เรื่องที่ 5 การสลายอาหารระดับเซลล์

สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต

มาตรฐานว 1.1 : เข้าใจหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ทำงานสัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของตนเองและดูแลสิ่งมีชีวิต

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1. สำรวจตรวจสอบ สืบค้นข้อมูล อภิปรายและสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของระบบย่อยอาหารและการสลายสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงานในร่างกายของสัตว์และมนุษย์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อภิปราย สรุปโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสลายสารอาหารระดับเซลล์

เนื้อหา

การหายใจ (Respiration)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน (Oxidation - Reduction reaction)

ATP (Adenosine Triphosphate)

ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)

เมทาบอลิซึม (Metabolism)

ไซโตโครม (Cytochrome)

โคเอนไซม์ (Coenzyme)

เกม

แบบทดสอบ

เรื่องที่ 5 การสลายสารอาหารระดับเซลล์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อภิปราย สรุปโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสลายสารอาหารระดับเซลล์

การสลายสารอาหารระดับเซลล์

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องใช้พลังงาน (Energy) ในการดำรงชีพหรือทำกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น การเคลื่อนไหว การตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม การควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย และถ้าพิจารณาในระดับเซลล์ เซลล์จะมีกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การลำเลียงแบบแอกทีฟทรานสปอร์ต การสังเคราะห์สาร รวมทั้งปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์ กิจกรรมเหล่านี้ต้องใช้พลังงานจากสารอาหารทั้งสิ้น

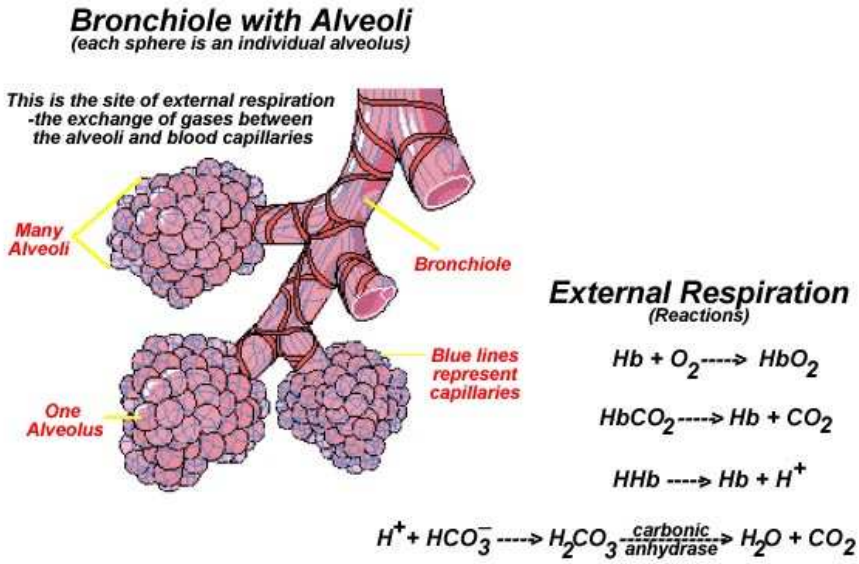
พืชสามารถเปลี่ยนพลังงานแสง เป็นพลังงานเคมีด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง สัตว์ได้รับการถ่ายทอดพลังงานที่อยู่ในอาหารจากพืช โดยการกินพืชเป็นอาหาร(ในห่วงโซ่หรือสายใยอาหาร) โดยเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูป ATP

สารอาหารที่ลำเลียงเข้าสู่เซลล์และสามารถให้พลังงานแก่เซลล์ได้ เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กลีเซอรอล และกรดไขมัน แต่เซลล์ยังไม่สามารถนำพลังงานจากสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้ จะต้องมีกระบวนการสลายสารอาหารภายในเซลล์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานของพันธะเคมีของสารอาหารให้มาอยู่ในรูปสารประกอบพลังงานสูง ที่เซลล์พร้อมที่จะนำพลังงานไปใช้ได้ เช่น ATP เรียกกระบวนการสลายโมเลกุลของสารอาหารในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานนี้เรียกว่า การสลายสารอาหารระดับเซลล์ (Cellular respiration)

การหายใจ (Respiration) คือกระบวนการออกซิไดซ์สารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน หรือโปรตีน โดยอาศัยการควบคุมของเอนไซม์ภายในเซลล์ เพื่อให้เซลล์ของสิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อการดำรงชีวิตของเซลล์ การหายใจมีความหมายทางชีววิทยา 2 แบบ คือ

1. การหายใจเอาแก๊สออกซิเจนเข้าไปและหายใจเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

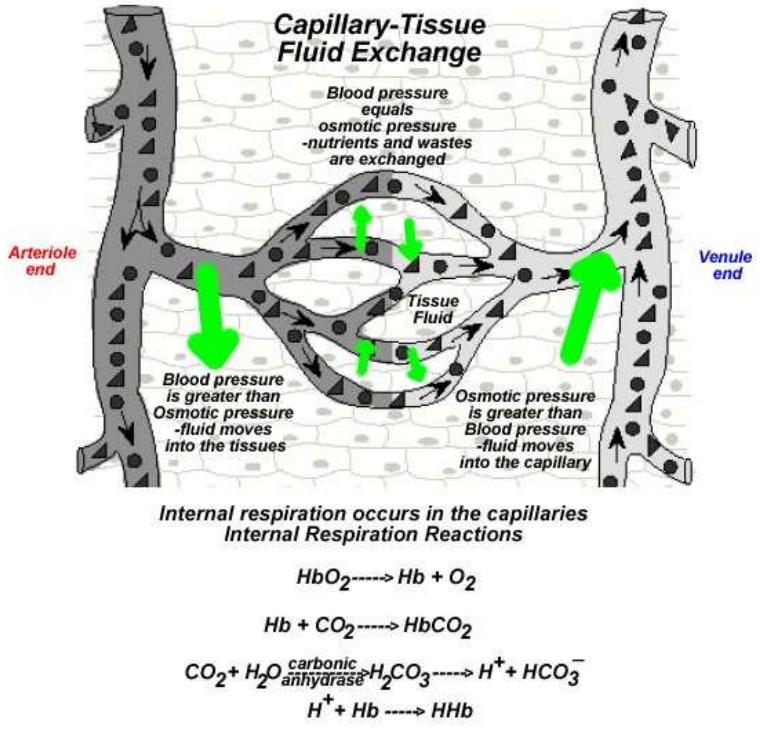
การหายใจเข้าออกเป็นการหมุนเวียนอากาศอย่างเป็นวัฏจักร ช่วยให้การไหลเวียนของอากาศระหว่างบรรยากาศภายนอกกับถุงลมปอดเกิดได้ดีขึ้น



ภาพที่ 5.1 แสดงการโครงสร้างของปอดที่ใช้แลกเปลี่ยนแก๊สเป็นการหายใจภายนอก (External respiration)

ที่มา : http://www.coolschool.ca/lor/BI12/unit11/U11L05/extresrxns.jpg

2. **การหายใจระดับเซลล์ (Cellular respiration)** คือการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์เพื่อให้เกิดพลังงาน (การหายใจระดับเซลล์ คือการสลายสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน)



ภาพที่ 5.2 แสดงการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างหลอดเลือดฝอยกับเนื้อเยื่อ

ที่มา : http://www.coolschool.ca/lor/BI12/unit11/U11L05/extresrxns.jpg

การหายใจเปรียบเทียบได้กับการเผาไหม้ในอากาศแต่สิ่งที่ต่างกัน คือ

1. การหายใจเป็นการเผาไหม้ที่สามารถควบคุมได้โดยใช้เอนไซม์ ทำให้สารตั้งต้นค่อยๆ สลายตัวพลังงานจึงถูกปล่อยออกมาอย่างช้าๆ เซลล์สามารถนำไปใช้สร้างสารประกอบต่างๆ สะสมไว้ได้

2. พลังงานที่ได้จากการหายใจ เซลล์จะสะสมไว้ในรูปของสารเคมีที่มีพลังงานสูง คือ ATP จึงไม่ทำให้อุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อเซลล์เอง

ปฏิกิริยาการหายใจในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ปฏิกิริยาการหายใจจะเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องหลายปฏิกิริยา ดังนี้

1. **การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration)** ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

ไกลโคลิซีส (Glycolysis)

การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ หรือการออซิเดชัน กรดไพรูวิก (Pyruvate oxidation หรือ Pyruvate dehydrogenase complex pathway)

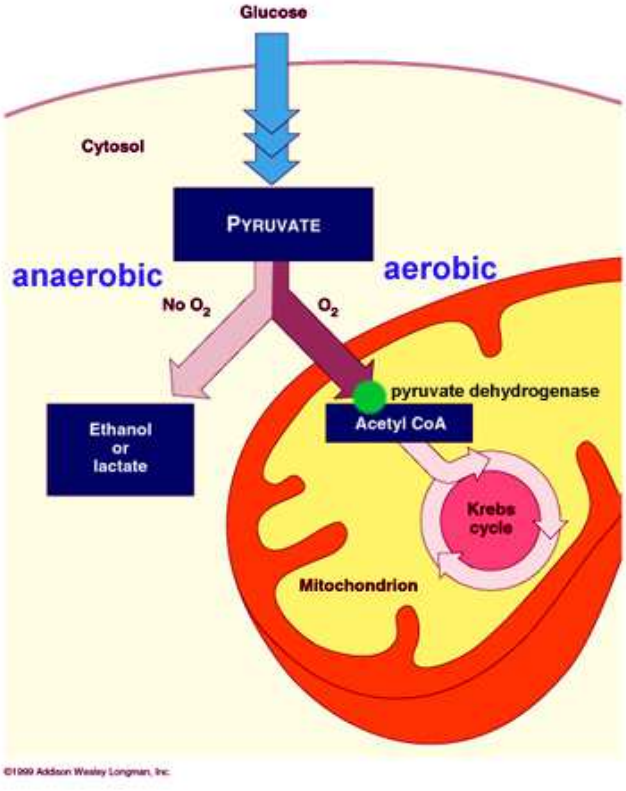
วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport system)

2. **การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration)** ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ไกลโคลิซีส (Gycolysis)

การหมัก (Fermenttation)



ภาพที่ 5.3 แสดงบริเวณที่เกิดการหายใจแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน
ที่มา : http://porpax.bio.miami.edu/~cmallery/150/makeatp/pyraerobic.jpg

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน (Oxidation - Reduction Reaction)

ปฏิกิริยาการสูญเสียอิเล็กตรอนจากอะตอมหรือโมเลกุลหนึ่งให้กับอีกอะตอมหนึ่งหรืออีกโมเลกุลหนึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชั่น - รีดักชัน (Oxidation - Reduction reaction) โดยที่ **ปฏิกิริยาที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนเรียกว่าออกซิเดชัน** (Oxidation) สารที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะถูกเรียกว่าสารนั้นถูกออกซิไดซ์ (Oxidized) ในทางตรงข้าม**ปฏิกิริยารีดักชัน(Reduction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน** สารที่ได้รับอิเล็กตรอนจะถูกเรียกว่าสารนั้นถูกรีดิวซ์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในการหายใจระดับเซลล์ส่วนใหญ่อิเล็กตรอนมักถูกดึงออกมาพร้อมไฮโดรเจนอิออน (H^+=โปรตอน) ซึ่งก็คือไฮโดรเจน 1 อะตอม ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Dehydrogenation แต่ในไฮโดรเจนจะถูกดึงออกจากโมเลกุลของสารทีละ 2 อะตอม[หรือไฮโดรเจน 1 โมเลกุล (H_2)]

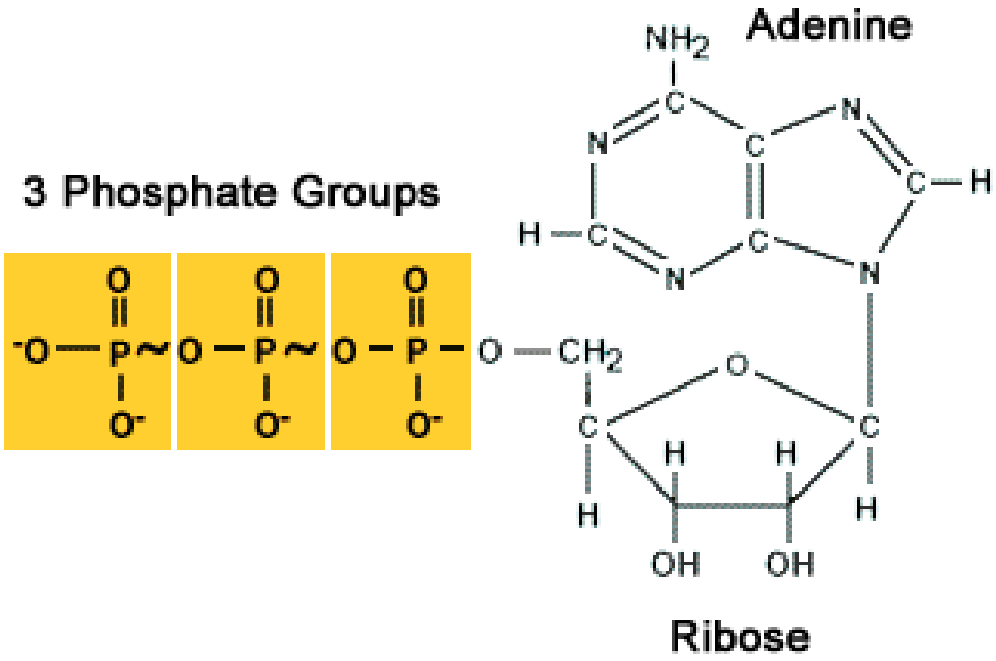
----------Oxidation----------

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{energy}$$

----------Reduction----------

ATP (Adenosine Triphosphate)

ATP เป็นสารที่มีพลังงานสูงทำหน้าที่เก็บพลังงานที่ได้จากกระบวนการสลายสารอาหารของเซลล์



ภาพที่ 5. 4 โครงสร้างของ ATP (Adenosine triphosphate)

ที่มา : http://people.eku.edu/ritchisong/301notesi

ATP ประกอบด้วยสารอินทรีย์ 2 ชนิดต่อกัน คือ เบสอะดีนีน(Adenine) กับน้ำตาลไรโบส (Ribose sugar) ซึ่งเรียกว่า อะดีโนซีน(Adenosine) แล้วจึงต่อกับหมู่ฟอสเฟต(Pi) 3 หมู่ หมู่ฟอสเฟตแรกที่จับกับน้ำตาลไรโบสมีพลังงานพันธะต่ำ (3.4 กิโลแคลอรี/โมล) ส่วนพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟตแรกกับหมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 2 กับหมู่ที่ 3 มีพลังงานพันธะสูง (7.3 กิโลแคลอรี/โมล)

พันธะที่เชื่อมระหว่างหมู่ฟอสเฟตสองหมู่มีพลังงานสูง (Energy rich bond) ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ที่แสดงว่ามีพลังงานสูงคือ ~ และเมื่อ ATP ถูกสลายตัวโดยกระบวนการไฮโดรลิซีส (Hydrolysis) จะได้ ADP ,หมู่ฟอสเฟต (Pi) และปล่อยพลังงานสุทธิออกมามากถึง 7.3 กิโลแคลอรี/โมล

ATP + H_2O → ADP + Pi + พลังงาน 7.3 กิโลแคลอรี/โมล

ส่วนพันธะระหว่างฟอสเฟตกับน้ำตาลไรโบส ถูกสลายจะมีพลังงานปลดปล่อยออกมาเพียง 3.4 กิโลแคลอรี/โมลเท่านั้น จึงไม่จัดว่าเป็นพันธะพลังงานสูง แทนด้วยสัญลักษณ์ –

AMP + H_2O → Adenosine + Pi + พลังงาน 3.4 กิโลแคลอรี/โมล

ปฏิกิริยาจากการสลาย ATP , ADP และ AMP ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสจะมีการปล่อยพลังงานออกมาจากปฏิกิริยา จึงจัดเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน (Exergonic reaction)

เมื่อATP สูญเสียฟอสเฟตไป 1 หมู่ จะกลายเป็น ADP หมู่ฟอสเฟตที่หลุดออกมารวมกับอินทรียสาร สารที่ได้รับฟอสเฟตก็จะมีพลังงานสูงขึ้น เรียกกระบวนการที่สารรวมกับกลุ่มฟอสเฟตว่า ฟอสฟอรีเลชัน (Phosphorylation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน ส่วนการที่ ADP จะสูญเสียฟอสเฟตไป 1 หมู่ จนกลายเป็น AMP นั้นน้อยมาก ดังนั้นส่วนใหญ่จึงมักมีการสลายของ ATP ไปเป็น ADP และ ADP ก็สามารถจับกับหมู่ฟอสเฟตในเซลล์ทำให้ได้ ATP อีก วนเวียนกันเป็นวัฏจักร

ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)

แหล่งผลิตพลังงานของเซลล์ คือ ไมโทคอนเดรีย เป็นออร์แกเนลล์ที่พบในสิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอตที่หายใจแบบใช้ออกซิเจนเท่านั้น พบครั้งแรกโดย คอลลิกเกอร์ (Kollicker) ไมโทคอนเดรียมีรูปร่างกลม ท่อนสั้น ท่อนยาว หรือกลมรีคล้ายรูปไข่ โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 - 1 ไมครอน และยาว 5 -7 ไมครอน ประกอบดวยสารโปรตีนร้อยละ 60 – 65 และลิพิดประมาณร้อยละ 35 - 40 ไมโทคอนเดรียเป็นออร์แกเนลล์ที่มียูนิตเมมเบรนหุ้ม 2 ชั้น (Double unit membrane) โดยชั้นนอกเรียบมีความหนาประมาณ 60 – 70 อังสตรอม เยื่อชั้นในพับเข้าด้านในเรียกว่า คริสตี (Cristae) ภายในของไมโทคอนเดรียมีของเหลวซึ่งประกอบด้วยสารหลายชนิดเรียกว่า เมทริกซ์ (Matrix) ในไมโทคอนเดรียนอกจากมีสารประกอบเคมีหลายชนิดแล้วยังมีเอนไซม์ที่สำคัญในการสร้างพลังงานจากการหายใจระดับเซลล์

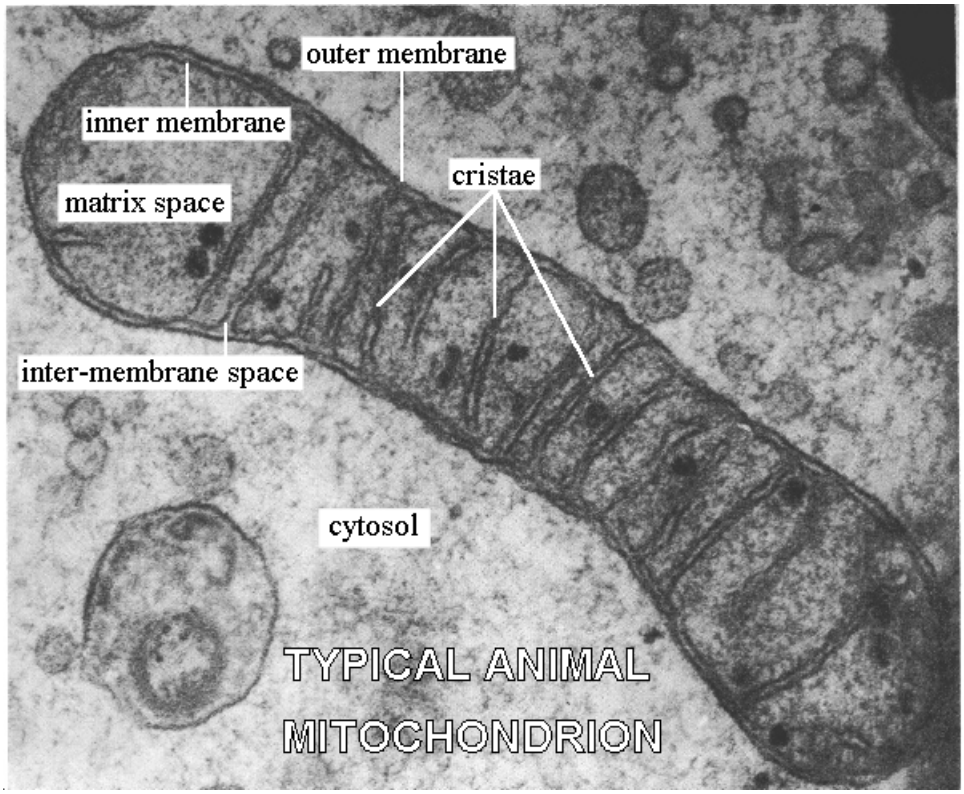
โครงสร้างของไมโทคอนเดรีย มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ดังนี้

1. เยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer membrane) มีลักษณะเรียบหน้าที่คอยควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร

2. เยื้อหุ้มชั้นใน (Inner membrane) มีลักษณะหยักไปมาคล้ายวิลลัสในลำไส้คน เรียกว่า คริสตา (Crista) ที่เยื่อชั้นในมีโครงสร้างเล็ก ๆ ลักษณะเป็นเม็ดกลม ๆ เรียกว่า Inner membrane particle ติดอยู่เต็มไปหมด โครงสร้างเล็ก ๆ มีหน้าที่เป็นแหล่งเก็บสารที่เป็นตัวรับไฮโดรเจนและตัวรับอิเล็กตรอน

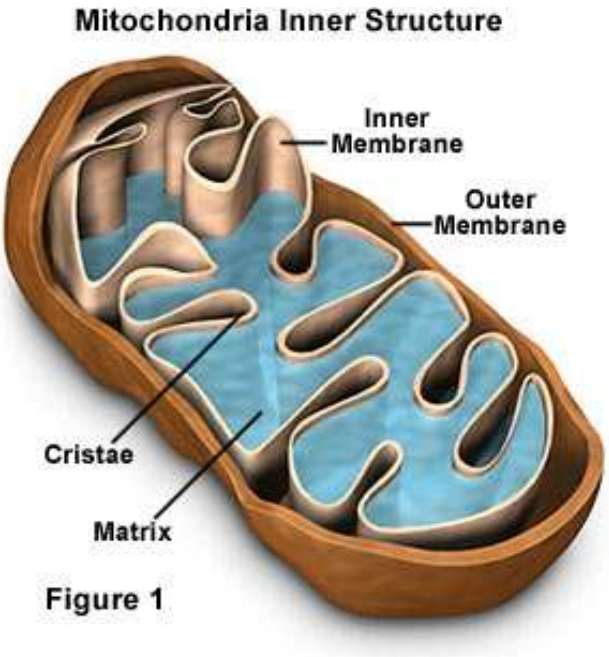
การถ่ายทอดอิเล็กตอน จึงเกิดขึ้นที่โครงสร้างเล็ก ๆ (Particle) นี้เอง

ของเหลวบรรจุอยู่ภายใน เรียกว่าเมทริกซ์ (Matrix) ภายในของเหลวนี้มีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวกับการหายใจในขั้น วัฏจักรเครบส์



ภาพที่ 5.5 ภาพถ่ายของไมโทคอนเดรียจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา : www.bmb.leeds.ac.uk/illingworth/dance/spaces.gif



ภาพที่ 5.6 โครงสร้างภายในของไมโทคอนเดรีย

ที่มา : www.cartage.org.lb

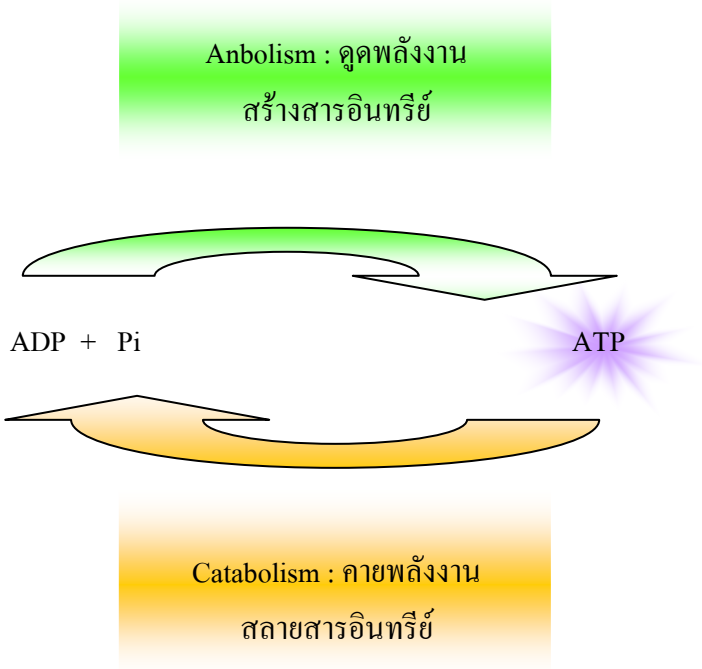
จำนวนไมโทคอนเดรียในเซลล์แต่ละชนิดจะมีจำนวนไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดและกิจกรรมของเซลล์ เซลล์ที่มีเมแทบอลิซึมสูงจะมีไมโทคอนเดรียมาก เช่น เซลล์ตับ เซลล์ไต เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ เซลล์ต่อมต่าง ๆ ส่วนเซลล์ที่มีเมแทบอลิซึมต่ำ เช่น เซลล์ผิวหนัง เซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน จะมีไมโทคอนเดรียน้อย

หน้าที่ของไมโตคอนเดรีย เป็นแหล่งผลิตพลังงานให้แก่เซลล์ หรือเป็นบริเวณที่เกิดการหายใจภายในเซลล์ (Internal respiration)

เมตาบอลิซึม (Metabolism)

เมตาบอลิซึม (Metabolism) คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดภายในเซลล์เท่านั้น แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

1. Anabolism เป็นปฏิกิริยาการสร้างสารอินทรีย์ ใช้พลังงานในรูป ATP
2. Catabolism เป็นปฏิกิริยาการสลายสารอินทรีย์ จะคายพลังงานออกมา



ปฏิกิริยาคายพลังงาน(Exergonic reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วจะปล่อยพลังงานออกมา ➤ พลังงานกระตุ้นที่ใส่เข้าไป เช่น การรวมตัวของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน หรือการสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ

สรุป พลังงานสร้างพันธะ ➤ พลังงานสลายพันธะ

ตัวอย่างปฏิกิริยาคายพลังงาน

$ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi + 7.3\ k\ cal/mol$

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 36\ ATP$

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O +$ พลังงานสร้างพันธะ

ปฏิกิริยาดูดพลังงาน(Edergonic reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วจะปล่อยพลังงานออกมา ◄ พลังงานกระตุ้นที่ใส่เข้าไป เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า การสังเคราะห์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

สรุป พลังงานสร้างพันธะ ◄ พลังงานสลายพันธะ

ตัวอย่างปฏิกิริยาดูดพลังงาน

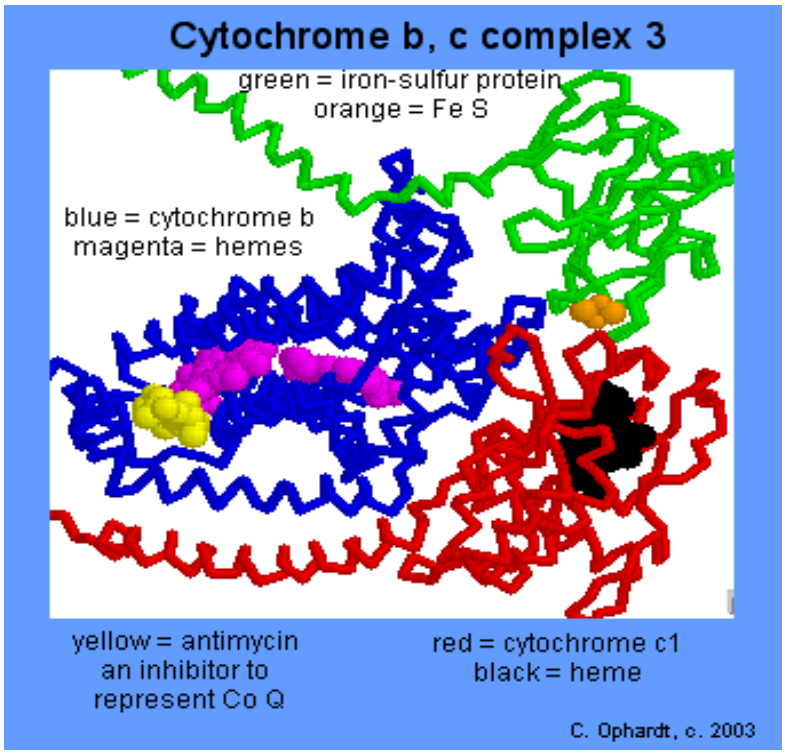
$2H_2O +$ พลังงานสร้างพันธะ $\rightarrow 2H_2 + O_2$

$6CO_2 + H_2O + 18\ ATP \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$

$ADP + Pi + 7.3\ k\ cal/mol \rightarrow ATP$

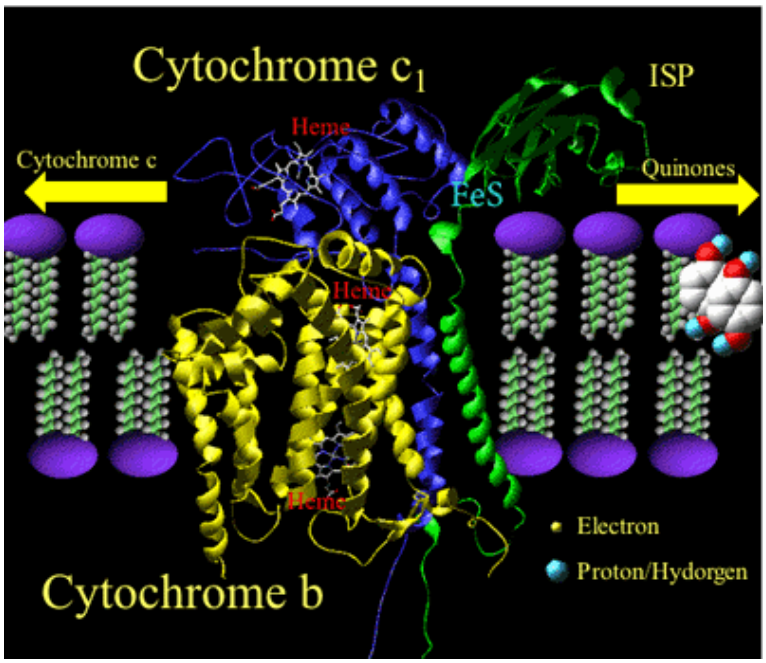
ไซโตโครม (Cytochrome)

ไซโตโครม (Cytochrome) คือรงควัตถุในรูปโปรตีน ซึ่งมีธาตุเหล็ก(Fe)เป็นองค์ประกอบ มีหน้าที่สำคัญ คือเป็นตัวรับและถ่ายทอดอิเล็กตรอน ในกระบวนการหายใจ คือ Cytochrome b → Cytochrome c → Cytochrome a ตามลำดับ



ภาพที่ 5.7 แสดงรูปร่างของไซโตโครม

ที่มา : www.bangkokcity.com



ภาพที่ 5.8 ภาพแสดงไซโตโครมบนเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

ที่มา : www.emc.maricopa.edu/.../BIOBK/lactferm.gif

โคเอนไซม์ (Coenzyme)

โคเอนไซม์ (Coenzyme) หมายถึง กลุ่มสารอินทรีย์ที่มีวิตามิน B เป็นองค์ประกอบ หน้าที่สำคัญคือ เป็นตัวรับและถ่ายทอดไฮโดรเจน (H – acceptor) ในกระบวนการหายใจ เช่น NAD^+, FAD และ Co.A

- NAD (Nicotinamide adenine dinucleotide) เป็นตัวนำอิเล็กตรอน พร้อมด้วยโปรตอน และเนื่องจากอะตอมของไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของ NAD มีประจุเป็นบวก จึงเขียน NAD^+ มีวิตามิน B_5 คือ ไนอะซีน (Niacin) เป็นองค์ประกอบ

เมื่อ NAD^+ 1 โมเลกุลได้รับอิเล็กตรอนและโปรตอน NAD^+ จะกลายเป็น NADH ดังสมการ

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \rightarrow NADH + H^+$$

NADH เป็นสารที่มีพลังงานสูง มีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Reducing agent) เข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เพื่อนำพลังงานที่อยู่ใน NADH มาใช้ในการสร้าง ATP ต่อไป

- FAD (Flavin adenine dinucleotide) เป็นตัวนำอิเล็กตรอน พร้อมด้วยโปรตอน FAD 1 โมเลกุลรับอิเล็กตรอนและโปรตอนจะได้ $FADH_2$ ดังสมการ

$$FAD + 2H^+ + 2e^- \rightarrow FADH_2$$

$FADH_2$ มีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนพลังงานที่สะสมอยู่จะถูกนำมาใช้ในการสร้าง ATP FAD มีวิตามิน B_2 คือ ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) เป็นองค์ประกอบ

- Co.A (Coenzyme A) เป็นตัวนำหมู่เอซิล เพื่อสร้าง Acetyl Co.A มีวิตามินบีรวม กรดแพนโทเทนิก(Pantothenic acid) เป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปโคเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ส่วนประกอบหน้าที่ในกระบวนการสลายสารอาหาร

Coenzyme	ย่อมาจาก	ส่วนประกอบ	หน้าที่
1. NAD^+	Nicotinamide adenine dinucleotide	วิตามิน B_5	รับถ่ายทอดไฮโดรเจน (ขั้นที่ 1, 2 , และ3)
2. FAD	Flavin adenine dinucleotide	วิตามิน B_2	รับถ่ายทอดไฮโดรเจน (ขั้นที่ 3)
3. Co.A	Coenzyme A	วิตามินบีรวม กรดแพนโทเทนิก (Pantothenic acid)	ตัวนำหมู่เอซิล เพื่อสร้าง Acetyl Co.A (ขั้นที่ 2)

.....