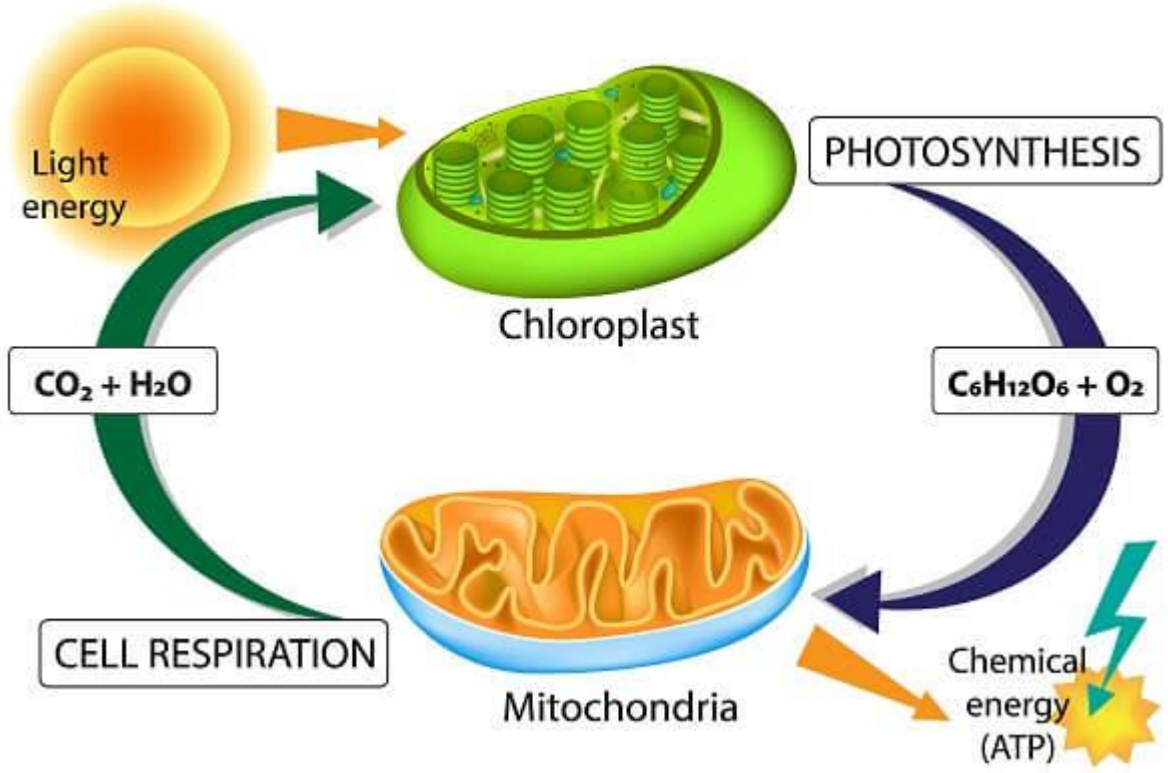
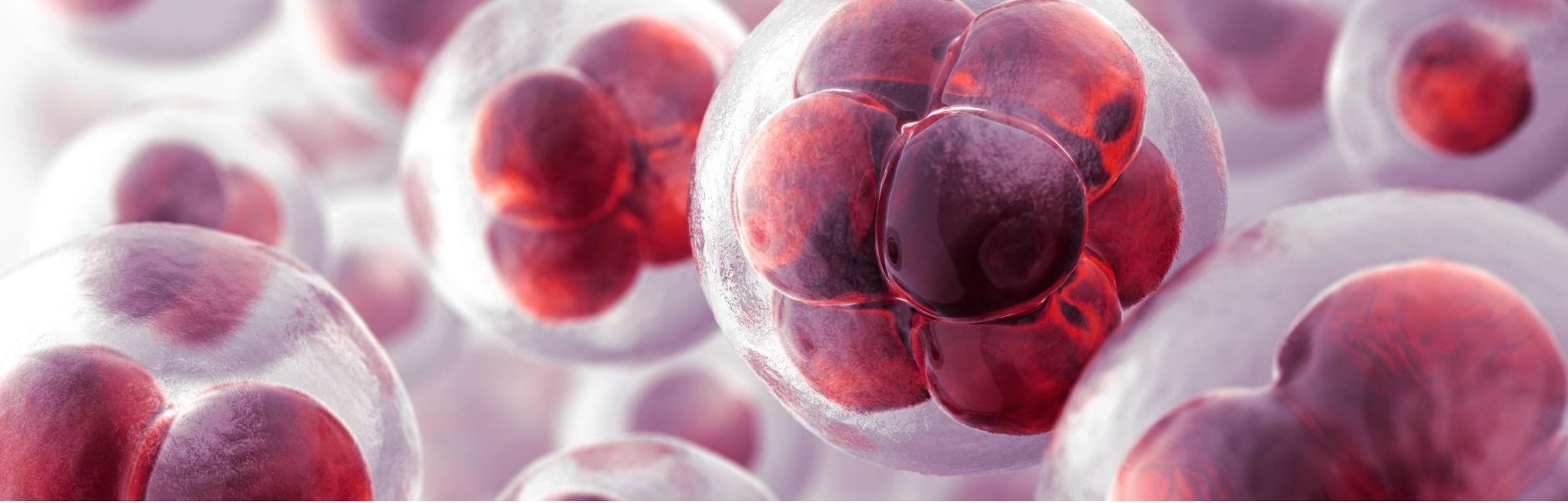
Cell Energy

หัวข้อ

- แหล่งพลังงานของเซลล์
- ATP
- กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis)
- การหายใจระดับเซลล์ (Cell Respiration)

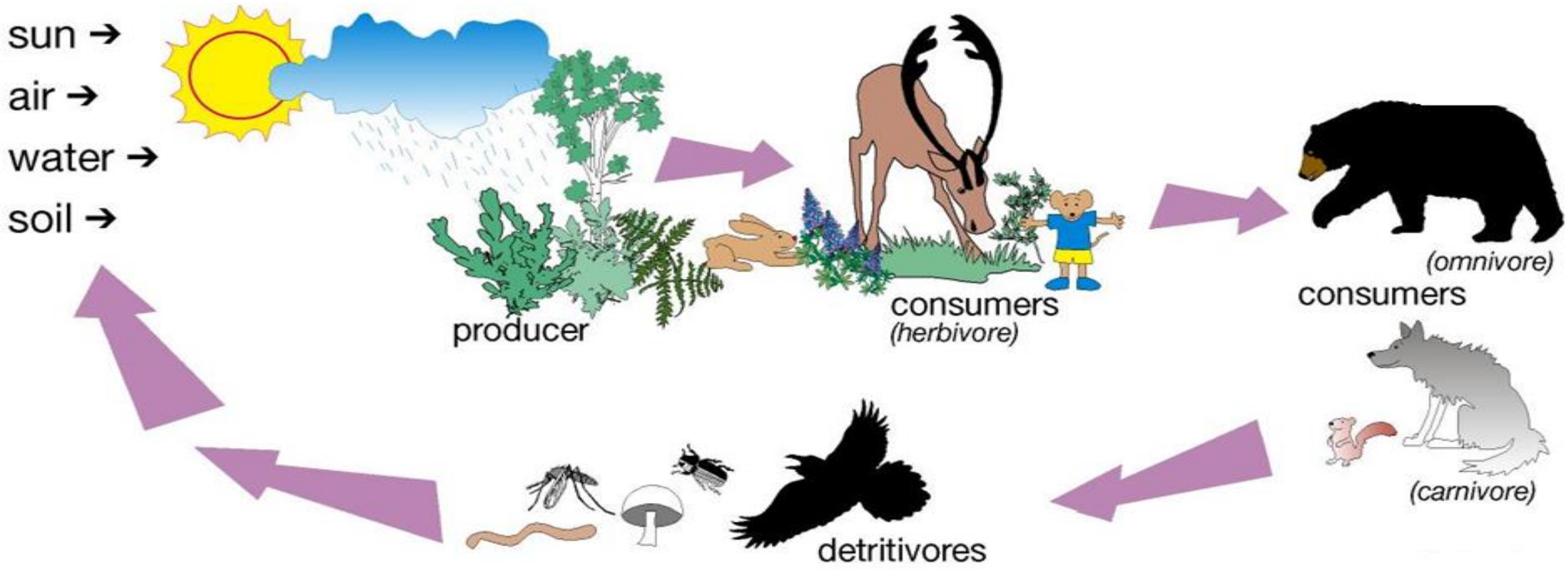




แหล่งพลังงานของเซลล์

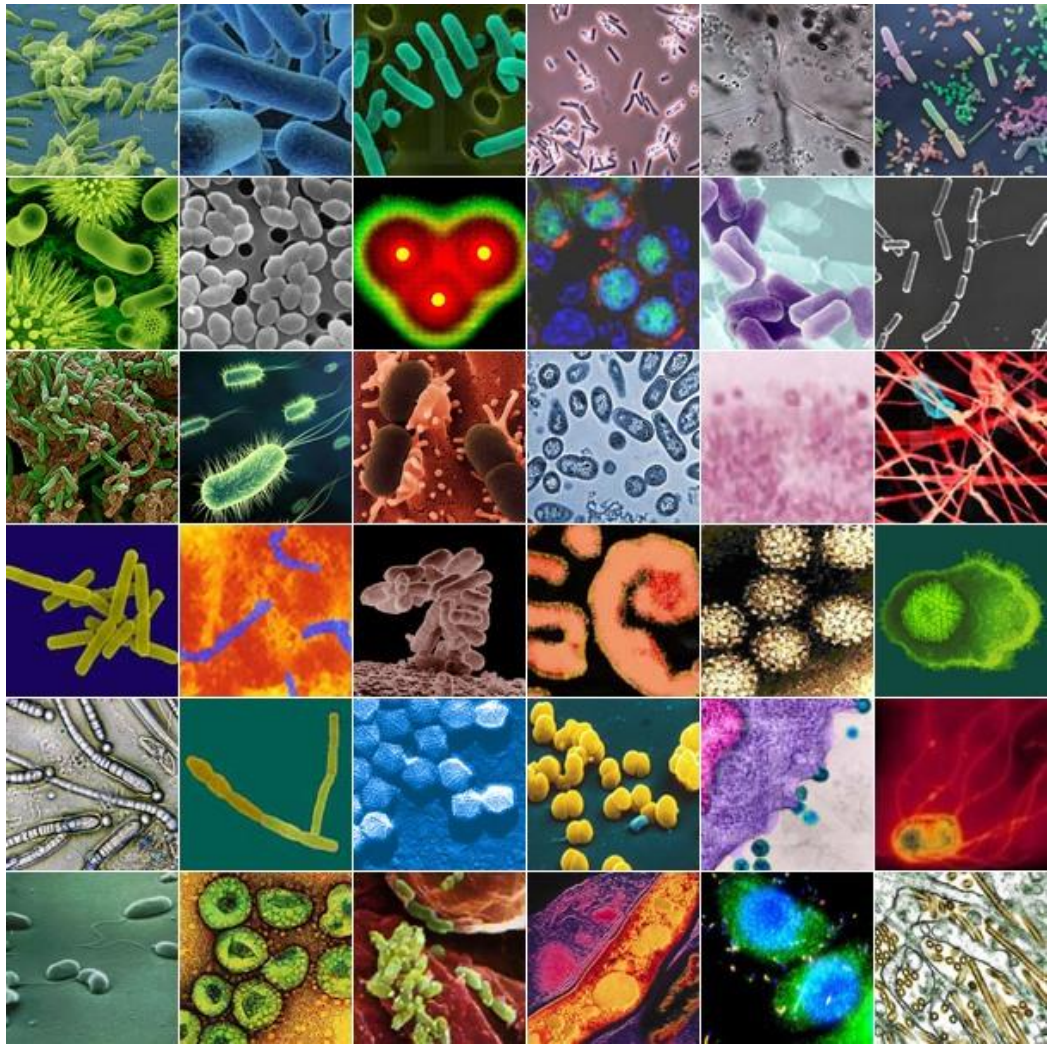
พลังงานของเซลล์ (Cell Energy)

เซลล์ได้พลังงานมาจากอาหาร จุดเริ่มต้นของอาหารคือแสงอาทิตย์



สิ่งมีชีวิตได้พลังงานจาก**พลังงานแสงอาทิตย์** โดยนำมาใช้ในการสร้างอาหารเรียกว่า autotrophs (auto = self) Ex: พืช และจุลินทรีย์บางชนิด (some bacteria and protists)

สิ่งมีชีวิตที่**ไม่สามารถ**ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการสร้างอาหารได้ เรียกว่า heterotrophs Ex: สัตว์ และจุลินทรย์ส่วนใหญ่



Cellular Respiration

- **ผู้บริโภค** (Consumers) or Hetherotrophs ได้พลังงานจากกระบวนการหายใจภายในเซลล์ (Cellular respiration)
- Cellular Respiration คือ กระบวนการสลายโมเลกุลของสารอาหาร ภายในเซลล์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานของพันธะเคมีของสารอาหารให้อยู่ในรูปสารประกอบพลังงานสูง ที่เซลล์ พร้อมจะนำไปใช้งานได้ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟส (Adenosine triphosphate: ATP)

การหายใจระดับเซลล์แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration)

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{พลังงาน (2 ATP)}$$

2. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration)

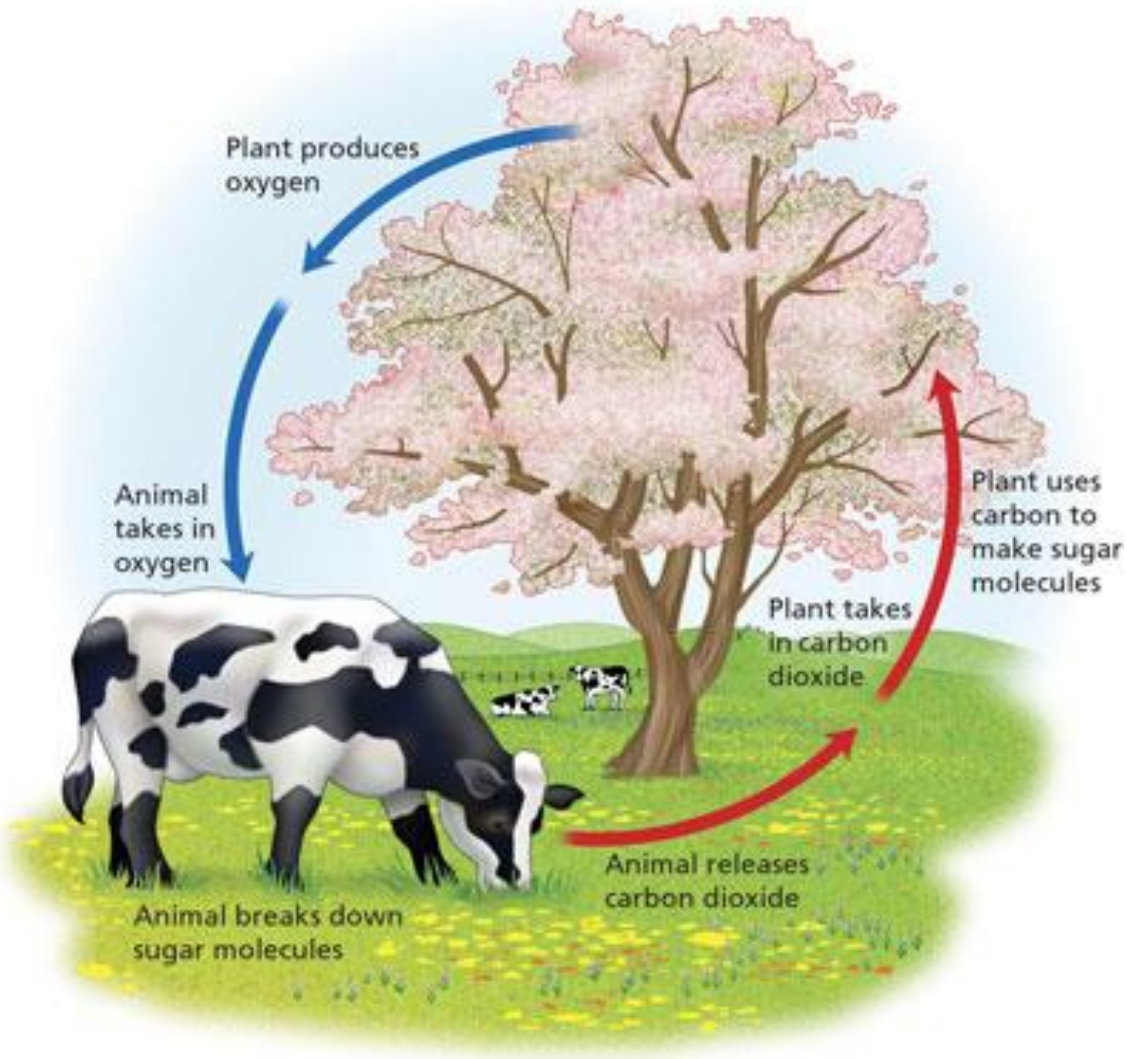
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{พลังงาน (36-38 ATP)}$$

แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration) คือ มีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย

แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) คือ มีสารอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย เช่น การหมัก

- เซลล์ต้องการแหล่งพลังงานที่คงที่สำหรับกระบวนการต่างๆ ของชีวิต แต่เก็บ ATP ไว้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เซลล์สามารถสร้าง ATP ใหม่ได้ตามต้องการโดยใช้พลังงานที่สะสมอยู่ในอาหาร เช่น กลูโคส

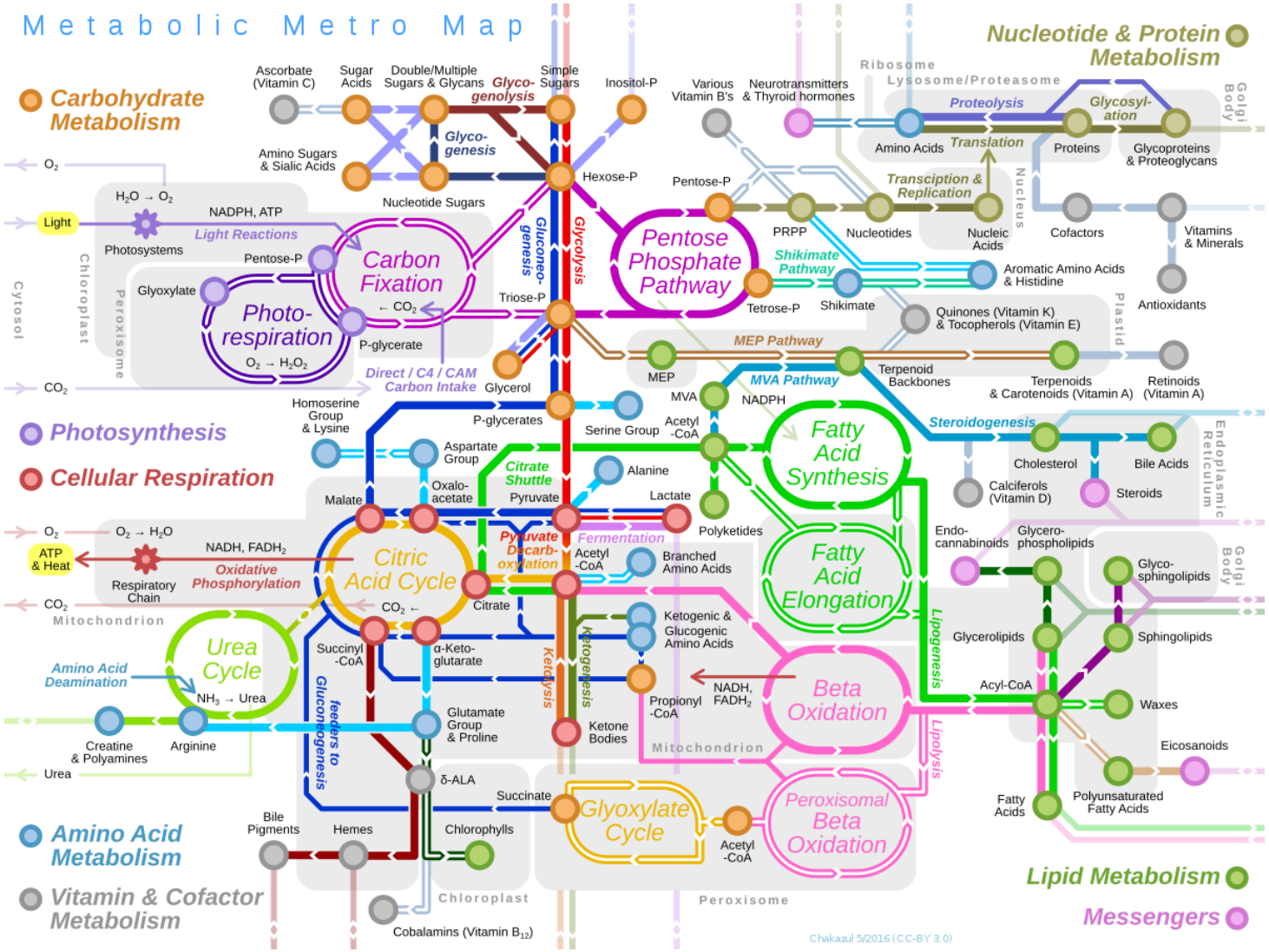
- พลังงานที่สะสมอยู่ในกลูโคสโดยการสังเคราะห์ด้วยแสงจะถูกปล่อยออกมาโดยการหายใจของเซลล์ และบรรจุใหม่เป็นพลังงานของ ATP

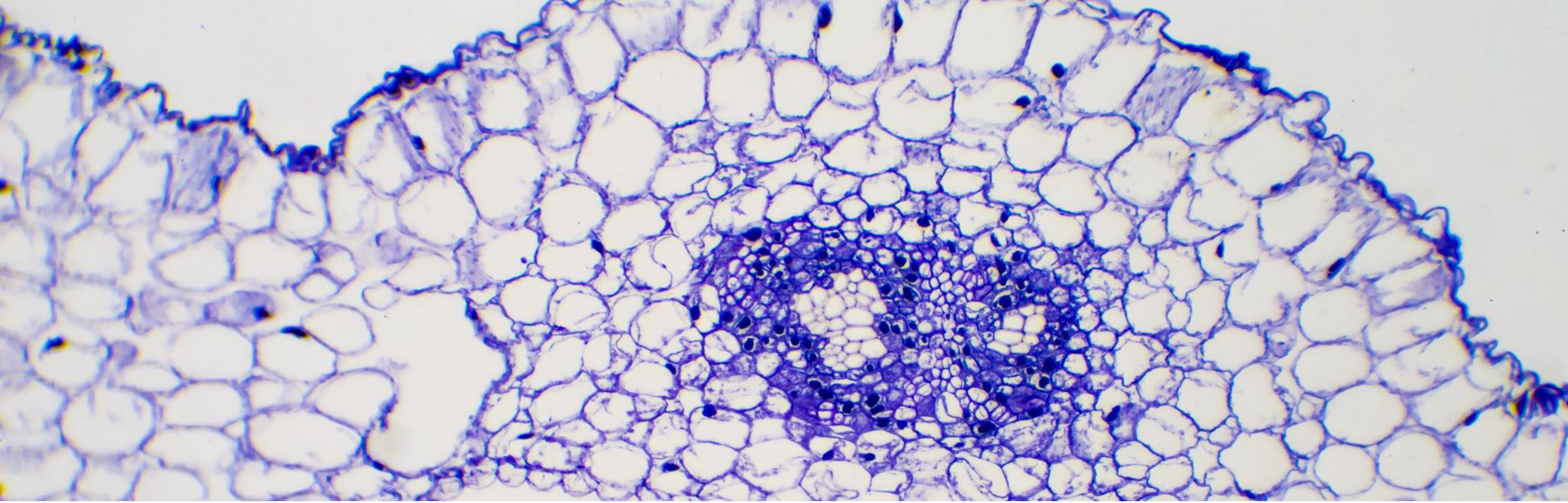


เมแทบอลิซึม (Metabolism) คือ กระบวนเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อให้ได้พลังงานที่จำเป็นในการดำรงชีวิต

Anabolism (การสร้างสาร)

Catabolism (การสลายสาร)





ATP (ADENOSINE TRIPHOSPHATE)

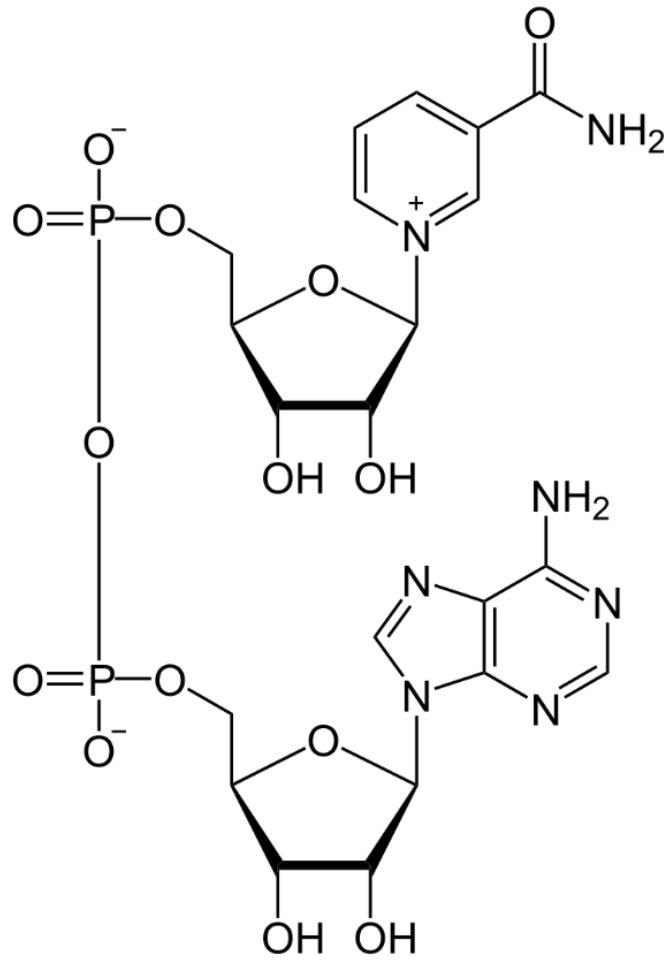
Cellular Energy

กระบวนการสลายสารในเซลล์ พลังงานจะปล่อยออกมาเพื่อนำกลับไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สารอีกครั้งหนึ่งโดยมีตัวเชื่อมที่สำคัญ

- NAD^+ → Nicotinamide adenine dinucleotide
- FAD^+ → Flavine adenine dinucleotide
- ATP → Adenosine Triphosphate

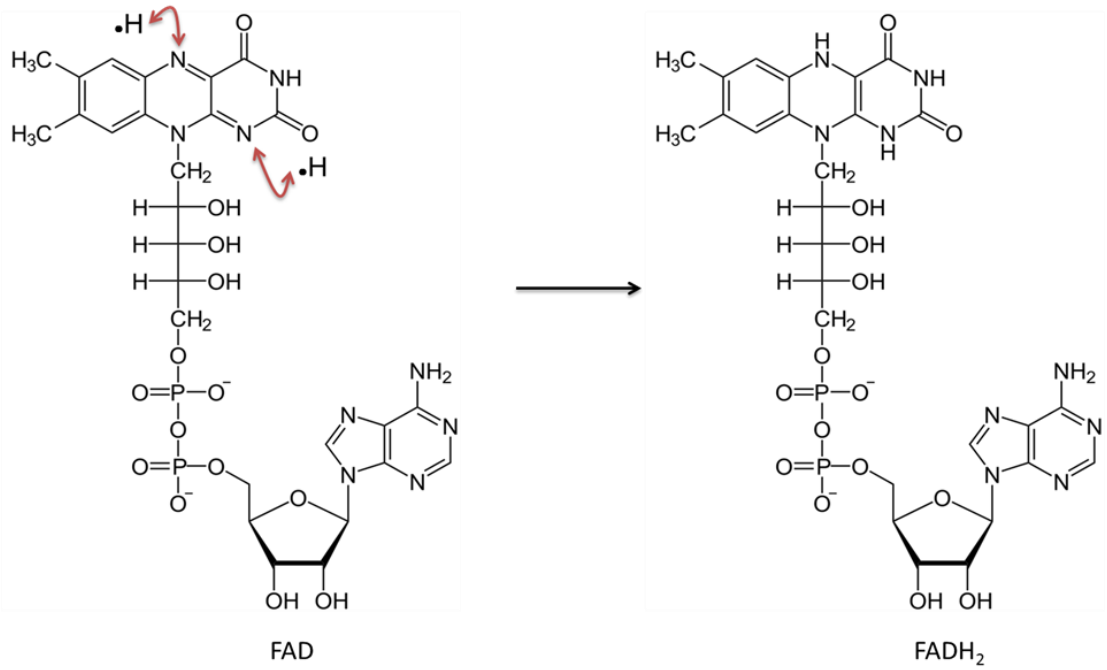
NAD^+ (Nicotinamide adenine dinucleotide)

- NAD เป็นโคเอนไซม์ที่พบในเซลล์สิ่งมีชีวิตทุกชนิด
- NAD เป็นไดนิวคลีโอไทด์ มีนิวคลีโอไทด์ 2 ตัวที่ใช้ฟอสเฟตร่วมกัน
- พบทั้งสภาวะออกซิไดส์และรีดิวซ์ซึ่งย่อว่า **NAD+** และ **NADH** ตามลำดับ



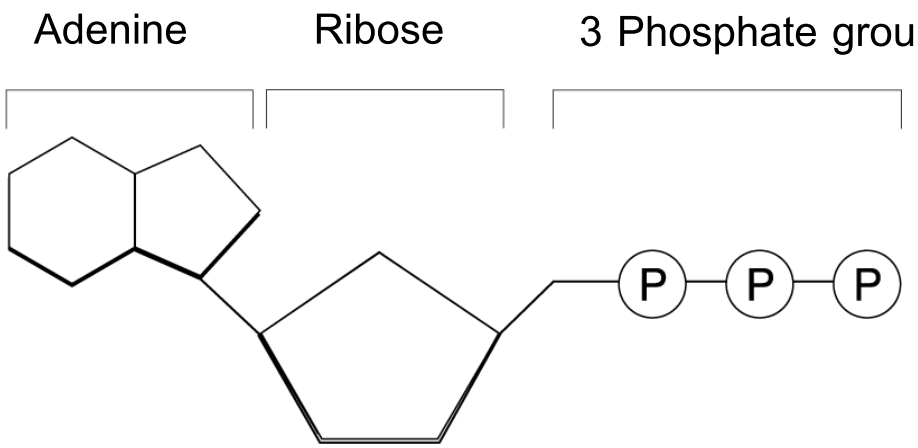
FAD^+ (Flavin Adenine Dinucleotide)

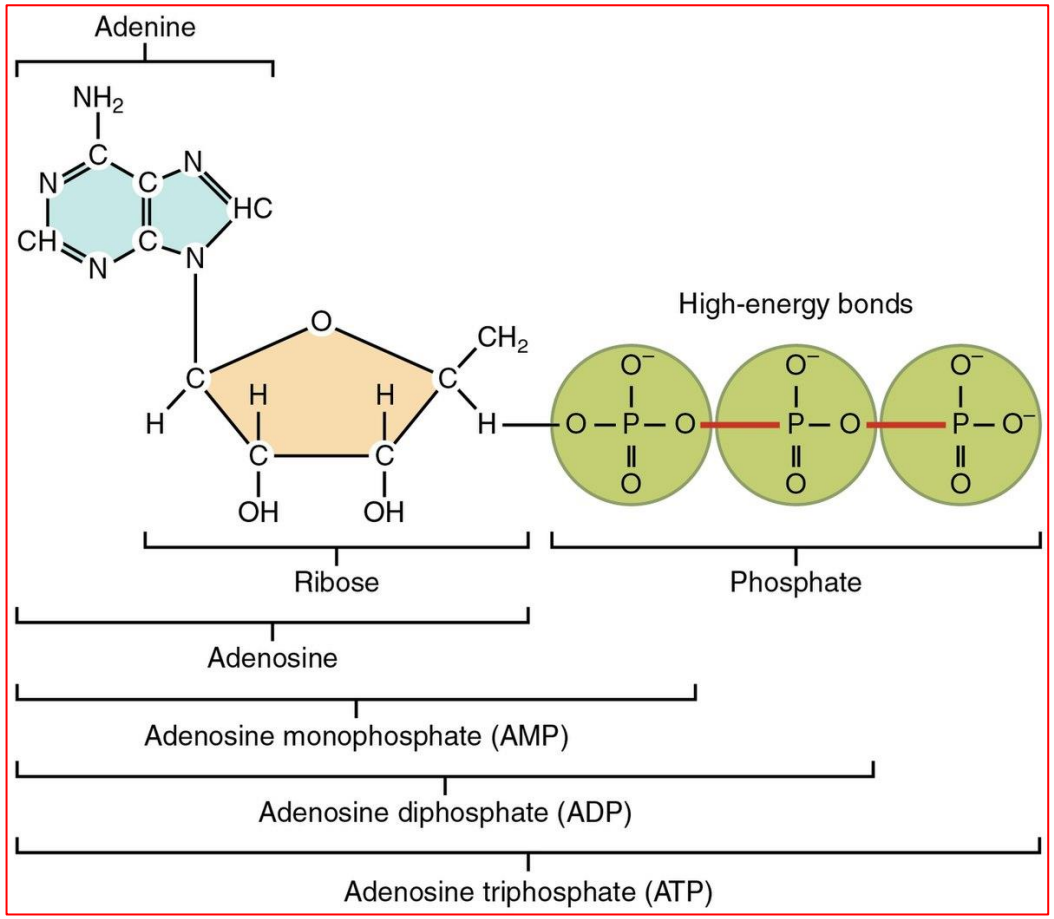
- FAD (Flavin adenine dinucleotide) หรือ ฟลาวินแอดินีนไดนิวคลีโอไทด์ เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันและการขนส่งอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเมแทบอลิซึม
- **โมเลกุลของ FAD ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ 2 โมเลกุลมารวมกัน** และโมเลกุลเป็นอนุพันธ์ของวิตามินบี 2 กับแอดีโนซีนไดฟอสเฟต
- FAD เป็นตัวนำอิเล็กตรอน พร้อมด้วยโปรตอน FAD 1 โมเลกุลรับอิเล็กตรอนและโปรตอนจะได้ $FADH_2$
- $FADH_2$ มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน พลังงานที่สะสมอยู่จะถูกนำมาใช้ในการสร้าง ATP



ATP

- แหล่งพลังงานที่เซลล์ใช้งานได้เรียกว่า ATP
- ATP ย่อมาจาก Adenosine triphosphate



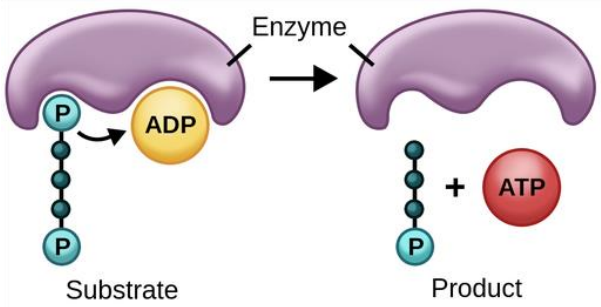


Phosphorylation

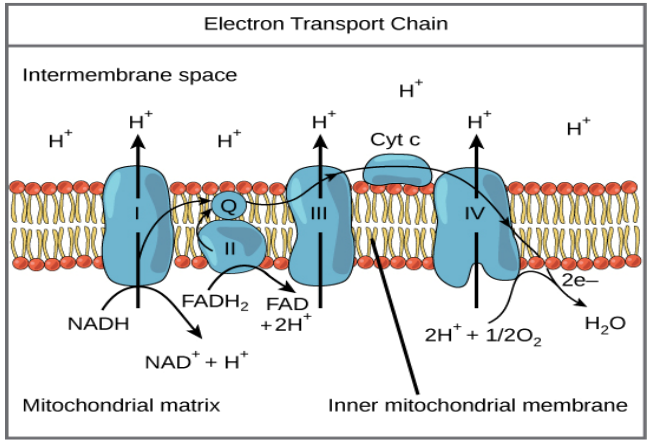
กระบวนการสังเคราะห์พันธะเคมีที่มีพลังงานสูงของ ATP เรียกว่า **ฟอสฟอรีเลชัน** (Phosphorylation)

Phosphorylation

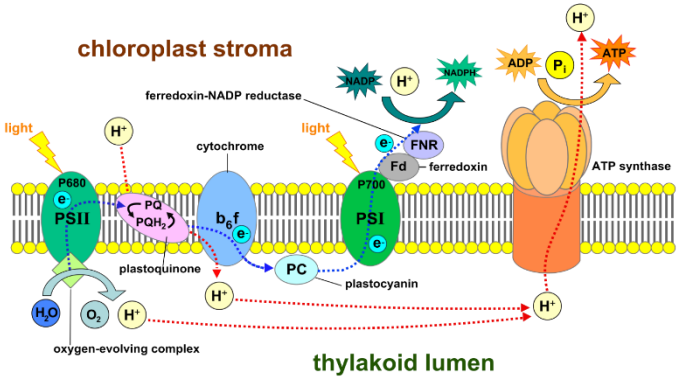
- Substrate phosphorylation
- Oxidative phosphorylation
- Photophosphorylation



- **Substrate phosphorylation** เป็นปฏิกิริยาถ่ายทอดกลุ่มฟอสเฟตจากสารที่มีพันธะเคมีพลังงานสูงกว่ามาให้ ADP โดยตรง



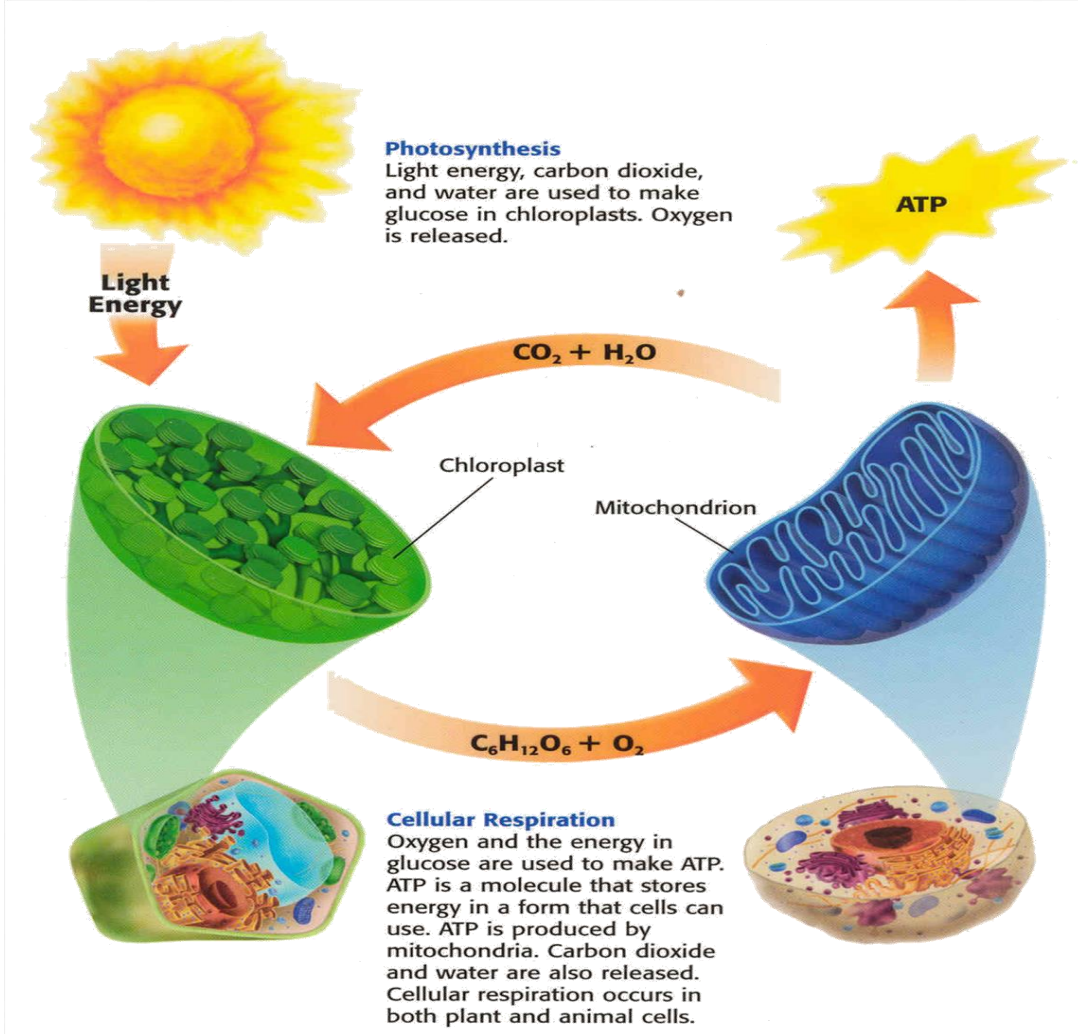
- **Oxidative phosphorylation** เป็นการสร้าง ATP โดยการรวมตัวของ ADP กับฟอสเฟตโดยอาศัยพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปให้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นภายในไมโทคอนเดรียซึ่งเป็นการสร้าง ATP มากที่สุด

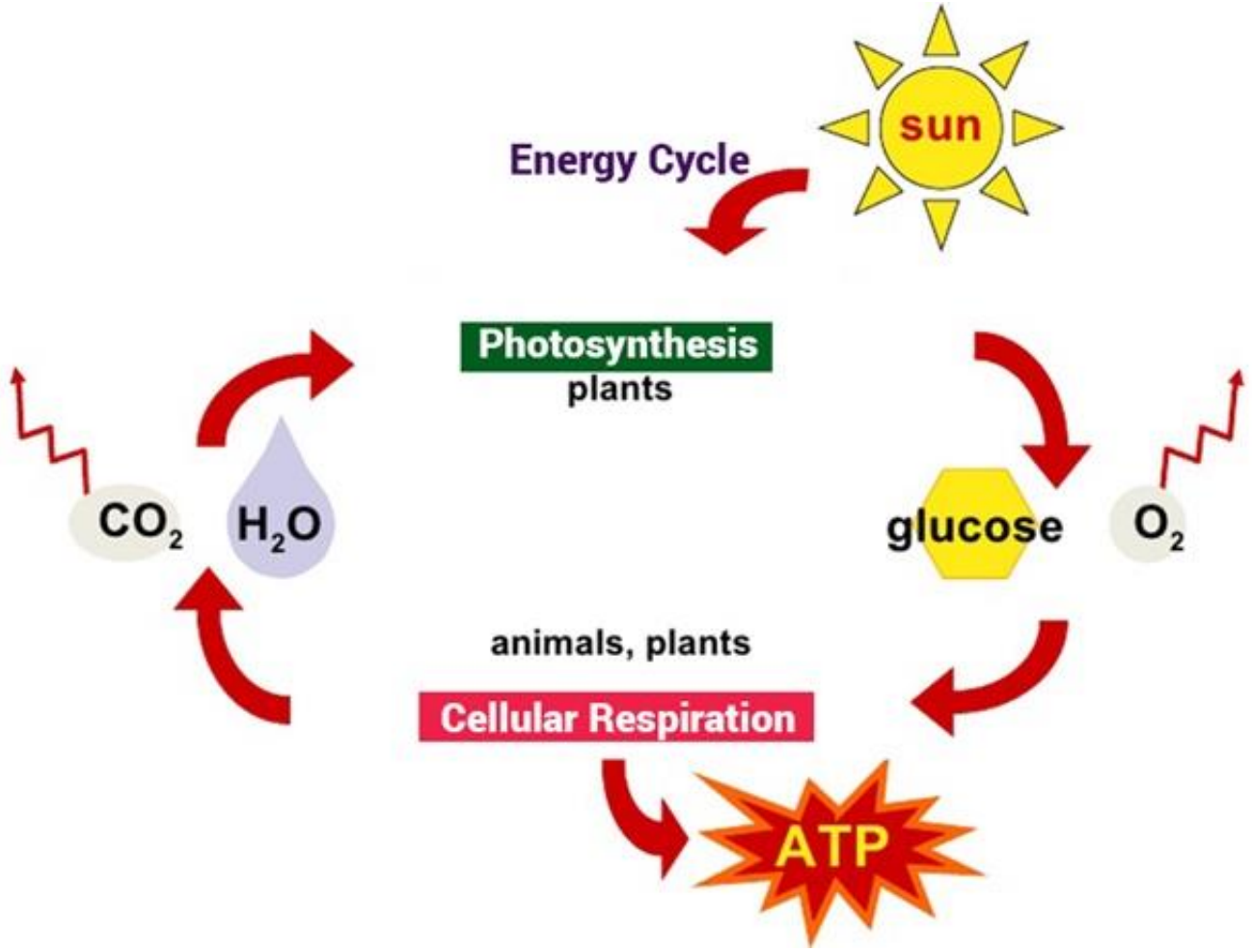


- **Photophosphorylation** เป็นการสร้าง ATP โดยการใช้พลังงานแสงที่ได้รับมา ทำให้เกิดการรวมตัวของ ADP กับฟอสเฟต ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของปฏิกิริยาใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis)

Photosynthesis and Cellular Respiration





ปฏิกิริยาของการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจจึงเป็น**สิ่งที่ตรงกันข้ามกัน** ผลิตภัณฑ์ของอย่างหนึ่งคือสารตั้งต้นของอีกชนิดหนึ่ง สมการมีลักษณะดังนี้

carbon dioxide + water + sunlight → glucose + oxygen

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

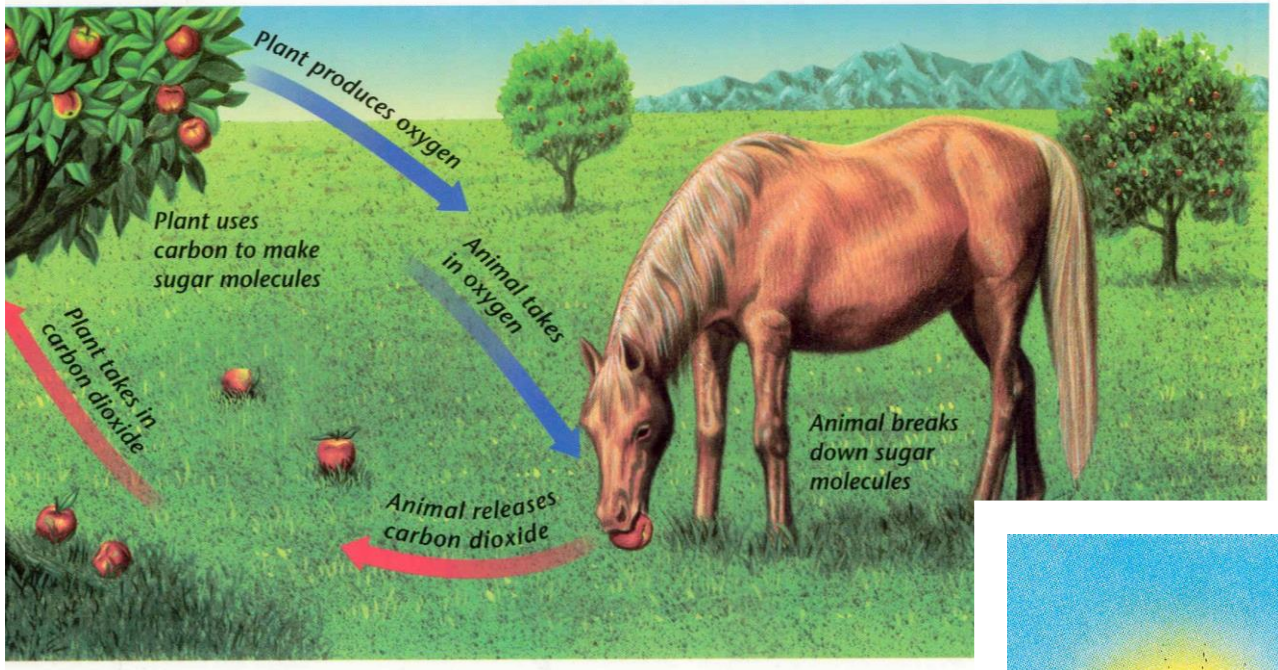
reactants products

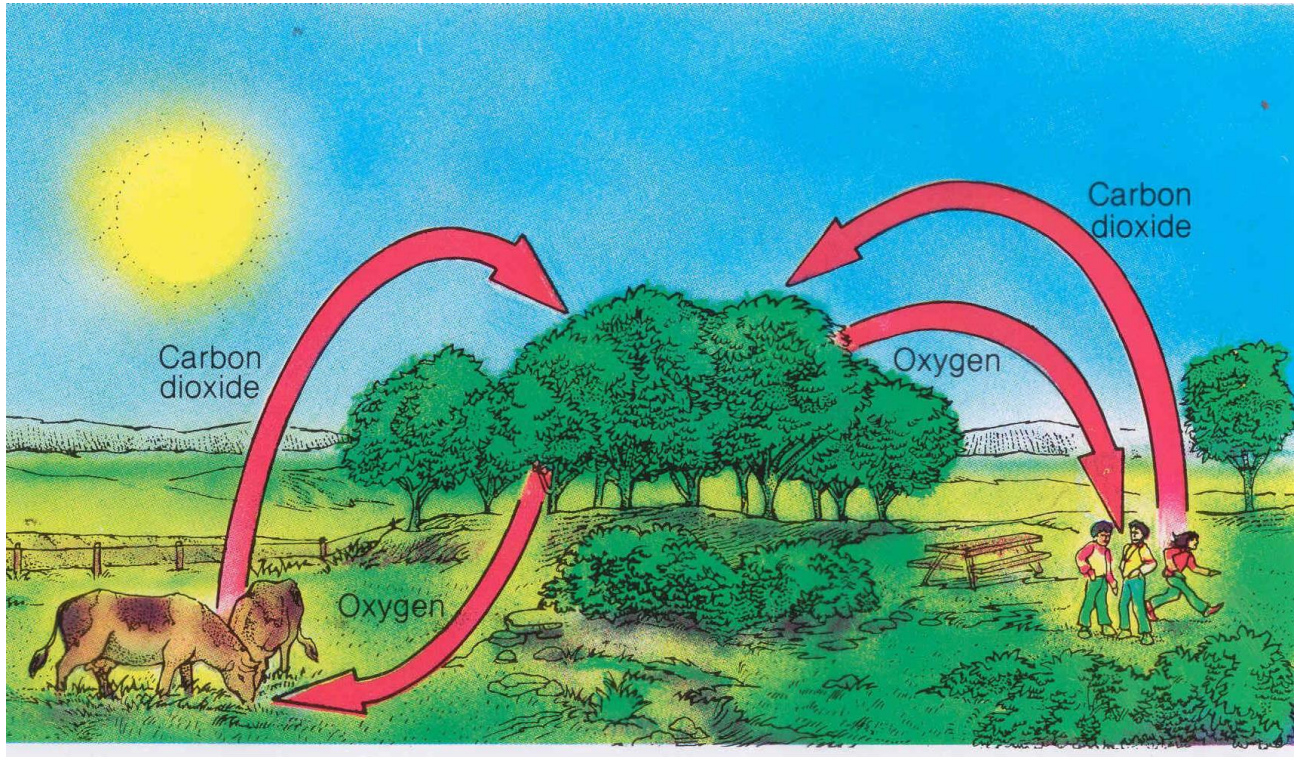
glucose + oxygen→ carbon dioxide + water + ATP energy

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

reactants products

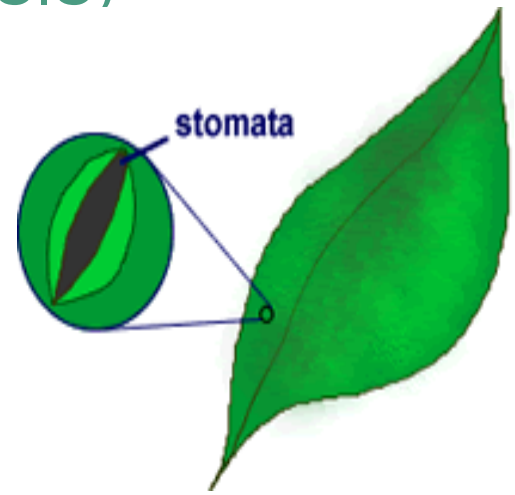
4 The Carbon and Oxygen Cycles

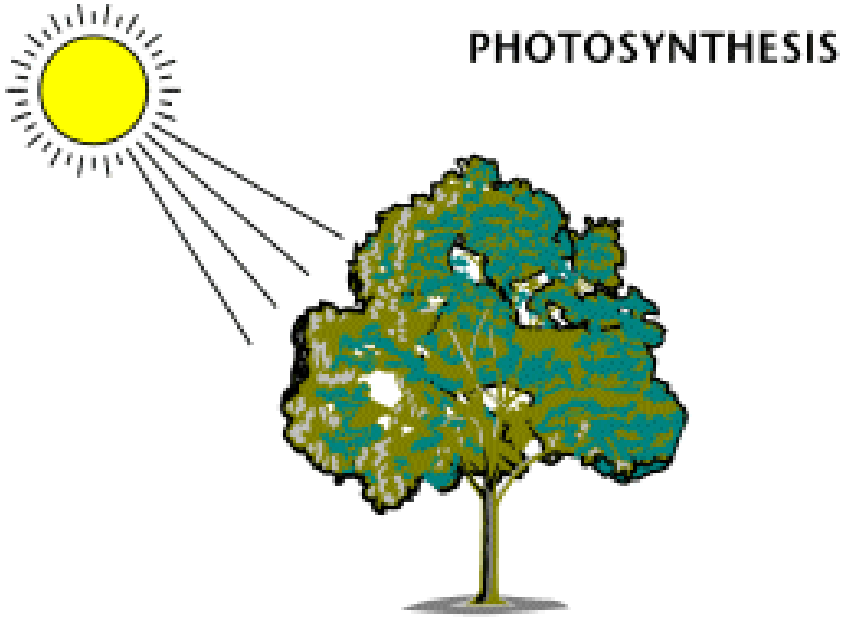




กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (PHOTOSYNTHESIS)

กระบวนการที่ผู้ผลิตใช้แสง น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างกลูโคส (อาหาร) ออกซิเจน และทำให้พลังงานจากดวงอาทิตย์มีให้กับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด





In the process of photosynthesis, plants convert radiant energy from the sun into chemical energy in the form of glucose - or sugar.

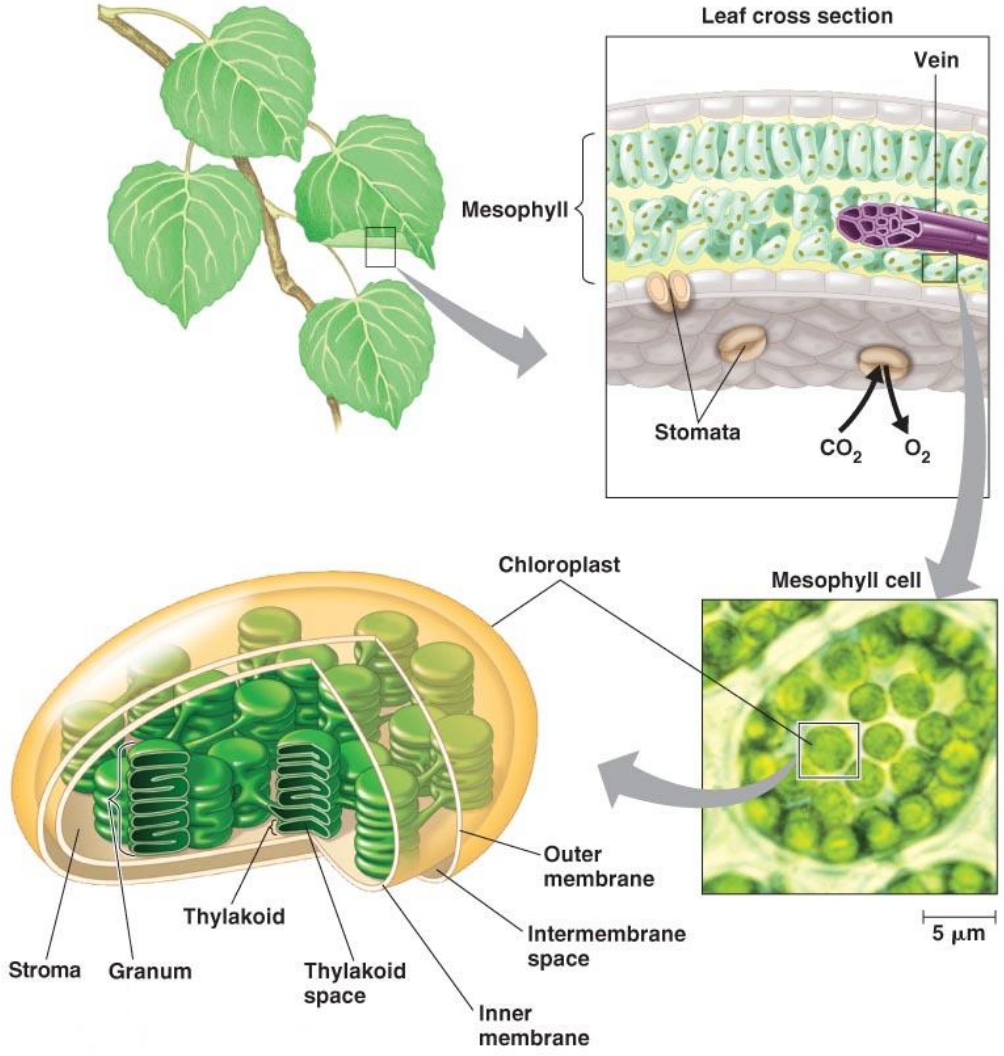
water + carbon dioxide + sunlight → glucose + oxygen

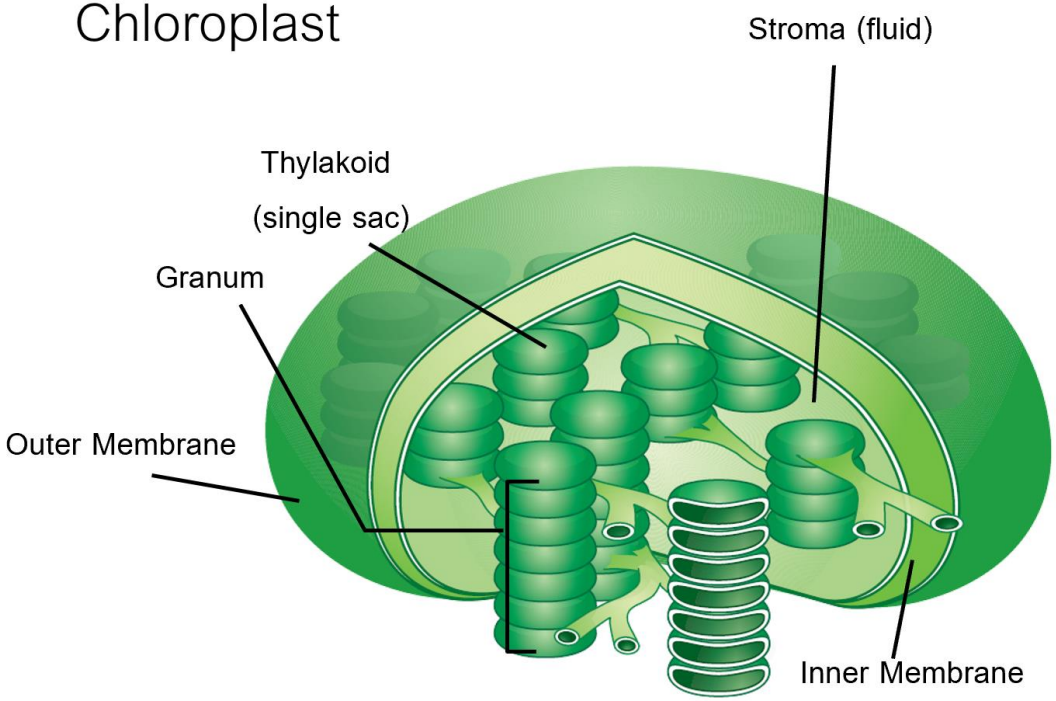
$6\,H_2O + 6\,CO_2 +$ radiant energy $\rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$

Carbon Dioxide ผ่านเข้าไปทางใบทางด้านปากใบหรือ STOMATA.

Water – น้ำผ่านเข้าทางรากและเคลื่อนที่ผ่าทางท่อลำเลียงน้ำ หรือ XYLEM. น้ำระเหยออกจากใบผ่านทาง STOMATA.

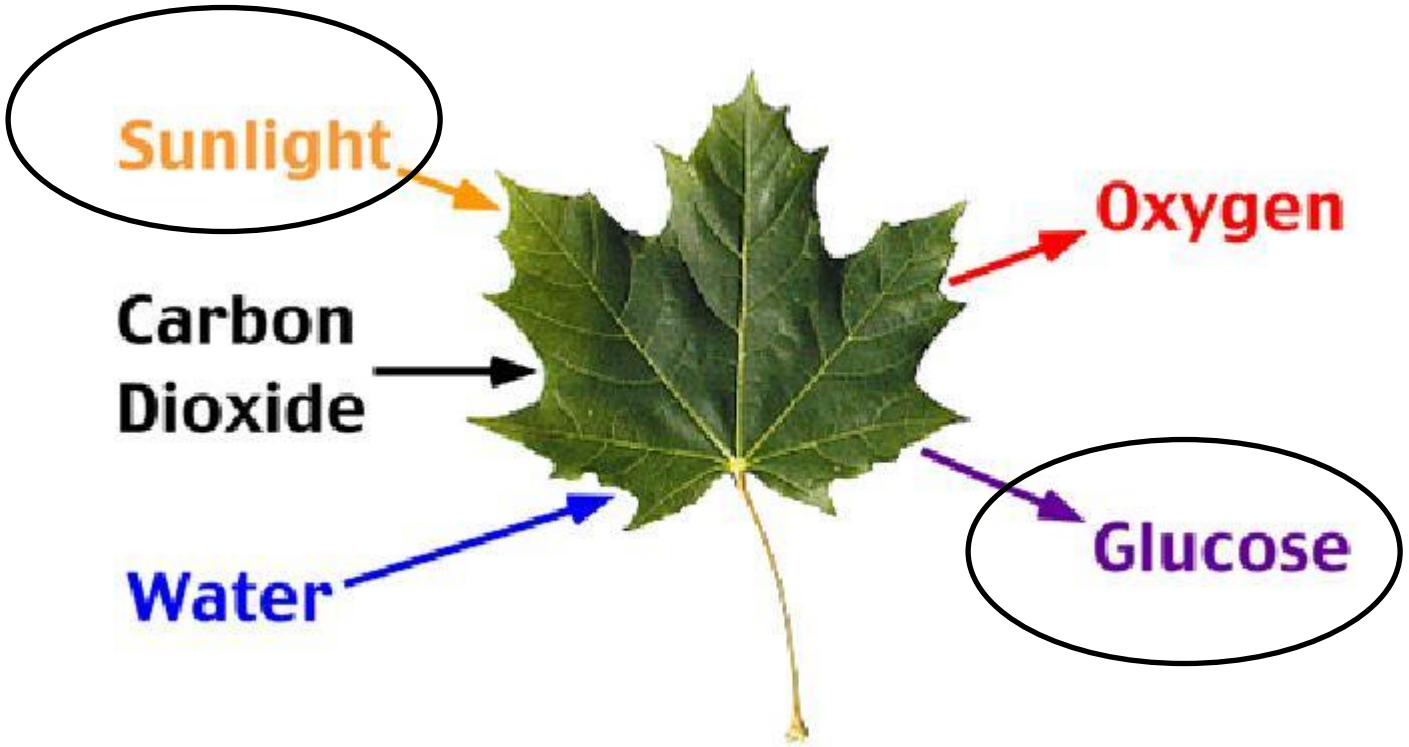
Photosynthesis occurs in the chloroplasts of plants





Photosynthesis

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่**พลังงาน**จาก**แสงอาทิตย์**ถูกแปลงเป็นพลังงานของ**กลูโคส**

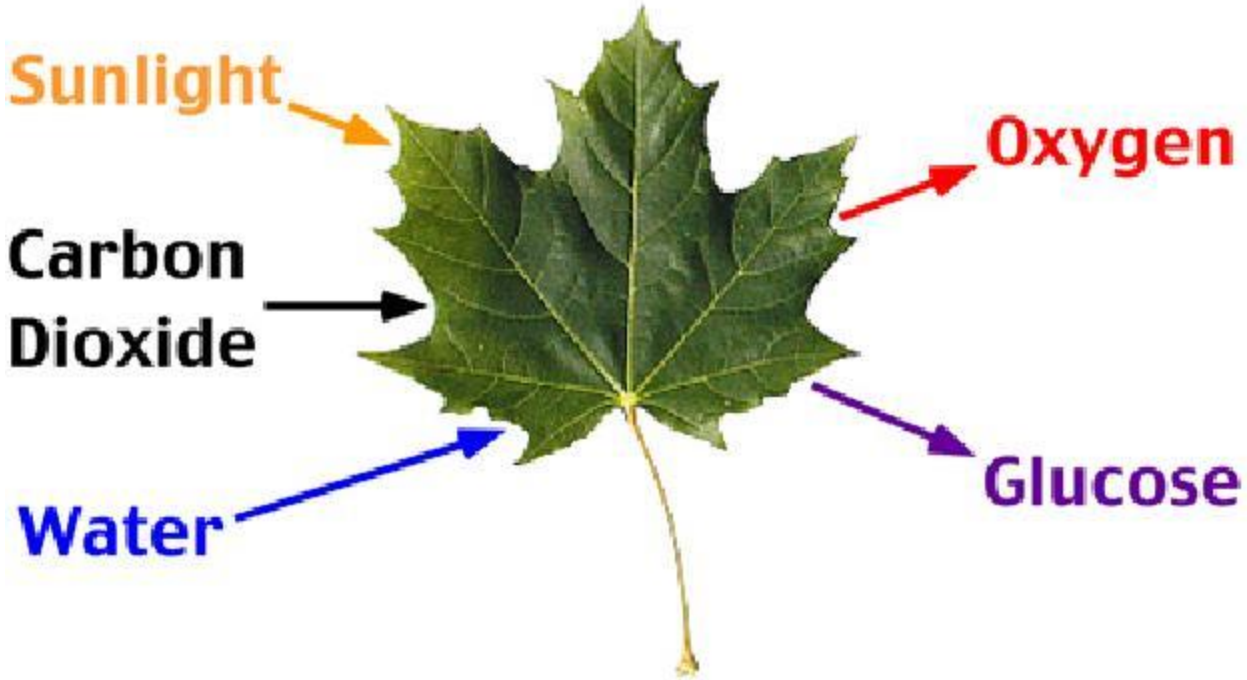


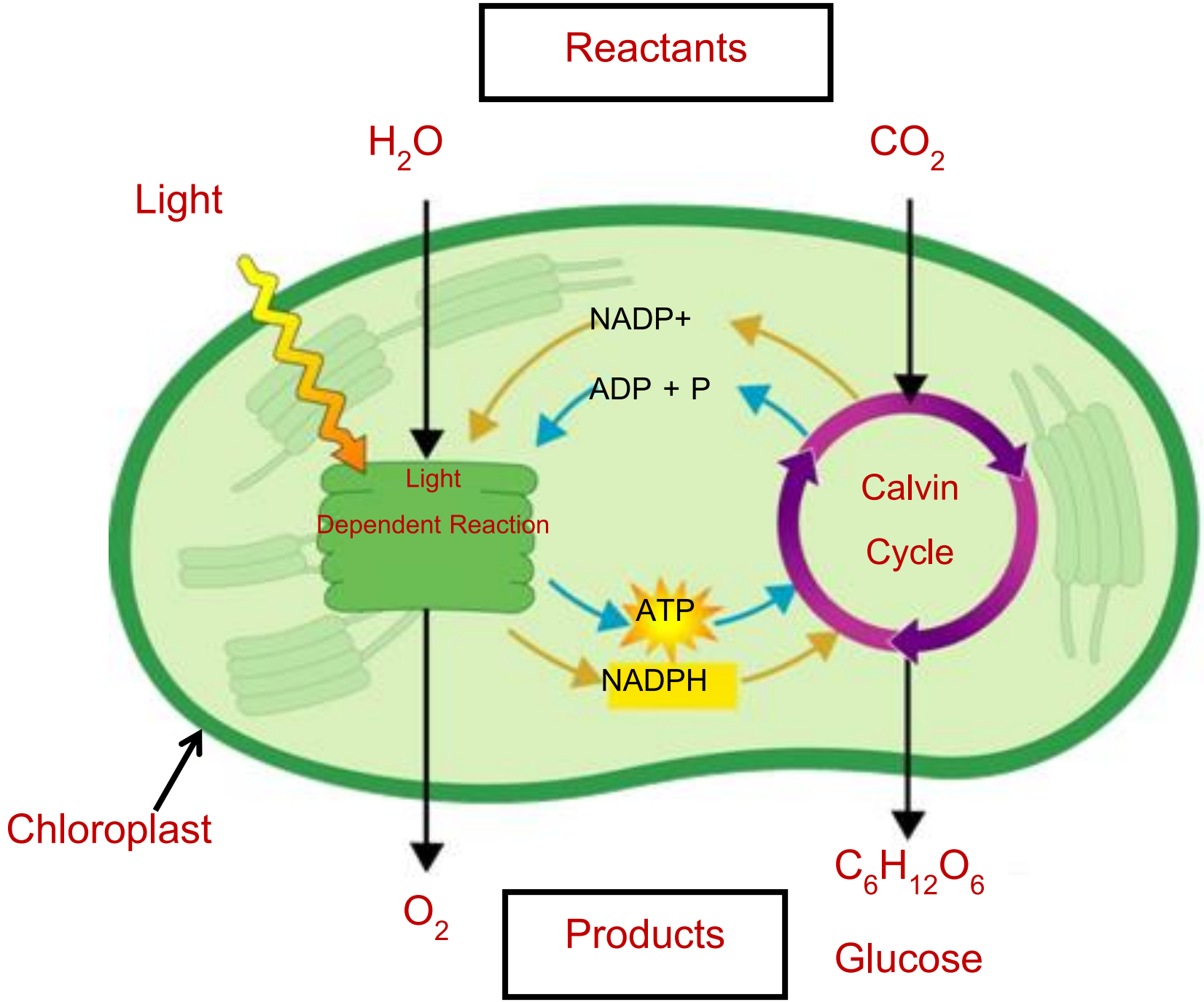
- ✓ ปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction)
- ✓ พืชเปลี่ยนน้ำ คาร์บอไดออกไซด์ แสงแดด เป็นสารใหม่ (New substances)

สูตรทั่วไปสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง

carbon dioxide + water + light ⟶ glucose + oxygen

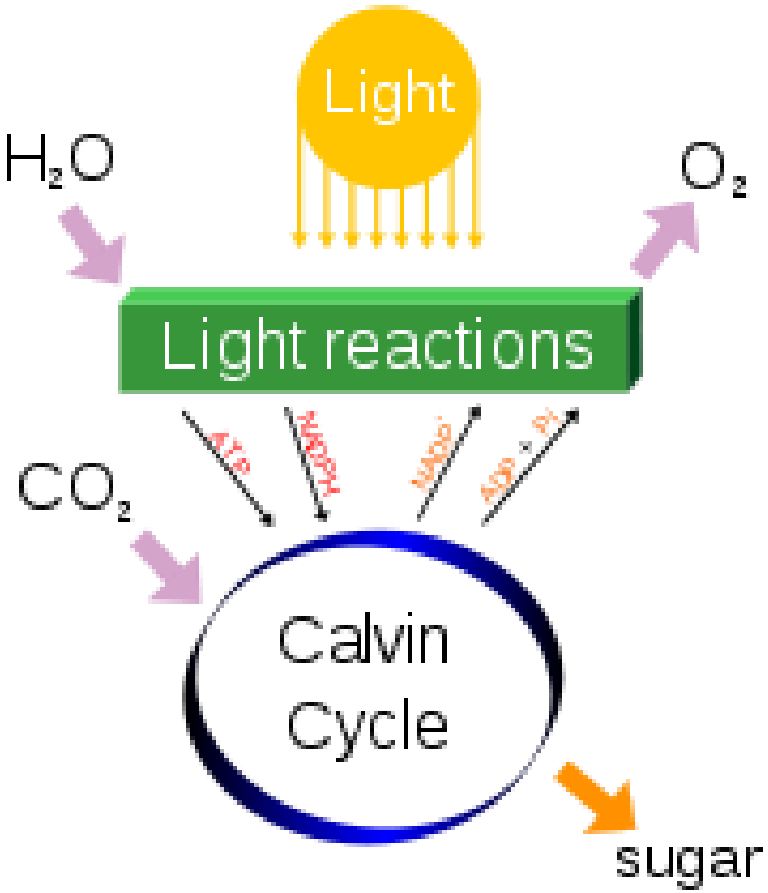
$6CO_2 + 6H_2O + \text{light} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

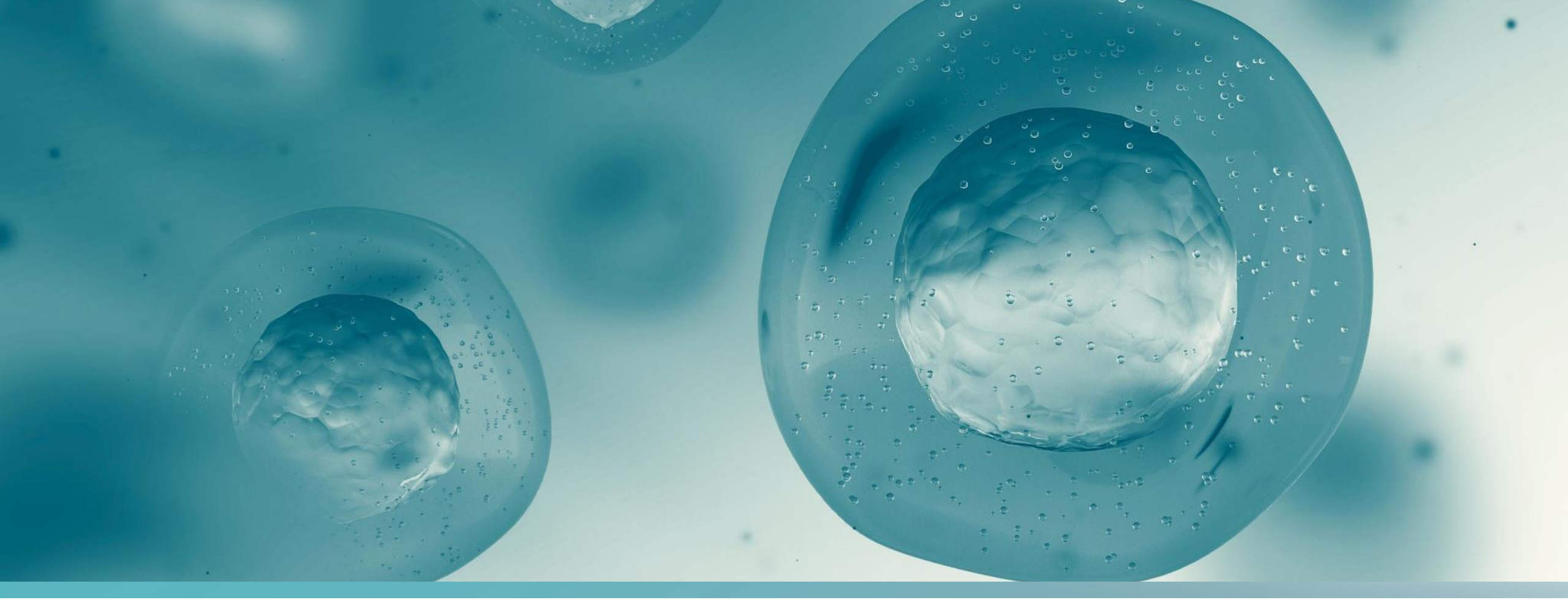



Reactants
H_2O
CO_2
Light
NADP+
ADP + P
Light
Dependent Reaction
Calvin
Cycle
ATP
NADPH
Chloroplast
O_2
$C_6H_{12}O_6$
Glucose
Products

สรุป

- **ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง** เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบริเวณไทลาคอยด์ เป็นการที่รงควัตถุรับพลังงานแสง แล้วนำพลังงานนั้นมาใช้ในการสร้างสารที่มีพลังงานสูง ซึ่งได้แก่ ATP และ NADPH เพื่อที่จะได้นำพลังงานจากโมเลกุลเหล่านี้ไปใช้ในการสร้างสารอินทรีย์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณ สโตรมาในคลอโรพลาสต์
- **ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง** (dark reaction) หรือวัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle) เป็นกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสร้างสารอินทรีย์ ซึ่งต้องใช้สาร ATP และ NADPH ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงมาสังเคราะห์น้ำตาล กระบวนการนี้เกิดขึ้นบริเวณสโตรมา ซึ่งอยู่ภายนอกไทลาคอยด์แต่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์

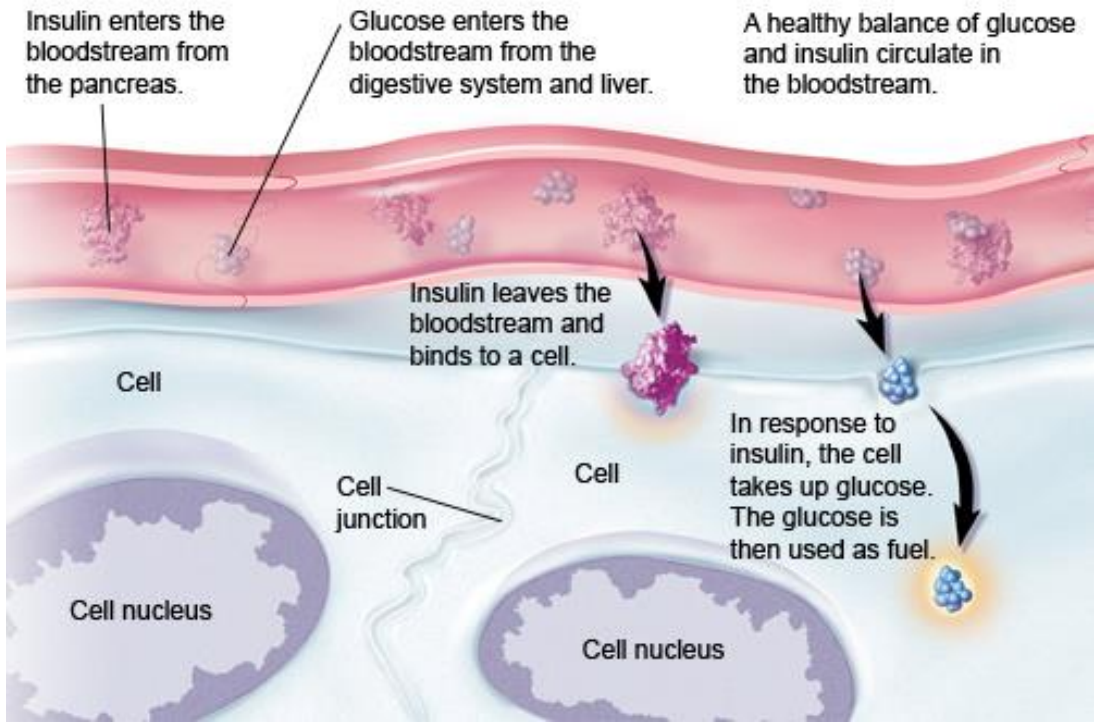




การหายใจระดับเซลล์ (CELLULAR RESPIRATION)

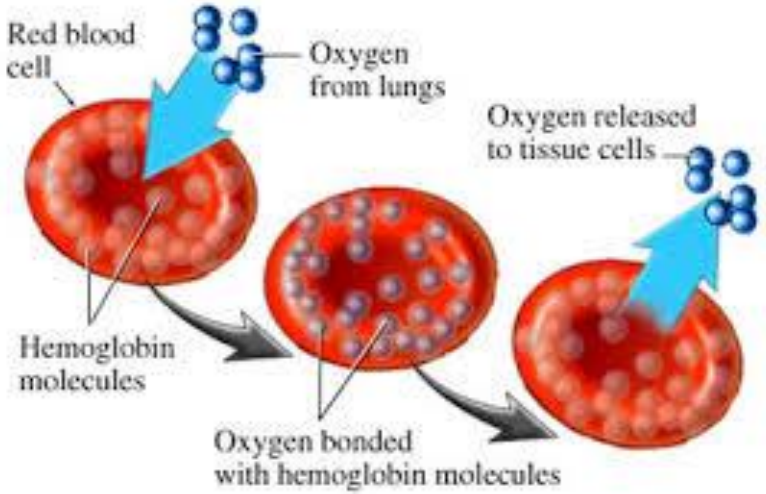
การลำเลียงกลูโคสเข้าเซลล์

- อาหารที่มีกลูโคสจะไปที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กซึ่งเป็นที่ที่อาหารถูกย่อย
- กลูโคสจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็ก
- เลือดนำกลูโคสไปยังเซลล์ของคุณเพื่อให้การหายใจของเซลล์เกิดขึ้น

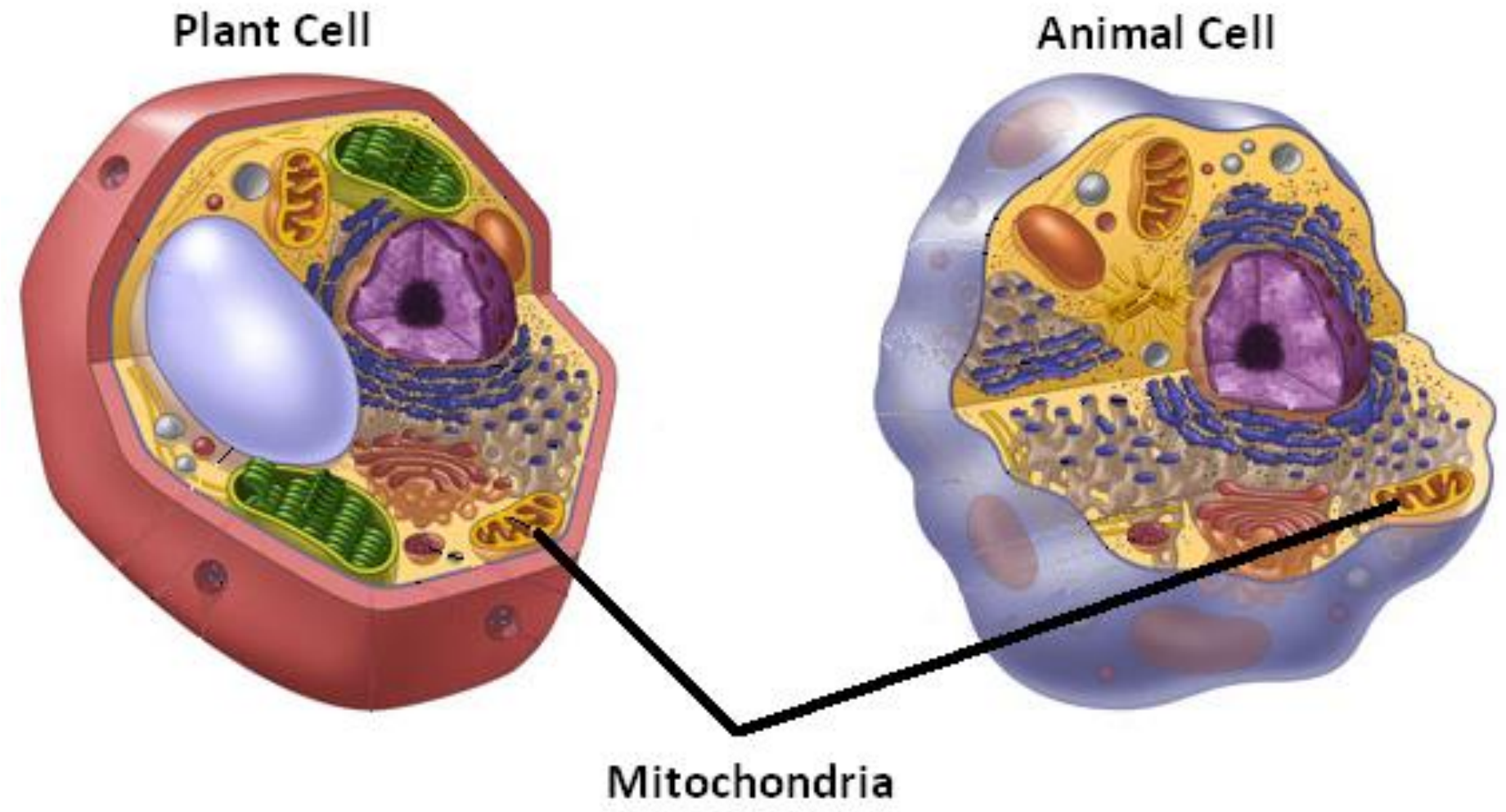


การนำออกซิเจนสู่เซลล์

- กลูโคสถูกส่งไปยังเซลล์ ออกซิเจนจะถูกหายใจเข้าในปอด
- ที่ถูกหยิบขึ้นมาโดยเซลล์เม็ดเลือดแดงและขนส่งไปยังทุกเซลล์ในร่างกาย



- การหายใจเกิดขึ้นในเซลล์ทั้งหมดและอาจเกิดขึ้นโดยมีหรือไม่มีออกซิเจนอยู่ก็ได้



การหายใจโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)

Aerobic respiration

- การหายใจ (Respiration) คือกระบวนการสลายสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน โดยอาศัยการควบคุมของเอนไซม์ภายในเซลล์
- **การหายใจแบบใช้ออกซิเจน** เป็นกระบวนการสร้าง ATP จากโมเลกุลของกลูโคสได้มากที่สุดถึง 36 -38 โมเลกุล หรือมากกว่าต่อกลูโคส 1 โมเลกุล
- **การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration)** เป็นการสลายสารอาหารโดยใช้ออกซิเจนเข้าร่วมปฏิกิริยา ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ
  1. ไกลโคไลซีส (glycolysis)
  2. การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ หรือการออกซิเดชัน กรดไพรูเวท (Pyruvate oxidation หรือ pyruvate dehydrogenase complex pathway)
  3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)
  4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport system)

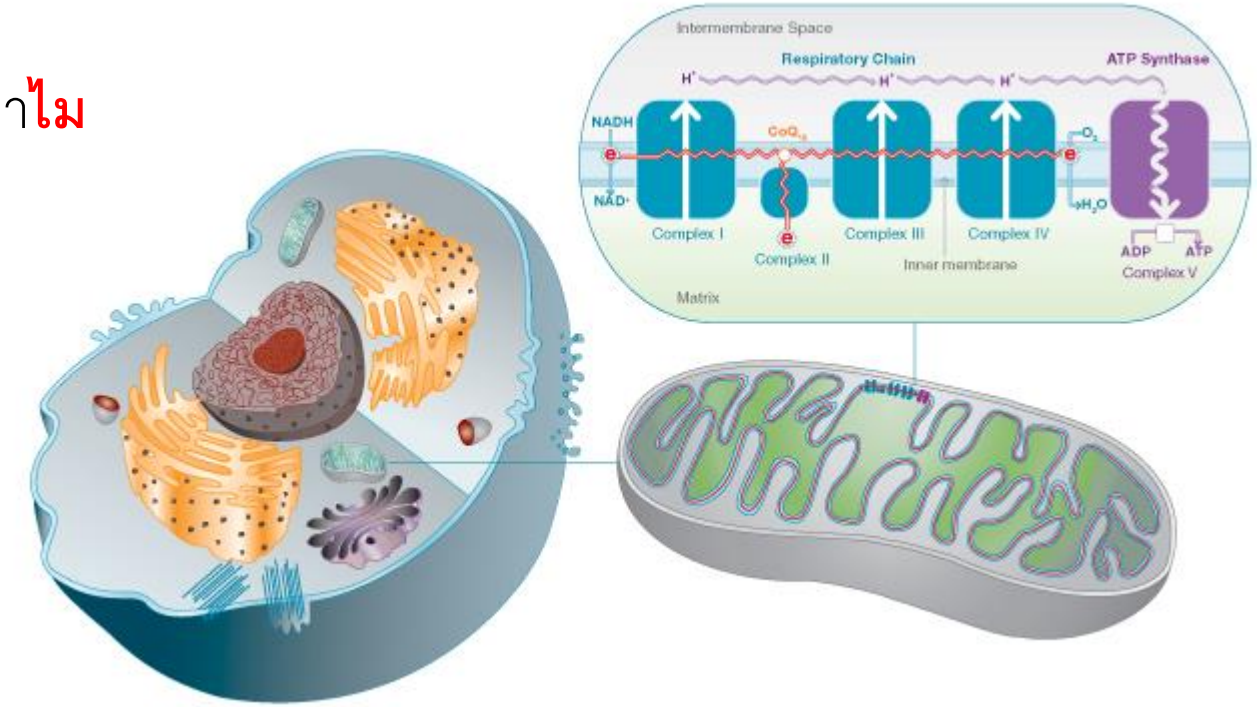
Aerobic Respiration: requires oxygen

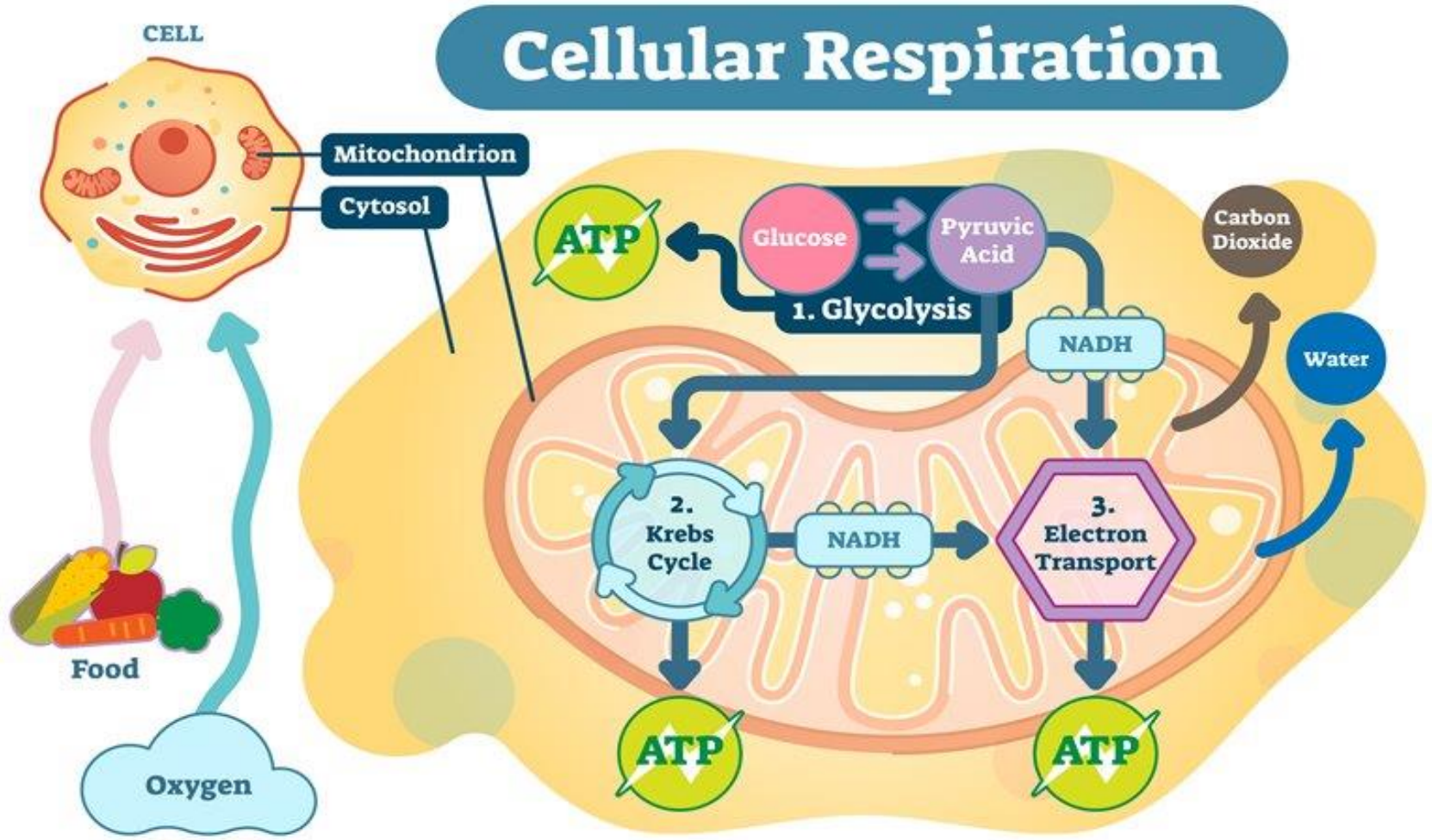
- Occurs in the mitochondria of the cell
- Total of 36 ATP molecules produced
- General formula for aerobic respiration:

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

glucose + oxygen ⟶ carbon dioxide + water + energy

เซลล์ของมนุษย์มีโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า**ไมโตคอนเดรีย** ซึ่งสร้างพลังงาน

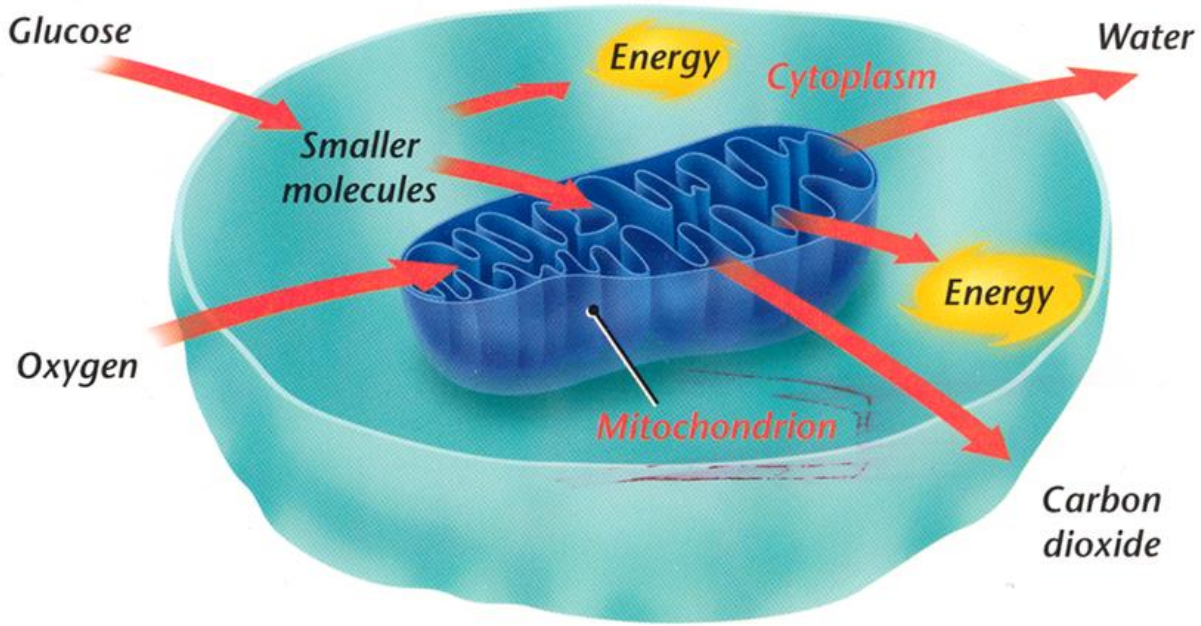




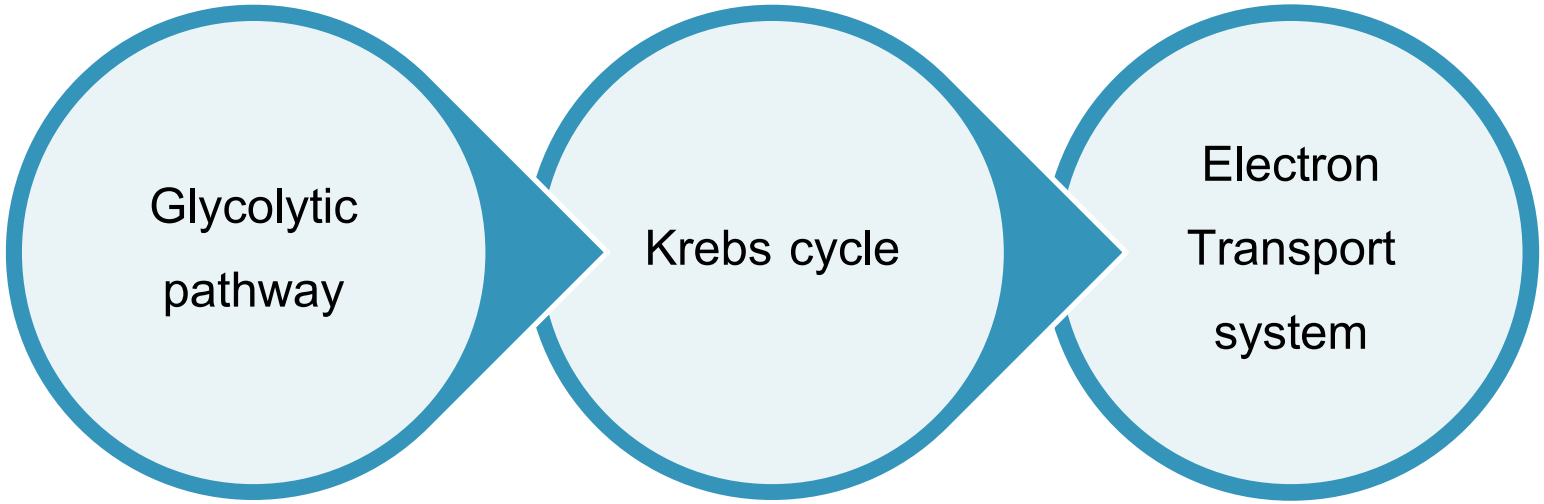
การหายใจระดับเซลล์ หมายถึง การที่เซลล์ใช้ออกซิเจนในการเกิด catabolism หรือในการสลายสารอาหาร แล้วปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

CELLULAR RESPIRATION

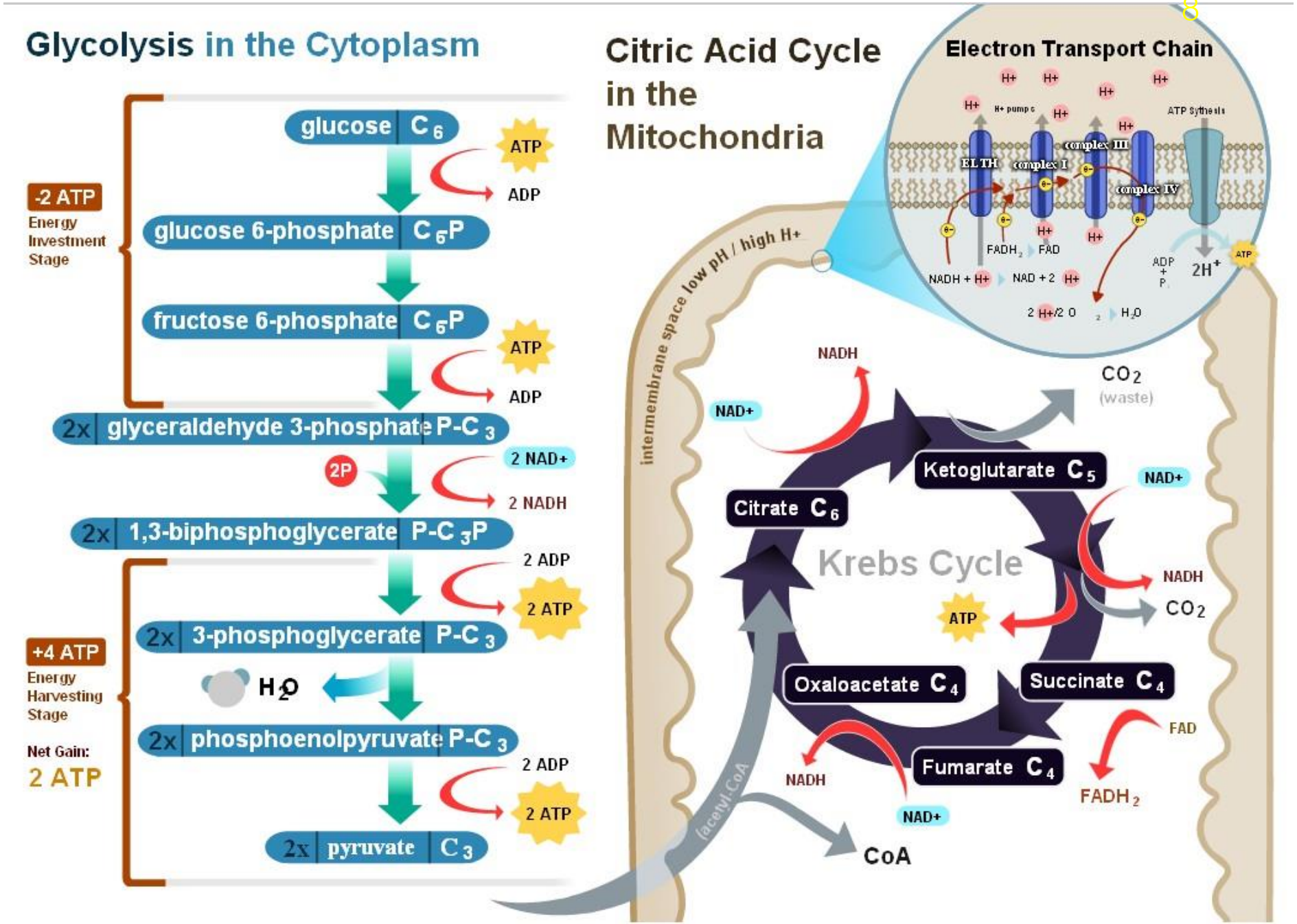
- กลูโคสและออกซิเจนไปที่ไมโตคอนเดรียของเซลล์
- พลังงานถูกปล่อยออกมาจากอาหารในไมโตคอนเดรีย
- ออกซิเจนเป็นกุญแจสำคัญในการปลดล็อกพลังงาน



3 ขั้นตอนของการหายใจระดับเซลล์

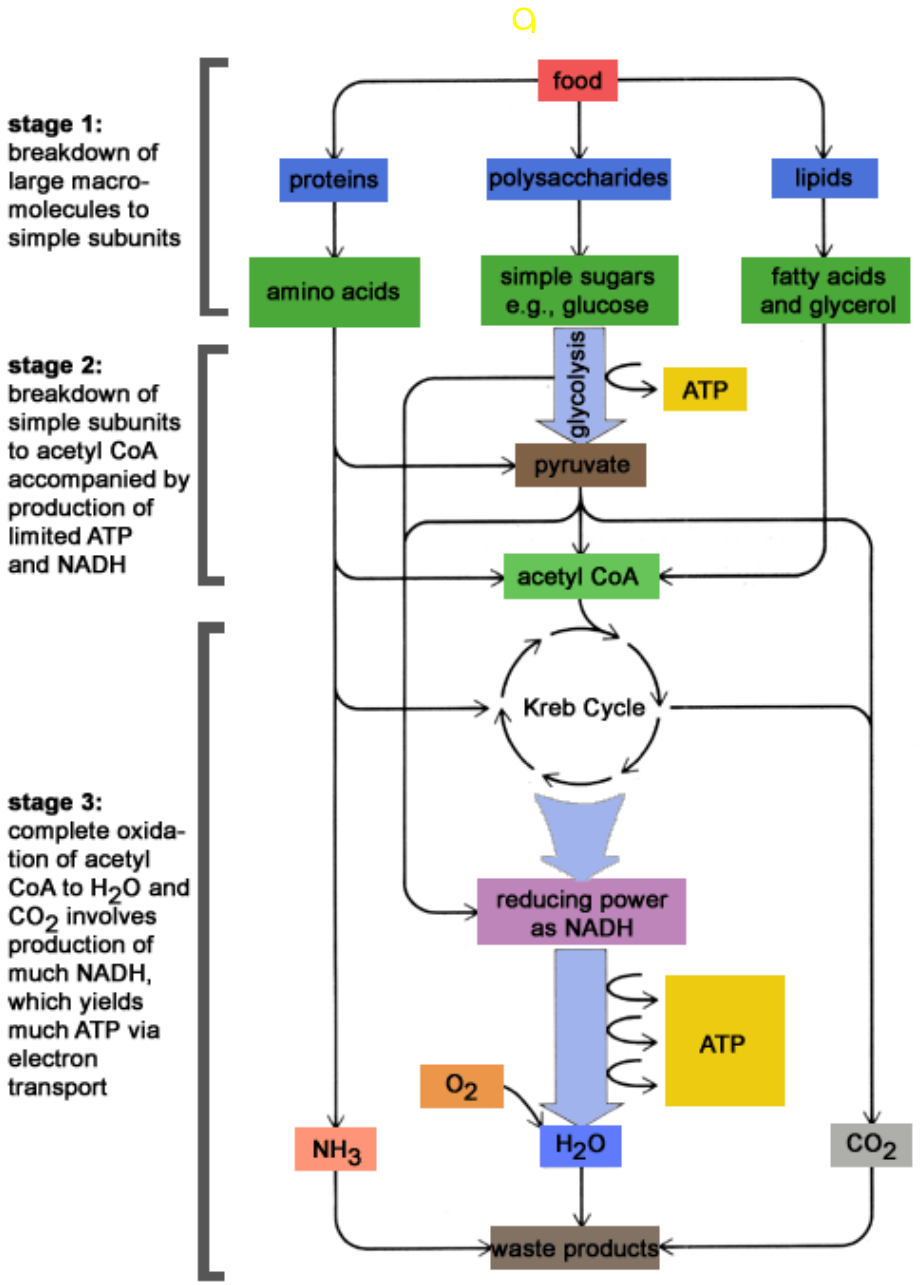


- cytoplasm
- mitochondria
- mitochondria

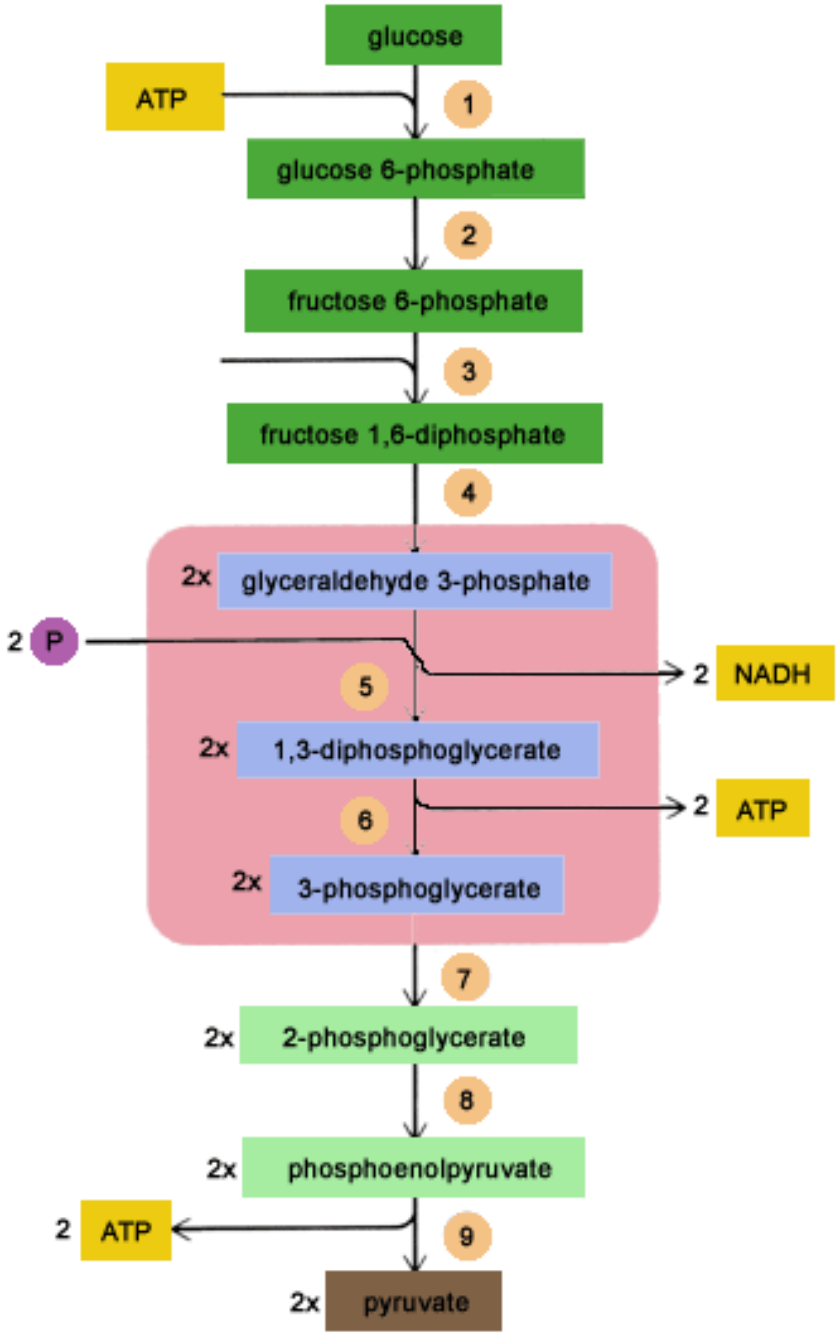

Glycolysis in the Cytoplasm
glucose C6
ATP
ADP
-2 ATP
Energy Investment Stage
glucose 6-phosphate C6P
fructose 6-phosphate C6P
ATP
ADP
2x glyceraldehyde 3-phosphate P-C3
2P
2 NAD+
2 NADH
2x 1,3-biphosphoglycerate P-C3P
2 ADP
2 ATP
2x 3-phosphoglycerate P-C3
H2O
2x phosphoenolpyruvate P-C3
2 ADP
2 ATP
2x pyruvate C3
+4 ATP
Energy Harvesting Stage
Net Gain:
2 ATP
Citric Acid Cycle in the Mitochondria
Electron Transport Chain
H+ pump
ATP Synthesis
ETH
complex I
complex III
complex IV
FADH2
FAD
NADH + H+
NAD + 2 H+
2 H+/2 O
H2O
ADP + P
2H+
ATP
intermembrane space low pH / high H+
NADH
CO2
(waste)
NAD+
Ketoglutarate C5
Citrate C6
Krebs Cycle
NAD+
NADH
CO2
ATP
Oxaloacetate C4
Succinate C4
FAD
FADH2
NADH
Fumarate C4
NAD+
Acetyl-CoA
CoA

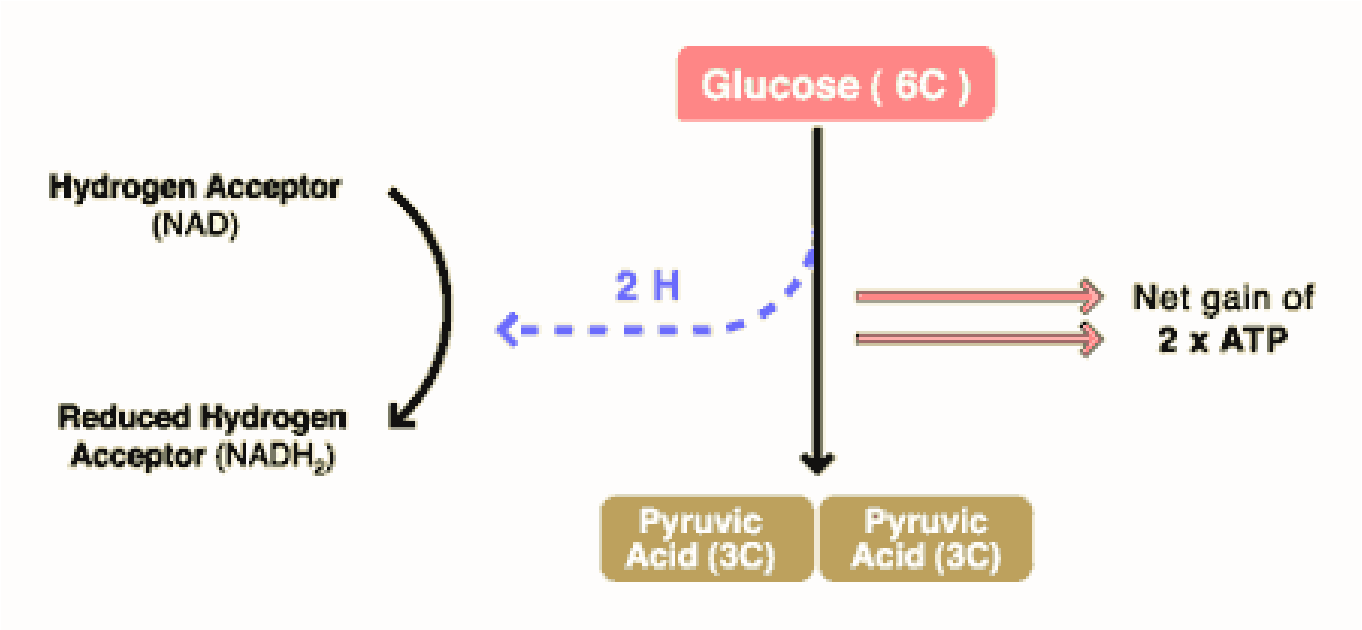
Glycolysis

- โมเลกุลของ glucose จะแยกออกเป็น pyruvate 2 โมเลกุล
- มีการสร้าง ATP สุทธิขึ้น 2 โมเลกุล
- 4 electron กับ 2 proton (2 H^+) เอาไปใช้สร้าง 2 NADH

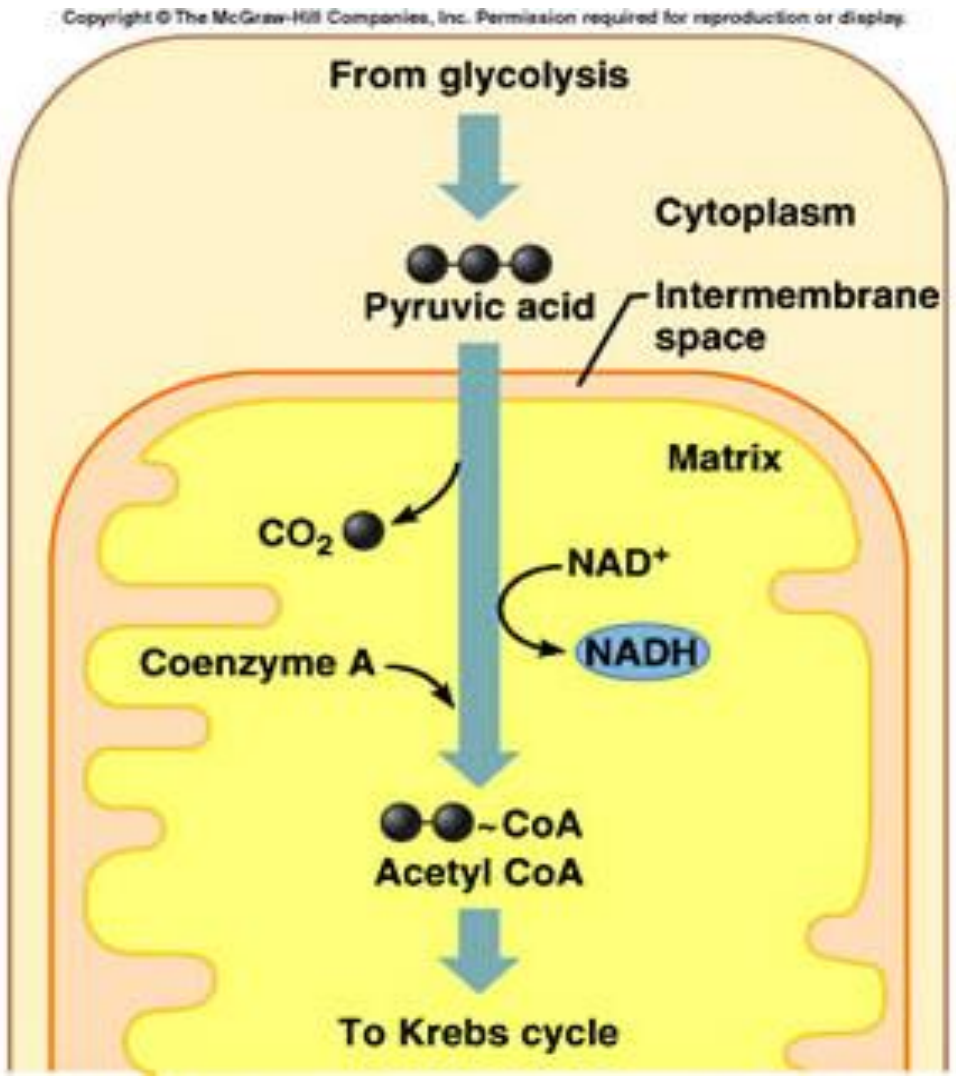


ปฏิกิริยาสุทธิของ glycolysis





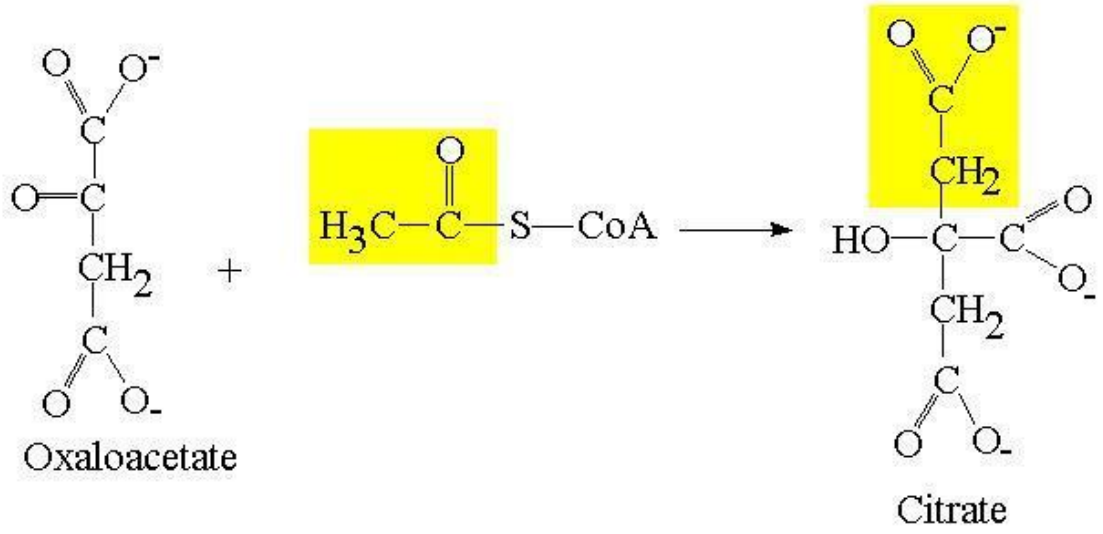
จาก glycolysis สู่ Krebs cycle

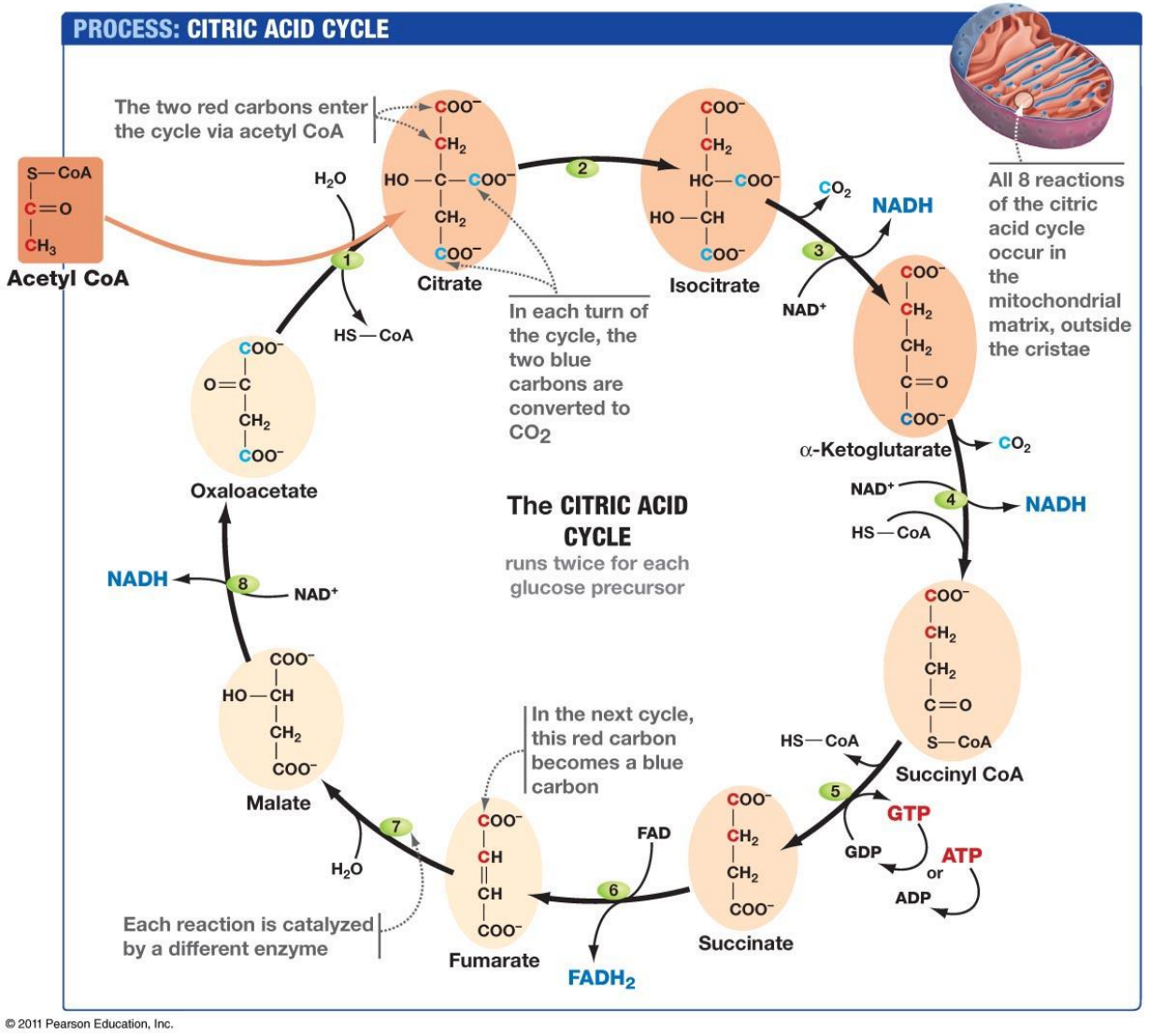


การสร้าง Acetyl CoA

- แต่ละโมเลกุลของ pyruvate จะสูญเสีย CO_2 1 โมเลกุล
- Acetyl group ที่เหลือจะรวมกับ Coenzyme A เกิดเป็น acetyl CoA
- ในแต่ละโมเลกุลของ pyruvate ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็น acetyl CoA จะสร้าง NADH ขึ้น 1 โมเลกุล

Acetyl CoA เข้า Krebs cycle

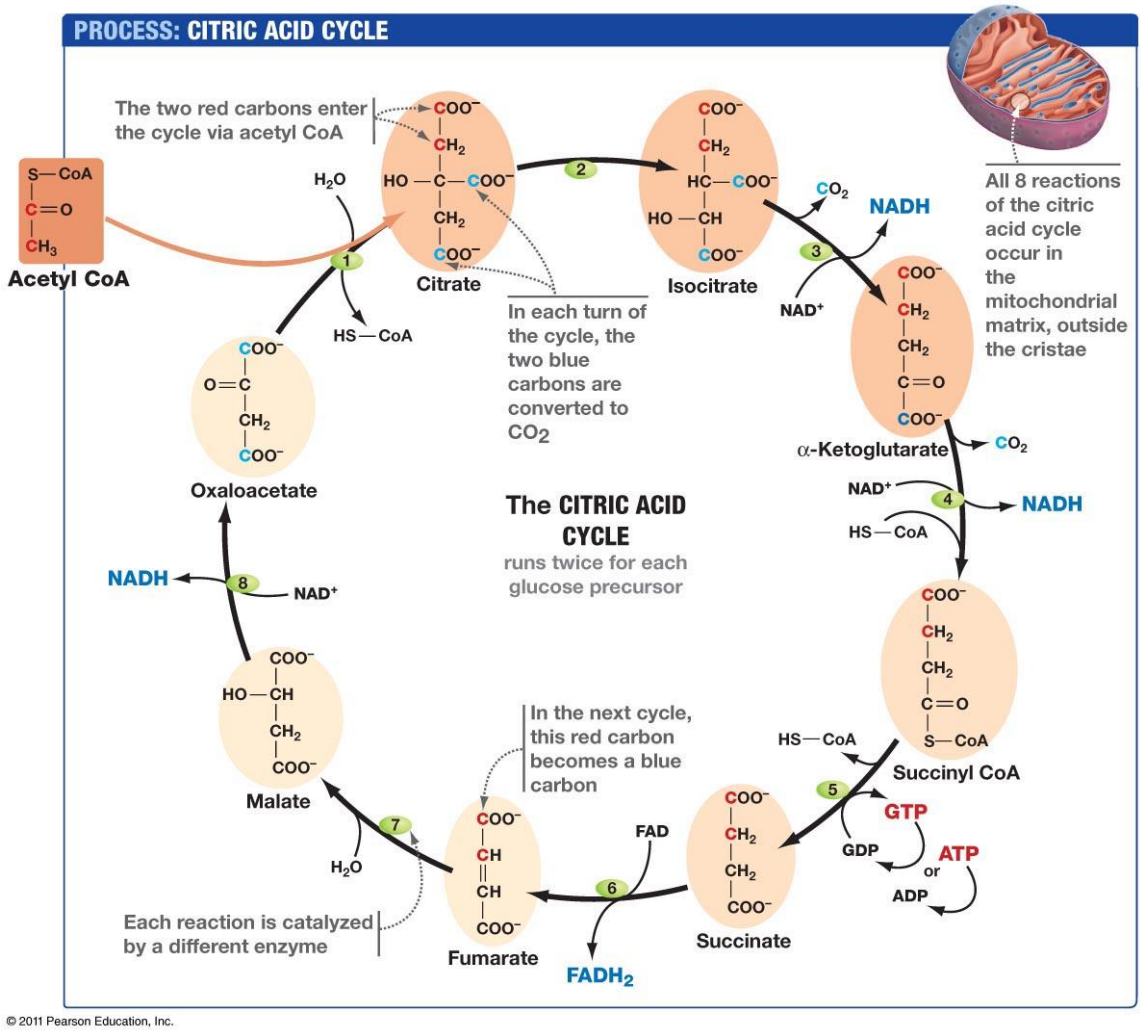


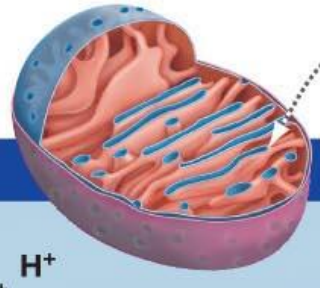


- Acetyl CoA แต่ละโมเลกุลจะเข้าสู่ Citric acid cycle โดยเข้าไปรวมกับสารประกอบที่มี C 4 อะตอม คือ oxaloacetate กลายเป็น citrate ซึ่งมี 6 C
- Citrate เป็นสารที่มีหมู่ carboxyl 3 หมู่ เรียกว่า tricarboxylic acid (TCA)

Citric Acid Cycle

- Citric acid cycle หมุน 2 รอบ acetyl CoA 2 โมเลกุลที่เกิดจากการสลายของ glucose 1 โมเลกุล ก็จะสลายไปหมด
- มีการปลดปล่อย CO_2 ออกมา 2 โมเลกุล และส่ง electron ให้กับ 3 NAD^+ และ 1 FAD
- มีการสร้าง ATP ขึ้นโดยตรงเพียง 1 โมเลกุล โดย substrate-level phosphorylation





The electron transport chain occurs in the inner membrane of the mitochondrion (membranes of cristae)

PROCESS: ELECTRON TRANSPORT CHAIN

Intermembrane space

Membrane of cristae

Mitochondrial matrix

Complex I

Complex II

Complex III

Complex IV

Q

Cyt *c*

NADH

NAD^+

$FADH_2$

FAD

$2e^- + 2H^+ + {}^1/_2\ O_2$

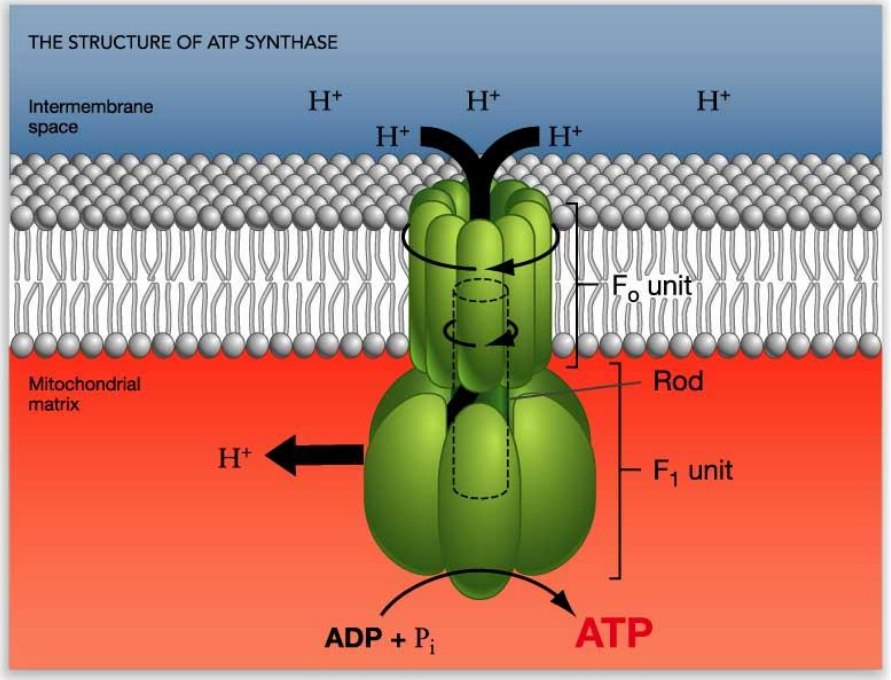
H_2O

	Complex I	Complex II	Complex III	Complex IV
What goes in:				
What comes out:				

© 2011 Pearson Education, Inc.

Electron Transport Chain

- Electron จะถูกส่งจาก electron acceptor ตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งตามลำดับใน electron transport system
- ผู้รับ electron ตัวสุดท้ายของระบบนี้คือ O_2 ซึ่งจะรวมกับ proton กลายเป็นน้ำ
- ตามทฤษฎี chemiosmosis พลังงานที่ถูกปลดปล่อยจาก electron transport system นั้น จะถูกนำมาสร้าง proton gradient ระหว่าง inner mitochondrial membrane
- การไหลเวียนกลับของ proton ผ่าน membrane จาก intermembrane space ไปสู่ matrix ใน mitochondria ผ่าน ATP synthase จะปลดปล่อยพลังงานที่สามารถนำไปสร้าง ATP



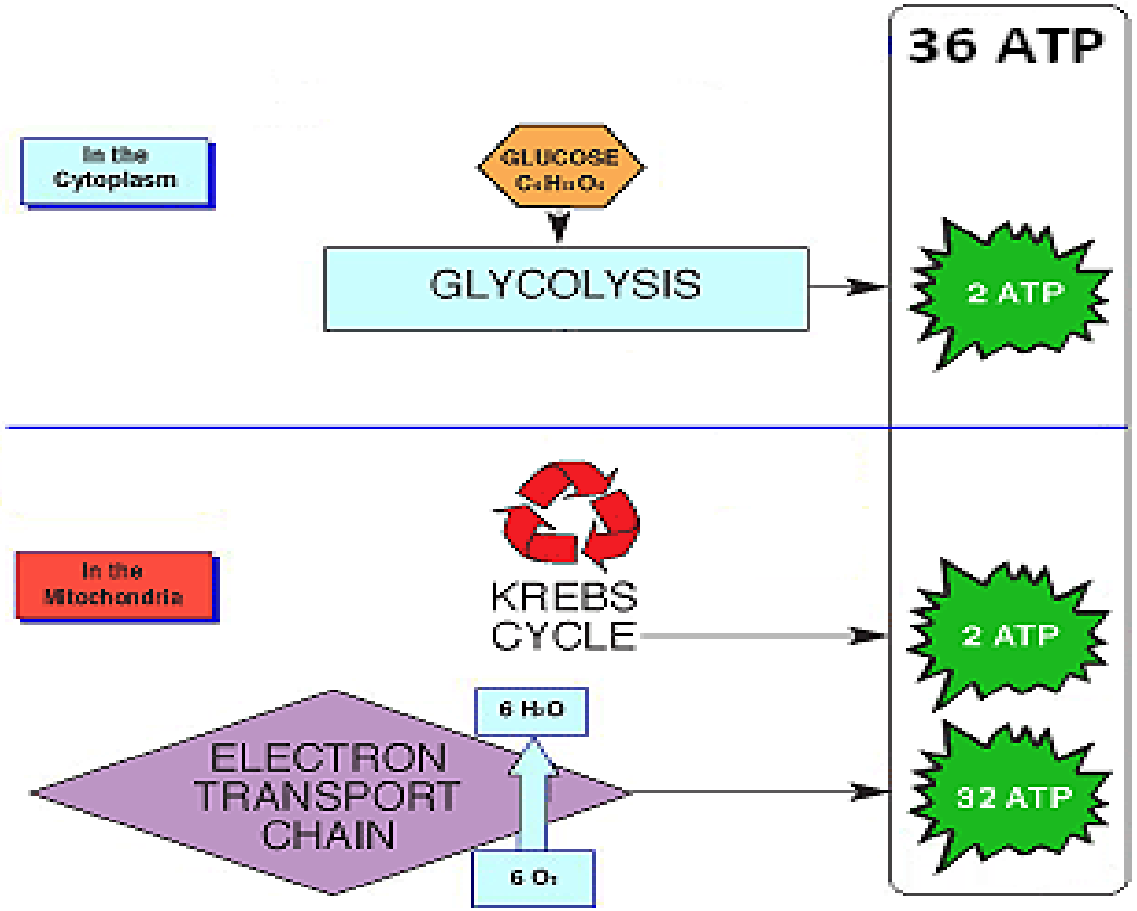
Summary:

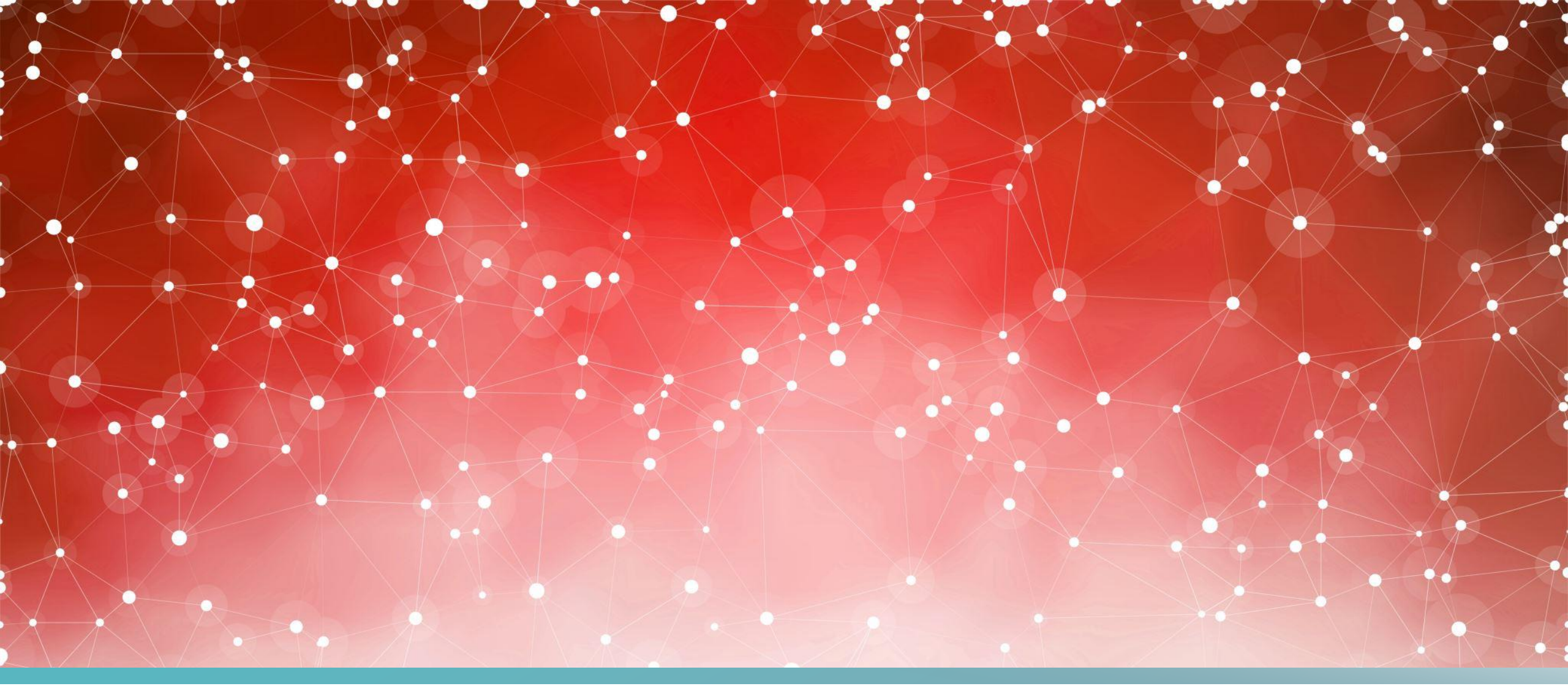
3 steps:

1st glycolysis

2nd Krebs cycle

3rd Electron Transport Chain (ETC)





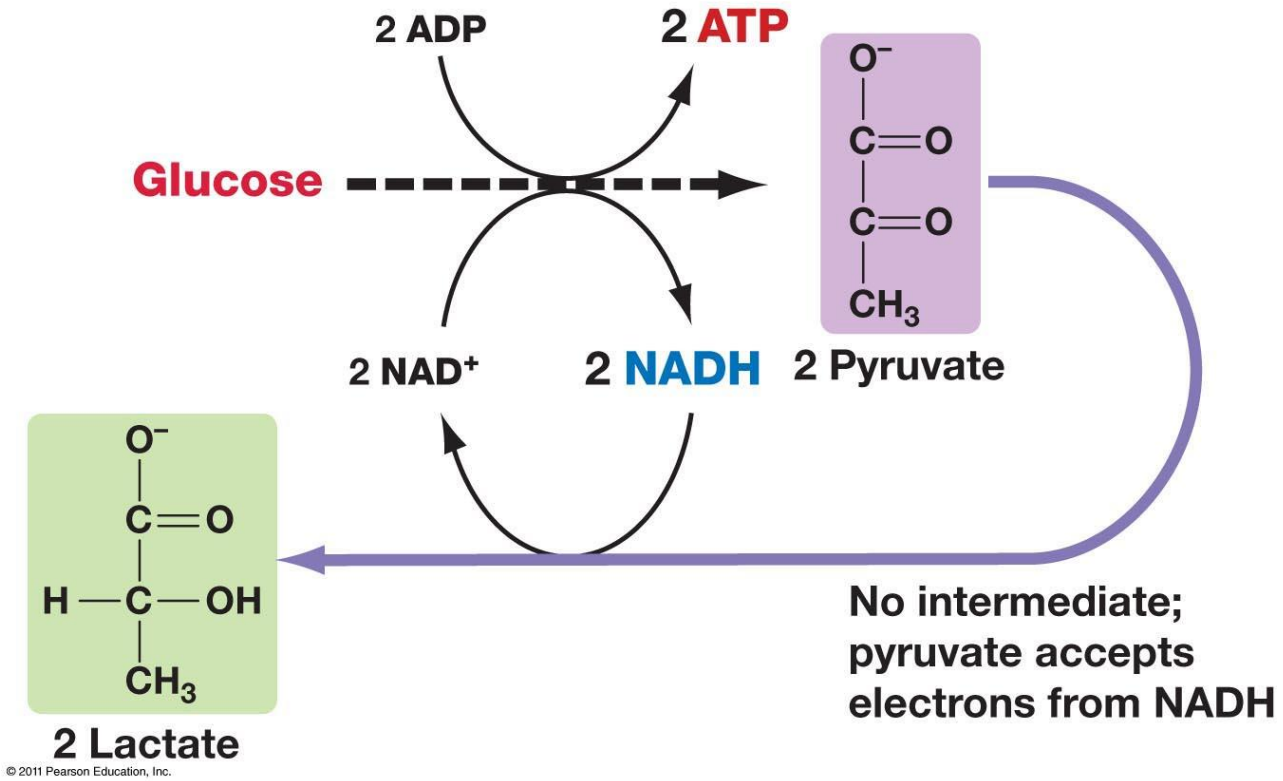
การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน (ANAEROBIC RESPIRATION)

Anaerobic Respiration: เกิดขึ้นเมื่อไม่มีออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ (2 ชนิด คือ กรดแอลกอฮอล์ และกรดแลกติก) เรียกอีกอย่างว่าการหมัก ATP ที่ผลิตได้น้อยกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจนมาก

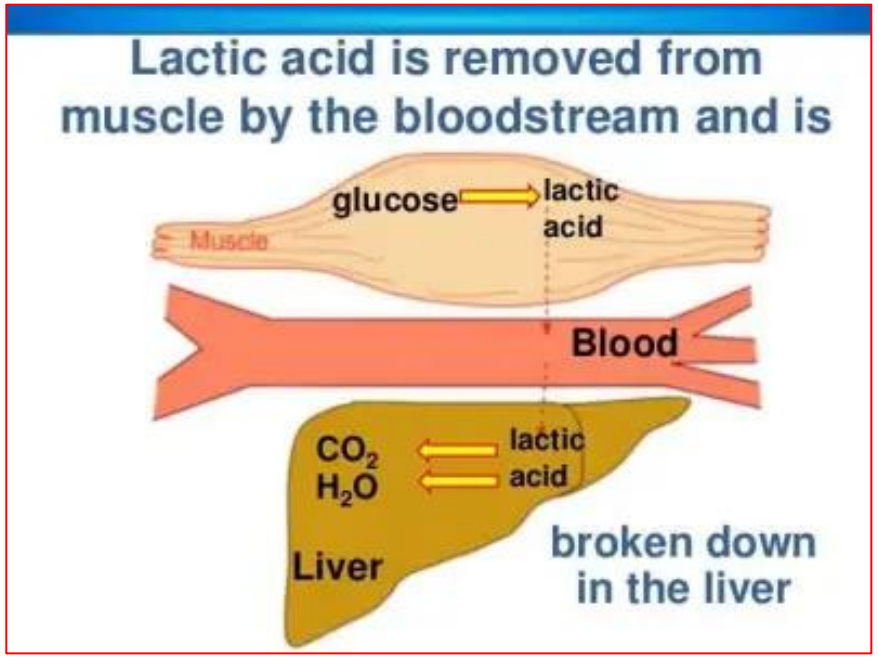
การหมักกรดแลคติก—เกิดขึ้นในเซลล์กล้ามเนื้อ กรดแลคติคถูกผลิตขึ้นในกล้ามเนื้อระหว่างการออกกำลังกายอย่างรวดเร็ว เมื่อร่างกายไม่สามารถส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อได้เพียงพอ ทำให้เกิดอาการแสบร้อนในกล้ามเนื้อ

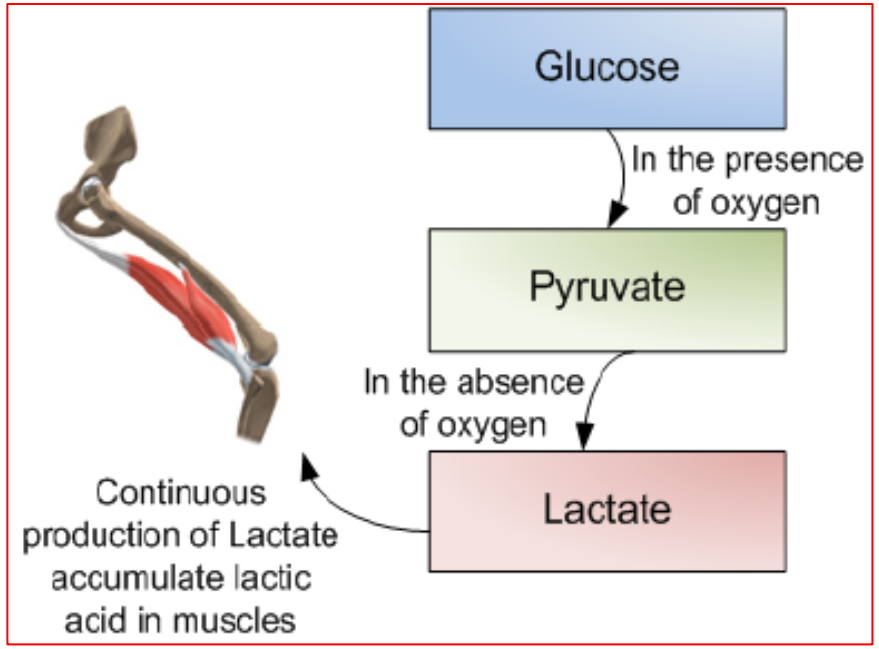
glucose ⟶ lactic acid + carbon dioxide + 2 ATP

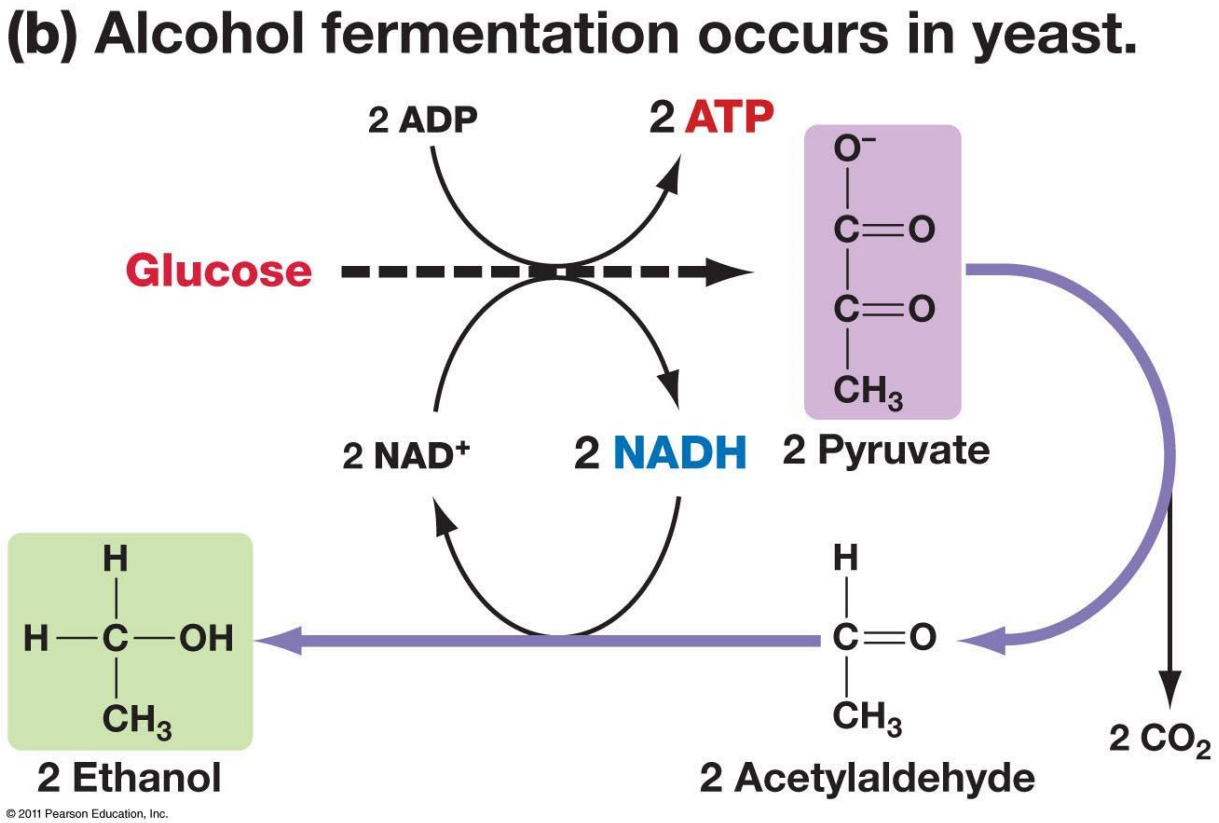
(a) Lactic acid fermentation occurs in humans.



© 2011 Pearson Education, Inc.



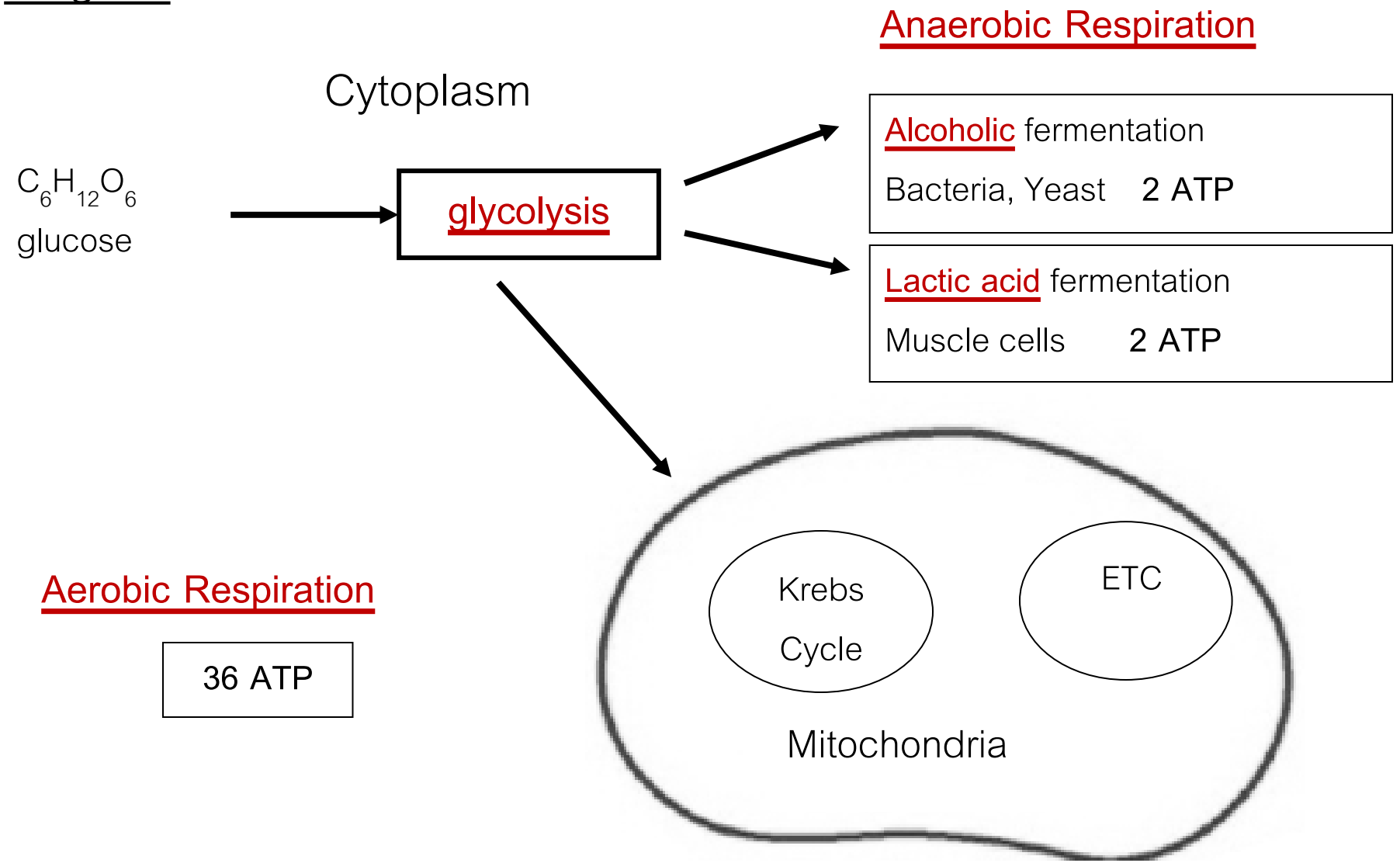




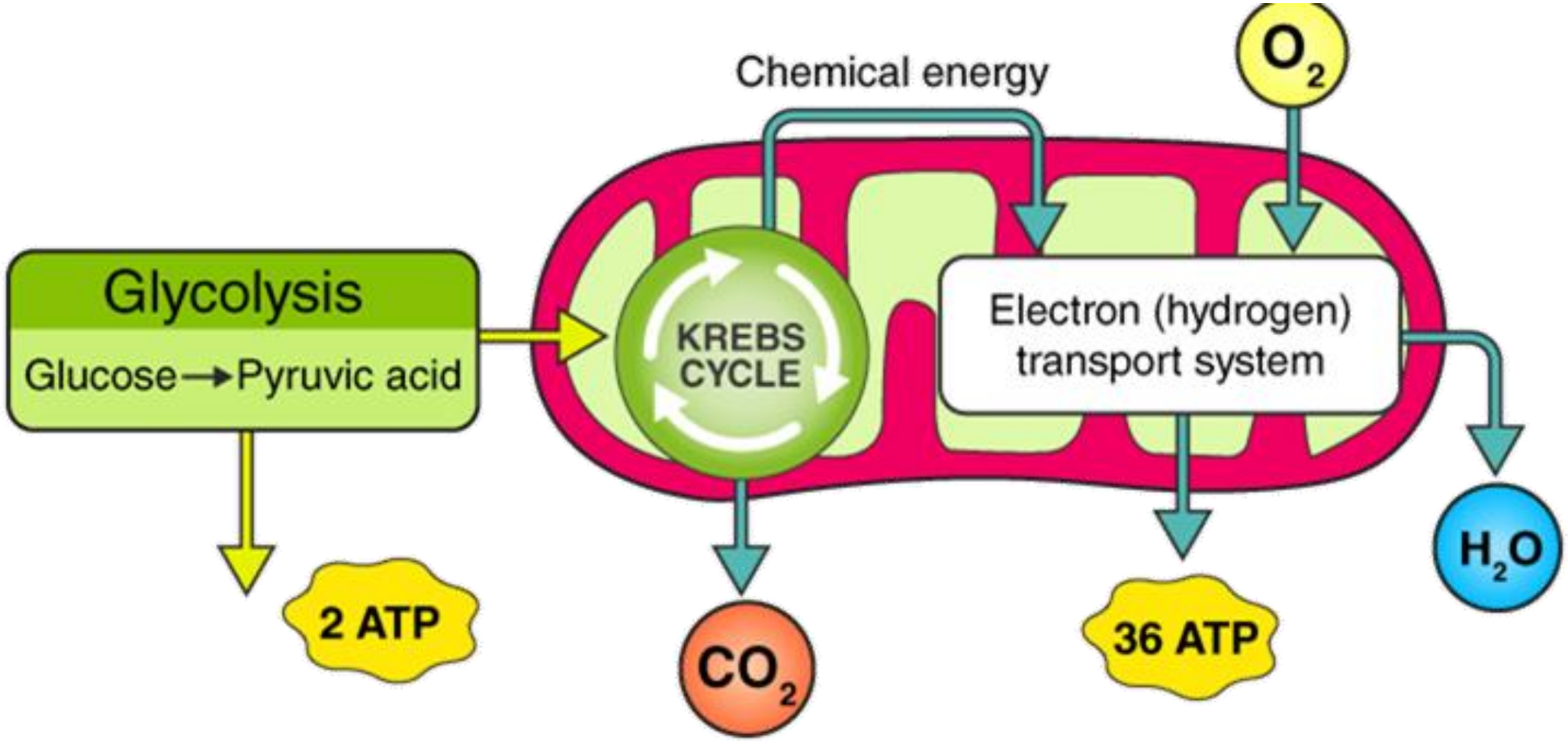
การหมักแอลกอฮอล์—เกิดขึ้นในแบคทีเรียและยีสต์ กระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมการอบและการต้มเบียร์ ยีสต์จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการหมักเพื่อทำให้แป้งขึ้นฟูและทำให้ขนมปังเป็นรู

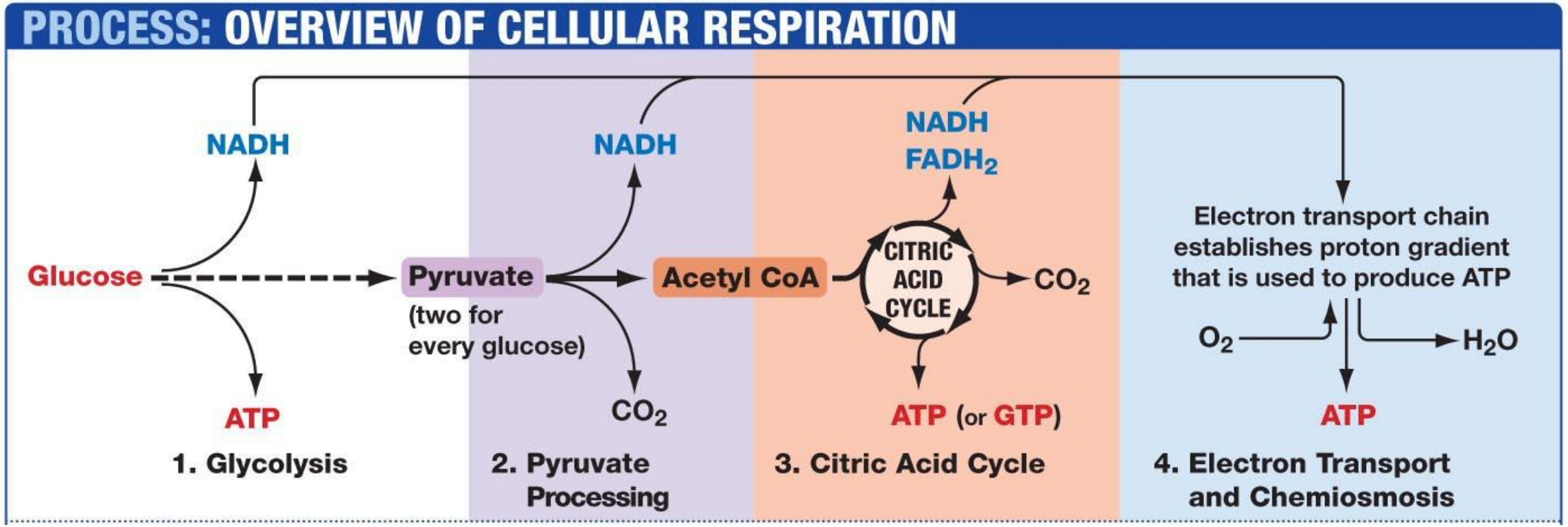
glucose ⟶ ethyl alcohol + carbon dioxide + 2 ATP

Diagram


Anaerobic Respiration
Cytoplasm
$C_6H_{12}O_6$
glucose
glycolysis
Alcoholic fermentation
Bacteria, Yeast 2 ATP
Lactic acid fermentation
Muscle cells 2 ATP
Aerobic Respiration
36 ATP
Krebs
Cycle
ETC
Mitochondria

What exactly is respiration???

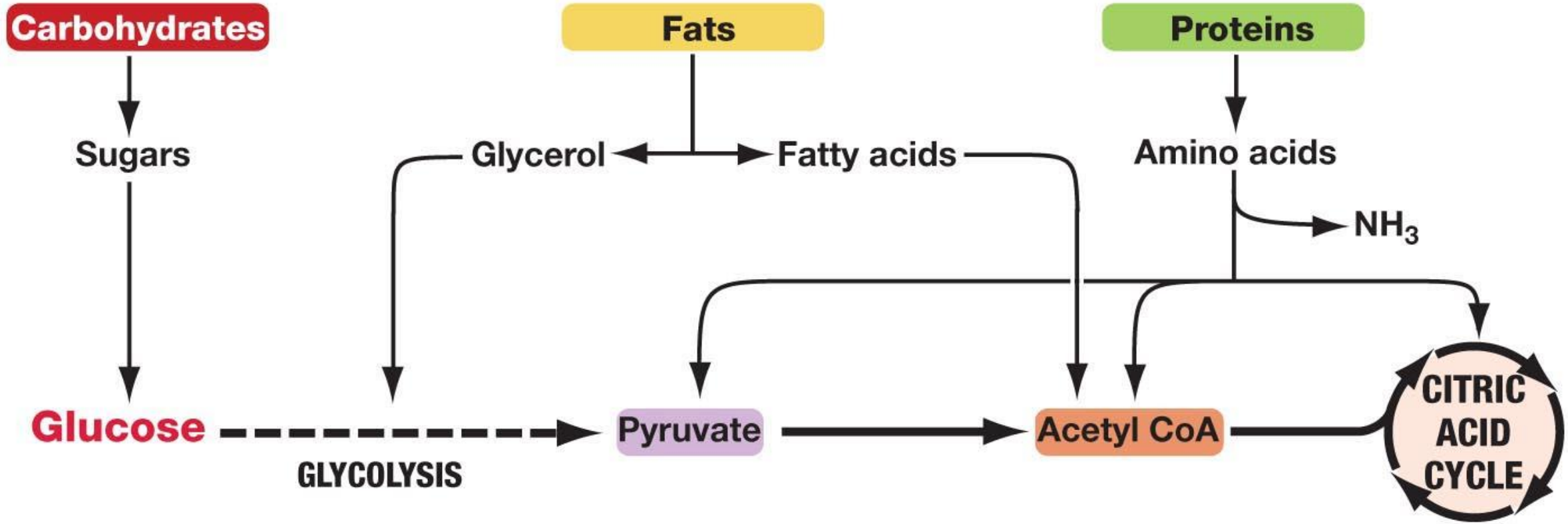




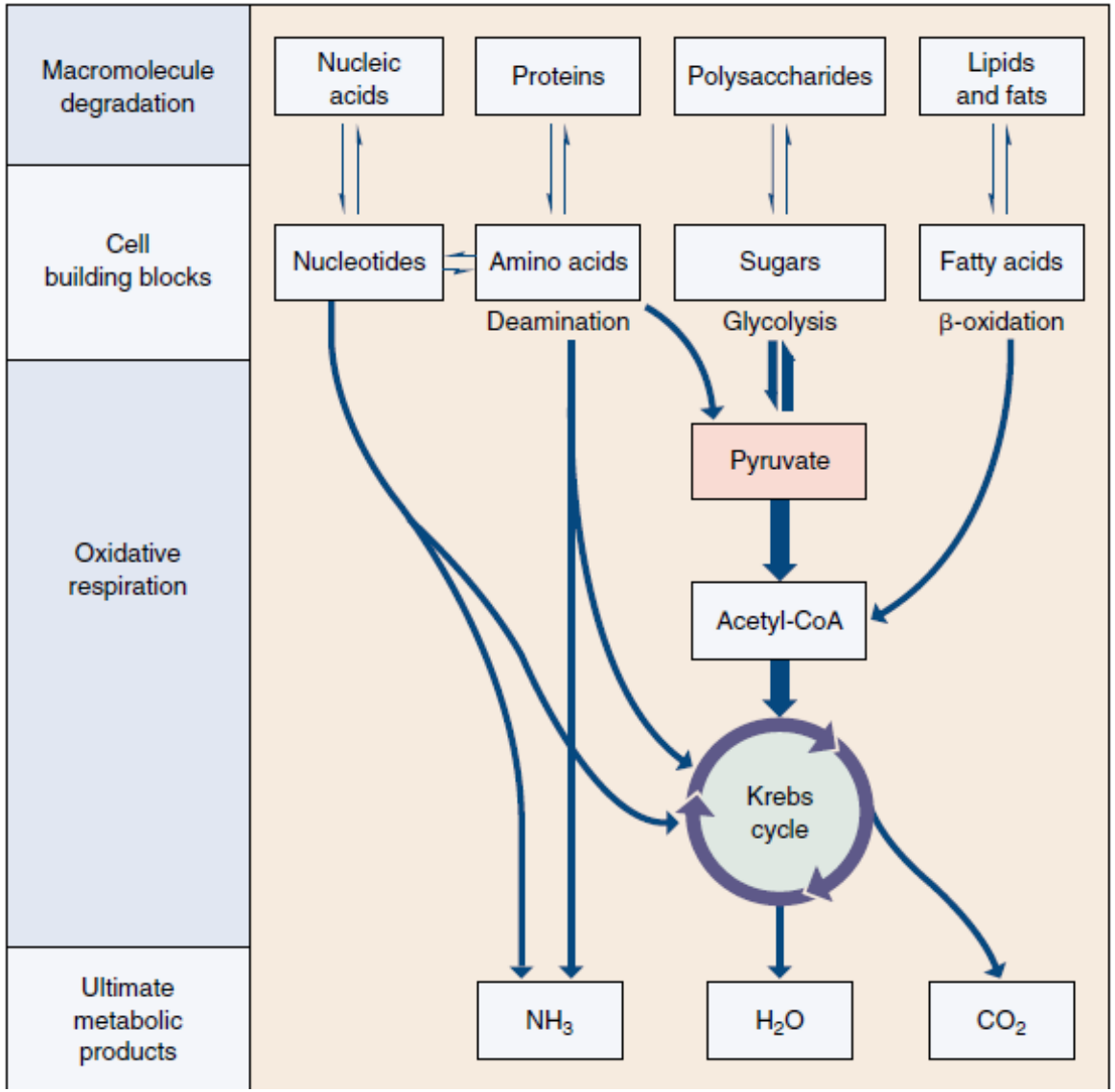
- ✓ ปฏิกิริยาเคมี!!!
- ✓ สิ่งมีชีวิตทุกชนิดเปลี่ยนกลูโคสและออกซิเจนเป็นพลังงานที่ใช้ได้เรียกว่าพลังงาน ATP, CO_2 และน้ำ...
- ✓ สารใหม่ที่มีคุณสมบัติใหม่!

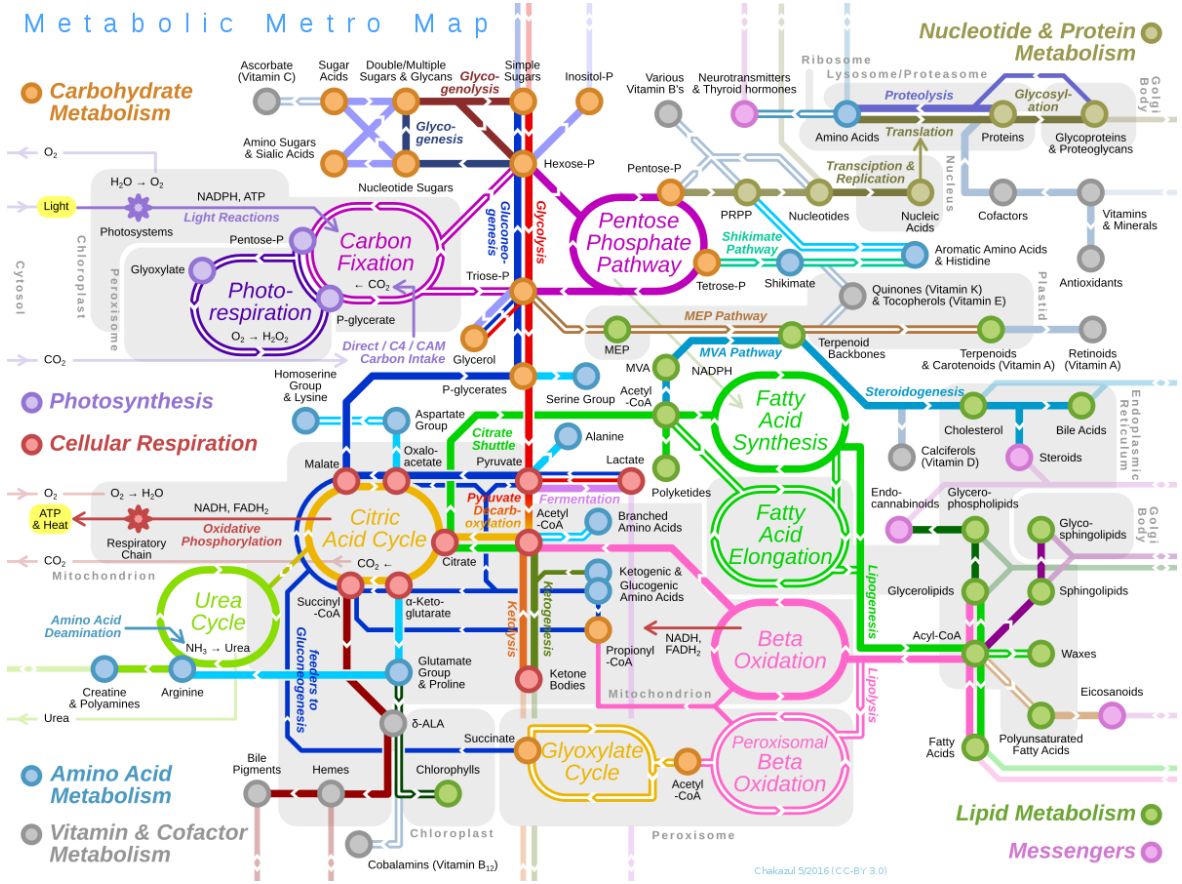
สารอาหารอื่นที่ไม่ใช่ glucose

- สารอาหารอื่น เช่น โปรตีนหรือไขมัน จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารที่เหมาะสม และส่งเข้าสู่ glycolysis หรือ citric acid cycle
- Amino acids จะถูกกำจัด $-NH_2$ หรือย้ายไปยังโมเลกุลอื่น และ carbon skeleton จะถูกเปลี่ยนไปเป็น metabolic intermediate เช่น pyruvate
- องค์ประกอบของ lipids ทั้ง glycerol และ fatty acid จะถูก oxidize
- โดย fatty acid ถูกเปลี่ยนไปเป็น acetyl CoA ด้วยกระบวนการ β –oxidation
- ส่วน glycerol นั้นจะรวมกับ PO_4 เปลี่ยนไปเป็น PGAL หรือสารอื่นและเข้าสู่ glycolysis ต่อไป



© 2011 Pearson Education, Inc.


Macromolecule degradation
Cell building blocks
Oxidative respiration
Ultimate metabolic products
Nucleic acids
Proteins
Polysaccharides
Lipids and fats
Nucleotides
Amino acids
Sugars
Fatty acids
Deamination
Glycolysis
β-oxidation
Pyruvate
Acetyl-CoA
Krebs cycle
NH3
H2O
CO2


Metabolic Metro Map
Carbohydrate Metabolism
Photosynthesis
Cellular Respiration
Amino Acid Metabolism
Vitamin & Cofactor Metabolism
Nucleotide & Protein Metabolism
Lipid Metabolism
Messengers
Carbon Fixation
Photo-respiration
Pentose Phosphate Pathway
Light Reactions
Citric Acid Cycle
Oxidative Phosphorylation
Urea Cycle
Glycolysis
Gluconeo-genesis
Glyoxylate Cycle
Fatty Acid Synthesis
Fatty Acid Elongation
Beta Oxidation
Peroxisomal Beta Oxidation
Fermentation
Citrate Shuttle
Direct / C4 / CAM Carbon Intake
MEP Pathway
MVA Pathway
Steroidogenesis
Proteolysis
Translation
Transciption & Replication
Shikimate Pathway
Ketogenesis
Ketolysis
Lipogenesis
Lipolysis
Cytosol
Chloroplast
Peroxisome
Mitochondrion
Nucleus
Ribosome
Lysosome/Proteasome
Golgi Body
Plastid
Endoplasmic Reticulum
Chakazul 5/2016 (CC-BY 3.0)

สรุปความแตกต่างของ Photosynthesis กับ Cellular respiration ในพืช

Photosynthesis

- เป็นกระบวนการที่พืชใช้เพื่อสร้างอาหาร
- ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในเวลากลางวัน
- สารตั้งต้นเป็น carbon dioxide และ น้ำ เพื่อสร้าง glucose (น้ำตาล) และ oxygen ในสภาวะที่มีแสง
- นี้เกิดขึ้นในเซลล์ที่มี chlorophyll ซึ่งอยู่ที่ใบ
- ต้องการแสงในการเกิดปฏิกิริยา
- กระบวนการนี้เป็นการสร้าง glucose

Cellular respiration

- เป็นกระบวนการที่พืชสลายสารอาหารเพื่อให้ได้เป็นพลังงาน
- ปฏิกิริยานี้เกิดได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน
- สารตั้งต้นเป็น glucose ถูกสลายให้เป็น carbon dioxide และน้ำ ในสภาวะที่มี oxygen
- กระบวนการนี้เกิดขึ้นในเซลล์ทุกเซลล์
- ไม่ต้องการแสงในการเกิดปฏิกิริยา
- กระบวนการนี้เป็นการสลาย glucose