

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
รายวิชา ชีววิทยา 1 รหัสวิชา ว31241
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์

นางสาวสุดารัตน์ แท่นเนี่ยว
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะชำนาญการ
โรงเรียนปากพนัง อำเภopakพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 12

คำนำ

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เป็นภารกิจที่สำคัญยิ่งของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ กระบวนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนมีความสามารถทางวิทยาศาสตร์นั้น ครูผู้สอนจะต้องพัฒนากระบวนการเรียนรู้อย่างเป็นระบบให้กับผู้เรียน ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาศักยภาพการเรียนรู้ของตนเองให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ และการพัฒนาศักยภาพการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนเป็นการจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ครูผู้สอนสามารถออกแบบการจัดการเรียนรู้ในลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย เพื่อเอื้ออำนวยให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะ กระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์ และการประยุกต์ความรู้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารและการสลายอาหารระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นชุดกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทักษะการสืบค้นข้อมูล กระบวนการคิดอย่างมีเหตุผลและการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์โดยครูเป็นผู้ให้คำปรึกษา แนะนำและคอยอำนวยความสะดวกตลอดจนติดตามผลการศึกษาอย่างใกล้ชิด

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการโรงเรียนปากพนังตลอดจนผู้เชี่ยวชาญและคณะครูที่ปรึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการจัดทำชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ชุดนี้ จะส่งผลให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการคิด กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ควบคู่กับการพัฒนาจิตวิทยาศาสตร์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างมีเหตุผล มีคุณธรรม และดำเนินชีวิตอยู่ในสังคมอย่างมีความสุข

สุดาร์ตน์ แท่นเนี่ยว
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ
โรงเรียนปากพนัง

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

คำนำ

สารบัญ

คำแนะนำในการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

แบบทดสอบก่อนเรียน

บัตรเนื้อหาที่ 1 พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

บัตรกิจกรรมที่ 1 พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 1 พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

บัตรเนื้อหาที่ 2 ไกลโคลิซิส (glycolysis)

บัตรกิจกรรมที่ 2 ไกลโคลิซิส (glycolysis)

บัตรกิจกรรมที่ 2 ไกลโคลิซิส (glycolysis)

บัตรเนื้อหาที่ 3 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

บัตรกิจกรรมที่ 3 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 3 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

บัตรเนื้อหาที่ 4 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain)

บัตรกิจกรรมที่ 4 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain)

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 4 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain)

บัตรเนื้อหาที่ 5 การสลายลิพิดและโปรตีน

บัตรกิจกรรมที่ 5 การสลายลิพิดและโปรตีน

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 5 การสลายลิพิดและโปรตีน

แบบทดสอบหลังเรียน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน

แบบบันทึกสรุปผลการเรียน

บรรณานุกรม

คำแนะนำการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่องการสลายสารอาหารระดับเซลล์ เป็นชุดกิจกรรมที่นักเรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง ให้นักเรียนอ่านคำแนะนำและปฏิบัติตามขั้นตอน นักเรียนจะได้รับความรู้อย่างครบถ้วน โดยปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนรู้ว่าเมื่อนักเรียนเรียนจบชุดกิจกรรมนี้แล้ว นักเรียนสามารถเรียนรู้อะไรได้บ้าง
2. ทำแบบทดสอบก่อนเรียน เพื่อวัดความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่จะเรียนเพื่อให้รู้ว่านักเรียนมีความรู้มากน้อยเพียงใด
3. ศึกษาข้อมูลข้อมูลความรู้และทำกิจกรรมตามที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นการทบทวนความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งใช้เวลาในการเรียนรู้ 8 ชั่วโมง
4. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อวัดความรู้ความเข้าใจอีกครั้งถ้าทำการตรวจคำตอบ เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาทางการเรียน
5. นักเรียนทุกคนจะต้องมีความสื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและแบบทดสอบหลังเรียน

เมื่อนักเรียนได้ทำความเข้าใจ วิธีการ
การเรียนรู้ เรียบร้อยแล้ว เราก็ไป
ศึกษาจุดประสงค์การเรียนรู้กันต่อ
เลยค่ะ



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อให้นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปกระบวนการสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน
2. เพื่อให้นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูล อธิบาย อภิปรายและสรุปกระบวนการสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน
3. เพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายและเปรียบเทียบกระบวนการสลายสารอาหารในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ กระบวนการหมักกรดแลกติก และกระบวนการสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน
4. เพื่อให้นักเรียนสามารถนำความรู้เกี่ยวกับกระบวนการหมักของยีสต์ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน

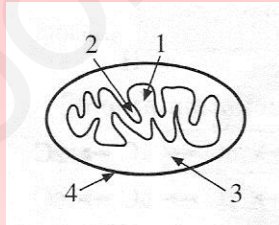
ก่อนอื่น นักเรียนลองทำ
แบบทดสอบก่อนเรียนเพื่อวัด
ความรู้พื้นฐานกันหน่อย อย่าซี
โก่งเปิดดูเฉลยนะเด็ก ๆ



แบบทดสอบก่อนเรียน
เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์

คำชี้แจง แบบทดสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ คะแนนเต็ม 10 คะแนน ใช้เวลาในการสอบ 10 นาที โดยให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว ทำเครื่องหมาย X (กากบาท) ลงในกระดาษคำตอบที่กำหนดให้

1. ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ส่วนใหญ่ได้มาจากแหล่งใด
 - ก. ไกลโคลิซิส
 - ข. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
 - ค. การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์ เอ
 - ง. วัฏจักรเครบส์
2. ในการหายใจระดับเซลล์ ออกซิเจนเข้าไปเกี่ยวข้องในช่วงใด
 - ก. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
 - ข. ไกลโคลิซิส
 - ค. วัฏจักรเครบส์
 - ง. การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์ เอ
3. ส่วนของไมโทคอนเดรียที่มีสารประกอบเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในวัฏจักรเครบส์ คือ



- ก. 1
 - ข. 2
 - ค. 3
 - ง. 4
-
4. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนในเซลล์ยูคาริโอต จากกลูโคส 1 โมเลกุลจะได้พลังงาน ATP ทั้งหมดกี่โมเลกุล
 - ก. 30
 - ข. 36
 - ค. 38
 - ง. 32

5. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

- ก. กระบวนการไกลโคไลซิสเกิดขึ้นในไซโทพลาสซึม
- ข. วัฏจักรเครบส์เกิดในไมโทคอนเดรียในชั้นเมทริกซ์ (matrix)
- ค. กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดที่เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- ง. การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์ เอ เกิดนอกไมโทคอนเดรีย

6. การหายใจระดับเซลล์กับกระบวนการหมักแตกต่างกันในเรื่องใด

- a. การผลิตATPโดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
- b. NADH ไม่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตATP
- c. บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

ก. a

ข. b

ค. a b

ง. a b c

7. ไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในส่วนใดของเซลล์ตามลำดับ

- a. เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- b. เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรีย
- c. ไซโทพลาสซึม

ก. a b c

ข. b a c

ค. c a b

ง. c b a

8. เฉพาะในวัฏจักรเครบส์ 1 รอบ จะได้พลังงานเกิดขึ้นเท่าใด หลังจากผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแล้ว

ก. 15 ATP

ข. 30 ATP

ค. 2 ATP

ง. 12 ATP

9. การเปลี่ยนแปลงจากกรดไพรูวิกไปเป็นแอสิติลโคเอนไซม์ เอ มีสารประกอบต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอย่างไร

- ก. เติมโคเอนไซม์ เอ ได้ $\text{CO}_2 + 4 \text{H}$
- ข. เติมซักซินิลโคเอนไซม์ เอ ได้ $\text{CO}_2 + 4 \text{H}$
- ค. เติมโคเอนไซม์ เอ ได้ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{H}$
- ง. เติมโคเอนไซม์ เอ ได้ $2\text{CO}_2 + 4 \text{H}$

10. หน้าที่โดยตรงของการหายใจระดับเซลล์

- ก. สร้าง NADH
- ค. กำจัด CO_2

- ข. กำจัดกลูโคส
- ง. สร้าง ATP

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียน

ชื่อ - สกุล ชั้น เลขที่

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

คะแนนเต็ม

คะแนนที่ได้

10

เมื่อนักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน
เสร็จแล้ว ขึ้นต่อไปก็ไปเริ่มทำความเข้าใจ
เกี่ยวกับเนื้อหาในเรื่องแรกกันเลยคะ



ขอให้นักเรียนทุกคนตั้งใจ
ศึกษานะจ๊ะ จะได้เก่งๆ ถ้า
พร้อมแล้วก็ลุยเลย



พวกเราลุย !!!!!!!



บัตรเนื้อหาที่ 1

เรื่อง พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

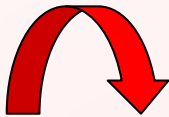
สิ่งมีชีวิตต้องใช้พลังงานจากสารอาหารในการทำกิจกรรมต่างๆ เช่นการ เคลื่อนไหว การตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม การควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ใน ร่างกายและถ้าพิจารณาในระดับเซลล์ เซลล์จะมีกิจกรรมต่างๆ เช่น การลำเลียงสารแบบ แอกทีฟทรานสปอร์ต การสังเคราะห์สารรวมถึงปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์ ฯลฯ กิจกรรม เหล่านี้ต้องใช้พลังงานจากสารอาหารทั้งสิ้น

หนูสงสัยค่ะ แล้วเซลล์มีวิธีการ
อย่างไรจึงสามารถนำพลังงานที่มี
อยู่ในสารอาหารมาใช้ได้

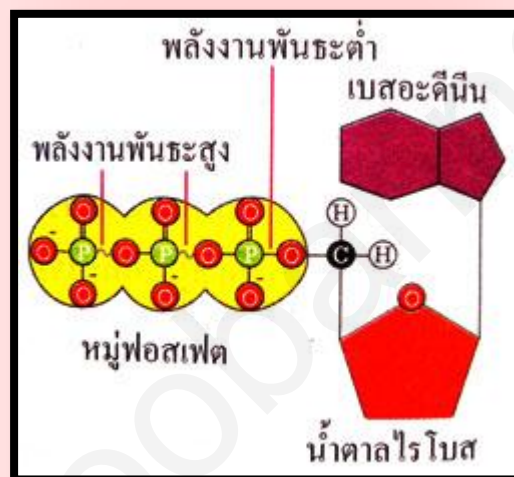
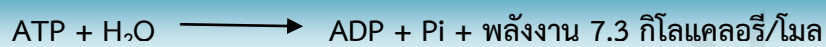


สารอาหารที่ลำเลียงเข้าสู่เซลล์และสามารถให้พลังงานแก่เซลล์ ได้ เช่น มอโนแซ็กคาไรด์ กรดอะมิโน กลีเซอรอล และกรด ไขมัน แต่เซลล์ยังไม่สามารถนำพลังงานจากสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้ จะต้องมีการสลายสารอาหารภายในเซลล์ เพื่อเปลี่ยน พลังงานของพันธะเคมีของสารอาหารให้มาอยู่ในรูปสารประกอบ พลังงานสูงที่เซลล์พร้อมที่จะนำพลังงานไปใช้ได้ เช่น ATP เรียก กระบวนการสลายโมเลกุลของสารอาหารในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานนี้ ว่า การสลายสารอาหารระดับเซลล์ (cellular respiration)





ATP 1 โมเลกุล ประกอบด้วยสารอินทรีย์ 2 ชนิด คือ เบสอะดีนีน (adenine) กับ น้ำตาลไรโบส (ribose) ซึ่งรวมเป็นอะดีโนซีน แล้วต่อกับหมู่ฟอสเฟตอีก 3 หมู่ หมู่ฟอสเฟตแรกที่ยึดกับน้ำตาลไรโบสมีพลังงานพันธะต่ำ ส่วนพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟตแรกกับหมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 2 กับหมู่ที่ 3 มีพลังงานพันธะสูง เมื่อสลายแล้วจะให้พลังงาน 7.3 กิโลแคลอรี/โมล



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของ ATP

ที่มา: <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>

(สืบค้นข้อมูล วันที่ 18 พฤษภาคม 2557)

ขณะที่สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ เซลล์จะมีการสลาย ATP โดย ATP จะเปลี่ยนเป็นอะดีโนซีนไดฟอสเฟต (adenosine diphosphate : ADP) และหมู่ฟอสเฟต หรือเปลี่ยนเป็นอะดีโนซีนมอโนฟอสเฟต (adenosine monophosphate : AMP) และหมู่ฟอสเฟต เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆของร่างกายตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการสร้าง ATP ใหม่ขึ้นมาทดแทน กระบวนการสร้าง ATP จาก ADP และหมู่ฟอสเฟตนี้เรียกว่า กระบวนการ ฟอสโฟรีเลชัน (phosphorylation)



นักเรียนทราบไหมว่าการสลาย
สารอาหารในเซลล์มีทั้งแบบใช้ออกซิเจน
และไม่ใช้ออกซิเจน

ก่อนอื่น ครูจะขออธิบายวิธีการสลาย
สารอาหารในเซลล์แบบใช้ออกซิเจนก่อนนะ
ค่ะ



การสลายโมเลกุลของสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน

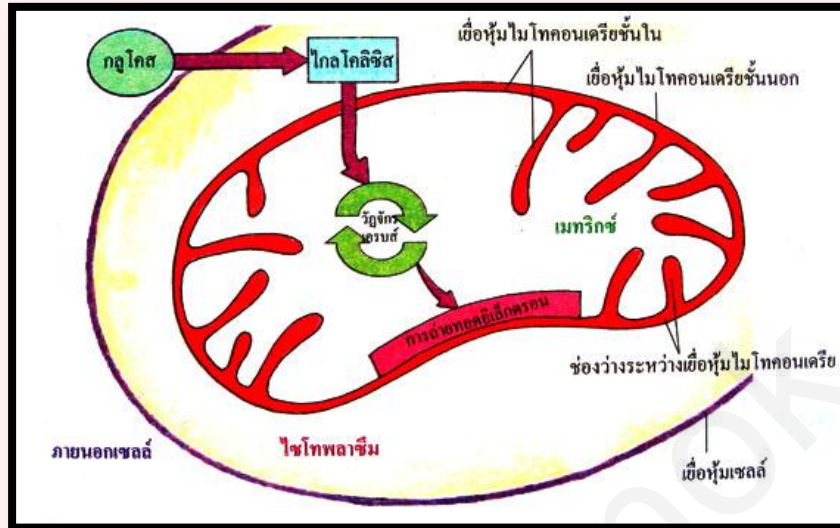
กระบวนการสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนเป็นการสลายสารอินทรีย์ที่มีพลังงานสูงให้เป็นสารอนินทรีย์ที่มีพลังงานต่ำ โดยใช้ออกซิเจน ในที่นี้ขอกล่าวถึง การสลายน้ำตาลกลูโคสเป็นเบื้องต้นก่อน การสลายโมเลกุลของกลูโคส พลังงานที่อยู่ในโมเลกุลของกลูโคสนี้ จะปลดปล่อยและนำไปสร้างสารพลังงานสูง เช่น ATP ซึ่งเซลล์สามารถนำไปใช้ได้ แต่เนื่องจากการปลดปล่อยพลังงานจากกลูโคสในครั้งเดียวจะให้พลังงานสูงซึ่งเป็นอันตรายต่อเซลล์

เพื่อให้การปลดปล่อยพลังงานจากสารอาหารออกมาทีละน้อยๆ กระบวนการสลายอาหารจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการหลายๆ ขั้นตอน กระบวนการสลายกลูโคสแบบใช้ออกซิเจนประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ใหญ่ๆ คือ

1. ไกลโคลิซิส (glycolysis)
2. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)
3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain)



ทั้ง 3 กระบวนการเกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ ของเซลล์ดังภาพ



ภาพประกอบที่ 2 แสดงตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิส การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์ เอ วัฏจักรเครบส์และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>

(สืบค้นข้อมูล วันที่ 18 พฤษภาคม 2557)

โอ้โฮ การสลายโมเลกุลของสารอาหาร
แบบใช้ออกซิเจน มีตั้ง 3 กระบวนการ
ย่อย

ใช่แล้วจ๊ะ เมื่อนักเรียนศึกษา
จนเข้าใจแล้ว ก็ไปทำกิจกรรมกัน
ต่อเลยค่า



บัตรกิจกรรมที่ 1
เรื่อง พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. เซลล์มีวิธีการอย่างไรในการนำพลังงานที่มีอยู่ในสารอาหารมาใช้ได้

ตอบ.....

2. ATP ประกอบด้วยสารอินทรีย์ชนิดใด

ตอบ

3. การสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน ประกอบด้วยกี่ขั้นตอน อะไรบ้าง

ตอบ

4. พลังงานที่อยู่ในโมเลกุลของกลูโคสที่ปลดปล่อยออกมานั้น จะนำไปสร้างเป็นสิ่งใด

ตอบ.....

5. เหตุใดกระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการหลายขั้นตอน

ตอบ.....

ไปตรวจคำตอบหน้าต่อไปเลย

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 1

เรื่อง พื้นฐานการสลายสารอาหารระดับเซลล์

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. เซลล์มีวิธีการอย่างไรในการนำพลังงานที่มีอยู่ในสารอาหารมาใช้ได้

แนวคำตอบ เซลล์จะมีกระบวนการสลายสารอาหารภายในเซลล์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานของพันธะเคมีของสารอาหารให้มาอยู่ในรูปสารประกอบพลังงานสูงที่เซลล์พร้อมที่จะนำพลังงานไปใช้ได้

2. ATP ประกอบด้วยสารอินทรีย์ชนิดใด

แนวคำตอบ เบสอะดีนีน และน้ำตาลไรโบส

3. การสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน ประกอบด้วยกี่ขั้นตอน อะไรบ้าง

แนวคำตอบ การสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

1. ไกลโคไลซิส (glycolysis)
2. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)
3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain)

4. พลังงานที่อยู่ในโมเลกุลของกลูโคสที่ปลดปล่อยออกมานั้น จะนำไปสร้างเป็นสิ่งใด

แนวคำตอบ ATP

5. เหตุใดกระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการหลายขั้นตอน

แนวคำตอบ เพื่อให้การปลดปล่อยพลังงานจากสารอาหารออกมาทีละน้อย ๆ เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อเซลล์

บัตรเนื้อหาที่ 2 เรื่อง ไกลโคลิซิส (glycolysis)

เอ๊ะ! glycolysis ที่ glycol หมายถึง สารพวก คาร์โบไฮเดรต lysis หมายถึง การสลาย รวมๆ แล้ว glycolysis คือ กระบวนการสลายกลูโคสซึ่งมี คาร์บอน 6 อะตอม ใช่มั้ยค่ะ

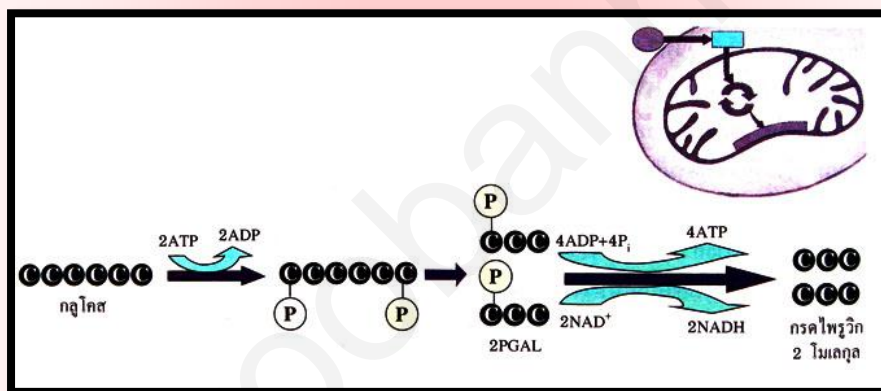


ใช่ค่ะ glycolysis เป็นกระบวนการสลายกลูโคสซึ่งมี คาร์บอน 6 อะตอม ให้มาอยู่ในรูปของ กรดไพรูวิก (pyruvic acid) $C_3H_4O_3$ ซึ่งมี คาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล



นอกจากนี้คะนักเรียน

กระบวนการไกลโคลิซิสเกิดขึ้นบริเวณไซโทซอลมี 10 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีเอนไซม์ต่างชนิดกันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มด้วยการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กลูโคส โดยใช้ ATP 2 โมเลกุล ผลของปฏิกิริยาที่ได้จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล ในกระบวนการไกลโคลิซิส จะทำให้มีการปลดปล่อย ATP ออกมา 4 โมเลกุล และมีการสร้าง NADH อีก 2 โมเลกุล ด้วย ผลลัพธ์สุทธิของ ATP ที่ได้จากกระบวนการไกลโคลิซิสจึงเท่ากับ 2 โมเลกุลดังภาพ



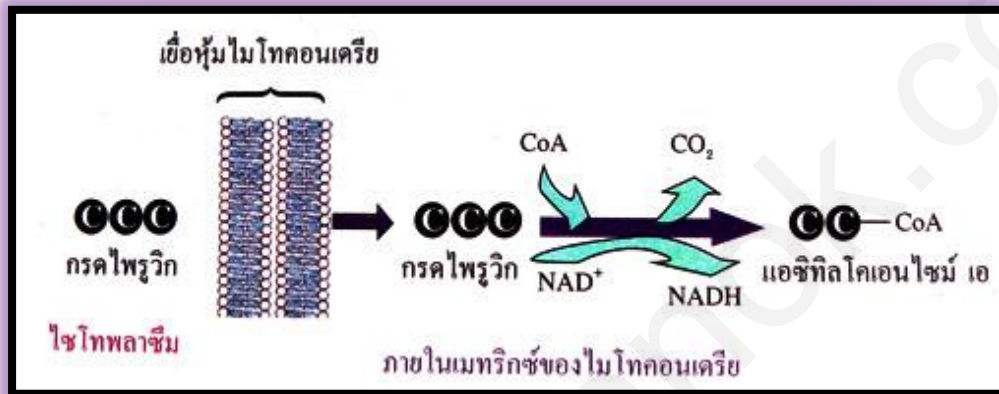
ภาพประกอบที่ 3 แสดงกระบวนการไกลโคลิซิส

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>

(สืบค้นข้อมูล วันที่ 18 พฤษภาคม 2557)



จากนั้นกรดไพรูวิกจะเคลื่อนที่เข้าสู่ไมโทคอนเดรียและทำปฏิกิริยากับ โคเอนไซม์ เอ (coenzyme A : CoA) ได้เป็นแอซิติลโคเอนไซม์ เอ (acetyl coenzyme A)



ภาพประกอบที่ 4 แสดง กรดไพรูวิก 1 โมเลกุลเปลี่ยนเป็นแอซิติลโคเอนไซม์ เอ 1 โมเลกุล

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 18 พฤษภาคม 2557)

จากการสลายโมเลกุลของกรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล ได้ NADH 2 โมเลกุล

จากนั้นแอซิติลโคเอนไซม์ เอ จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป

ในกระบวนการไกลโคไลซิส ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น และกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพที่มีหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้



เป็นยังไงกันบ้าง เข้าใจไหมเอ่ย
ถ้าเข้าใจแล้วก็ไปทำกิจกรรมใน
หน้าต่อไปเลยคะ

บัตรกิจกรรมที่ 2 เรื่อง กระบวนการไกลโคลิซิส (glycolysis)

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

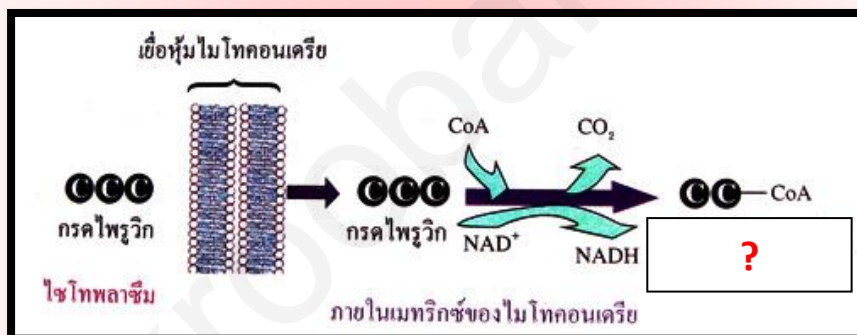
1. กระบวนการไกลโคลิซิส เป็นกระบวนการสลายกลูโคสให้อยู่ในรูปของสิ่งใด

ตอบ

2. กระบวนการไกลโคลิซิสเกิดขึ้นที่บริเวณใด

ตอบ

3. จากภาพภายในช่อง คือสารใด



ตอบ

4. กรดไพรูวิก 4 โมเลกุลเปลี่ยนเป็นแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ได้จำนวนกี่โมเลกุล

ตอบ

5. ผลของการสลายกลูโคส 1 โมเลกุลในกระบวนการไกลโคลิซิสจะทำให้มีการปลดปล่อยสารใดบ้าง

ตอบ

บัตรกิจกรรมที่ 2

เรื่อง กระบวนการไกลโคลิซิส (glycolysis)

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

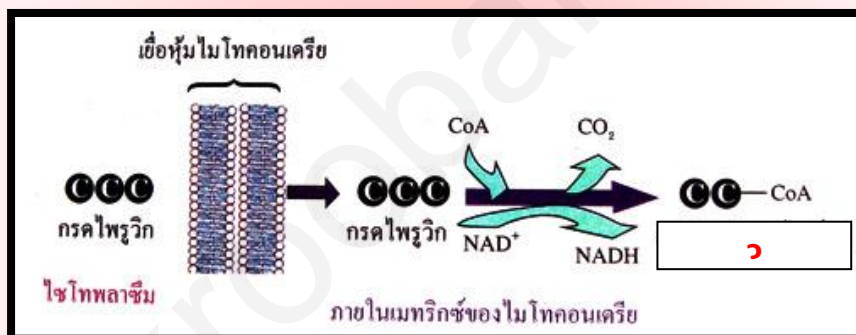
1. กระบวนการไกลโคลิซิส เป็นกระบวนการสลายกลูโคสให้อยู่ในรูปของสิ่งใด

แนวคำตอบ กรดไพรูวิก (pyruvic acid)

2. กระบวนการไกลโคลิซิสเกิดขึ้นที่บริเวณใด

แนวคำตอบ บริเวณไซโทซอล

3. จากภาพภายในช่อง คือสารใด



แนวคำตอบ แอซิติลโคเอนไซม์ เอ

4. กรดไพรูวิก 4 โมเลกุลเปลี่ยนเป็นแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ได้จำนวนกี่โมเลกุล

แนวคำตอบ 4 โมเลกุล

5. ผลของการสลายกลูโคส 1 โมเลกุลในกระบวนการไกลโคลิซิสจะทำให้มีการปลดปล่อยสารใดบ้าง

แนวคำตอบ ATP NADH

บัตรเนื้อหาที่ 3 เรื่องวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)



เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบริเวณเมทริกซ์ซึ่งเป็นของเหลวในไมโทคอนเดรีย โดยมีการสลายสารแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ให้ได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเก็บพลังงานที่ได้ไว้ในรูปของ NADH FADH₂ และ ATP



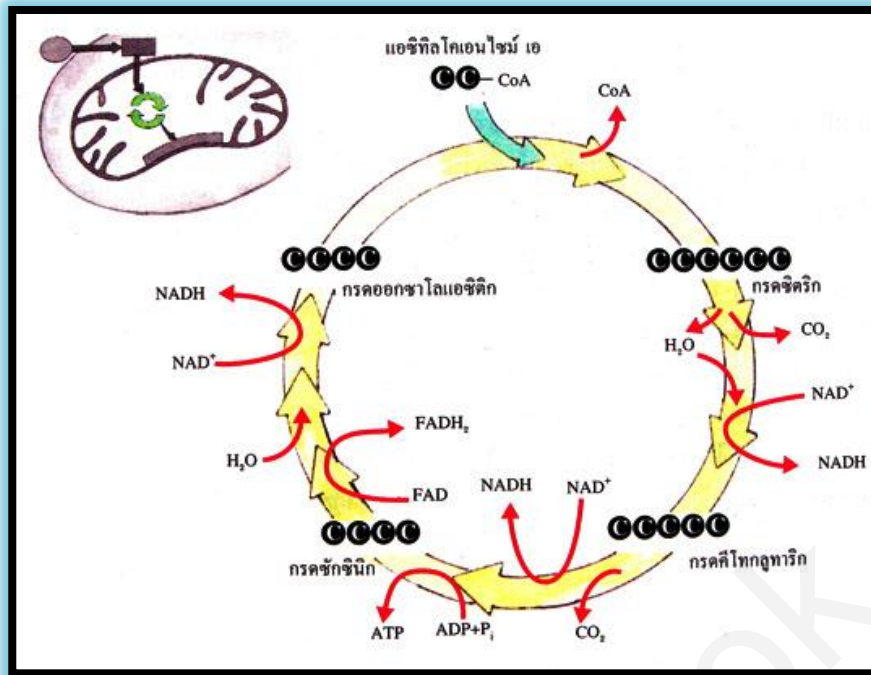
การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์ เอ

การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์ เอ เกิดในไมโทคอนเดรีย เกิดจากกรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับโคเอนไซม์ เอ เกิดเป็นแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอน 2 อะตอม การเปลี่ยนแปลงของกรดไพรูวิก 1 โมเลกุล จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล กับ ไฮโดรเจน 2 อะตอม

เริ่มต้นด้วยแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอม รวมกับสารประกอบออกซาลอแอซิดิกซึ่งมีคาร์บอน 4 อะตอมได้เป็นสารที่มีคาร์บอน 6 อะตอม คือ กรดซิตริก และปล่อยโคเอนไซม์ เอ เป็นอิสระ กรดซิตริกจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปอีกหลายขั้นตอนโดยใช้เอนไซม์หลายชนิดจนได้สารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม ตามเดิม คือ กรดออกซาลอแอซิดิก ซึ่งจะรวมกับแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ได้อีก



นอกจากนี้จะมีนักเรียน ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีการปลดปล่อยคาร์บอน ออกมา ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และนำพลังงาน ในโมเลกุลของสารมาเก็บไว้ในรูปของ ATP NADH และ FADH₂



ภาพประกอบที่ 5 แสดงวัฏจักรเครบส์ 1 วัฏจักร
ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 18 พฤษภาคม 2557)

เนื่องจากแอซิติลโคเอนไซม์ เอ 2 โมเลกุลจะให้ NADH 3 โมเลกุล FADH₂ 1 โมเลกุล และ ATP อีก 1 โมเลกุล แต่กลูโคส 1 โมเลกุลจะให้แอซิติลโคเอนไซม์ เอ เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ 2 โมเลกุล ดังนั้นการสลายกลูโคส 1 โมเลกุลในวัฏจักรเครบส์จะเกิดการสร้าง NADH 6 โมเลกุลและ FADH₂ 2 โมเลกุล และยังได้ ATP อีก 2 โมเลกุลด้วย

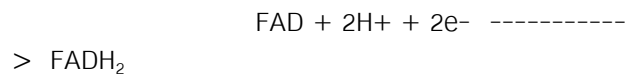


นักเรียนคะ นอกจากนี้ ครูยังมีเนื้อหาที่จะให้นักเรียนรู้เพิ่มเติมนอกจากที่กล่าวมาดังข้างต้น

อะไรคะ พวกเราชกอยากรู้แล้วค่ะ



นักเรียนรู้หรือเปล่าว่า FAD
(flavin adenine dinucleotide) เป็นตัวนำอิเล็กตรอน พร้อม
ด้วยโปรตอน FAD 1 โมเลกุลรับอิเล็กตรอนและโปรตอนจะ
ได้ FADH₂ ดังสมการ



FADH₂ มีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อเข้าสู่
กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนพลังงานที่สะสมอยู่จะถูกนำมาใช้ในการ
การสร้าง ATP

FAD มีวิตามิน B₂ (riboflavin) เป็นองค์ประกอบ

FAD มีวิตามิน B₂ (riboflavin) เป็นองค์ประกอบ



อ้อ !!! พวกเราเข้าใจแล้ว เป็น
อย่างนี้เอง ร่างกายของเราช่าง
ซับซ้อนที่สุดยอดไปแล้ว



บัตรกิจกรรมที่ 3

เรื่อง วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. วัฏจักรเครบส์เกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์

ตอบ.....

2. จากการสลายคาร์บอนของแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ 2 อะตอม จะได้พลังงานซึ่งเก็บอยู่ในรูปของสารใด

ตอบ.....

3. ปฏิกิริยาในวัฏจักรเครบส์มีความสำคัญต่อกระบวนการสลายสารอาหารภายในเซลล์อย่างไร

ตอบ.....

4. ในแต่ละรอบของวัฏจักรเครบส์ พลังงานส่วนใหญ่ที่ปล่อยจากน้ำตาลกลูโคสถูกนำไปให้สารใด

ตอบ.....

5. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เมื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์แล้วจะได้ผลผลิตอย่างไร

ตอบ.....

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 3

เรื่อง วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. วัฏจักรเครบส์เกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์

แนวคำตอบ บริเวณเมทริกซ์ซึ่งเป็นของเหลวในไมโทคอนเดรีย

2. จากการสลายคาร์บอนของแอซิติลโคเอนไซม์ เอ 2 อะตอม จะได้พลังงานซึ่งเก็บอยู่ในรูปของสารใด

แนวคำตอบ ATP NADH และ FADH_2

3. ปฏิกริยาในวัฏจักรเครบส์มีความสำคัญต่อกระบวนการสลายสารอาหารภายในเซลล์อย่างไร

แนวคำตอบ ปฏิกริยาในวัฏจักรเครบส์เป็นการปลดปล่อยคาร์บอนที่อยู่ในสารแอซิติลโคเอนไซม์ เอ ให้ได้เป็นแก๊ส CO_2 และมีพลังงานพันธะของคาร์บอนที่ปล่อยออกมาระหว่างการเกิดปฏิกริยาจะเก็บไว้ในรูปของ ATP NADH และ FADH_2

4. ในแต่ละรอบของวัฏจักรเครบส์ พลังงานส่วนใหญ่ที่ปล่อยจากน้ำตาลกลูโคสถูกปล่อยไปให้สารใด

แนวคำตอบ NADH และ FADH_2

5. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เมื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์แล้วจะได้ผลผลิตอย่างไร

แนวคำตอบ 4 CO_2 2 COA 6NADH 2 FADH_2 และ 2 ATP

บัตรเนื้อหาที่ 4

เรื่อง การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain)

กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

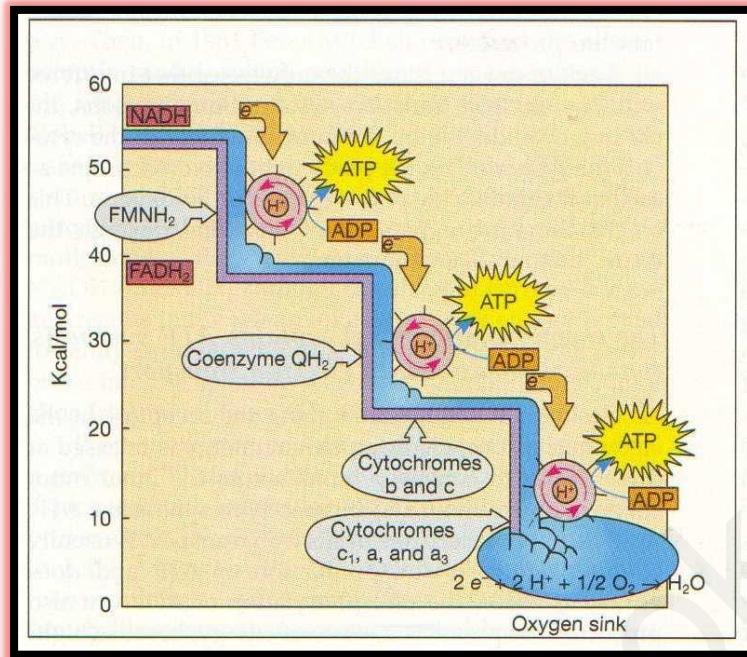
เป็นกระบวนการที่มีการส่งอิเล็กตรอนระหว่างตัวให้อิเล็กตรอนซึ่งได้แก่ NADH และ FADH_2 กับตัวรับอิเล็กตรอนโดยมีตัวรับอิเล็กตรอนเป็นสารประกอบอื่นๆ ที่แทรกอยู่ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ขณะที่เกิดการรับและส่งอิเล็กตรอน ผ่านไปตามตัวนำต่างๆ นั้น จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาทีละน้อย ในแต่ละช่วงของการถ่ายทอดอิเล็กตรอน โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายของกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์



พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนั้นจะนำมาเป็นพลังงานในการเคลื่อนย้าย H^+ จากเมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียมายังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นใน และเยื่อหุ้มชั้นนอกของไมโทคอนเดรีย ดังนั้นพลังงานที่เคยอยู่ในโมเลกุลของ NADH และ FADH_2 จึงเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างผิวสองด้านของเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

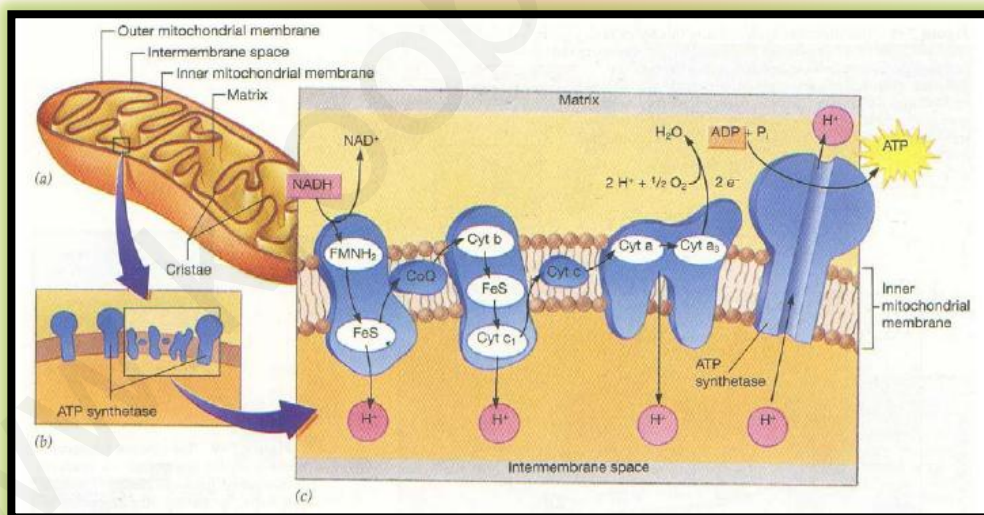


จากนั้นจึงเกิดการสร้างสารประกอบ ATP จากพลังงานศักย์ไฟฟ้างกล่าวโดยเอนไซม์ ATP synthase พลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของ NADH 1 โมเลกุลจะนำมาสร้าง ATP ได้ 3 โมเลกุล ส่วนพลังงานที่ได้จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ของ FADH_2 1 โมเลกุลจะนำมาสร้าง ATP ได้ 2 โมเลกุล



ภาพประกอบที่ 6 แสดงกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

ที่มา: <http://biologe-knowledge.blogspot.com/>
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม 2557)



ภาพประกอบที่ 7 แสดงโครงสร้างของไมโทคอนเดรีย ประกอบด้วยเยื่อชั้นนอก

ที่มา: <http://biologe-knowledge.blogspot.com/>
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม 2557)

นักเรียนคิดว่าการสลายกลูโคส 1 โมเลกุลของเซลล์ต่างชนิดกันจะได้ ATP จากกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเท่ากันหรือไม่

ไม่เท่าค่ะ

ถูกต้องแล้วค่ะ อย่างเช่น การสลายสารอาหารเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อหัวใจ ไต หรือตับ พบว่า NADH จากไกลโคลิซิสซึ่งเกิดขึ้นในไซโทซอลจะถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับ NAD^+ ในไมโทคอนเดรีย ได้เป็น NADH ในไมโทคอนเดรียและเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป ดังนั้น ATP ที่ได้จากกระบวนการนี้จึงเท่ากับ 6 โมเลกุล

ถ้าเป็นเซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูก หรือเซลล์สมอง เซลล์อื่นๆ ละคะ จะได้ ATP ทั้งหมดกี่โมเลกุลคะ

ถ้าเป็นเซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูก หรือเซลล์สมอง เซลล์อื่นๆ NADH ในไซโทซอลจะถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับ FAD ในไมโทคอนเดรียแล้ว FADH_2 จึงเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ATP ที่ได้จากกระบวนการนี้จึงเท่ากับ 4 โมเลกุล

ATP ทั้งหมดจากกระบวนการทั้ง 3 กระบวนการจากการสลาย
สารอาหารแบบใช้ออกซิเจน

พลังงานที่ได้จากการเปลี่ยน NADH และ FADH_2 ทั้งหมดใน
กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ
ยัดกระดูกหรือเซลล์สมองจะได้ ATP 32 โมเลกุล เมื่อรวมกับ ATP ที่
สร้างขึ้นจากกระบวนการไกลโคลิซิส 2 โมเลกุลและวัฏจักรเครบส์อีก 2
โมเลกุล ดังนั้นกลูโคส 1 โมเลกุลเมื่อสลายแล้วจะได้ ATP 36 โมเลกุล

แต่!

ถ้าเป็นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ไต หรือเซลล์ตับจะได้ ATP จากกระบวนการ
ถ่ายทอดอิเล็กตรอน 34 โมเลกุลเมื่อรวมกับ ATP จากกระบวนการไกลโค
ลิซิส 2 โมเลกุลและวัฏจักรเครบส์อีก 2 โมเลกุล ก็จะได้ ATP ถึง 38 โมเลกุล

บัตรกิจกรรมที่ 4
เรื่อง การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
(electron transport chain)

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. จากการสลายกลูโคสโดยผ่านกระบวนการไกลโคลิซิสและวัฏจักรเครบส์ ตามลำดับ ได้
NADH 10 โมเลกุล และ FADH_2 2 โมเลกุล เมื่อเกิดกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะได้
ATP เท่าใด

ตอบ.....

2. นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่าเพราะเหตุใด กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจึงเกิดที่เยื่อหุ้ม
ชั้นในของไมโทคอนเดรีย

ตอบ.....
.....
.....

3. ถ้าใส่สารยับยั้งการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจจะเกิดเหตุการณ์อย่างไรกับ
การสังเคราะห์ ATP

ตอบ.....

4. พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาในขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนั้น มีผลต่อ H^+ อย่างไร
จงอธิบาย

ตอบ.....
.....

5. พลังงานที่เกิดจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของ NADH 1 โมเลกุล จะนำมาสร้าง ATP
ได้กี่โมเลกุล

ตอบ.....

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 4
เรื่อง การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
(electron transport chain)

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. จากการสลายกลูโคสโดยผ่านกระบวนการไกลโคลิซิสและวัฏจักรเครบส์ ตามลำดับ ได้
NADH 10 โมเลกุล และ FADH_2 2 โมเลกุล เมื่อเกิดกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะได้
ATP เท่าใด

แนวคำตอบ 34 ATP

2. นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่าเพราะเหตุใด กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจึงเกิดที่เยื่อหุ้ม
ชั้นในของไมโทคอนเดรีย

แนวคำตอบ เพราะที่ผนังด้านในของไมโทคอนเดรียเป็นที่อยู่ของสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับ
กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ซึ่งมีทั้งสารประกอบที่เป็นตัวนำอิเล็กตรอนและตัวรับ
อิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ อยู่หลายชนิด เช่น NAD^+ FAD และสารประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. ถ้าใส่สารยับยั้งการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจจะเกิดเหตุการณ์อย่างไรกับ
การสังเคราะห์ ATP

แนวคำตอบ มีการสังเคราะห์ ATP แต่น้อยมาก เพราะการสร้าง ATP ส่วนใหญ่จะเกิดใน
ขั้นตอนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

4. พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาในขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนั้น มีส่วนช่วย H^+
อย่างไร จงอธิบาย

แนวคำตอบ เป็นพลังในการเคลื่อนย้าย H^+ จากเมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียมายังช่องว่าง
ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นใน และเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกในไมโทคอนเดรีย

5. พลังงานที่เกิดจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของ NADH 1 โมเลกุล จะนำมาสร้าง ATP
ได้กี่โมเลกุล

แนวคำตอบ 3 โมเลกุล



นักเรียนรู้หรือไม่นอกจากการสลายกลูโคส
แล้วยังมีการสลายสารอาหารอย่างอื่นด้วย
เนื่องจากในแต่ละวันสิ่งมีชีวิตไม่ได้รับ
กลูโคสเพียงอย่างเดียว ยังมีสารอาหาร
หลายชนิดที่ให้พลังงานได้

ครูคะ นอกจากการสลายกลูโคสแล้ว
ยังมีการสลายสารอาหารอะไรอีกบ้าง
คะ



จะมีการสลายลิพิดและโปรตีน ซึ่งครูจะให้
นักเรียนได้ศึกษาในบทเรียนต่อไป



บัตรเนื้อหาที่ 5

เรื่อง การสลายลิพิดและโปรตีน

การสลายลิพิดและโปรตีน

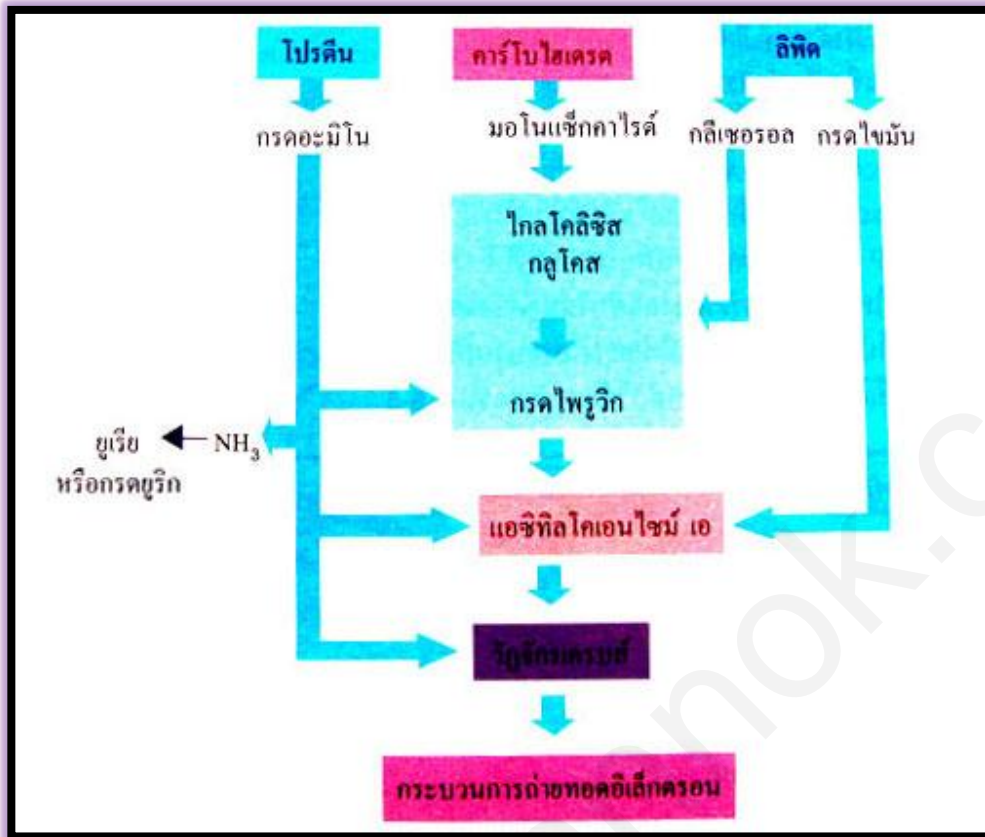
กรดไขมันและกลีเซอรอลที่ได้จากการย่อยลิพิด เมื่อลำเลียงเข้าสู่เซลล์จะเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสลายอาหาร กลีเซอรอลจะเข้าสู่กระบวนการในช่วงไกลโคลิซิส ส่วนกรดไขมันจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการตัดสายไฮโดรคาร์บอนออกทีละ 2 คาร์บอนอะตอม สร้างเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ ซึ่งพร้อมจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์



สำหรับกรดอะมิโนนั้น อาจถูกเปลี่ยนแปลงได้หลายแนวทางด้วยกันตามชนิดของกรดอะมิโนนั้นๆ เช่น บางชนิดเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก บางชนิดเปลี่ยนเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ บางชนิดก็เปลี่ยนเป็นสารตัวใดตัวหนึ่งในวัฏจักรเครบส์ แต่พบว่าทุกครั้งก่อนที่โมเลกุลของกรดอะมิโนจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบตัวใดตัวหนึ่งตามที่กล่าวมา จะต้องมีการตัดหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ออกจากโมเลกุลของกรดอะมิโน หรือย้ายหมู่อะมิโนไปอยู่กับโมเลกุลของสารประกอบตัวอื่นซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการ



หมู่อะมิโนที่หลุดออกมานี้จะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งร่างกายจะมีกระบวนการเปลี่ยนไปเป็นยูเรียหรือกรดยูริก และกำจัดออกนอกร่างกายโดยระบบขับถ่ายต่อไป



ภาพประกอบที่ 8 แผนภาพสรุปกระบวนการสลายสารอาหารทั้ง 3 ประเภท
ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม 2557)



ในภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนอย่างเพียงพอ กระบวนการช่วงไกลโคลิซิสและวัฏจักรเครบส์ จะมีการสร้าง NADH และ FADH_2 ได้เป็นจำนวนมาก เมื่อสารตัวให้อิเล็กตรอนเหล่านี้ส่งถ่ายอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนที่ผิวเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียแล้วจะได้ NAD^+ และ FAD ซึ่งพร้อมจะกลับไปรับอิเล็กตรอนในการสลายสารอาหารครั้งต่อไปได้อีก แก๊สออกซิเจนที่เซลล์รับเข้าไปจะมีบทบาทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย



แล้วถ้าในสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนไม่
เพียงพอ หรือไม่มีเลย เซลล์จะนำ
พลังงานจากสารอาหารมาใช้ได้หรือ
ค่ะ

ได้ค่ะนักเรียน เพราะเซลล์ใน
ร่างกายของเราสามารถสลาย
สารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้
ด้วย



ร่างกายเราเก่งจริง ๆ
เลย



แต่ก่อนที่เราจะไปเรียนเรื่องการสลาย
สารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน นักเรียน
ต้องทำกิจกรรมในหน้าถัดไปก่อนนะคะ



บัตรกิจกรรมที่ 5
เรื่อง การสลายลิพิดและโปรตีน

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. ถ้าร่างกายนำโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของร่างกายมาสลายเพื่อให้พลังงานแทน
สารอาหารประเภทอื่นจะเกิดผลอย่างไรต่อร่างกาย

ตอบ.....
.....

2. หมูอะมิโนที่ถูกตัดออกจากโมเลกุลของกรดอะมิโน จะเปลี่ยนไปเป็นสารใดบ้าง จนกระทั่ง
ถูกกำจัดออกนอกร่างกาย

ตอบ.....

3. ปริมาณยูเรียที่ถูกขับออกมาในปัสสาวะขึ้นอยู่กับอะไร

ตอบ.....

4. กรดไขมันจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงอะไรก่อนที่จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์

ตอบ

5. สารที่เมื่อลำเลียงเข้าสู่เซลล์จะเป็นสารตั้งต้นในการสลายสารลิพิดและโปรตีนคือสารใด
ตามลำดับ

ตอบ.....

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 5 เรื่อง การสลายลิพิดและโปรตีน

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามที่กำหนดให้ แล้วเขียนคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง สมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (10 คะแนน)

1. ถ้าร่างกายนำโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของร่างกายมาสลายเพื่อให้พลังงานแทน สารอาหารประเภทอื่นจะเกิดผลอย่างไรต่อร่างกาย

แนวคำตอบ ร่างกายจะขาดแคลนโปรตีน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการสร้างเอนไซม์ แอนติบอดี และโครงสร้างของร่างกายและอาจทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย

2. หมูอะมิโนที่ถูกตัดออกจากโมเลกุลของกรดอะมิโน จะเปลี่ยนไปเป็นสารใดบ้าง จนกระทั่ง ถูกกำจัดออกนอกร่างกาย

แนวคำตอบ หมูอะมิโนที่หลุดออกมาจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งร่างกายจะมี กระบวนการเปลี่ยนไปเป็นยูเรียหรือกรดยูริก และกำจัดออกนอกร่างกายโดยระบบขับถ่าย

3. ปริมาณยูเรียที่ถูกขับออกมาในปัสสาวะขึ้นอยู่กับกระบวนการรับประทานอาหารประเภทใด

แนวคำตอบ โปรตีน

4. กรดไขมันจะมีการเปลี่ยนแปลงอะไรก่อนที่จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์

แนวคำตอบ กรดไขมันจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการตัดสายไฮโดรคาร์บอน ออกทีละ 2 คาร์บอนอะตอม สร้างเป็นแอสิติลโคเอนไซม์ เอ

5. สารที่เมื่อลำเลียงเข้าสู่เซลล์จะเป็นสารตั้งต้นในการสลายสารลิพิดและโปรตีนคือสารใด ตามลำดับ

แนวคำตอบ กรดไขมัน และกลีเซอรอล ตามลำดับ

บัตรเนื้อหาที่ 6

เรื่อง การสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การสลายโมเลกุลของสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในภาวะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจนหรือมีแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอจะทำให้ NADH และ FADH_2 ไม่สามารถถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆที่ฝังตัวอยู่ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียได้



ทำไมไม่สามารถถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้

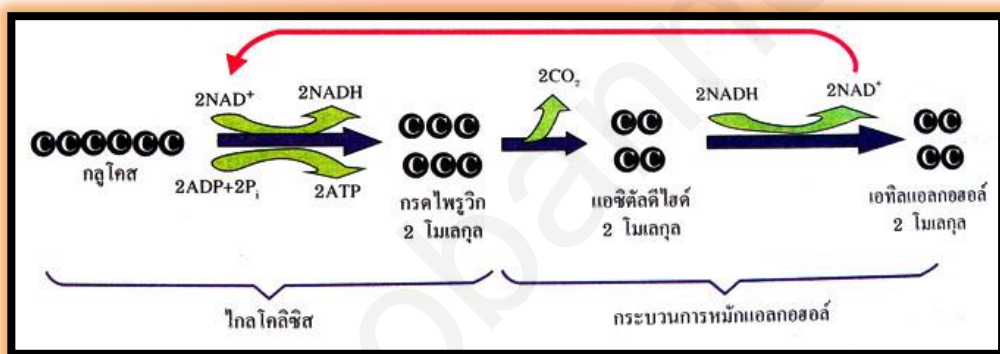
เนื่องจากขาดออกซิเจนซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในขั้นตอนสุดท้ายจึงไม่สามารถสร้าง ATP ได้ และมีการสะสม NADH และ FADH_2 มากขึ้น ทำให้ขาดแคลน NAD^+ และ FAD มีผลให้ปฏิกิริยาในไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนดำเนินต่อไปไม่ได้ และยังทำให้เซลล์ขาด ATP



เซลล์จึงมีกระบวนการผันกลับให้ NADH กลายเป็น NAD^+ เพื่อให้กระบวนการไกลโคไลซิสไม่หยุดชะงัก และสามารถสร้าง ATP ต่อไปได้ กระบวนการนี้เรียกว่า **กระบวนการหมัก** (fermentation)



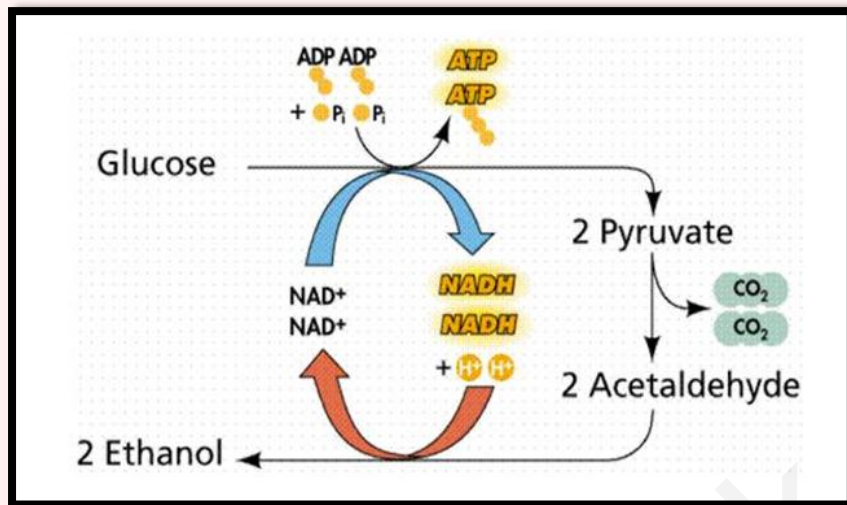
ในสถานะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน จะเกิดกระบวนการไกลโคไลซิสในเซลล์ของยีสต์ หากมีกลูโคสเป็นสารตั้งต้นจะทำให้ได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุลได้ ATP 2 โมเลกุล และ NADH อีก 2 โมเลกุล จากนั้นกรดไพรูวิกจะปล่อยคาร์บอนออกมาในรูป CO_2 และเปลี่ยนเป็นแอซิดลัคติกแล้วมาเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจาก NADH กลายเป็นเอทิลแอลกอฮอล์และมีการผันกลับของ NADH เป็น NAD^+ ซึ่งสามารถกลับไปรับอิเล็กตรอนในกระบวนการไกลโคไลซิสได้ใหม่ กระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า กระบวนการหมัก ดังภาพ



ภาพประกอบที่ 9 แสดง การสลายกลูโคสในสถานะที่ไม่มีออกซิเจนของยีสต์ ซึ่งจะเกิดกระบวนการหมักแอลกอฮอล์

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>

(สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม 2557)



ภาพประกอบที่ 10 แสดงกระบวนการหมักแอลกอฮอล์

ที่มา: <http://biologie-knowledge.blogspot.com/>

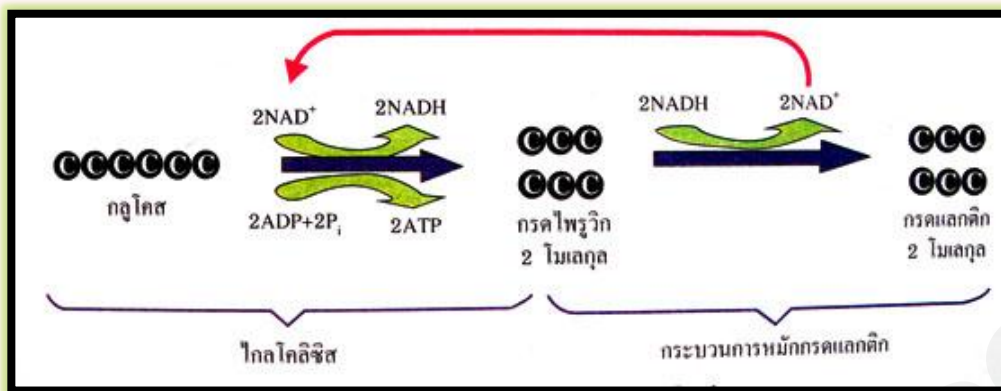
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม 2557)



ในกรณีที่เซลล์ร่างกายของคนมีความต้องการ ATP เป็นจำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ ขณะออกกำลังกาย ATP ลดลงอย่างรวดเร็ว และเลือดลำเลียงแก๊สออกซิเจนให้ไม่ทัน เซลล์จะอย่างไรคะ

เซลล์จะมีการสลายสารอาหารโดยไม่ใช้แก๊สออกซิเจน กระบวนการนี้คล้ายกับการสลายสารอาหารของยีสต์ แต่ NADH จะผันกลับเป็น NAD⁺ โดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับกรดไพรูวิกเกิดเป็นกรดแลกติก ดังภาพ

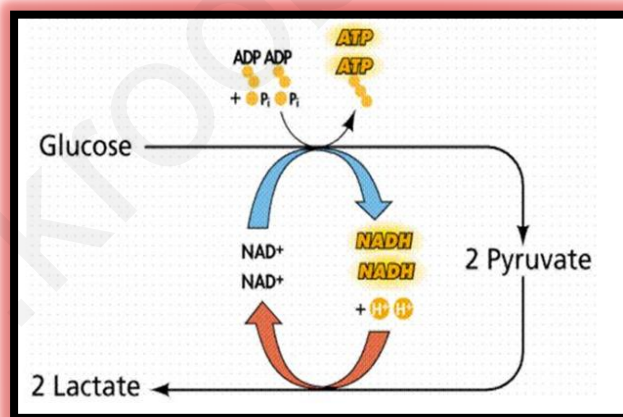




ภาพประกอบที่ 11 แสดงการสลายกลูโคสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนของเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งจะเกิดกระบวนการหมักกรดแลกติก

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1105>
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม 2557)

กรดแลกติกที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีการลำเลียงออกจากเซลล์กล้ามเนื้อไปยังตับ เพื่อสังเคราะห์กลับเป็นกลูโคสซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ต่อไปได้ ส่วนกรณีการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นพบว่าเป็นผลมาจากการสะสมของกรดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการไกลโคลิซิส ดังนั้นถึงแม้ว่าจะมีความเข้มข้นของกรดแลกติกสูงก็จะมีอาการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อ ถ้าร่างกายสามารถรักษาสสมดุลของกรด - ใจได้



ภาพประกอบที่ 11 แสดงกระบวนการหมักกรดแลกติก

ที่มา : <http://biologe-knowledge.blogspot.com/>
(สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม 2557)



การสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้อาจ
เกิดขึ้นได้กับสิ่งใดบ้างคะ

ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น
พืชที่อยู่ในภาวะน้ำท่วม ทำให้รากได้รับออกซิเจน
ไม่เพียงพอ เซลล์ที่รากจึงต้องสลายสารอาหาร
แบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นต้น



กระบวนการหมักกรดแลกติกที่เกิดขึ้นได้ในจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย
บางชนิด ทำให้มนุษย์นำประโยชน์จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์เหล่านี้
มาใช้ในการผลิตอาหารบางอย่าง ได้แก่ เต้าเจี้ยว เต้าหู้ยี้ นมเปรี้ยว โย
เกิร์ต ผักดอง และผลไม้ดอง

การสลายอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้ง 2 แบบดังกล่าวเป็นการสลายอาหารที่ไม่
สมบูรณ์ เพราะเอทิลแอลกอฮอล์และกรดแลกติกที่เป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการสลาย
สารอาหารยังมีพลังงานแฝงอยู่จำนวนมาก

เย่ !!!! จบแล้วสำหรับเนื้อหาเรื่อง
การสลายสารอาหารระดับเซลล์ ไปลุย
บทปริศนาที่ 6 กันต่อเลย



บัตรกิจกรรมที่ 6

เรื่อง การสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน

คำชี้แจง ตอนที่ 1 ให้นักเรียนนำคำในกรอบด้านบนมาเติมในประโยคให้สมบูรณ์
ใช้เวลา 5 นาที (5 คะแนน)

NAD^+ , ATP , NAD^+ และ FAD , NADH และ FADH_2 ,
กระบวนการหมัก , กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ในภาวะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจนหรือมีแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอจะทำให้ NADH และ FADH_2 ไม่สามารถถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆที่ฝังตัวอยู่ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียได้ เนื่องจากขาดออกซิเจนซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในขั้นตอนสุดท้ายจึงไม่สามารถสร้าง ATP ได้ และมีการสะสม NADH และ FADH_2 มากขึ้นทำให้ขาดแคลน NAD^+ และ FAD มีผลให้ปฏิกิริยาในไกลโคลิซิสวัฏจักรเครบส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนดำเนินต่อไปไม่ได้ และยังทำให้เซลล์ขาด ATP เซลล์จึงมีกระบวนการผันกลับให้ NADH กลายเป็น NAD^+ เพื่อให้กระบวนการไกลโคลิซิสไม่หยุดชะงัก และสามารถสร้าง ATP ต่อไปได้ กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการหมัก (fermentation)

ตอนที่2 ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (5 คะแนน)

1. การสลายกลูโคสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนของยีสต์ เกิดจากกระบวนการใด

ตอบ

2. กระบวนการหมักกรดแลคติกที่เกิดขึ้นได้ในแบคทีเรียบางชนิด ทำให้มนุษย์นำมาทำประโยชน์จากกระบวนการหมักเหล่านี้นำมาใช้ในการผลิตอาหารชนิดใดได้บ้าง

ตอบ

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 6

เรื่อง การสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน

คำชี้แจง ตอนที่ 1 ให้นักเรียนนำคำในกรอบด้านบนมาเติมในประโยคให้สมบูรณ์
ใช้เวลา 5 นาที (5 คะแนน)

NAD^+ , ATP , NAD^+ และ FAD , NADH และ FADH_2 ,
กระบวนการหมัก , กระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอน

ในภาวะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจนหรือมีแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอจะทำให้ NADH และ FADH_2 ไม่สามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆที่ฝังตัวอยู่ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียได้ เนื่องจากขาดออกซิเจนซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในขั้นตอนสุดท้ายจึงไม่สามารถสร้าง ATP ได้ และมีการสะสม NADH และ FADH_2 มากขึ้นทำให้ขาดแคลน NAD^+ และ FAD มีผลให้ปฏิกิริยาในไกลโคไลซิสวัฏจักรเครบส์ และการถ่ายเทอิเล็กตรอนดำเนินต่อไปไม่ได้ และยังทำให้เซลล์ขาด ATP เซลล์จึงมีกระบวนการผันกลับให้ NADH กลายเป็น NAD^+ เพื่อให้กระบวนการไกลโคไลซิสไม่หยุดชะงัก และสามารถสร้าง ATP ต่อไปได้ กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการหมัก (fermentation)

ตอนที่2 ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ใช้เวลา 10 นาที (5 คะแนน)

1. การสลายกลูโคสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนของยีสต์ เกิดจากกระบวนการใด

แนวคำตอบ กระบวนการหมักแอลกอฮอล์

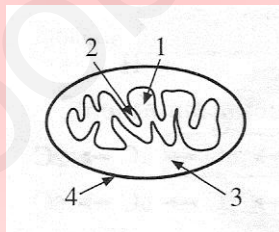
2. กระบวนการหมักกรดแลคติกที่เกิดขึ้นได้ในแบคทีเรียบางชนิด ทำให้มนุษย์นำมาทำประโยชน์จากกระบวนการหมักเหล่านี้มาใช้ในการผลิตอาหารชนิดใดได้บ้าง

แนวคำตอบ เต้าเจี้ยว เต้าหู้ยี้ นมเปรี้ยว โยเกิร์ต ผักดองและผลไม้ดอง

แบบทดสอบหลังเรียน
เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์

คำชี้แจง แบบทดสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ คะแนนเต็ม 10 คะแนน ใช้เวลาในการสอบ 10 นาที โดยให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว ทำเครื่องหมาย X (กากบาท) ลงในกระดาษคำตอบที่กำหนดให้

1. ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ส่วนใหญ่ได้มาจากแหล่งใด
ก. ไกลโคลิซิส
ข. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน
ค. การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์ เอ
ง. วัฏจักรเครบส์
2. ในการหายใจระดับเซลล์ ออกซิเจนเข้าไปเกี่ยวข้องในช่วงใด
ก. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน ค. วัฏจักรเครบส์
ข. ไกลโคลิซิส ง. การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์ เอ
3. ส่วนของไมโทคอนเดรียที่มีสารประกอบเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในวัฏจักรเครบส์ คือ



- ก. 1 ข. 2 ค. 3 ง. 4
4. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนในเซลล์ยูคาริโอต จากกลูโคส 1 โมเลกุล จะได้พลังงาน ATP ทั้งหมดกี่โมเลกุล
ก. 30 ข. 36
ค. 38 ง. 32

5. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

- ก. กระบวนการไกลโคไลซิสเกิดขึ้นในไซโทพลาซึม
- ข. วัฏจักรเครบส์เกิดในไมโทคอนเดรียในชั้นเมทริกซ์ (matrix)
- ค. กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดที่เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- ง. การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์ เอ เกิดนอกไมโทคอนเดรีย

6. การหายใจระดับเซลล์กับกระบวนการหมักแตกต่างกันในเรื่องใด

- a. การผลิตATPโดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
- b. NADH ไม่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตATP
- c. บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

ก. a

ข. b

ค. a b

ง. a b c

7. ไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในส่วนใดของเซลล์ตามลำดับ

- a. เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- b. เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรีย
- c. ไซโทพลาซึม

ก. a b c

ข. b a c

ค. c a b

ง. c b a

8. เฉพาะในวัฏจักรเครบส์ 1 รอบ จะได้พลังงานเกิดขึ้นเท่าใด หลังจากผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแล้ว

ก. 15 ATP

ข. 30 ATP

ค. 2 ATP

ง. 12 ATP

9. การเปลี่ยนแปลงจากกรดไพรูวิกไปเป็นแอสิติลโคเอนไซม์ เอ มีสารประกอบต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอย่างไร

- ก. เติมโคเอนไซม์ เอ ได้ $\text{CO}_2 + 4 \text{H}$
- ข. เติมซัคซินิลโคเอนไซม์ เอ ได้ $\text{CO}_2 + 4 \text{H}$
- ค. เติมโคเอนไซม์ เอ ได้ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}$
- ง. เติมโคเอนไซม์ เอ ได้ $2\text{CO}_2 + 4 \text{H}$

10. หน้าที่โดยตรงของการหายใจระดับเซลล์

ก. สร้าง NADH

ข. กำจัดกลูโคส

ค. กำจัด CO_2

ง. สร้าง ATP

๑ กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน

ชื่อ - สกุล ชั้น เลขที่

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

คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
10	

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน
เรื่องการสลายสารอาหารระดับเซลล์

แบบทดสอบก่อน-หลังเรียน	
ข้อ	เฉลยคำตอบ
1	ง
2	ก
3	ข
4	ข
5	ง
6	ก
7	ง
8	ง
9	ก
10	ง



เป็นยังไงกันบ้างเอ่ย หลังจากเรียนรู้
เสร็จสิ้นแล้ว นักเรียนอย่าลืมนำความรู้
ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ใน
ชีวิตประจำวันด้วยนะคะ

รับทราบ พร้อมปฏิบัติค่ะ



แบบบันทึกสรุปผลการเรียน
เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์

ประเมินผล	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	คิดเป็นร้อยละ (100%)
บัตริยกรรมที่ 1			
บัตริยกรรมที่ 2			
บัตริยกรรมที่ 3			
บัตริยกรรมที่ 4			
บัตริยกรรมที่ 5			
บัตริยกรรมที่ 6			
แบบทดสอบก่อนเรียน			
แบบทดสอบหลังเรียน			
คะแนนการพัฒนา แบบทดสอบ			

เกณฑ์คะแนนการประเมินผลการเรียนก่อน – หลังเรียน

บรรณานุกรม

จตุมา จันทรตระกูล. (2551). ชีววิทยาพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4. กรุงเทพมหานคร:
แม็ก

จิรัชย์ เจนพาณิชย์. (2552). Biology for high school students. กรุงเทพมหานคร:
บุมคัลเลอร์ไลน์

รัฐศาสตร์ เกตุผาสุข. (2556). คู่มือเตรียมสอบ PAT ชีววิทยา. กรุงเทพมหานคร:
ซีเอ็ดยูเคชั่น

สมาน แก้วไวยุทธ. (2554). ชีววิทยา มัธยมศึกษาปีที่ 4 - 6 เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร:
ไฮเอ็ดพับลิชชิง

<http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1083> สืบค้นข้อมูล วันที่ 23
พฤษภาคม 2557

<http://www.biologe-knowledge.blogspot.com/> สืบค้นข้อมูล วันที่ 20 พฤษภาคม
2557

<https://www.sheep101.info/Images/rumen.gif> สืบค้นข้อมูล วันที่ 24 พฤษภาคม
2557

