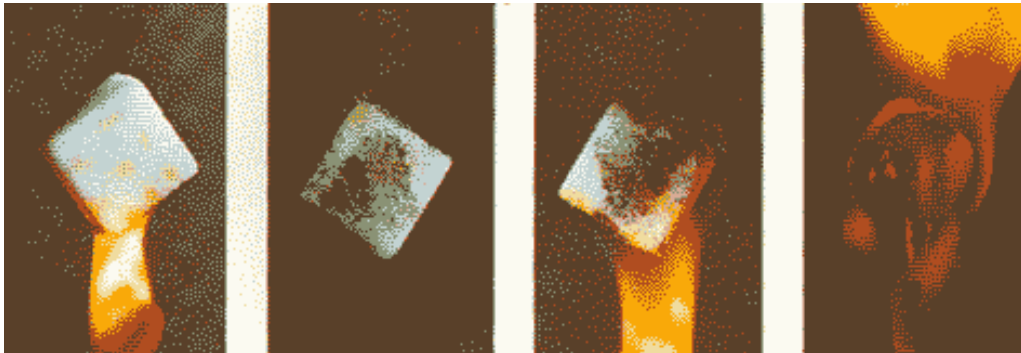
คำชี้แจง ให้นักเรียนนำคำที่กำหนดให้เติมลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

chloroplast	mitochondria	cristae	matrix
CO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>



## ใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง เมื่อน้ำตาลถูกเผา

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาภาพการเผาไหม้น้ำตาลและร่วมกันตอบคำถามต่อไปนี้



1. การเผาไหม้น้ำตาลต้องการออกซิเจนหรือไม่

ตอบ.....

2. ผลที่ได้จากการเผาไหม้น้ำตาลมีอะไรบ้าง

ตอบ.....

3. การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาขั้นตอนเดียวดังในแผนภาพ ถ้าปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นในเซลล์จะมีผลต่อเซลล์อย่างไร

ตอบ.....

การสลายสารอาหารในเซลล์  
ก็เป็นเช่นเดียวกับการเผา  
ไหม้น้ำตาลหรือไม่



### ใบกิจกรรมที่ 3 เรื่อง Red Cabbage pH

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันทำกิจกรรมที่ 3 เรื่อง Red Cabbage pH Indicator

#### จุดประสงค์

1. เพื่อสังเกตการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างกระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์ในมนุษย์
2. อธิบายและเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนแก๊สของพืชและสัตว์
3. สังเกต และวิเคราะห์ผลของกรด - เบส อินดิเคเตอร์

#### วัสดุอุปกรณ์

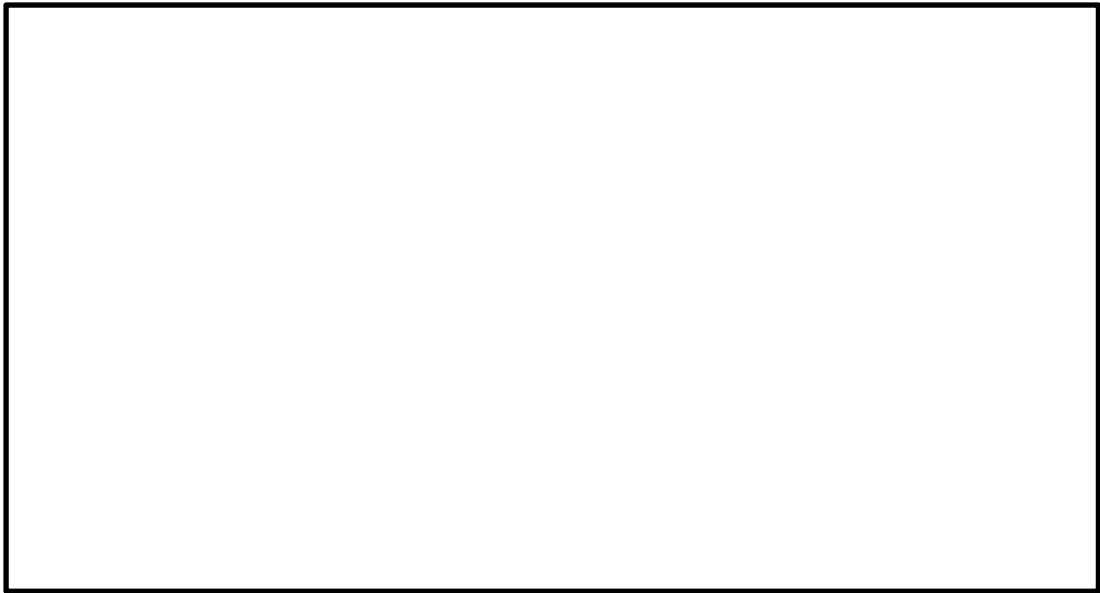
- |                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 1. น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง        | 4. หลอดทดลอง |
| 2. เมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอก | 5. ลำลี      |
| 3. เมล็ดถั่วเขียวแห้ง        | 6. หลอดกาแฟ  |

#### วิธีทำกิจกรรม

1. เติมน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงลงในหลอดทดลอง หลอดละ 20 มิลลิลิตร จำนวน 4 หลอด
2. ใส่ก้อนลำลีลงในหลอดที่ 1 - 3 โดยให้อยู่เหนือกะหล่ำปลีสีม่วง 3 เซนติเมตร
3. นำเมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอกจำนวน 20 เมล็ด ใส่ลงในหลอดที่ 2 และเมล็ดถั่วเขียวแห้ง จำนวน 20 เมล็ด ใส่ลงในหลอดที่ 3 ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที และบันทึกผลการเปลี่ยนสีของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วง
4. หลังจากนั้นนำหลอดกาแฟใส่ลงในหลอดที่ 4 และเป่าลมหายใจลงไปเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบันทึกการเปลี่ยนสีของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วง

## ผลการทดลอง

## ◆ ภาพการเปลี่ยนสีของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วง



## ◆ ตารางบันทึกผล

สิ่งที่สังเกต	สิ่งที่ได้จากการสังเกต	
	เวลา 0 นาที	เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง
หลอดที่ 1 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง		
หลอดที่ 2 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง + เมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอก		
หลอดที่ 3 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง + เมล็ดถั่วเขียวแห้ง		
หลอดที่ 4 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง + เป่าลมหายใจออก 1 นาที		

### คำถามหลังการทดลอง

1. หลอดที่มีเมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอกและเมล็ดถั่วเขียวแห้ง ให้ผลการทดลองเหมือนหรือแตกต่างกัน อย่างไร

ตอบ.....  
.....  
.....

2. หลอดที่นักเรียนเป่าลมหายใจลงไปให้ผลการทดลองเหมือนกับหลอดใด เพราะเหตุใด

ตอบ.....  
.....  
.....

3. สิ่งที่ทำให้สีของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงเปลี่ยนสีคืออะไร

ตอบ.....  
.....  
.....

4. สรุปผลการทดลอง

ตอบ.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## ใบความรู้

### เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

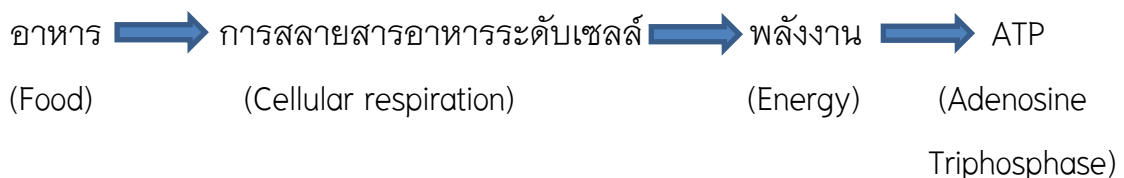
สิ่งมีชีวิตต้องใช้พลังงานจากสารอาหารในการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การเคลื่อนไหว การตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม การควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายและถ้าพิจารณาในระดับเซลล์ เซลล์จะมีกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การลำเลียงสารแบบแอกทีฟทรานสปอร์ต การสังเคราะห์สารรวมถึงปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์ เป็นต้น กิจกรรมเหล่านี้ต้องใช้พลังงานจากสารอาหารทั้งสิ้น

แล้วเซลล์มีวิธีการอย่างไรจึงสามารถ

นำพลังงานที่มีอยู่ในสารอาหารมาใช้



สารอาหารที่ลำเลียงเข้าสู่เซลล์และสามารถให้พลังงานแก่เซลล์ได้ เช่น มอโนแซ็กคาไรด์ กรดอะมิโน กลีเซอรอล และกรดไขมัน แต่เซลล์ยังไม่สามารถนำพลังงานจากสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้ จะต้องมีการบวนการสลายสารอาหารภายในเซลล์เพื่อเปลี่ยนพลังงานของพันธะเคมีของสารอาหารให้ มาอยู่ในรูปสารประกอบพลังงานสูงที่เซลล์พร้อมที่จะนำพลังงานไปใช้ได้ เช่น ATP เรียกกระบวนการสลายโมเลกุลของสารอาหารในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานนี้ว่า การสลายสารอาหารระดับเซลล์ (cellular respiration) สรุปได้ ดังภาพที่ 1

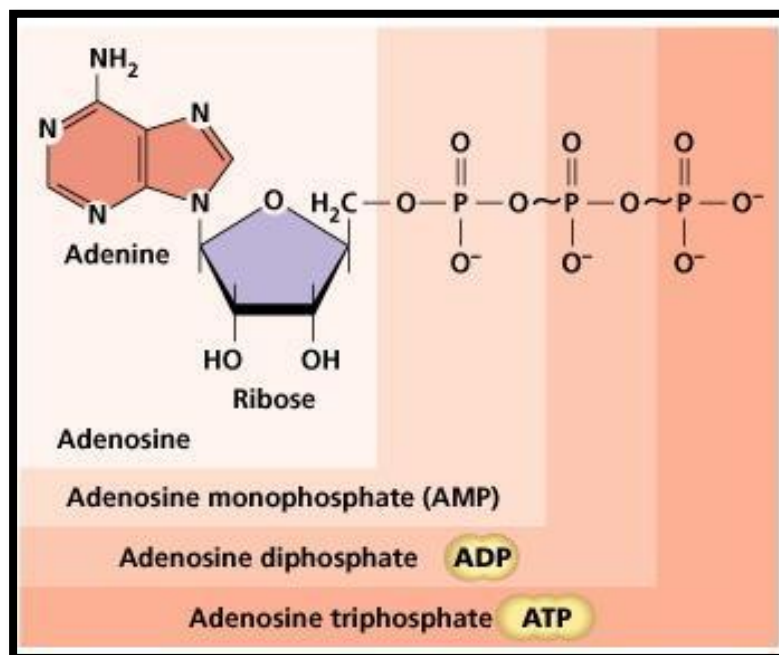
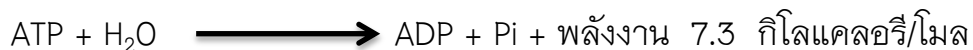


ภาพที่ 1 สรุปการกระบวนการสลายโมเลกุลของสารอาหารในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงาน



### 1. การให้พลังงานในกระบวนการหายใจระดับเซลล์

สารอินทรีย์ที่สามารถสร้างพันธะเพื่อสะสมพลังงานได้มีหลายชนิด แต่สารอินทรีย์ที่สำคัญมากที่สุดที่ใช้ในการสะสมพลังงานในสิ่งมีชีวิต คือ ATP (adenosine triphosphate) ATP 1 โมเลกุล ประกอบด้วยสารอินทรีย์ 2 ชนิด คือ เบสอะดีนีน (adenine) กับน้ำตาลไรโบส (ribose) ซึ่งรวมเป็น อะดีโนซีน แล้วต่อกับหมู่ฟอสเฟตอีก 3 หมู่ หมู่ฟอสเฟตแรกที่จับกับน้ำตาล เมื่อสลายแล้วจะให้พลังงาน 3.4 กิโลแคลอรี/โมล ไรโบสมีพลังงานพันธะต่ำ ส่วนพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟตแรกกับหมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 2 กับหมู่ที่ 3 มีพลังงานพันธะสูง เมื่อสลายแล้วจะให้พลังงาน 7.3 กิโลแคลอรี/โมล ดังสมการ



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ ATP (adenosine triphosphate)

ที่มา : <https://sites.google.com/site/wisaroot43247/5-sar-chiw-molekul-biomolecules/5-4krd-niw-khli-xik>



ขณะที่สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่เซลล์จะมีการสลาย ATP โดย ATP จะเปลี่ยนเป็น อะดีโนซีนไดฟอสเฟต (adenosine diphosphate : ADP) และหมู่ฟอสเฟต หรือเปลี่ยนเป็นอะดีโนซีนมอโนฟอสเฟต (adenosine monophosphate : AMP) และหมู่ฟอสเฟต เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกายตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการสร้าง ATP ใหม่ขึ้นมาทดแทน กระบวนการสร้าง ATP จาก ADP และหมู่ฟอสเฟตนี้เรียกว่า กระบวนการ ฟอสโฟรีเลชัน (phosphorylation)

นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์อีกพวกหนึ่ง สามารถเก็บสะสมพลังงานจากสารอาหารในรูปของ อิเล็กตรอน ซึ่งจะสามารถปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ออกมา เมื่อมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอื่น ๆ พลังงานเหล่านี้จะถูกนำไปใช้สังเคราะห์ ATP เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป สารเหล่านี้ ได้แก่  $\text{NAD}^+$  (nicotinamide adenine dinucleotide) และ FAD (flavin adenine dinucleotide) ในการรับอิเล็กตรอนของ  $\text{NAD}^+$  และ FAD นั้นมักมีการรับโปรตอน ( $\text{H}^+$ ) มาด้วยทำให้โมเลกุลของสารทั้งสองตัวที่รับอิเล็กตรอนมาแล้ว อยู่ในรูปของ NADH และ  $\text{FADH}_2$  ตามลำดับ



NADH : เป็นสารพลังงานสูงมีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน หรือตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเพื่อนำพลังงานที่อยู่ใน NADH มาใช้ในการสร้าง ATP ต่อไป

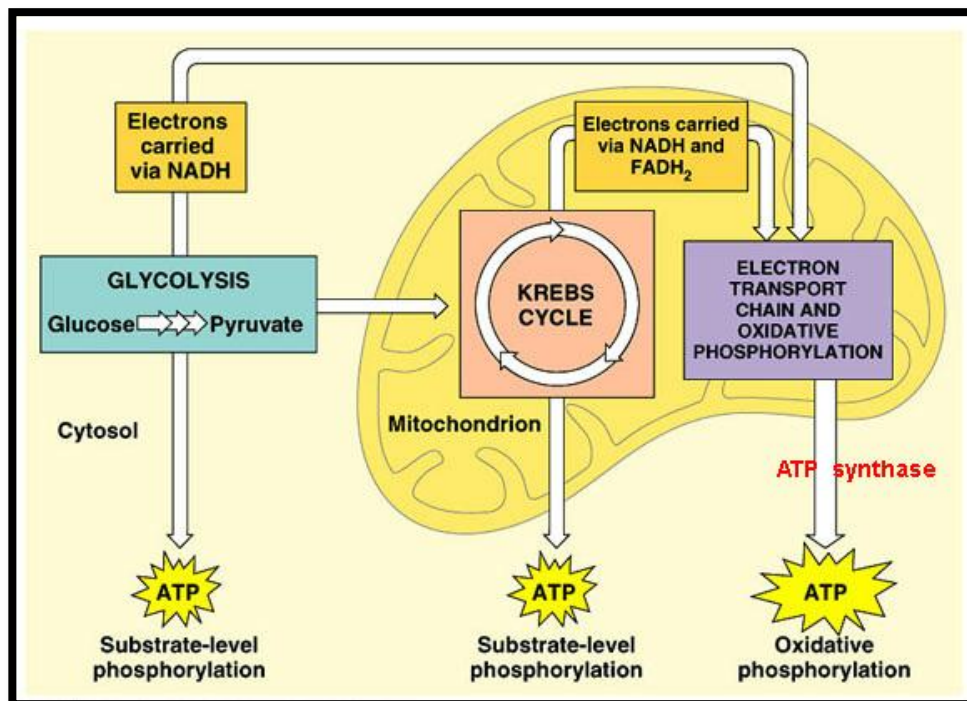


$\text{FADH}_2$  : มีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน พลังงานที่ถูกสะสมอยู่จะถูกนำมาใช้ในการสร้าง ATP

## 2. ปฏิริยาการสลายสารอาหารระดับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ปฏิริยาการสลายสารอาหารระดับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มี 2 แบบ คือ

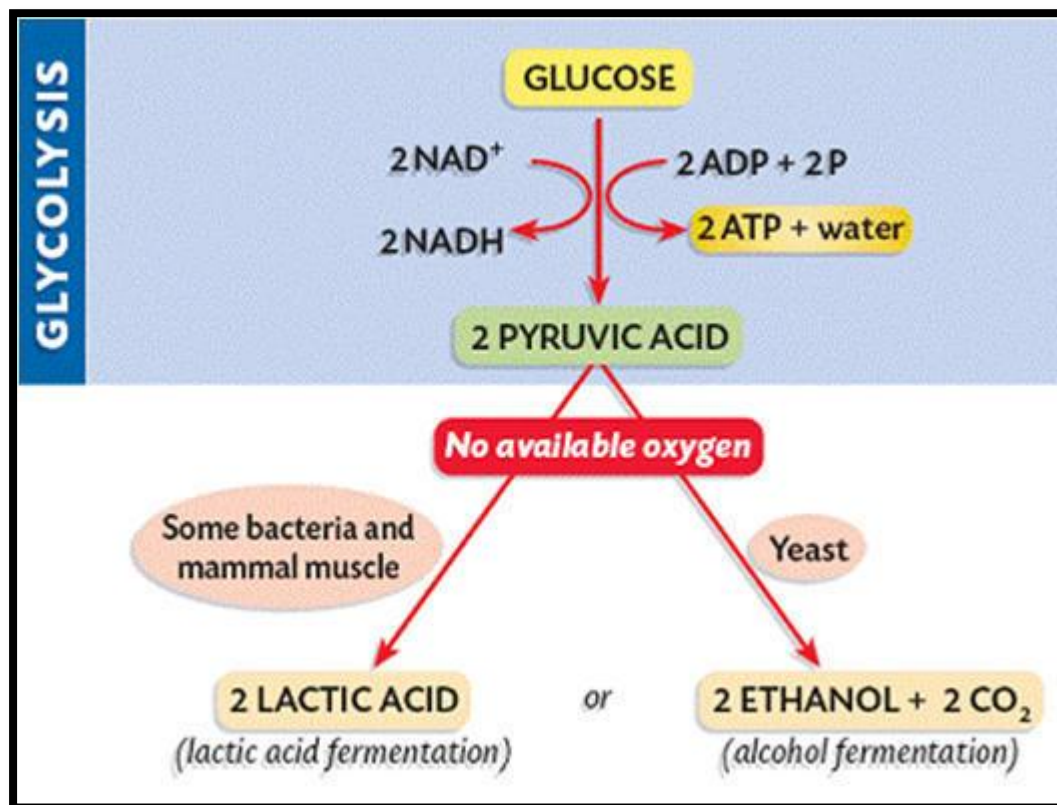
2.1 การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน (aerobic cellular respiration) เป็นการสลายสารอาหารได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ไกลโคลิซิส (glycolysis) การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ (Acetyl Coenzyme A) วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport system) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจนประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

ที่มา : <https://biology-photosynthesis.weebly.com/concept-map.html>

2.2 การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic cellular respiration) เป็นการสลายสารโมเลกุลอาหารอย่างไม่สมบูรณ์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ไกลโคลิซิส และการหมัก (fermentation)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบไม่ใช้ออกซิเจน  
ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน

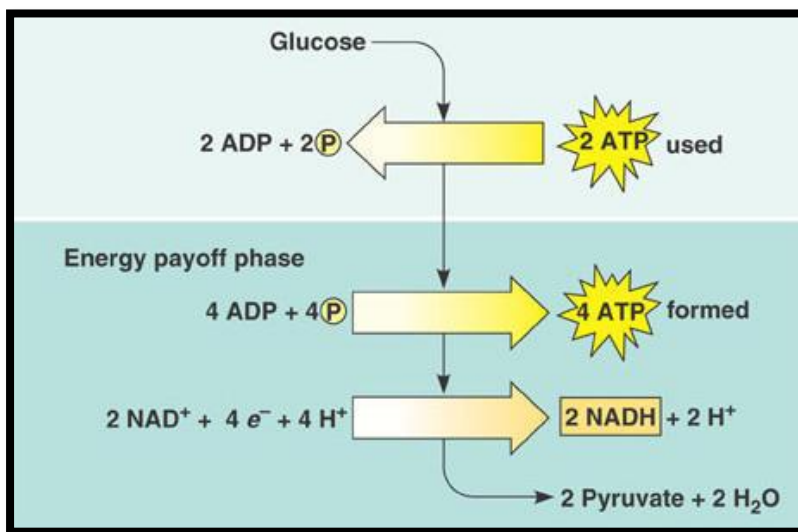
ที่มา : <http://andreabiology.weebly.com/26-cell-respiration.html>

### 3. การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

ประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน คือ

#### 3.1 ไกลโคลิซิส (glycolysis)

กระบวนการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล ได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล เกิดที่บริเวณไซโทซอลมีหลายขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนจะมี เอนไซม์ต่าง ๆ มาเร่งปฏิกิริยา



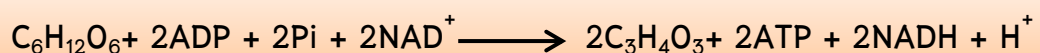
glyco หมายถึง สารพวก คาร์โบไฮเดรต  
lysis หมายถึง การสลาย “glycolysis คือกระบวนการสลายกลูโคสซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม”

ภาพที่ 5 กระบวนการไกลโคลิซิส

ที่มา : Reece, J. B., & Campbell, N. A. 2005. p 167

**สรุปผล** การสลายกลูโคส ( $C_6H_{12}O_6$ ) ในกระบวนการไกลโคลิซิส

1. ได้กรดไพรูวิก ( $C_3H_4O_3$ ) 2 โมเลกุล
2. ใช้พลังงานรวมในกระบวนการ 2 ATP และได้พลังงานจากกระบวนการ 4 ATP
3. เกิดไฮโดรเจน (H) 4 อะตอม ได้เป็น NADH 2 โมเลกุล
4. สามารถสรุปกระบวนการไกลโคลิซิสได้ดังนี้

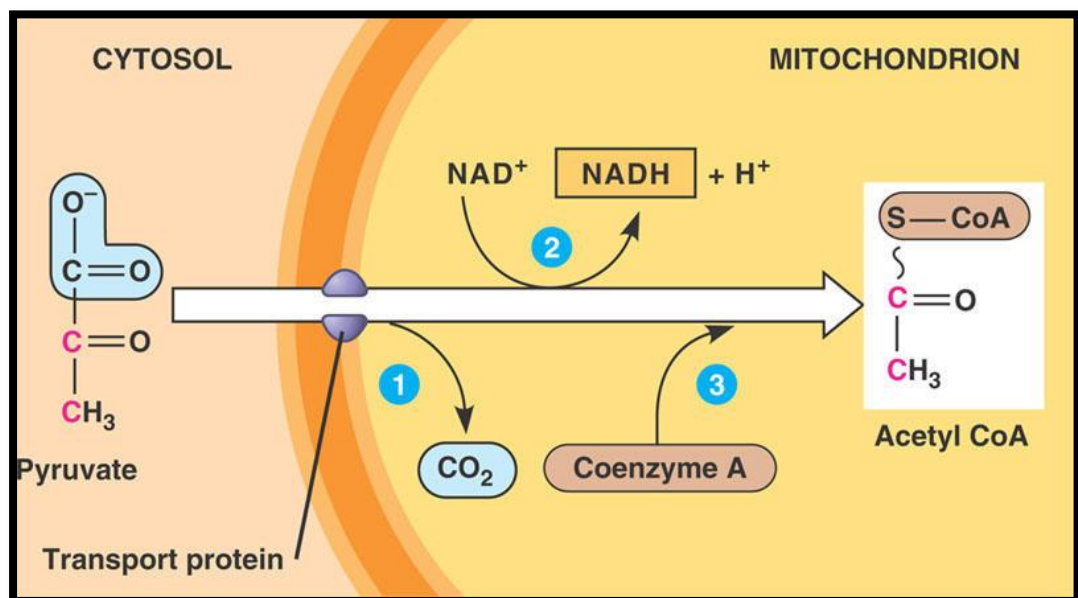




### 3.2 การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ (Acetyl Coenzyme A)

ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นบริเวณ เมทริกซ์ซึ่งเป็นของเหลวในไมโทคอนเดรีย โดยการดัดแปลงกรดไขมันจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติล ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 2 อะตอม (2C) ในการเปลี่ยนนี้จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และไฮโดรเจน (H) ออกมาด้วย จากนั้น กรดอะซิติลจะรวมตัวกับโคเอนไซม์เอ ซึ่งมีอยู่แล้วในเซลล์ ก็จะเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอนไซม์ เอ

เรียกย่อๆ ว่า “อะซิติล โคเอ” จากนั้นอะซิติลโคเอนไซม์ เอ จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป



ภาพที่ 6 กรดไพรูวิก 1 โมเลกุลเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอนไซม์ เอ 1 โมเลกุล  
ที่มา : Reece, J. B., & Campbell, N. A. 2005. p 170

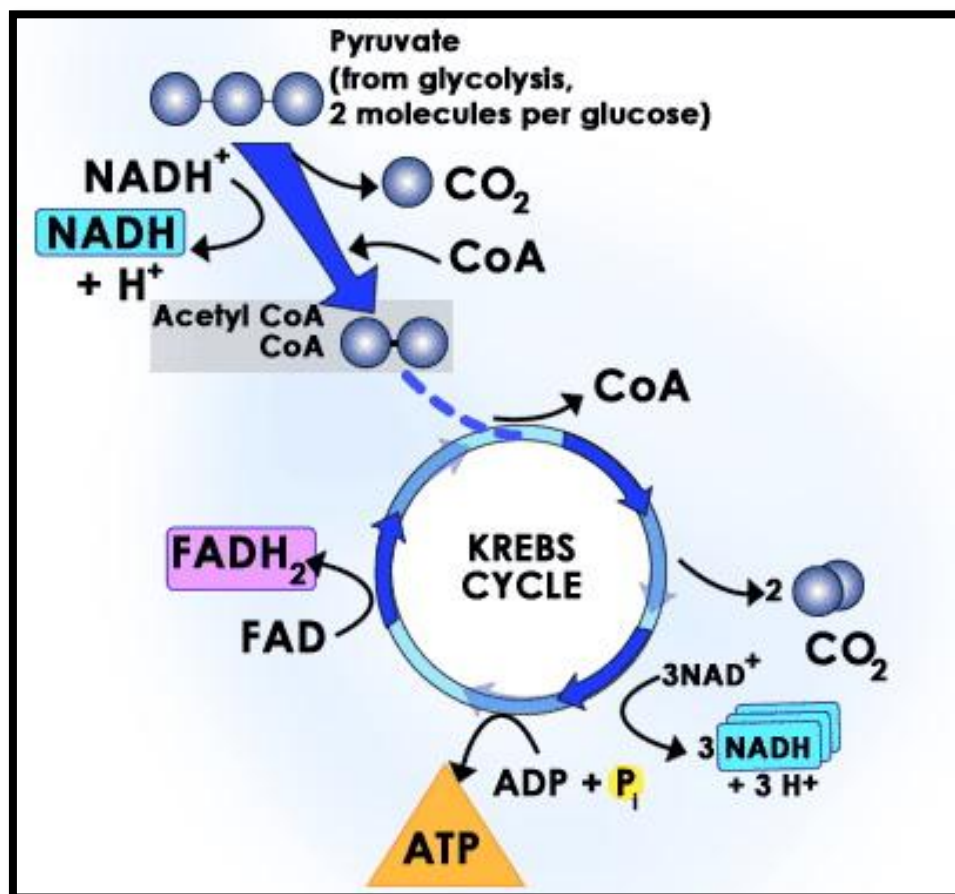
**สรุปผล** การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล

1. ได้คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เกิดขึ้น 2 โมเลกุล
2. เกิดไฮโดรเจน (H) 4 อะตอม ได้เป็น  $\text{NADH}$  2 โมเลกุล
3. สามารถสรุปการสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ ได้ดังนี้



### 3.3 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

การสลายสารแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ให้ได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเก็บพลังงานไว้ในรูปของ  $\text{NADH}$   $\text{FADH}_2$  และ  $\text{ATP}$  เกิดขึ้นบริเวณเมทริกซ์ ซึ่งเป็นของเหลวในไมโทคอนเดรีย เริ่มด้วยแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอม รวมกับสารประกอบออกซาลิแอซิดิกซึ่งมีคาร์บอน 4 อะตอม ได้เป็นสารที่มีคาร์บอน 6 อะตอม คือ กรดซิตริก และปล่อยโคเอนไซม์ เอ เป็นอิสระ กรดอะซิติลจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปอีกหลายขั้นตอนโดยใช้เอนไซม์หลายชนิด จนได้สารที่มีคาร์บอน 4 อะตอมตามเดิม คือ กรดออกซาลิแอซิดิก (Oxaloacetate : OAA) ซึ่งจะรวมกับแอซิติล โคเอนไซม์ เอ ได้อีก

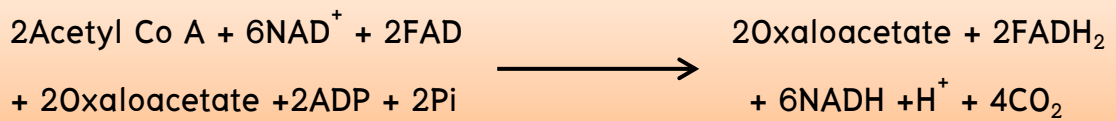


ภาพที่ 7 วัฏจักรเครบส์ 1 วัฏจักร

ที่มา : <https://apessay.com/order/?rid=6a3801bf32902ab5>

**สรุปผล** การเกิดวัฏจักรเครบส์ 2 วัฏจักร จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล

1. ได้ NADH 6 โมเลกุล
2. ได้  $\text{FADH}_2$  2 โมเลกุล
3. ได้ ATP 2 โมเลกุล
4. สามารถสรุปวัฏจักรเครบส์ ได้ดังนี้



2FADH<sub>2</sub> และ 6NADH + H<sup>+</sup> ต้องเดินทางต่อไปเพื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนะคะ





### 3.4 กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain)

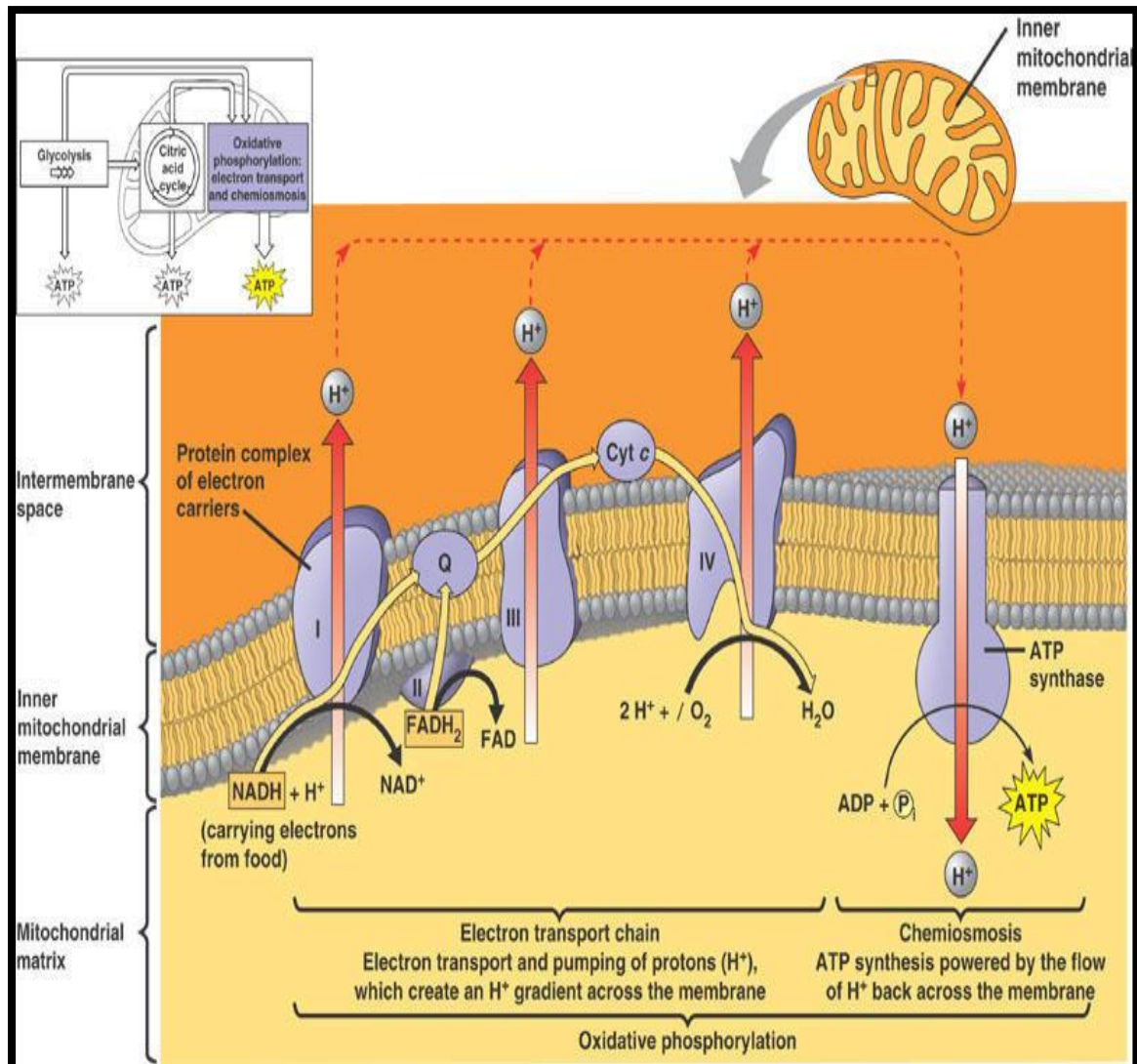
เป็นกระบวนการที่มีการส่งอิเล็กตรอนระหว่างตัวให้อิเล็กตรอนซึ่งได้แก่ NADH และ  $\text{FADH}_2$  กับตัวรับอิเล็กตรอนโดย มีตัวรับอิเล็กตรอนเป็นสารประกอบอื่นๆ ที่แทรกอยู่ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ขณะที่เกิดการรับและส่งอิเล็กตรอนผ่านไปตามตัวนำต่าง ๆ นั้น จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาทีละน้อยในแต่ละช่วงของการถ่ายทอดอิเล็กตรอน โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายของกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และได้ น้ำ เป็นผลิตภัณฑ์

พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนั้นจะนำมาเป็นพลังงานในการเคลื่อนย้าย  $\text{H}^+$  จากเมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียมายังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นใน และเยื่อหุ้มชั้นนอกของไมโทคอนเดรีย ดังนั้นพลังงานที่เคยอยู่ในโมเลกุลของ NADH และ  $\text{FADH}_2$  จึงเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างผิวสองด้านของเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

จากนั้นจึงเกิดการสร้างสารประกอบ ATP จากพลังงานศักย์ไฟฟ้างดังกล่าว โดยเอนไซม์ ATP synthase พลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของ NADH 1 โมเลกุลจะนำมาสร้าง ATP ได้ 3 โมเลกุล ส่วนพลังงานที่ได้จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของ  $\text{FADH}_2$  1 โมเลกุลจะนำมาสร้าง ATP ได้ 2 โมเลกุล

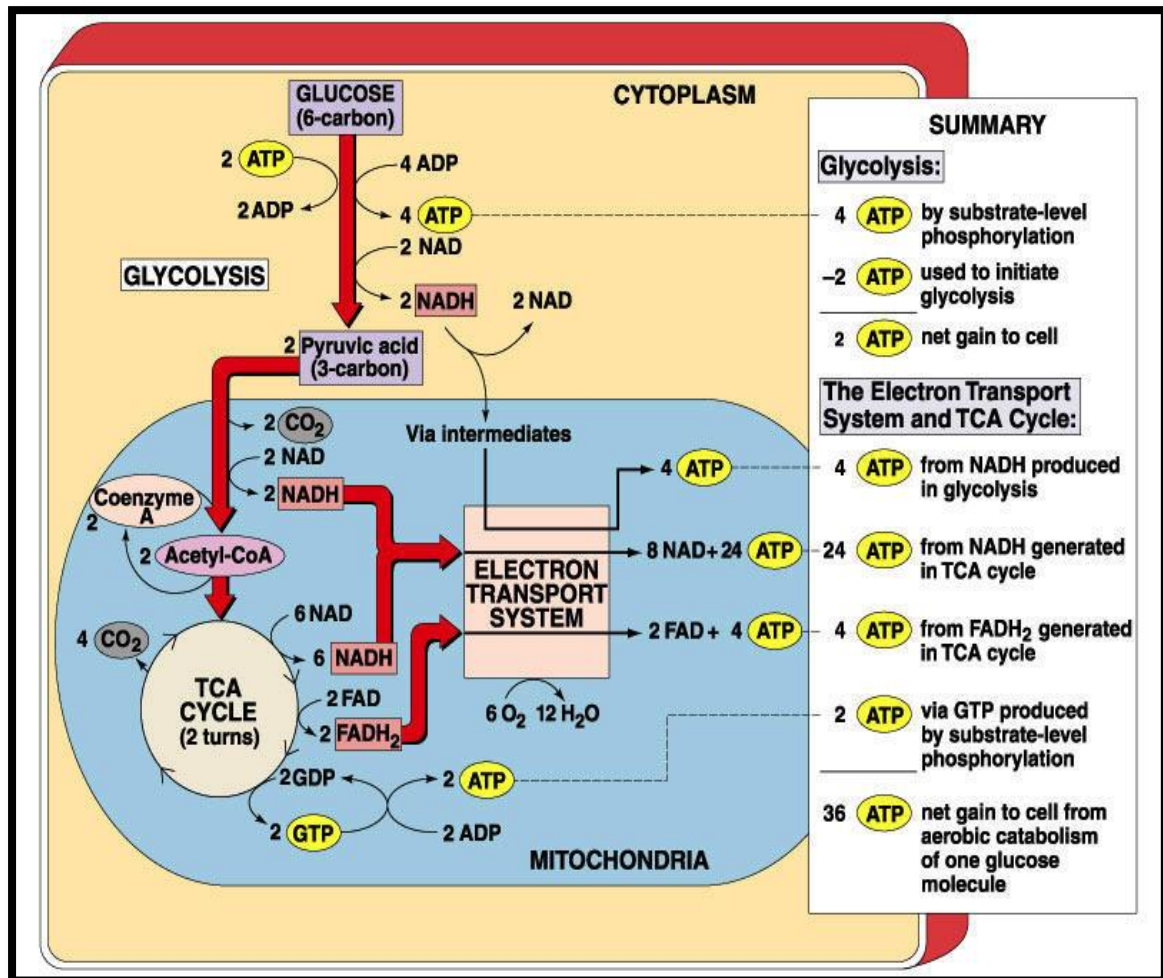
#### ลักษณะและผลลัพธ์สำคัญของการถ่ายทอดอิเล็กตรอน มีดังนี้

1. เป็นกระบวนการเปลี่ยน  $\text{NADH} + \text{H}^+$  และ  $\text{FADH}_2$  ให้ได้พลังงานในรูป ATP
2. เกิดขึ้นเมื่อมี  $\text{O}_2$  อิสระ โดย  $\text{O}_2$  จะเป็นตัวรับโปรตอนและอิเล็กตรอน เกิดเป็นน้ำทั้งสิ้น 12 โมเลกุล ต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส



ภาพที่ 8 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน จาก NADH ผ่าน complex I และจาก FADH<sub>2</sub> ผ่าน complex II ไปยัง complex III และ complex IV โดยมีโคเอนไซม์ Q และ ไซโตโครม c ซึ่งเคลื่อนที่ได้เป็นตัวช่วยรับอิเล็กตรอนระหว่าง complex

ที่มา : Reece, J. B., & Campbell, N. A. 2005. p 175



ภาพที่ 9 แผนภาพสรุปกระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์  
ของน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล

ที่มา : <https://www.pinterest.com/christylwu/photosynthesis-and-cellular-respiration/>

พลังงานที่ได้จากการเปลี่ยน  $\text{NADH}$  และ  $\text{FADH}_2$  ทั้งหมดในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์กล้ามเนื้อเยื่อปิดกระดุกหรือเซลล์สมองจะได้ ATP 32 โมเลกุล เมื่อรวมกับ ATP ที่สร้างขึ้นจากกระบวนการไกลโคลิซิส 2 โมเลกุล และวัฏจักรเครบส์อีก 2 โมเลกุล ดังนั้นกลูโคส 1 โมเลกุลเมื่อสลายแล้วจะได้ ATP 36 โมเลกุล

ถ้าเป็นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ไต หรือเซลล์ตับจะได้ ATP จากกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 34 โมเลกุลเมื่อรวมกับ ATP จากกระบวนการไกลโคลิซิส 2 โมเลกุล และวัฏจักรเครบส์อีก 2 โมเลกุล ก็จะได้ ATP 38 โมเลกุล





#### 4 การสลายลิพิดและโปรตีน



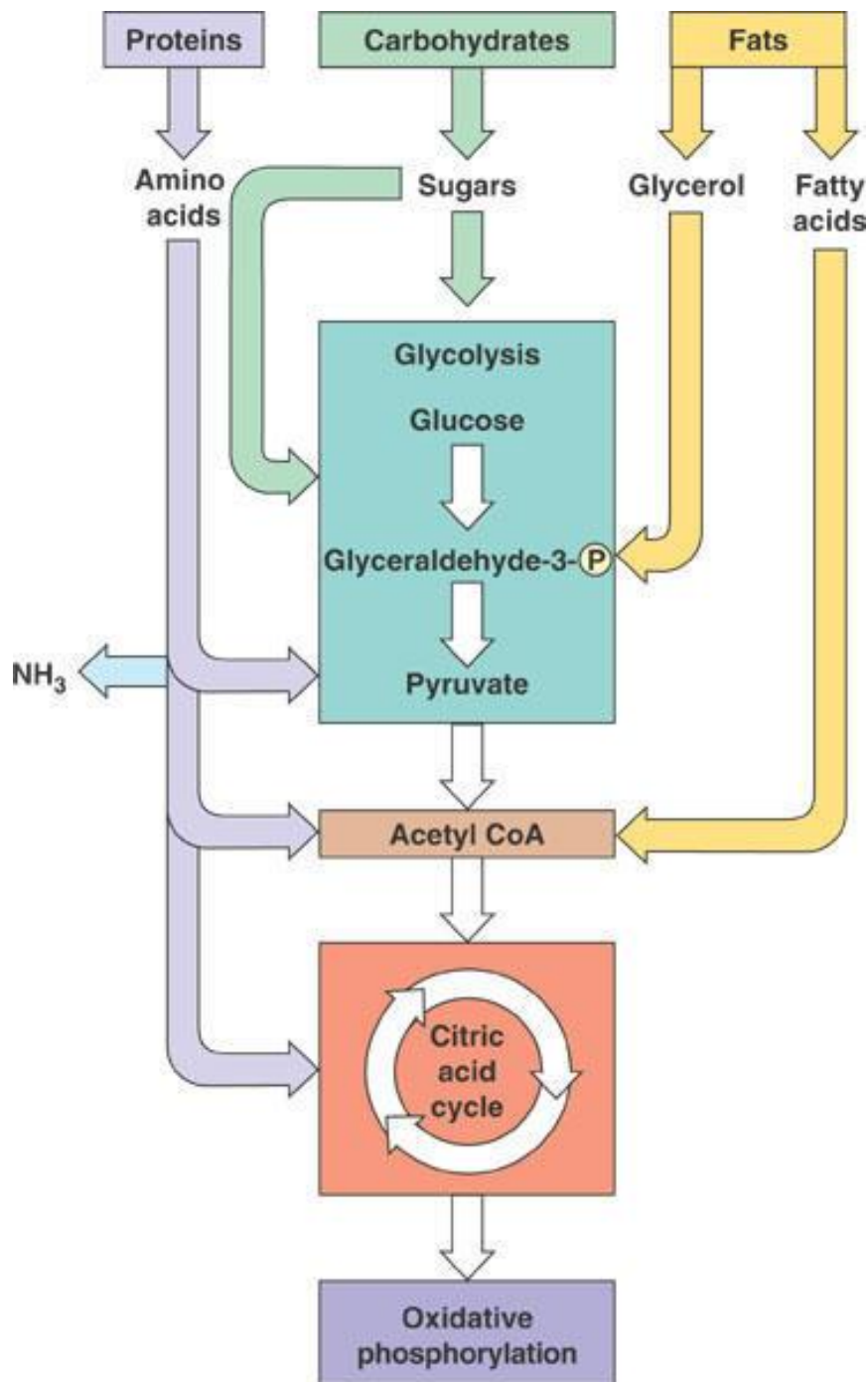
**กรดไขมันและกลีเซอรอล**ที่ได้จากการย่อยลิพิด เมื่อลำเลียงเข้าสู่เซลล์จะเป็น สารตั้งต้นในกระบวนการสลายอาหาร กลีเซอรอลจะเข้าสู่กระบวนการในช่วงไกลโคลิซิส ส่วนกรดไขมันจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการตัดสายไฮโดรคาร์บอน ออกทีละ 2 คาร์บอนอะตอม สร้างเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ ซึ่งพร้อมจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ กระบวนการตัดกรดไขมันนี้เรา เรียกว่า  $\beta$ -oxidation



**กรดอะมิโน**ที่ได้จากการย่อยโปรตีนอาจถูกเปลี่ยนแปลงได้หลายแนวทาง ด้วยกันตามชนิดของกรดอะมิโนนั้น ๆ เช่น บางชนิดเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก บางชนิดเปลี่ยนเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ บางชนิดก็เปลี่ยนเป็น สารตัวใดตัวหนึ่งในวัฏจักรเครบส์ แต่พบว่าทุกครั้งก่อนที่โมเลกุลของกรดอะมิโนจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบตัวใดตัวหนึ่งตามที่กล่าวมาจะต้องมีการตัดหมู่ะมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) ออกจากโมเลกุลของกรดอะมิโน หรือย้ายหมู่ะมิโนไปอยู่กับโมเลกุลของสารประกอบตัวอื่นซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการอื่นๆ หมู่ะมิโน ที่หลุดออกมานี้จะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่ง ร่างกายจะมีกระบวนการเปลี่ยนไปเป็นยูเรียหรือกรดยูริก และกำจัดออกนอกร่างกายโดยระบบขับถ่ายต่อไป



ในภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนอย่างเพียงพอ กระบวนการช่วงไกลโคลิซิส และวัฏจักรเครบส์จะมีการสร้าง  $\text{NADH}$  และ  $\text{FADH}_2$  ได้เป็นจำนวนมาก เมื่อสารตัวให้อิเล็กตรอนเหล่านี้ส่งถ่ายอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนที่ผิวเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียแล้วจะได้  $\text{NAD}^+$  และ  $\text{FAD}$  ซึ่งพร้อมจะกลับไปรับอิเล็กตรอนในการสลายสารอาหารครั้งต่อไปได้อีก แก๊สออกซิเจนที่เซลล์รับเข้าไปจะมีบทบาทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย



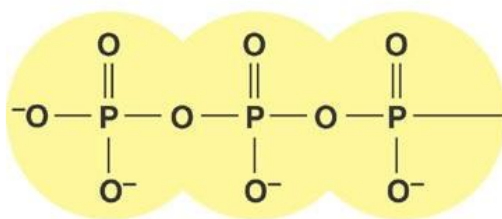
ภาพที่ 10 สรุปกระบวนการสลายสารอาหารทั้ง 3 ประเภท

ที่มา : Reece, J. B., & Campbell, N. A. 2005. p 180

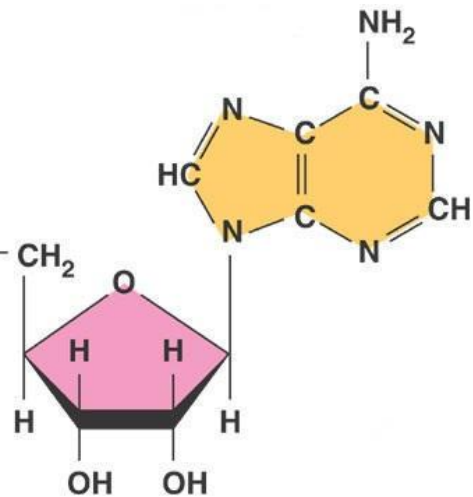
# ใบกิจกรรมที่ 4 เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

## เรื่อง พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

คำชี้แจง ให้นักเรียนเติมคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง



หมายเลข 1



หมายเลข 2

1. โครงสร้างของ ATP ประกอบด้วย

หมายเลข 1 คือ .....

หมายเลข 2 คือ .....

หมายเลข 3 คือ.....

2. การสลายพันธะ (hydrolysis) ของ A B และ C จะให้หมู่ฟอสเฟต และปล่อยพลังงานออกมา ให้เติมค่าลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

A : ATP + .....  $\longrightarrow$  ADP + Pi + ..... kcal/mol

B : ..... + .....  $\longrightarrow$  AMP + Pi + ..... kcal/mol

C : ..... + .....  $\longrightarrow$  adenosine + Pi + 3.4 kcal/mol



## 3. การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

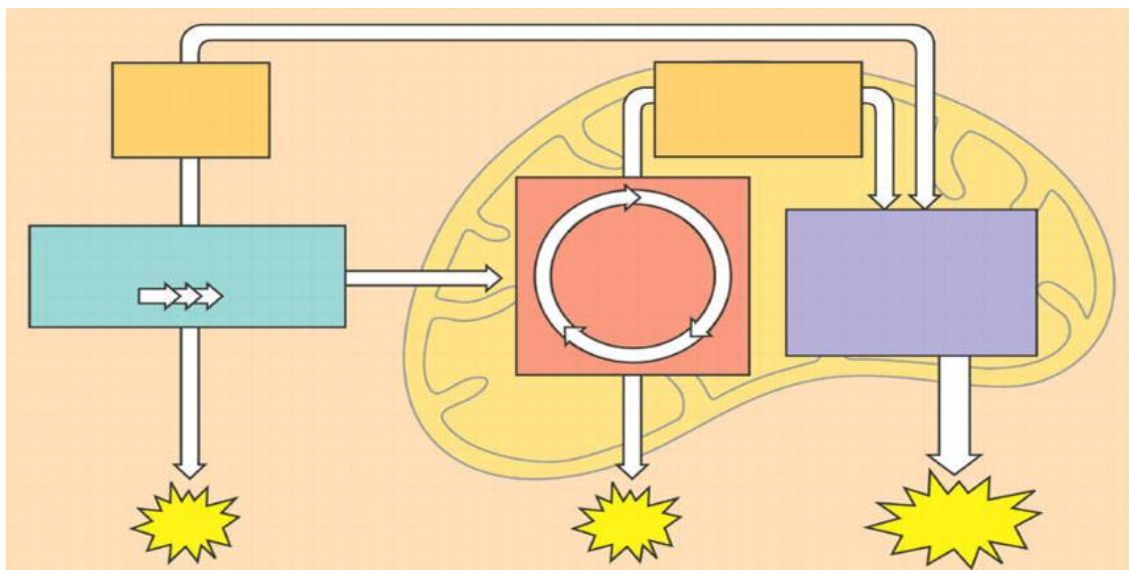
3.1 aerobic cellular respiration ประกอบด้วย.....ขั้นตอน ได้แก่ .....

.....

3.2 anaerobic cellular respiration ประกอบด้วย.....ขั้นตอน ได้แก่.....

.....

## 4. จากภาพจงตอบคำถามต่อไปนี้



การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นการสลายสารอาหารได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย

ขั้นตอน A คือ .....เกิดที่.....

ขั้นตอน B คือ .....เกิดที่.....

ขั้นตอน C คือ .....เกิดที่ .....

5. NADH กับ  $\text{FADH}_2$  มีความสำคัญต่อการสร้าง ATP อย่างไร

ตอบ.....

.....

6.  $\text{O}_2$  มีบทบาทอย่างไรในกระบวนการสลายสารอาหาร

ตอบ.....

## เรื่อง การสลายสารโมเลกุลของอาหารแบบใช้ออกซิเจน

คำชี้แจง ให้นักเรียนเติมคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไปนี้จะต้องใช้วัตถุดิบ และ ผลผลิตอะไรบ้าง

ขั้นตอน	สารตั้งต้น	ผลิตภัณฑ์
ไกลโคไลซิส		
✕ สมการเคมีไกลโคไลซิส		
การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ		
✕ สมการเคมีการสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ		
วัฏจักรเครบส์		
✕ สมการเคมีวัฏจักรเครบส์		

2. ให้นักเรียนนำข้อมูลจากข้อ 1 มาเติมจำนวนโมเลกุลลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

ขั้นตอน	จำนวนโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น			
	ATP	NADH	FADH <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
1. ไกลโคไลซิส	.....	.....	.....	.....
2. การสร้างอะซิติล โคเอนไซม์ เอ				
- ต่อการเกิดปฏิกิริยา 1 รอบ	.....	.....	.....	.....
- ต่อการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล				
(เกิดจำนวน ..... รอบ)	.....	.....	.....	.....
3. วัฏจักรเครบส์				
- ต่อการเกิดปฏิกิริยา 1 รอบ	.....	.....	.....	.....
- ต่อการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล				
(เกิดจำนวน ..... รอบ)	.....	.....	.....	.....

ดังนั้น การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เมื่อผ่านขั้นตอนไกลโคไลซิส การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ และ วัฏจักรเครบส์ จะทำได้

1. ATP จำนวน ..... โมเลกุล
2. NADH จำนวน ..... โมเลกุล
3. FADH<sub>2</sub> จำนวน ..... โมเลกุล
4. CO<sub>2</sub> จำนวน ..... โมเลกุล



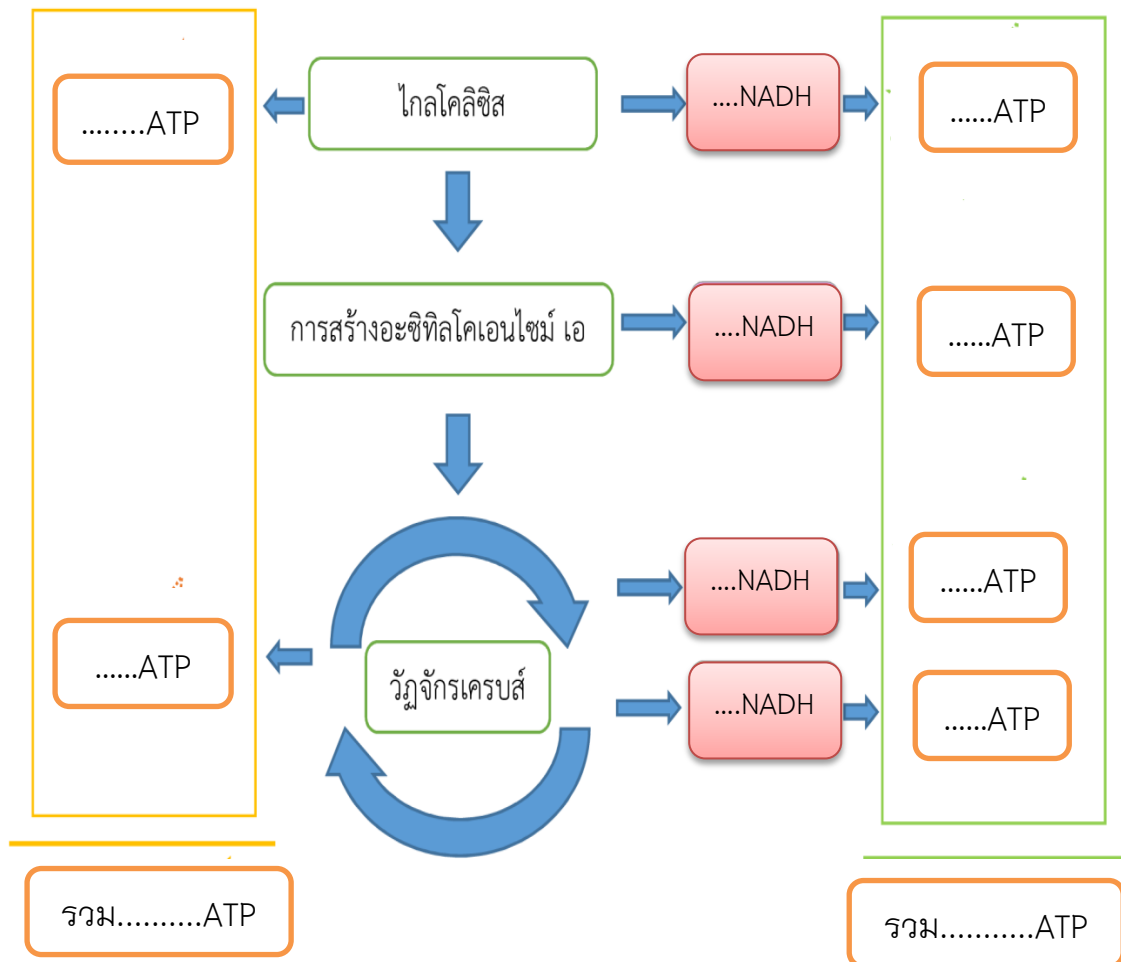
นำเข้าสู่กระบวนการ  
ถ่ายทอดอิเล็กตรอน  
เพื่อสร้าง ATP



NADH 1 โมเลกุลสร้าง ATP ได้.....โมเลกุล ดังนั้น NADH จำนวน 10 โมเลกุล สร้าง ATP ได้.....โมเลกุล  
FADH<sub>2</sub> 1 โมเลกุลสร้าง ATP ได้.....โมเลกุล ดังนั้น FADH<sub>2</sub> จำนวน 2 โมเลกุล สร้าง ATP ได้.....โมเลกุล

รวม ATP ทั้งหมดที่ได้จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เท่ากับ ..... โมเลกุล

3. ให้นักเรียนเติมจำนวนโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสลายโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล



รวม ATP ทั้งหมดที่ได้จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เท่ากับ.....โมเลกุล

4. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุลแบบใช้ออกซิเจนในเซลล์แต่ละชนิด

กระบวนการ	จำนวนพลังงานที่ได้ (ATP)	
	เซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูก เซลล์สมอง	เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ไต ตับ
ไกลโคไลซิส		
วัฏจักรเครบส์		
กระบวนการถ่ายทอด อิเล็กตรอน		
รวม		

1.ให้นักเรียนอธิบายการสลายลิพิด และโปรตีนเพื่อเข้าสู่กระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์

การสลายลิพิด



.....

.....

.....

.....

.....

การสลายโปรตีน



.....

.....

.....

.....

.....

## 4. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุลแบบใช้ออกซิเจนในเซลล์แต่ละชนิด

กระบวนการ	จำนวนพลังงานที่ได้ (ATP)	
	เซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูก เซลล์สมอง	เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ไต ตับ
ไกลโคไลซิส		
วัฏจักรเครบส์		
กระบวนการถ่ายทอด อิเล็กตรอน		
รวม		

## 2. ให้นักเรียนอธิบายการสลายลิพิด และโปรตีนเพื่อเข้าสู่กระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์

## การสลายลิพิด



.....

.....

.....

.....

.....

## การสลายโปรตีน



.....

.....

.....

.....

.....

### แบบทดสอบหลังเรียน

#### เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

คำชี้แจง 1. แบบทดสอบเป็นแบบปรนัยมีทั้งหมด 10 ข้อ คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที

2. ให้นักเรียนพิจารณาคำถามและเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในในกระดาษคำตอบ

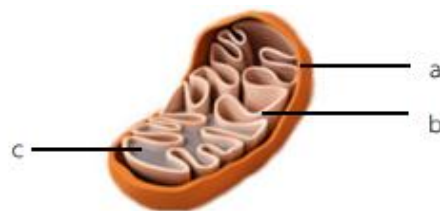
1. ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากสารอาหารจะเป็นไปตามข้อใด

- ก. วัฏจักรเครบส์  $\longrightarrow$  ATP  $\longrightarrow$  NAD<sup>+</sup>
- ข. NADH  $\longrightarrow$  กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน  $\longrightarrow$  O<sub>2</sub>
- ค. ATP  $\longrightarrow$  กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน  $\longrightarrow$  NADH
- ง. ไกลโคลิซิส  $\longrightarrow$  วัฏจักรเครบส์  $\longrightarrow$  NAD<sup>+</sup>  $\longrightarrow$  ATP

2. ในการสลายสารระดับเซลล์ ออกซิเจนเข้าไปเกี่ยวข้องในช่วงใด

- ก. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
- ข. วัฏจักรเครบส์
- ค. ไกลโคลิซิส
- ง. การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์ เอ

3. จากภาพต่อไปนี้ส่วนใดของไมโทคอนเดรียที่มีสารประกอบเกี่ยวข้องกับการกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน



- ก. a
- ข. b
- ค. c
- ง. a b





8. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

- ก. กระบวนการไกลโคลิซิส เกิดขึ้นในไซโทพลาซึม
- ข. วัฏจักรเครบส์เกิดในไมโทคอนเดรียในชั้นเมทริกซ์
- ค. กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดที่เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- ง. การสร้างแอสิดิลโคเอนไซม์ เอ เกิดนอกไมโทคอนเดรีย

9. ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน  $\text{NADH}$  2 โมเลกุล และ  $\text{FADH}_2$  3 โมเลกุล ถูกนำไปใช้ในการสร้าง ATP ได้จำนวนหนึ่ง กี่โมเลกุล

- ก. 8
- ข. 10
- ค. 12
- ง. 14

10. ในปฏิกิริยา  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  ก๊าซ  $\text{CO}_2$  เกิดขึ้นในขั้นตอนใด

- ก. วัฏจักรเครบส์
  - ข. ไกลโคลิซิส วัฏจักรเครบส์
  - ค. วัฏจักรเครบส์ การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
  - ง. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
- .....

### กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน

ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....

แบบทดสอบหลังเรียน				
ข้อ	ก	ข	ค	ง
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

คะแนนเต็ม 10 คะแนน ได้ ..... คะแนน

## บรรณานุกรม

### บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์, 2545.
- กระทรวงศึกษาธิการ. ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ : ศรุสภาลาดพร้าว, 2551.
- กระทรวงศึกษาธิการ. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน ปีพุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ : ศรุสภาลาดพร้าว, 2551.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 2 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค, 2554.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 2 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค, 2554.
- Reece, J. B., & Campbell, N. A. (7 th ed.). Boston: Benjamin Cummings Pearson, 2005
- <http://xn--12caj8hjgkab3dwejf6a3ewgk8k.blogspot.com/2011/10/asthma.html> ; [ออนไลน์] ; เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2558.
- <http://andreabiology.weebly.com/2-6-cell-respiration.html>; [ออนไลน์] ; เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2558.
- <https://apessay.com/order/?rid=6a3801bf32902ab5>; [ออนไลน์] ; เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2558.
- <https://courses.lumenlearning.com/ap1/chapter/organic-compounds-essential-to-human-functioning/#m46008-fs-id1297267>; [ออนไลน์] ; เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2558.



<https://www.pinterest.com/christylwu/photosynthesis-and-cellular-respiration/>; [ออนไลน์] ; เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2558.

<https://www.slideshare.net/bond2214/etcs>; [ออนไลน์] ; เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2558.

## ภาคผนวก

## เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน

ชุดที่ 4 เรื่องการสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

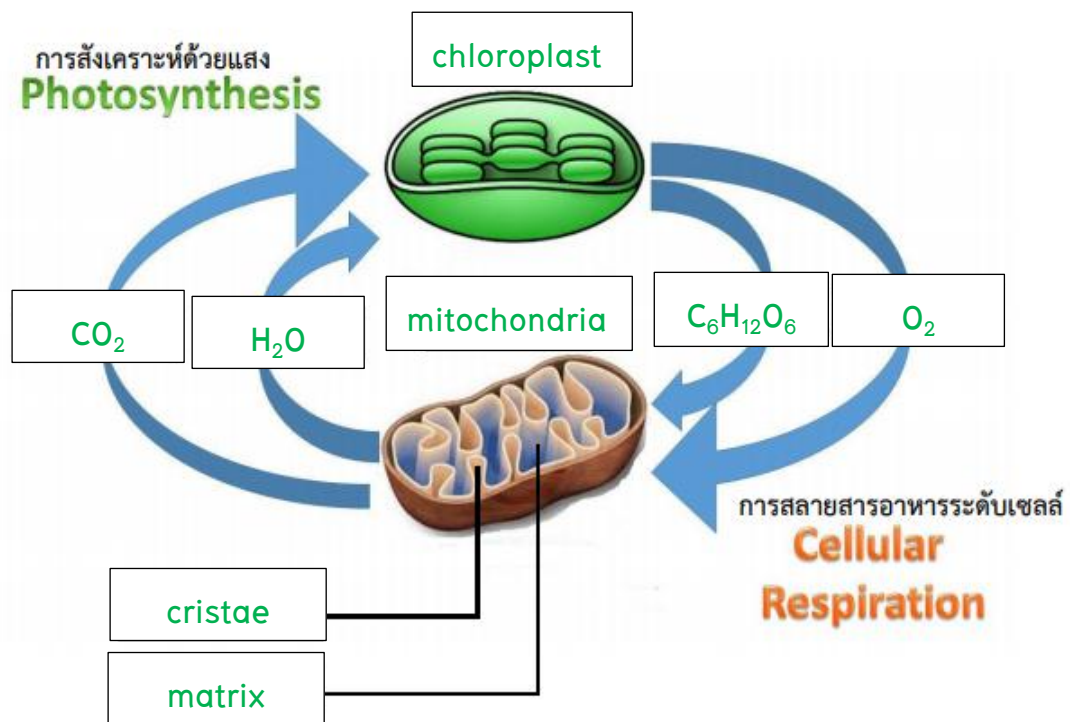
ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....

แบบทดสอบก่อนเรียน				
ข้อ	ก	ข	ค	ง
1				x
2	x			
3		x		
4			x	
5				x
6			x	
7				x
8		x		
9	x			
10		x		

## เฉลยใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง What is missing?

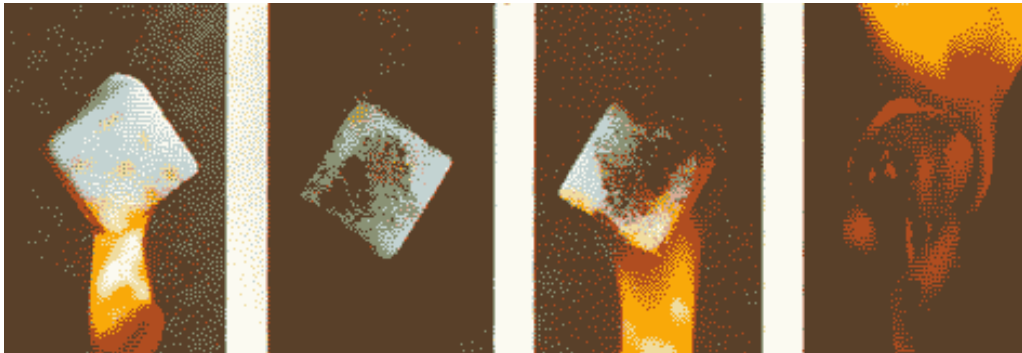
คำชี้แจง ให้นักเรียนนำคำที่กำหนดให้เติมลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

chloroplast	mitochondria	cristae	matrix
CO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>



## เฉลยใบกิจกรรมที่ 2 เรื่อง เมื่อน้ำตาลถูกเผา

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาภาพการเผาไหม้ น้ำตาลและร่วมกันตอบคำถามต่อไปนี้



1. การเผาไหม้ น้ำตาลต้องการออกซิเจนหรือไม่

**ตอบ**.....การเผาไหม้ น้ำตาลต้องการออกซิเจน.....

2. ผลที่ได้จากการเผาไหม้ น้ำตาลมีอะไรบ้าง

**ตอบ**.....น้ำและพลังงาน พลังงานที่ได้จะอยู่ในรูปพลังงานความร้อน นอกจากนี้ยังได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และมีคราบสีดำซึ่งเป็นคาร์บอน.....

3. การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาขั้นตอนเดียวดังในแผนภาพ ถ้าปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นในเซลล์จะมีผลต่อเซลล์อย่างไร

**ตอบ**.....การเผาไหม้ น้ำตาลต้องใช้พลังงานกระตุ้น ซึ่งพลังงานกระตุ้นในการเผาไหม้ น้ำตาล ปริมาณเพียงพอที่จะทำอันตรายต่อเซลล์ได้ ลพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ก็จะทำอันตรายต่อเซลล์ได้เช่นกัน.....



### เฉลยใบกิจกรรมที่ 3 เรื่อง Red Cabbage pH

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันทำกิจกรรมที่ 3 เรื่อง Red Cabbage pH Indicator

ผลการทดลอง

◇ ภาพการเปลี่ยนสีของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วง



หลอดที่ 4      หลอดที่ 3      หลอดที่ 2      หลอดที่ 1

◇ ตารางบันทึกผล

สิ่งที่สังเกต	สิ่งที่ได้จากการสังเกต	
	เวลา 0 นาที	เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง
หลอดที่ 1 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง	ม่วง	ม่วง
หลอดที่ 2 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง + เมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอก	ม่วง	ชมพู
หลอดที่ 3 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง + เมล็ดถั่วเขียวแห้ง	ม่วง	ม่วง
หลอดที่ 4 น้ำกะหล่ำปลีสีม่วง + เป่าลมหายใจออก 1 นาที	ชมพู	ชมพู

### คำถามหลังการทดลอง

1. หลอดที่มีเมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอกและเมล็ดถั่วเขียวแห้ง ให้ผลการทดลองเหมือนหรือแตกต่างกัน อย่างไร

ตอบ....แตกต่างกัน คือหลอดที่มีเมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอก เมื่อผ่านไป 1 ชั่วโมง น้ำกะหล่ำปลีม่วงเปลี่ยนเป็นสีชมพู ส่วนหลอดที่มีเมล็ดถั่วเขียวแห้งไม่มีการเปลี่ยนสี....

2. หลอดที่นักเรียนเป่าลมหายใจลงไปให้ผลการทดลองเหมือนกับหลอดใด เพราะเหตุใด

ตอบ.....เหมือนกับหลอดที่มีเมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอก เพราะลมหายใจที่เป่าออกมาและเมล็ดถั่วเขียวที่กำลังงอกมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกัน.....

3. สิ่งที่ทำให้สีของน้ำกะหล่ำปลีสีม่วงเปลี่ยนสีคืออะไร

ตอบ.....แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....

4. สรุปผลการทดลอง

ตอบ.....สิ่งมีชีวิตทั้งพืชหรือสัตว์จะมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากกระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์ ดังนั้นเมื่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งส่งผลให้น้ำมีความเป็นกรดและทำให้น้ำกะหล่ำปลีสีม่วงที่มีคุณสมบัติเป็นอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีชมพู.....

## เฉลยใบกิจกรรมที่ 4 เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

### เรื่อง พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

คำชี้แจง ให้นักเรียนเติมคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

#### 1. โครงสร้างของ ATP ประกอบด้วย

หมายเลข 1 คือ .....หมู่ฟอสเฟต (phosphate group).....

หมายเลข 2 คือ .....น้ำตาลไรโบส (ribose).....

หมายเลข 3 คือ .....เบสอะดีนีน (adenine).....

#### 2. การสลายพันธะ (hydrolysis) ของ A B และ C จะให้หมู่ฟอสเฟต และปล่อยพลังงานออกมา ให้เติมค่าลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

A :  $ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi + 7.3 \text{ kcal/mol}$

B :  $ADP + H_2O \longrightarrow AMP + Pi + 7.3 \text{ kcal/mol}$

C :  $AMP + H_2O \longrightarrow adenosine + Pi + 3.4 \text{ kcal/mol}$

#### 3. การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

3.1 aerobic cellular respiration ประกอบด้วย.....4.....ขั้นตอน ได้แก่ .....

ไกลโคลิซิส (glycolysis) การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ (acetyl coenzyme A) วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport system).....

3.2 anaerobic cellular respiration ประกอบด้วย.....2.....ขั้นตอน ได้แก่.....

ไกลโคลิซิส (glycolysis) และการหมัก (fermentation).....

#### 4. จากภาพจงตอบคำถามต่อไปนี้

การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นการสลายสารอาหารได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย

ขั้นตอน A คือ .....ไกลโคลิซิส.....เกิดที่.....ไซโทซอล.....

ขั้นตอน B คือ .....วัฏจักรเครบส์.....เกิดที่.....เมทริกซ์.....

ขั้นตอน C คือ .....การถ่ายทอดอิเล็กตรอน.....เกิดที่.....คริสตี.....

5. NADH กับ  $\text{FADH}_2$  มีความสำคัญต่อการสร้าง ATP อย่างไร

**ตอบ...**เป็นสารพลังงานสูงมีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน หรือตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเพื่อนำพลังงานที่อยู่ใน NADH มาใช้ในการสร้าง ATP ต่อไป.....

6.  $\text{O}_2$  มีบทบาทอย่างไรในกระบวนการสลายสารอาหาร

**ตอบ...**แก๊สออกซิเจนที่เซลล์รับเข้าไปจะมีบทบาทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน.....

## เรื่อง การสลายสารโมเลกุลของอาหารแบบใช้ออกซิเจน

คำชี้แจง ให้นักเรียนเติมคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไปนี้จะต้องใช้วัตถุดิบ และ ผลผลิตอะไรบ้าง

ขั้นตอน	สารตั้งต้น	ผลิตภัณฑ์
ไกลโคไลซิส	$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P_i + 2NAD^+$	$2C_3H_4O_3 + 2ATP + 2NADH + H^+$
✧ สมการเคมีไกลโคไลซิส $C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P_i + 2NAD^+ \longrightarrow 2C_3H_4O_3 + 2ATP + 2NADH + H^+$		
การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ	$2C_3H_4O_3 + 2NAD^+ + 2Coenzyme\ A$	$2Acetyl\ Co\ A + 2NADH + H^+ + 2CO_2$
✧ สมการเคมีการสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ $2C_3H_4O_3 + 2NAD^+ + 2Coenzyme\ A \longrightarrow 2Acetyl\ Co\ A + 2NADH + H^+ + 2CO_2$		
วัฏจักรเครบส์	$2Acetyl\ Co\ A + 6NAD^+ + 2FAD + 2Oxaloacetate$	$2Oxaloacetate + 2FADH_2 + 2ADP + 2P_i + 6NADH + H^+ + 2CO_2$
✧ สมการเคมีวัฏจักรเครบส์ $2Acetyl\ Co\ A + 6NAD^+ + 2FAD + 2Oxaloacetate \longrightarrow 2Oxaloacetate + 2FADH_2 + 2ADP + 2P_i + 6NADH + H^+ + 4CO_2$		



2. ให้นักเรียนนำข้อมูลจากข้อ 1 มาเติมจำนวนโมเลกุลลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

ขั้นตอน	จำนวนโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น			
	ATP	NADH	FADH <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
1. ไกลโคไลซิส	.....2.....	.....2.....	.....-.....	.....-.....
2. การสร้างอะซิติล โคเอนไซม์ เอ				
- ต่อการเกิดปฏิกิริยา 1 รอบ	.....-.....	.....1.....	.....-.....	.....1.....
- ต่อการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล (เกิดจำนวน ..... รอบ)	.....-.....	.....2.....	.....-.....	.....2.....
3. วัฏจักรเครบส์				
- ต่อการเกิดปฏิกิริยา 1 รอบ	.....1.....	.....3.....	.....1.....	.....2.....
- ต่อการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล (เกิดจำนวน ..... รอบ)	.....2.....	.....6.....	.....2.....	.....4.....

ดังนั้น การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เมื่อผ่านขั้นตอนไกลโคไลซิส การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ และ วัฏจักรเครบส์ จะทำได้

1. ATP จำนวน .....4..... โมเลกุล
2. NADH จำนวน .....10..... โมเลกุล
3. FADH<sub>2</sub> จำนวน .....2..... โมเลกุล
4. CO<sub>2</sub> จำนวน .....6..... โมเลกุล



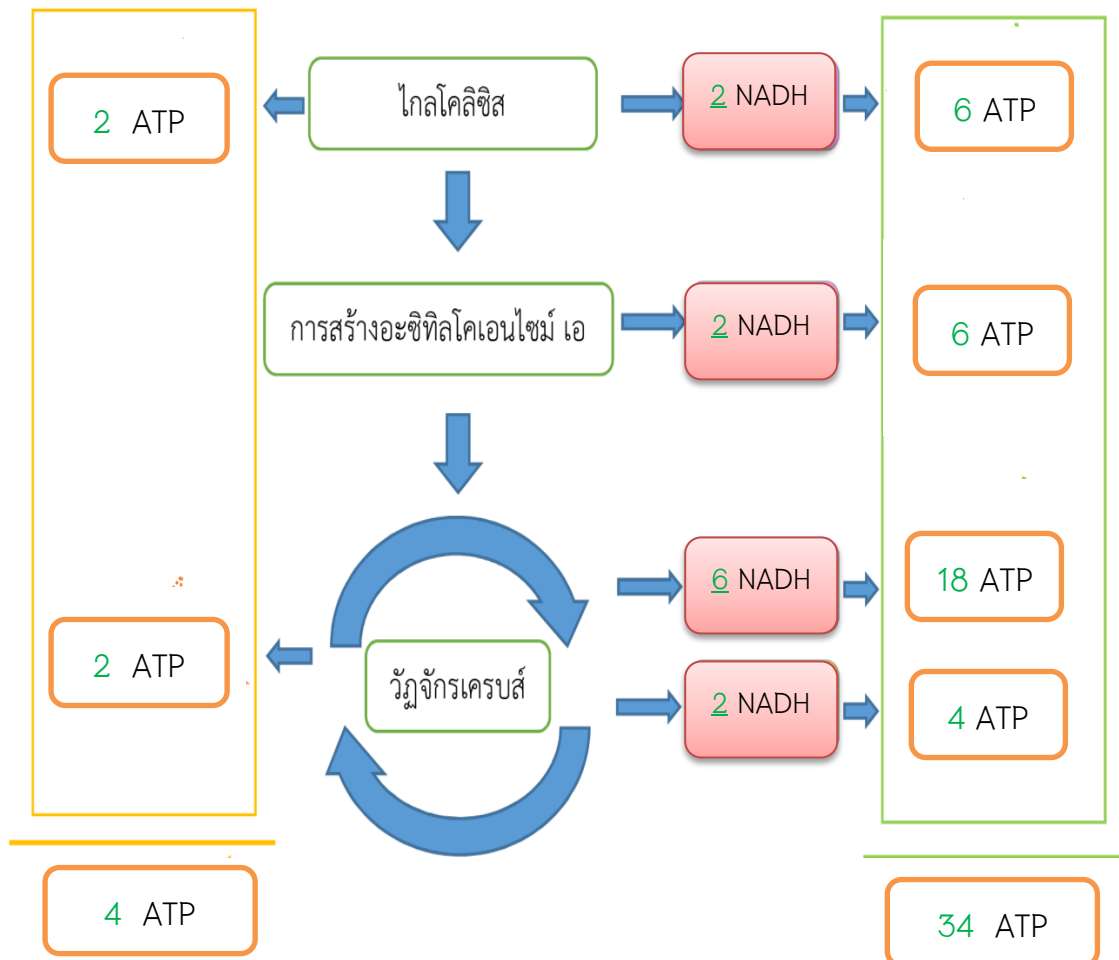
นำเข้าสู่กระบวนการ  
ถ่ายทอดอิเล็กตรอน  
เพื่อสร้าง ATP



NADH 1 โมเลกุลสร้าง ATP ได้..3..โมเลกุล ดังนั้น NADH จำนวน 10 โมเลกุล สร้าง ATP ได้ 30 โมเลกุล  
FADH<sub>2</sub> 1 โมเลกุลสร้าง ATP ได้..2..โมเลกุล ดังนั้น FADH<sub>2</sub> จำนวน 2 โมเลกุล สร้าง ATP ได้..4..โมเลกุล

รวม ATP ทั้งหมดที่ได้จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เท่ากับ .....38..... โมเลกุล

3. ให้นักเรียนเติมจำนวนโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสลายโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล



รวม ATP ทั้งหมดที่ได้จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เท่ากับ...38...โมเลกุล

## 4. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุลแบบใช้ออกซิเจนในเซลล์แต่ละชนิด

กระบวนการ	จำนวนพลังงานที่ได้ (ATP)	
	เซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูก เซลล์สมอง	เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ไต ตับ
ไกลโคลิซิส	2	2
วัฏจักรเครบส์	2	2
กระบวนการถ่ายทอด อิเล็กตรอน	32	34
รวม	36	38

## 3. ให้นักเรียนอธิบายการสลายลิพิด และโปรตีนเพื่อเข้าสู่กระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์

## การสลายลิพิด



เมื่อมีการย่อยลิพิดจะได้กรดไขมันและกลีเซอรอล และจะลำเลียงเข้าสู่เซลล์เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสลายสารอาหาร กลีเซอรอลจะเข้าสู่กระบวนการในช่วงไกลโคลิซิส ส่วนกรดไขมันจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการตัดสายไฮโดรคาร์บอนออกทีละ 2 คาร์บอนอะตอม สร้างเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ ซึ่งพร้อมจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ กระบวนการตัดกรดไขมันนี้เรียกว่า  $\beta$ -oxidation



### การสลายโปรตีน

เมื่อมีการย่อยโปรตีนจะได้กรดอะมิโน และอาจถูกเปลี่ยนแปลงได้หลายแนวทางด้วยกันตามชนิดของกรดอะมิโนนั้น ๆ เช่น บางชนิดเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน บางชนิดเปลี่ยนเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ บางชนิดก็เปลี่ยนเป็นสารตัวใดตัวหนึ่งในวัฏจักรเครบส์ แต่พบว่าทุกครั้งก่อนที่โมเลกุลของกรดอะมิโนจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบตัวใดตัวหนึ่งตามที่กล่าวมา จะต้องมีการตัดหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) ออกจากโมเลกุลของกรดอะมิโน หรือย้ายหมู่อะมิโนไปอยู่กับโมเลกุลของสารประกอบตัวอื่น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการอื่น ๆ หมู่อะมิโนที่หลุดออกมาจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) ซึ่งร่างกายจะมีกระบวนการเปลี่ยนไปเป็นยูเรียหรือกรดยูริก และกำจัดออกนอกร่างกายโดยระบบขับถ่ายต่อไป

## เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

แบบทดสอบหลังเรียน				
ข้อ	ก	ข	ค	ง
1		x		
2	x			
3		x		
4				x
5			x	
6				x
7		x		
8				x
9			x	
10	x			