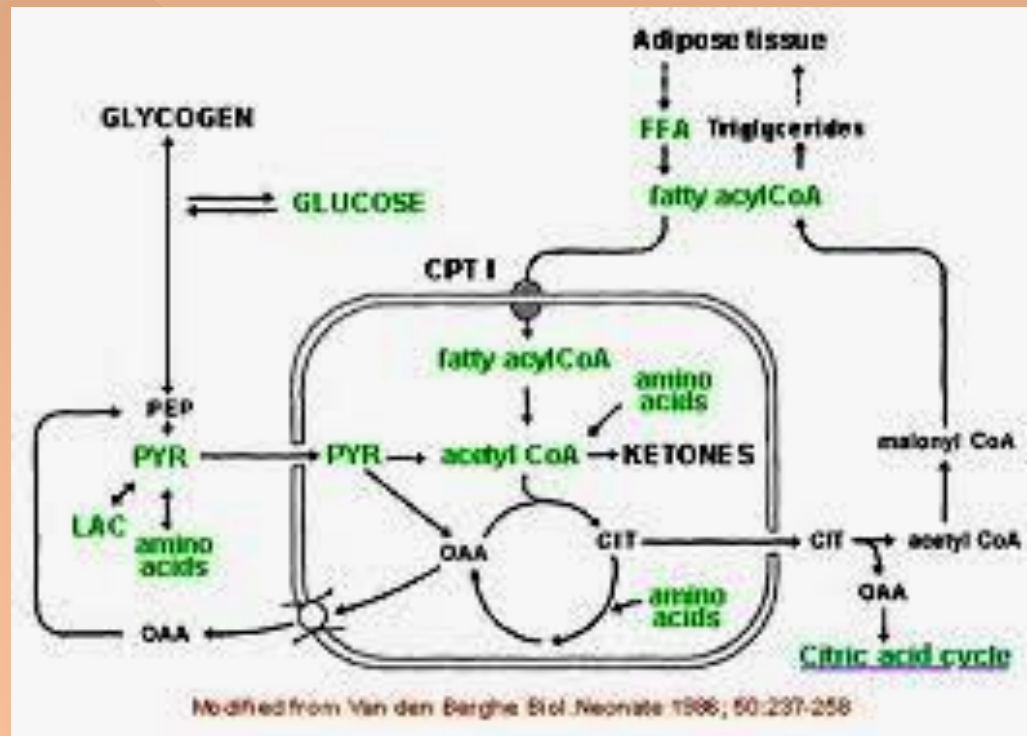


เมแทบอลิซึม ของ คาร์โบไฮเดรต (Metabolism of Carbohydrate)



โดย อ. เอกวิทย์ ตริเนตร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

วิชา คม 325 ชีวเคมี 2

คม 325 ชีวเคมี 2

(CH325 Biochemistry 2)

คณาจารย์ผู้สอน

โดย **อ.ดร. เอกวิทย์ ตรีเนตร**

ผศ.ดร. อนรรฆอร ศรีไสยเพชร

ผศ. ชุติมา คงจรรณ

อ.กัญญา บุตรราช

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เวลาเรียน จันทร์, พุธ-ศุกร์ 9.30 -11.00 น.

หัวข้อ	จำนวน ชั่วโมง	คะแนน (%)	วันที่เรียน	ผู้สอน
1. บทนำ และชี้แจง เนื้อหารายวิชา	1.5	3.33	22 พย.64	อ.ดร.เอกวิทย์ ตรีเนตร
2. ทบทวนหลักการและ ลักษณะของเมตาบอลิ ซึม	1.5	3.33	25 พย. 64	อ.ดร.เอกวิทย์ ตรีเนตร
3. เมตาบอลิซึมของ คาร์โบไฮเดรต	7.5	16.67	29 พย., 9 ,13 ธค. 64	อ.ดร.เอกวิทย์ ตรีเนตร
4. เมตาบอลิซึมของลิ ปิด	4.5	10	16, 20, 23 ธค. 64	ผศ.ดร.อนรรฆอร ศรีไสยเพชร
5. เมตาบอลิซึมของ กรดอะมิโน	4.5	10	27, 30 ธค 64., 6 มค.65	อ.กัญญา บุตรราช

หัวข้อ	จำนวน ชั่วโมง	คะแนน (%)	วันที่เรียน	ผู้สอน
6. เมตาบอลิซึมของกรด นิวคลีอิก	4.5	10	10, 13, 24 มค. 65	ผศ.ดร.ชุตินา คงจรรณ
7. เทคโนโลยีของ คาร์โบไฮเดรตและ โปรตีน	4.5	10	27, 31 มค. 3 กพ. 65	อ.กัญญา บุตรราช
8. เทคโนโลยีของลิปิด	4.5	10	7, 10, 14 กพ. 65	ผศ.ดร.อนรรฆอร ศรีไสย เพชร
9. เทคโนโลยีของดีเอ็นเอ	4.5	10	17, 21, 24 กพ. 65	ผศ.ดร.ชุตินา คงจรรณ
10. การควบคุมเมตาบอลิ ซึม ฮอร์โมน และ โภชนาชีวเคมี	7.5	16.67	28 กพ. 3, 7, 10 กพ. 65	คณาจารย์ผู้สอน
รวมชั่วโมง	45	100		

จันทร	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
พุทธจิกายน, 15	16	17	18	19	20	21
4:00 ประชุมชีวเคมี	ลงทะเบียน นศ ใหม่ตามปี					
	สอบ คม320 สวก					
22	23	24	25	26	27	28
ปิดการศึกษา เพิ่มสตรกรบ			9:30 คม325			
9:30 คม325						
29	30	ธันวาคม, 1	2	3	4	5
9:30 คม325			9:30 คม325			
6	7	8	9	10	11	12
ชดเชย วันพ่อแห่งชาติ		ประชุมวิชาการแม่โจ้		วันรัฐธรรมนูญ		
		9:30 คม325				
13	14	15	16	17	18	19
9:30 คม325						
20	21	22	23	24	25	26

คม 325 ชีวเคมี 2

(CH325 Biochemistry 2)

สอบกลางภาคครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 17 - 23 ม.ค. 2565 ตามประกาศ

มหาวิทยาลัย

สอบกลางภาคครั้งที่ 2 ช่วงปลายเดือน ก.พ.- 2565

สอบปลายภาค ระหว่างวันที่ 14 - 27 มี.ค. 2565 ตามประกาศ

มหาวิทยาลัย

คะแนนและเกณฑ์การตัดเกรด

- สอบกลางภาคครั้งที่ 1 บทที่ 1-5 เก็บคะแนน 43.33%
- สอบกลางภาคครั้งที่ 2 บทที่ 6-8 เก็บคะแนน 30.00%
- สอบปลายภาค บทที่ 9-10 เก็บคะแนน 26.67
- การตัดเกรดอิงกลุ่ม F คะแนน $\leq 40\%$

เอกสารอ้างอิงหลัก

****มนตรี จุฬาวัฒนทล, ยงยุทธ ยุทธวงศ์,
ม.ร.ว. ชีษณุสรร สวัสดิวัตน์, สกล พันธุ์ยิ้ม
และภิญโญ พาณิชพันธ์ (2542) "ชีวเคมี"
ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล



*** เอกวิทย์ตรีเนตร. 2562. เอกสารประกอบการสอน “คม 325 ชีวเคมี 2 เนื้อหา
เมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต”. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

หลักการสอนและการออกข้อสอบ

*** เนื่องจากเป็นวิชาชีวเคมีสำหรับนักศึกษาในสาขา เนื้อหา Carbohydrate structure จะมีลักษณะเป็นความรู้ตั้งแต่เบื้องต้นที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และเป็นการปรับพื้นฐานสำหรับนักศึกษาที่เรียนด้าน carbohydrate metabolism ต่อไป

**** เอกสารการสอนยังไม่ใช้ความรู้ที่เป็นที่สุุด ยังสามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากความก้าวหน้าทางสาขาชีวเคมี มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

*** ความรู้จากเอกสารการสอนที่แจกให้ 70% ความรู้ที่แทรกระหว่างการสอน 30%

*** มีคะแนนเข้าชั้นเรียนบวกเพิ่มในคะแนนข้อสอบ 8 คะแนนในแต่ละบท โดยตรวจเช็คตราประทับของการเขียนทบทวนเนื้อหาท้ายชั่วโมงที่จะต้องมีการครบ 7 ครั้ง โดยขาดหนึ่งครั้งคะแนนจะเหลือ 5 คะแนน ขาดสองครั้งจะเหลือ 3 คะแนน

*** ข้อสอบเป็นแบบอัตนัย ในลักษณะตอบคำถาม เขียนพรรณนาบรรยายความรู้ เขียนโครงสร้าง สมการปฏิกิริยาเคมี และการเติมคำสั้นๆให้ได้ใจความ

“นักศึกษาจะต้องสามารถนำเสนอความรู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงหรือแวดล้อมในส่วนเนื้อหาบทที่เรียนในเรื่องเดียวกันมาใช้ในการตอบได้”

การเก็บคะแนนแต่ละบท

Search

Teams

83 คม491 สัมมนา (กลุ่ม 1) 8...

ทิมสไล

แผนทรัพยากรธรรมชาติ

คม325 ชีวเคมี 2 2/64

General

คป คม326 ปฏิบัติการชีวเคมี 2...

General

วท101 วิทยาศาสตร์เพื่อชี...

General

วท101 วิทยาศาสตร์เพื่อชี...

General

วท101 วิทยาศาสตร์เพื่อชี...

General

คม320 อ ศ 11-12.30 น

General

Join or create a team

General

Posts

Files

Assignments

3 more

Assigned

Returned

Drafts

01 ทบทวนเนื้อหา CHO metabolism ครั้งที่ 01

Due today at 11:59 PM

Scheduled

Create

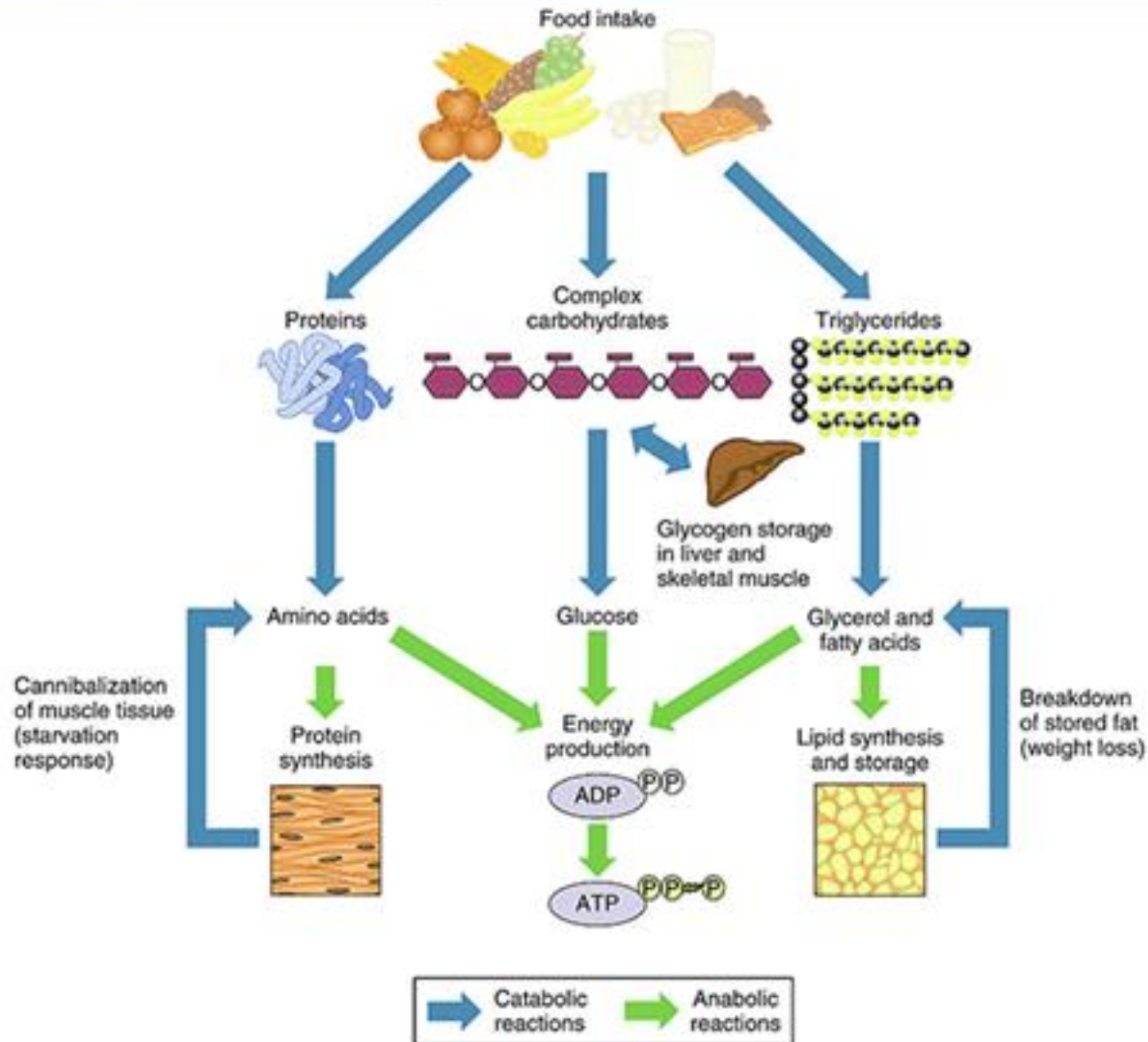
22 พฤศจิกายน 2564

จันทร์

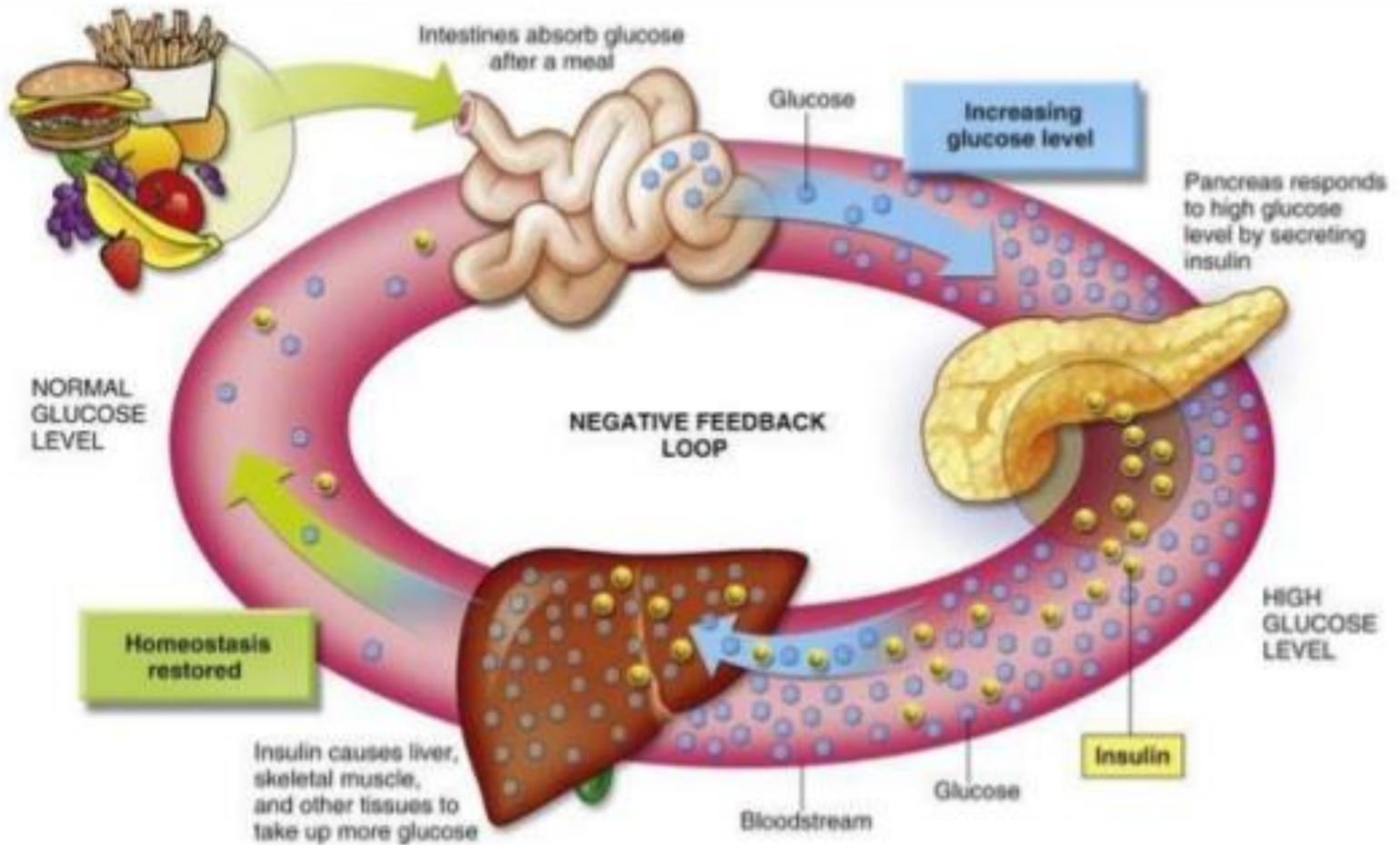
1:55

22/11/2564

Carbohydrate Metabolism



Normal Carbohydrate metabolism



การย่อย CHO

CHO metabolism

การเคี้ยวในปาก



สัตว์ส่วนใหญ่ มี
 α amylase สลายพันธะ α (1--->4)

**เฉพาะ Bacteria และสัตว์เคี้ยวเอื้องมี
Cellulase สลายพันธะ β (1--->4)

การย่อยในกระเพาะ

การย่อยในลำไส้เล็ก



มีการย่อย Disaccharides



ได้ maltose glucose และ
Oligosaccharides



ย่อย Cellulose

ได้ glucose

หมัก

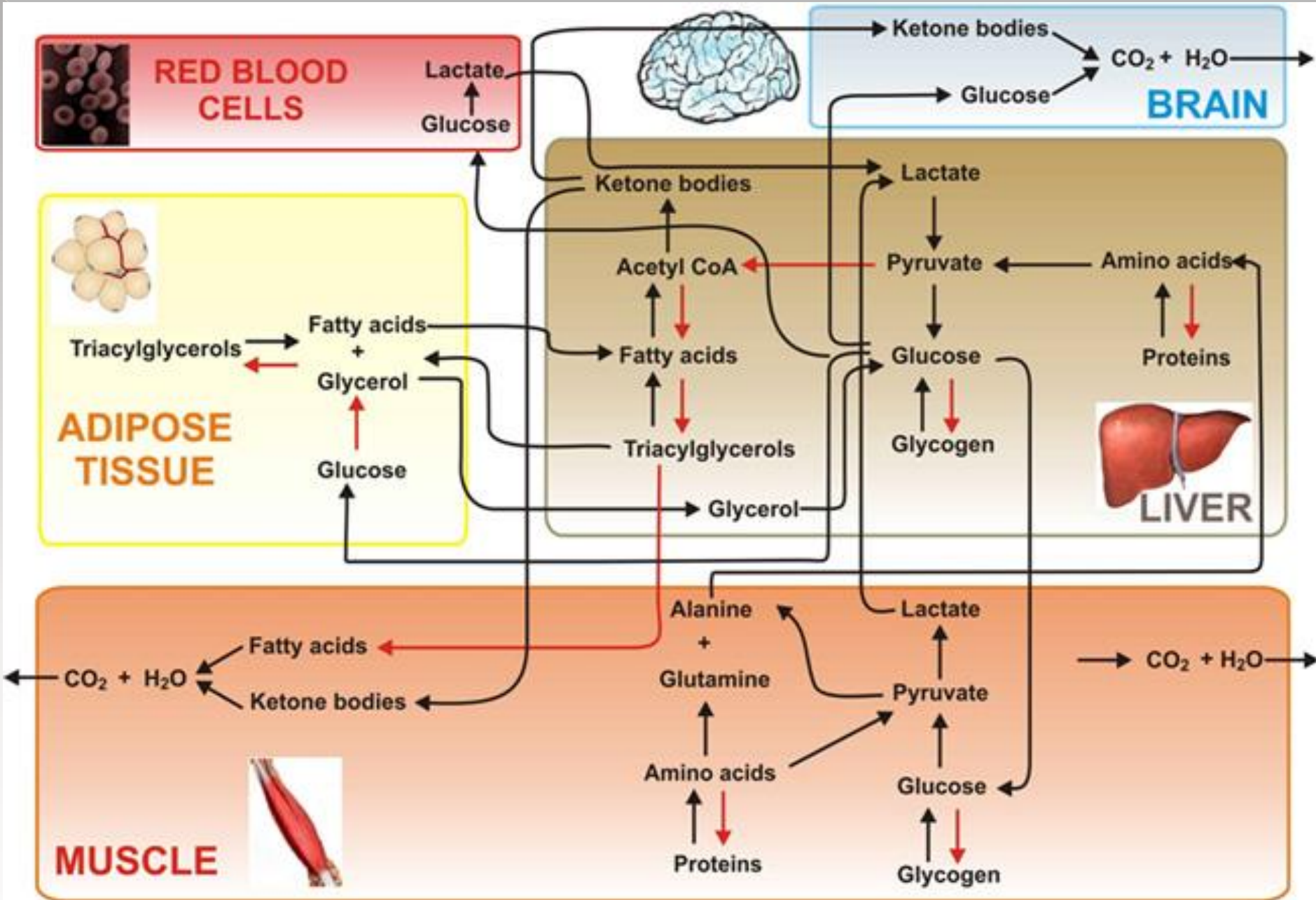
ได้ acetate และ
propionate

กระแสดเลือด

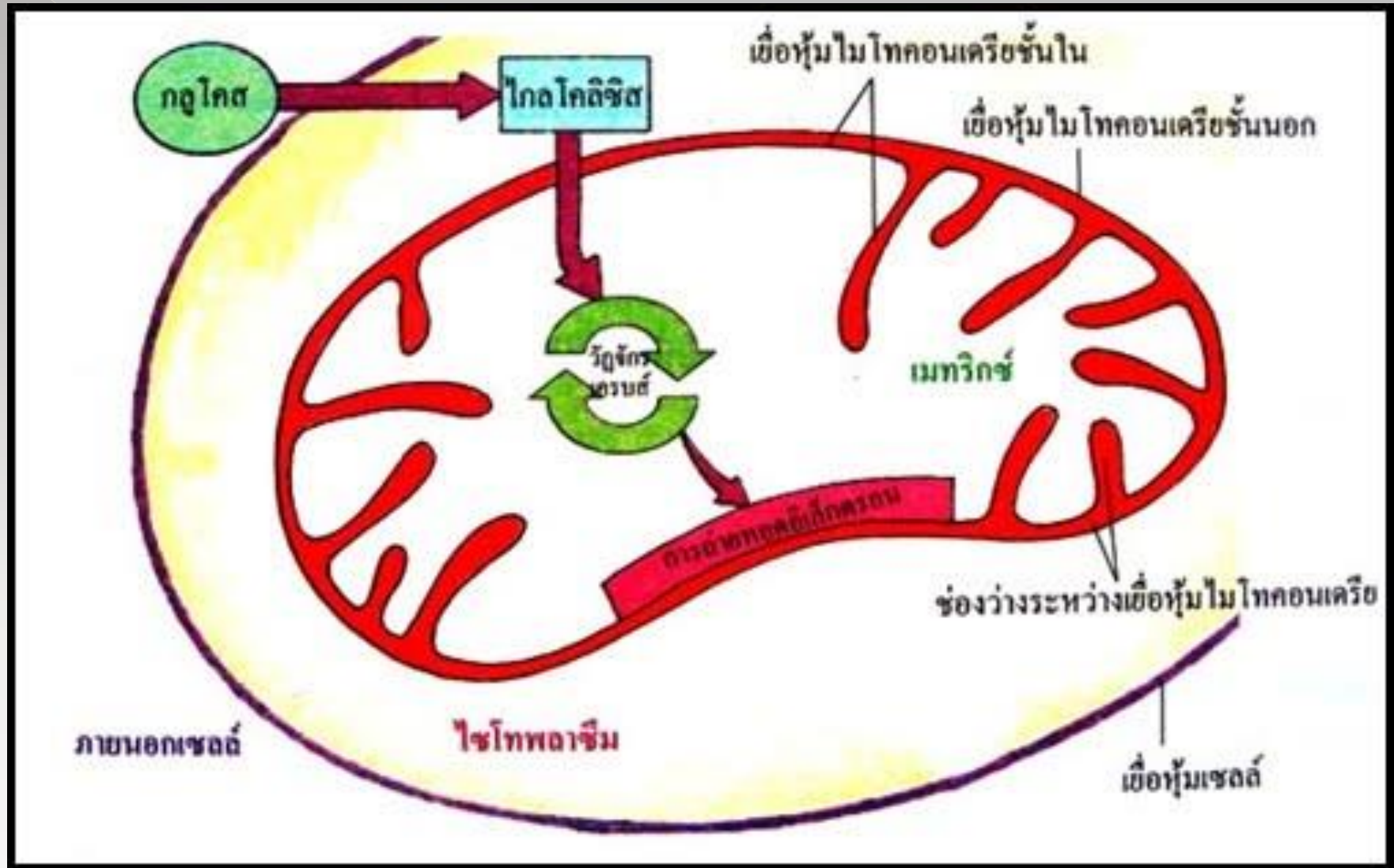
Saccharose- α -D-glucohydrolase
(Sucrase)

β Galactosidase(lactase)

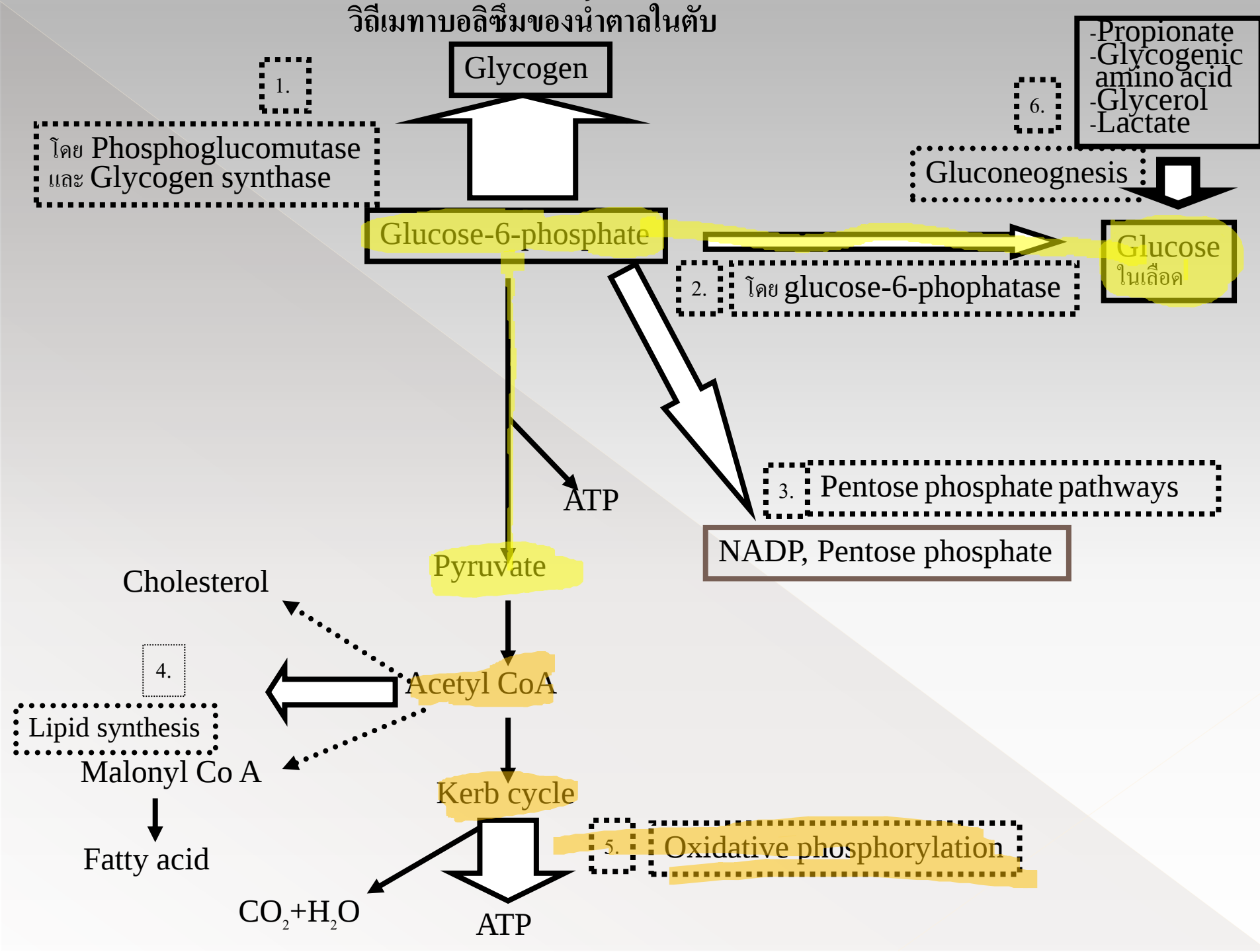
α -D-Glucosidase (maltase)

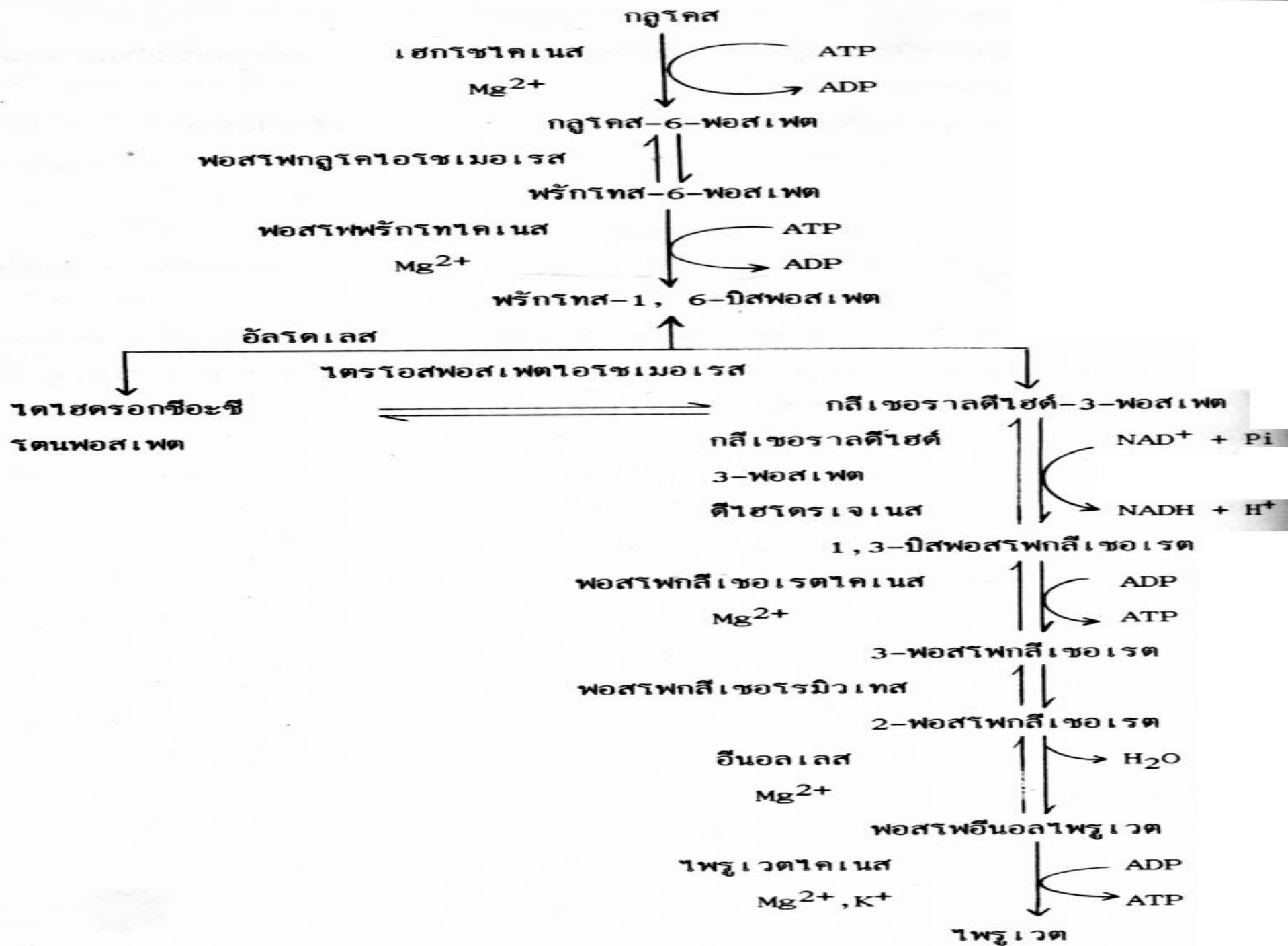


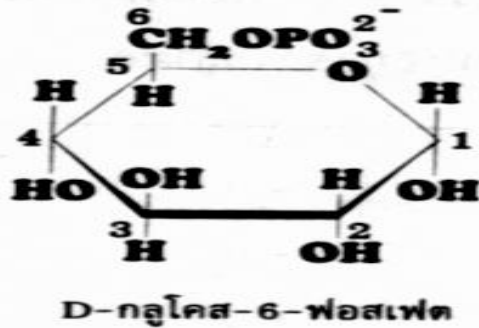
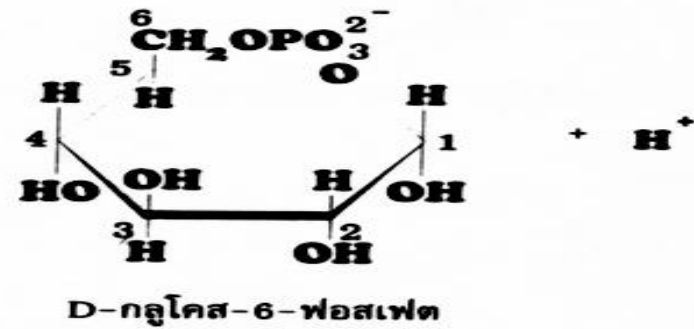
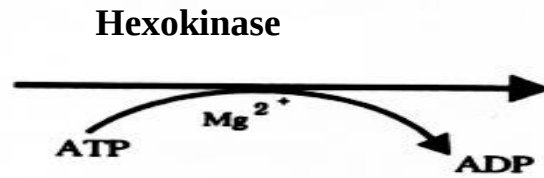
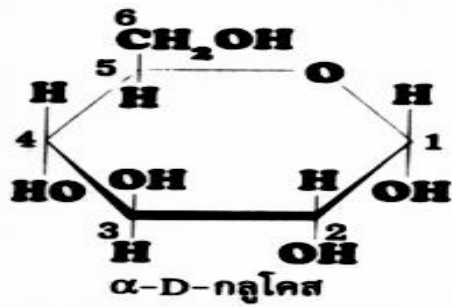
CHO metabolism



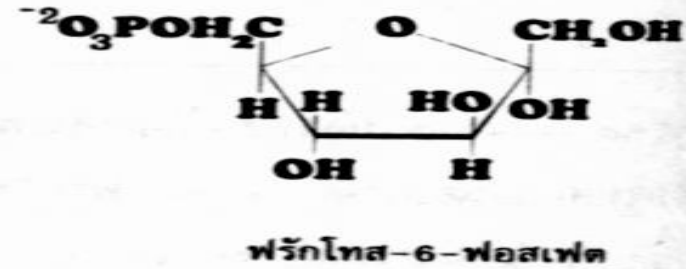
วิถีเมแทบอลิซึมของน้ำตาลในตับ



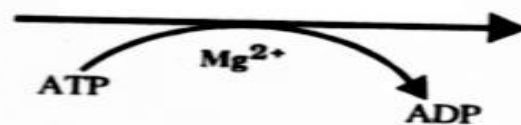
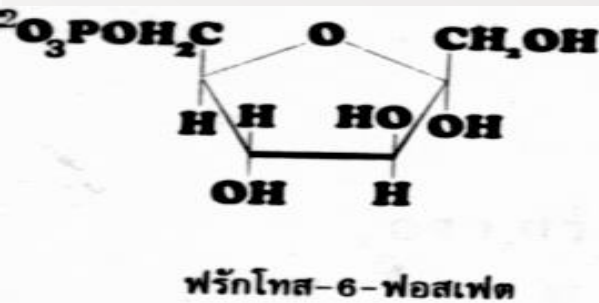




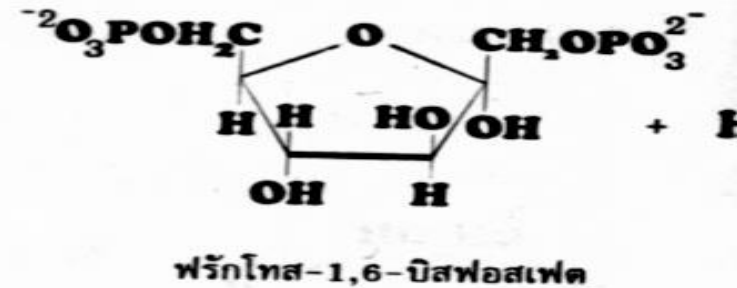
Phosphoglucoisomerase

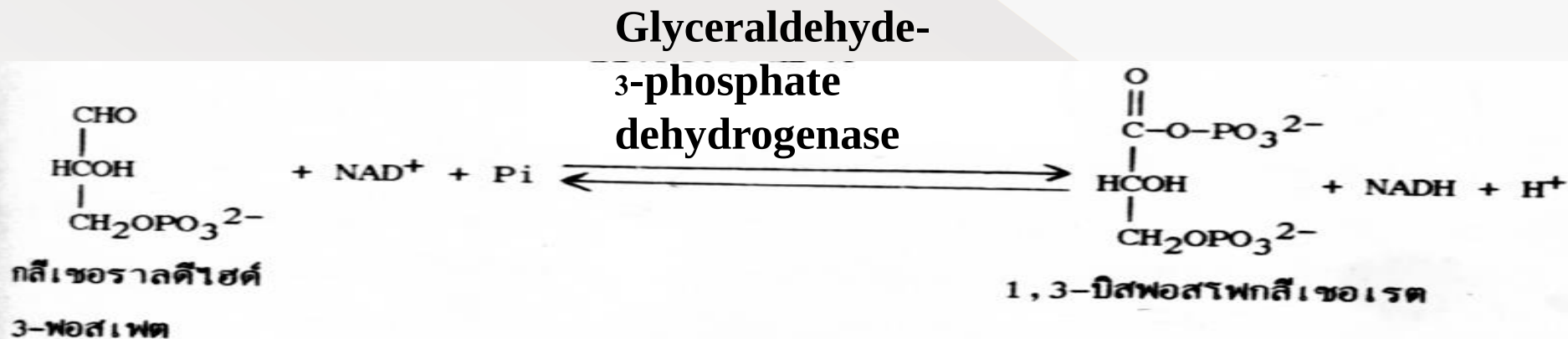
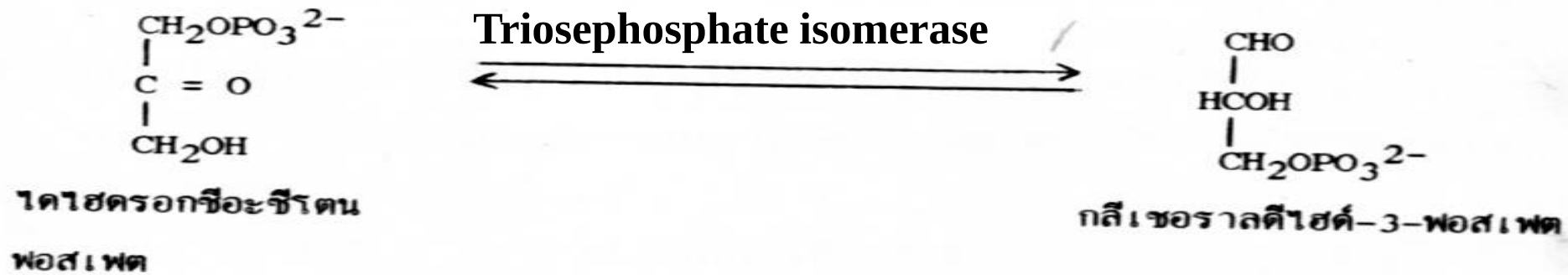
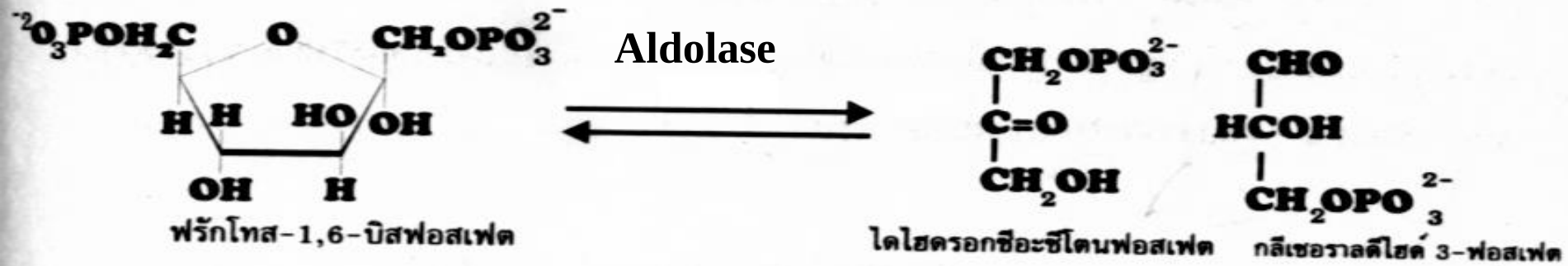


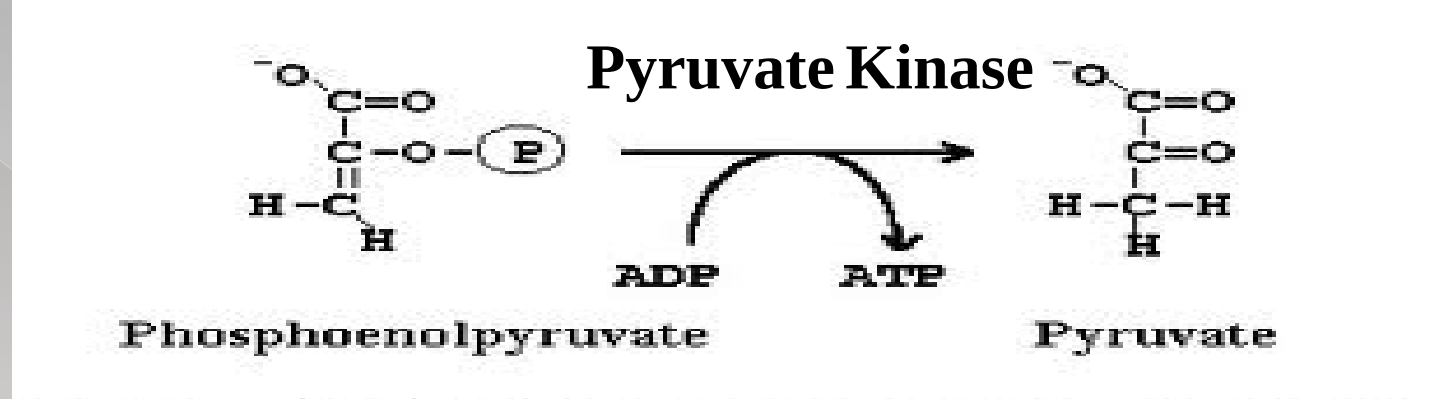
Phosphofructokinase



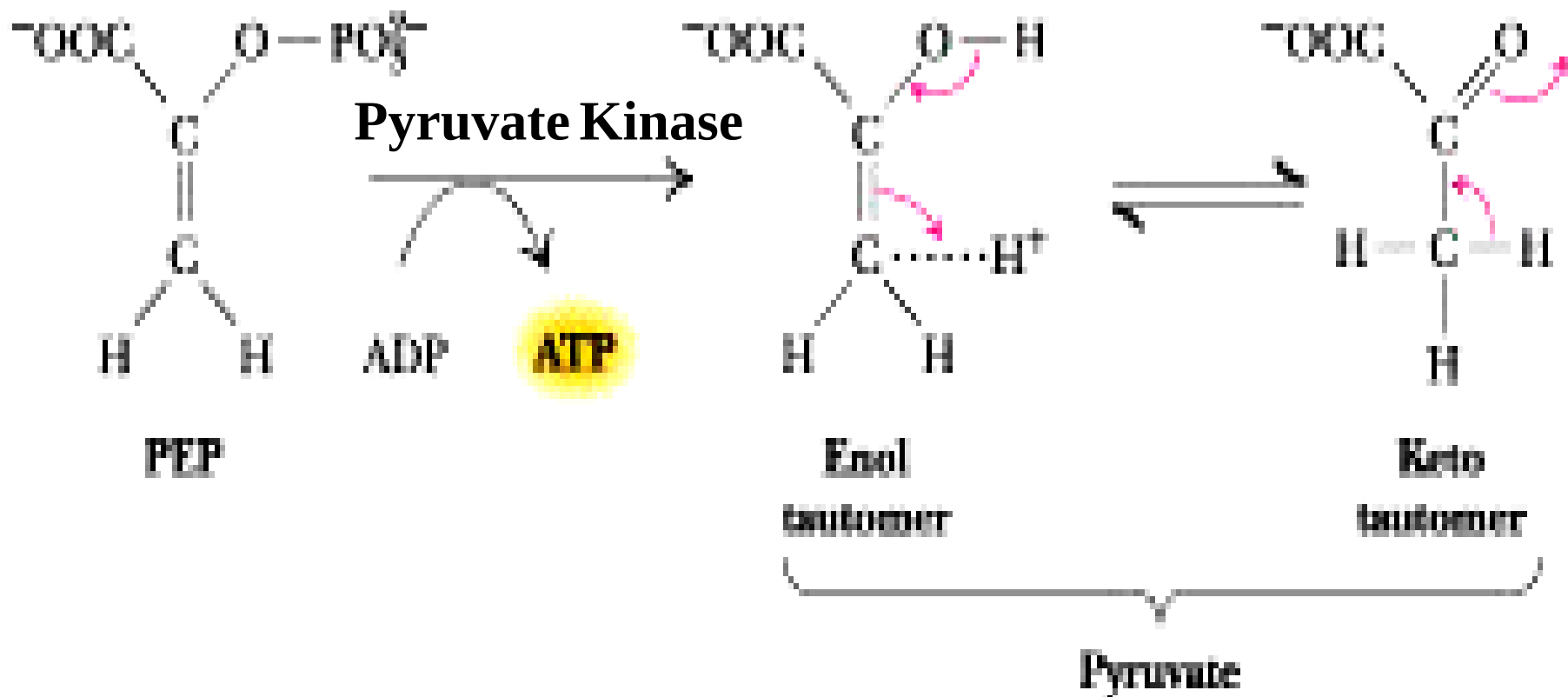
เป็น allosteric enzyme
+ โดย AMP
- โดย ATP, Citrate





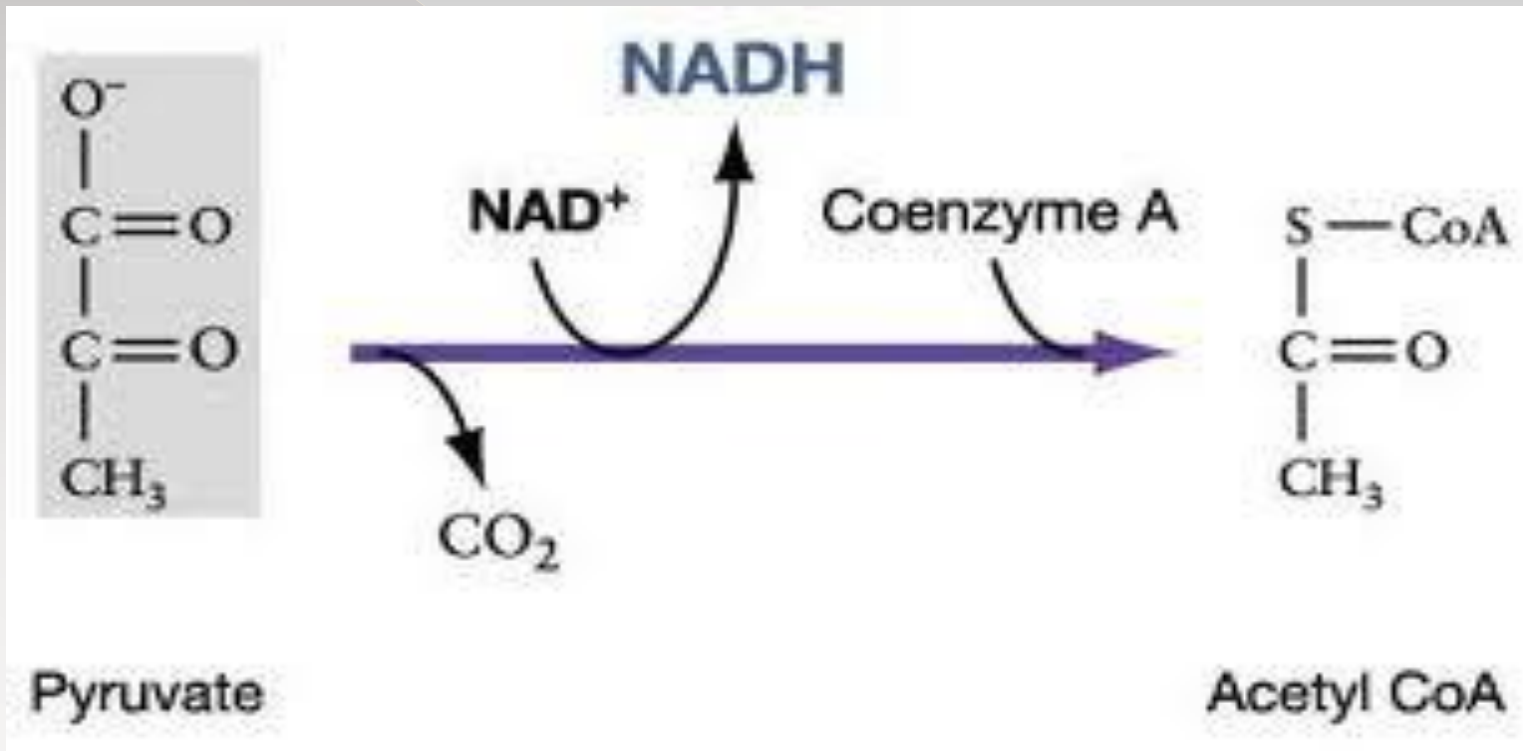


Pyruvate status



สภาวะปกติ

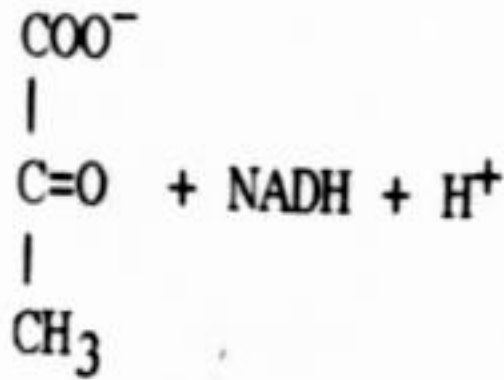
- สิ่งแวดล้อม ที่มี O_2 มาก



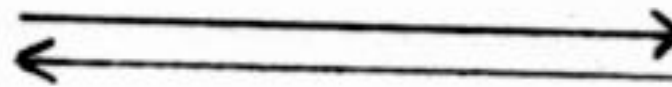
สภาวะที่แตกต่างกัน

- สิ่งแวดล้อม ที่มี O_2 น้อย

- Skeletal muscle

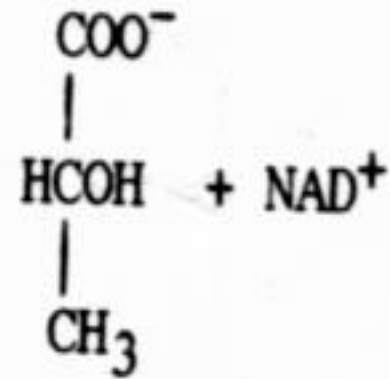


ไพรูเวต



Lactate dehydrogenase

เป็น Isozyme และ
มีลักษณะ allosteric enzyme
โดย +/- pyruvate

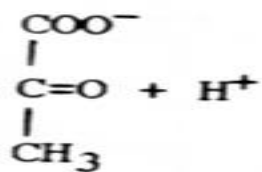


แลกเตต

สภาวะที่แตกต่าง

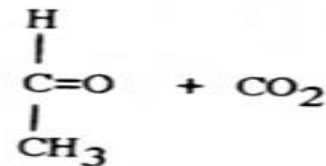
- สิ่งแวดล้อม ที่มี O_2 น้อย

- Yeast



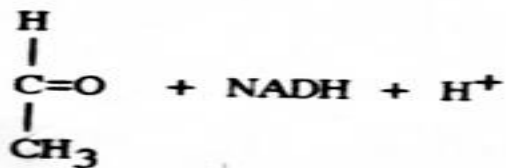
ไพรูเวต

Pyruvate decarboxylase



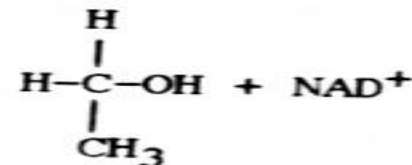
อะซีตัลดีไฮด์

1.



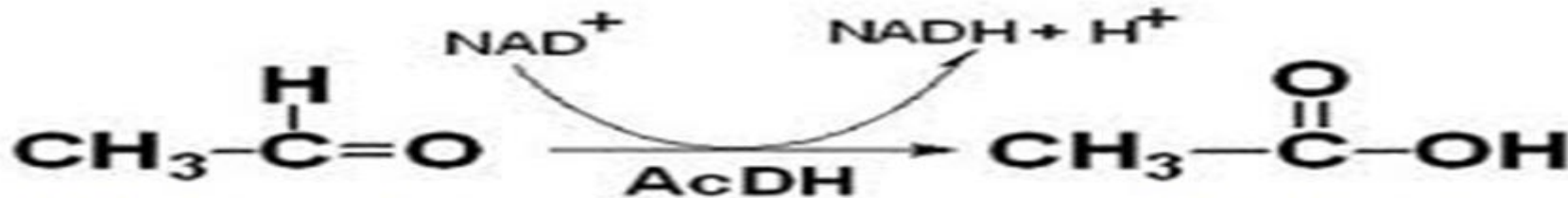
อะซีตัลดีไฮด์

Alcohol dehydrogenase



เอทานอล

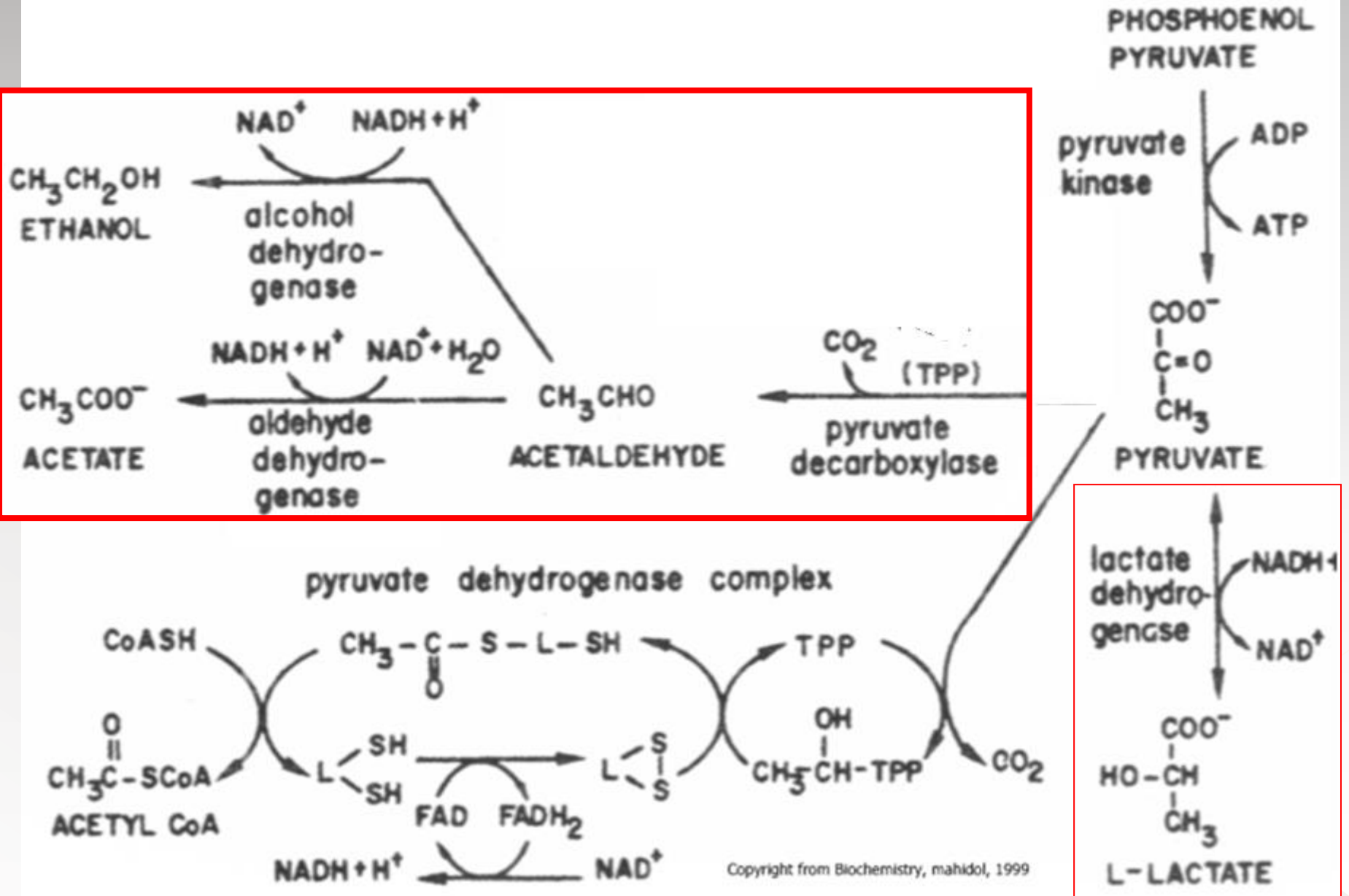
2.



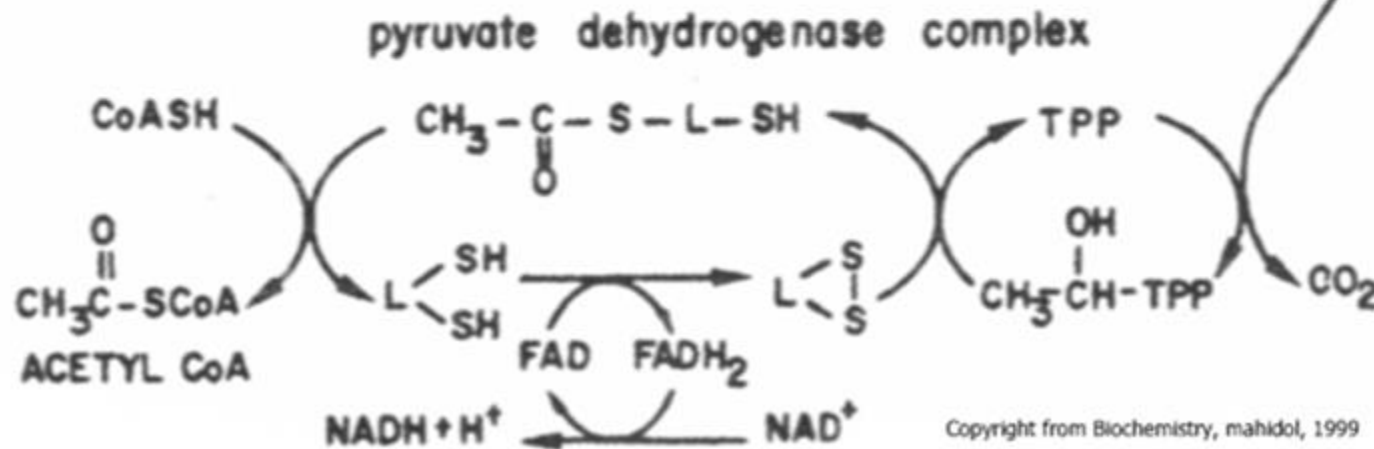
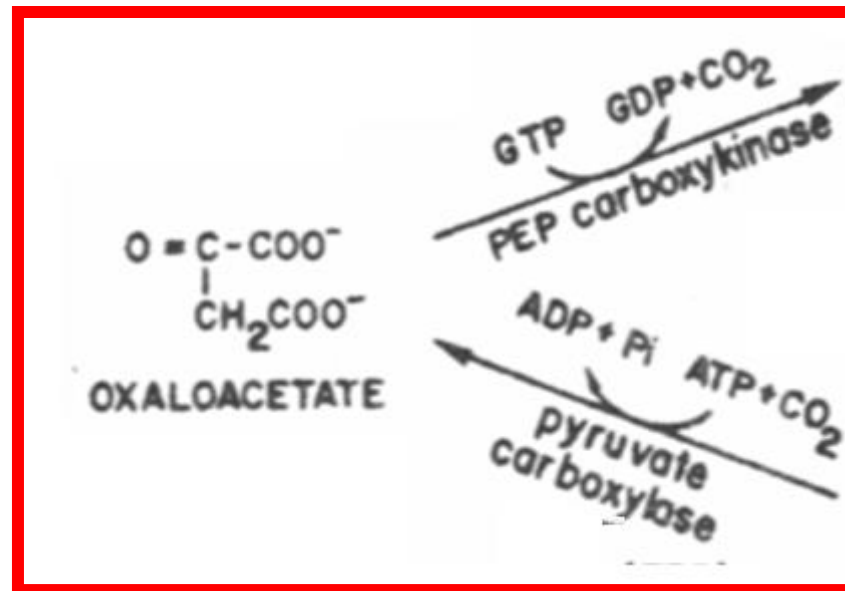
Acetaldehyde

Acetate

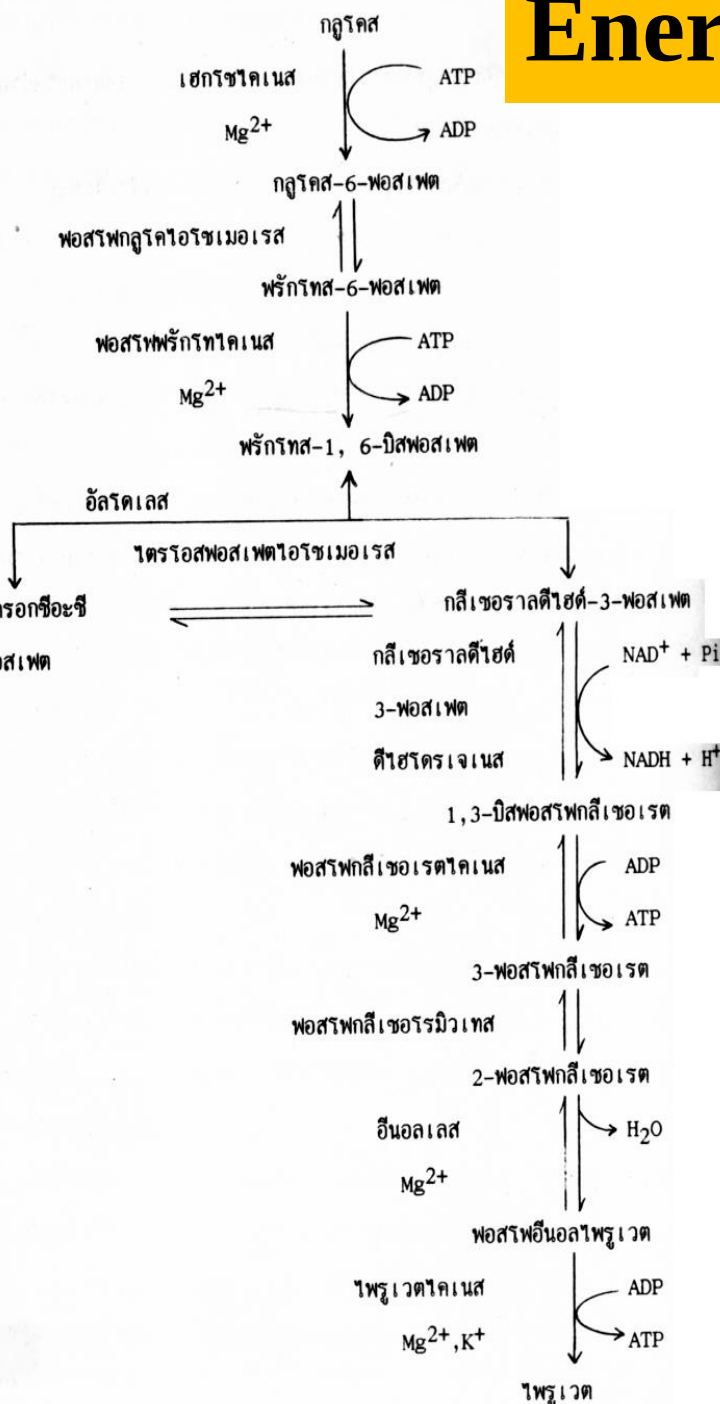
Total pathways of pyruvate



Total pathways of pyruvate



Energy calculation of glycolysis



ปฏิกิริยา

จำนวน ATP ที่เปลี่ยนแปลงต่อ

1 โมเลกุลของกลูโคส

กลูโคส → กลูโคส-6-ฟอสเฟต - 1

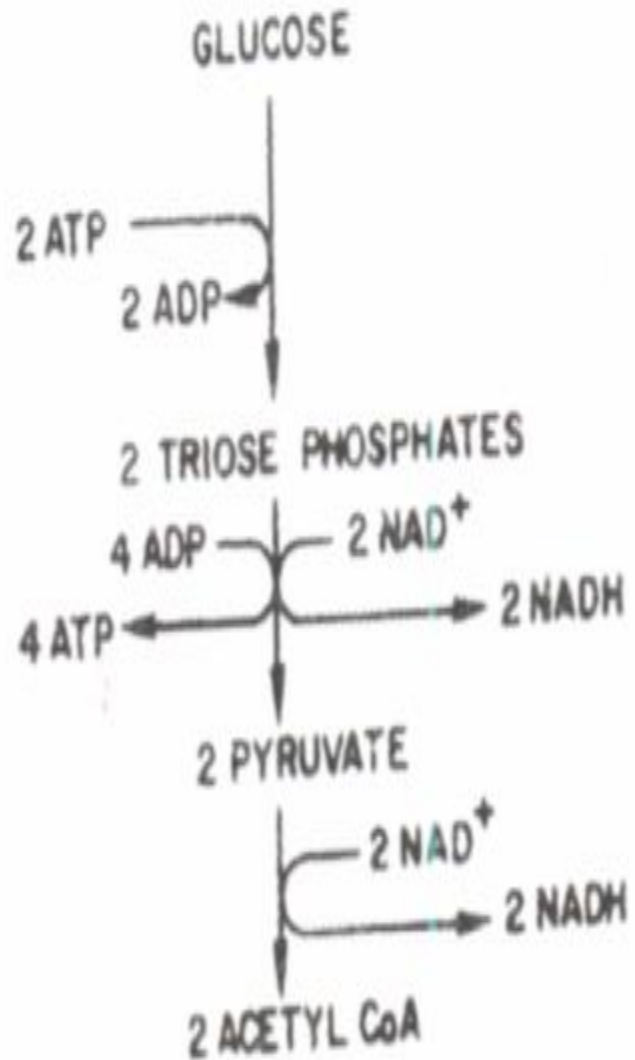
ฟรักโทส-6-ฟอสเฟต → ฟรักโทส-1,6-บิสฟอสเฟต - 1

2 (1,3-บิสฟอสฟอกลีเซอเรต) → 2(3-ฟอสฟอกลีเซอเรต) + 2

2 ฟอสโฟอินอลไพรูเวต → 2 ไพรูเวต + 2

รวม : + 2

Energy calculation of glycolysis



Copyright from Biochemistry, mahidol, 1999

Direct ATP

$$(-2) + (+4) = 2 \text{ ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \dots \times 3 = \dots \text{ATP}$$

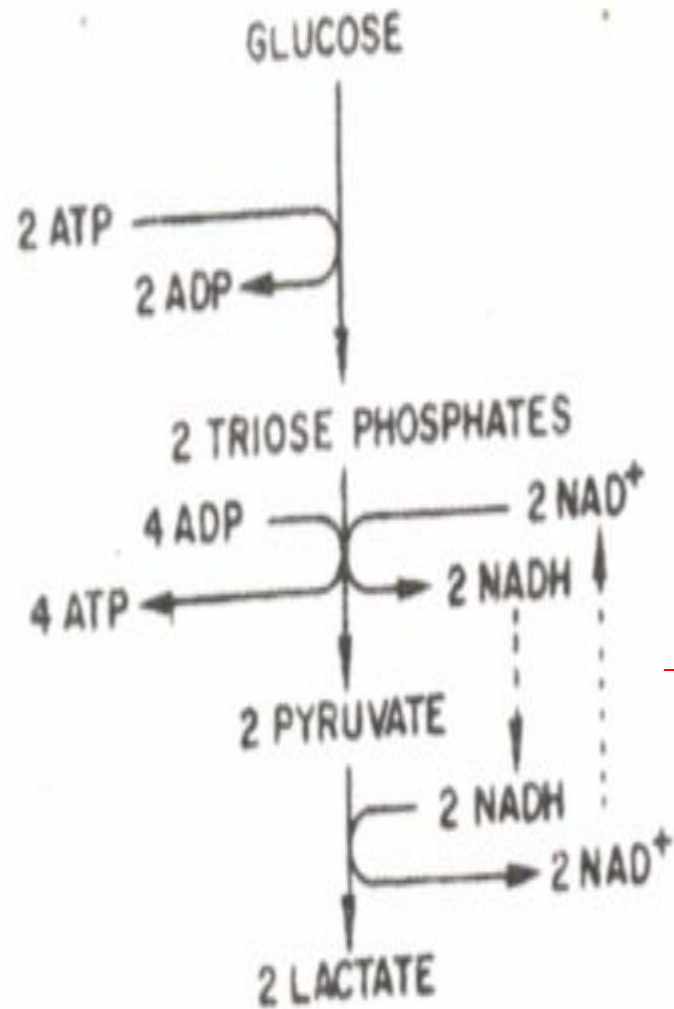
Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \dots \times 3 = \dots \text{ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{Acetyl CoA} \dots \times 12 = \dots \text{ATP}$$

Energy calculation of glycolysis



Copyright from Biochemistry, mahidol, 1999

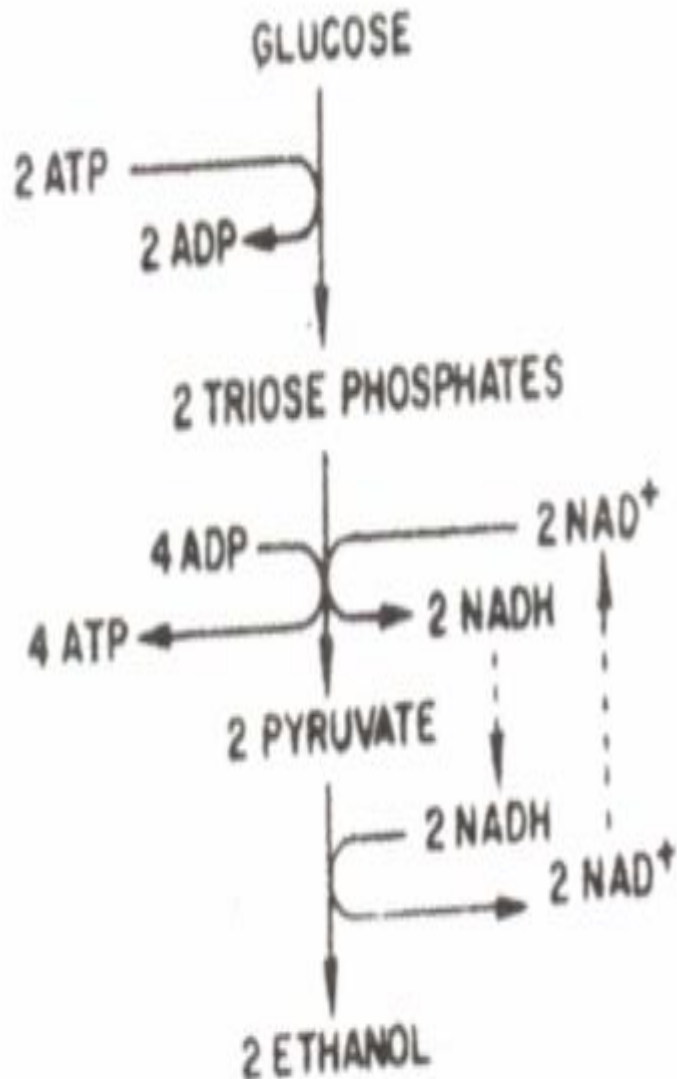
Direct ATP

$$(-2) + (+4) = 2 \text{ ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \dots\dots \times 3 = \dots\dots \text{ATP}$$

Energy calculation of glycolysis



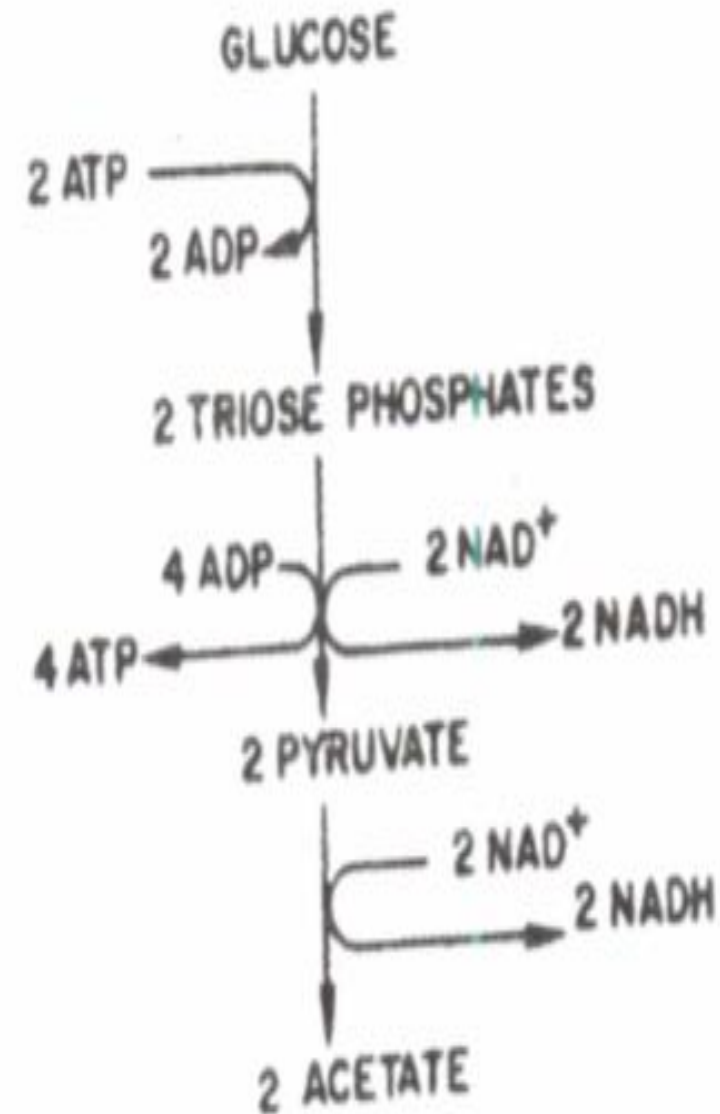
Direct ATP

$$(-2) + (+4) = 2 \text{ ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \dots\dots \times 3 = \dots\dots \text{ATP}$$

Energy calculation of glycolysis



Direct ATP

$$(-2) + (+4) = 2 \text{ ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \dots \times 3 = \dots \text{ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \dots \times 3 = \dots \text{ATP}$$

Mechanism of Glycolytic Enzymes

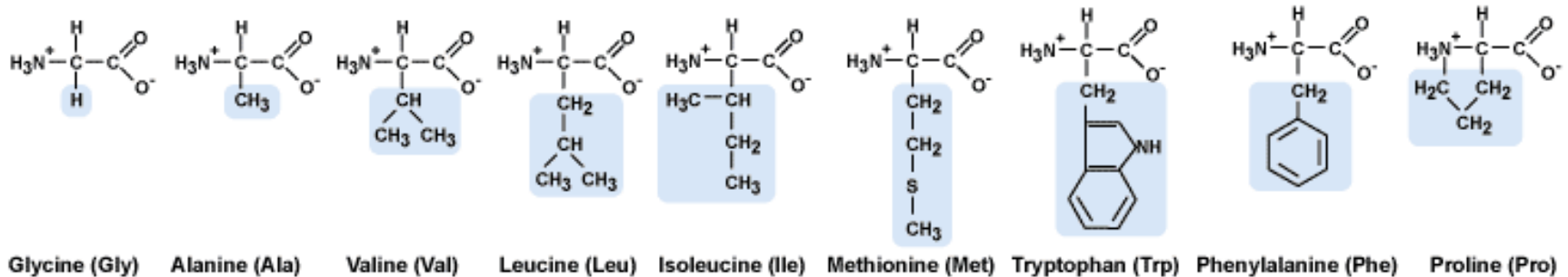
Basic knowledge of enzyme class

ENZYME CLASS	REACTION TYPE	EXAMPLES
Oxidoreductases	Reduction-oxidation (redox)	Lactate dehydrogenase
Transferases	Move chemical group	Hexokinase
Hydrolases	Hydrolysis; bond cleavage with transfer of functional group of water	Lysozyme
Lysases	Non-hydrolytic bond cleavage	Fumarase
Isomerases	Intramolecular group transfer (isomerization)	Triose phosphate isomerase
Ligases	Synthesis of new covalent bond between substrates, using ATP hydrolysis	RNA polymerase

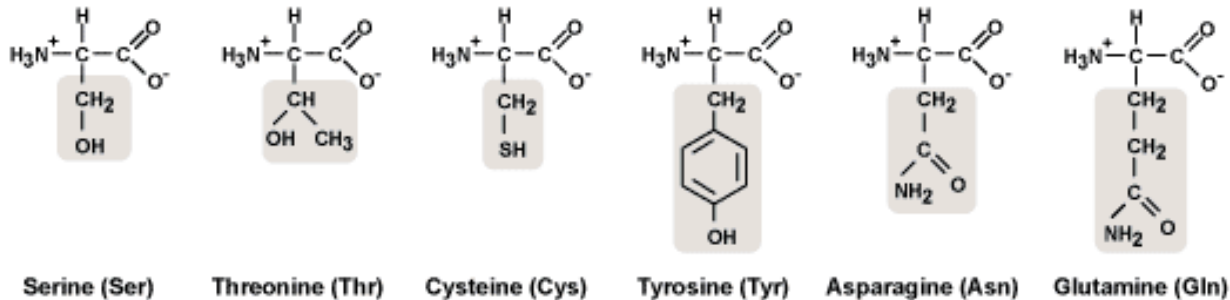
Mechanism of Glycolytic Enzymes

Basic knowledge of amino acid structure

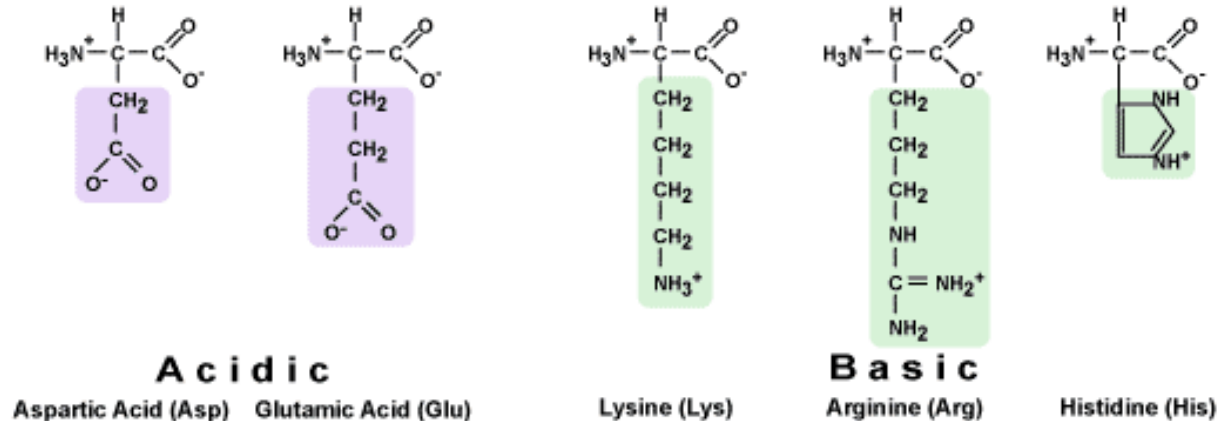
NONPOLAR



POLAR



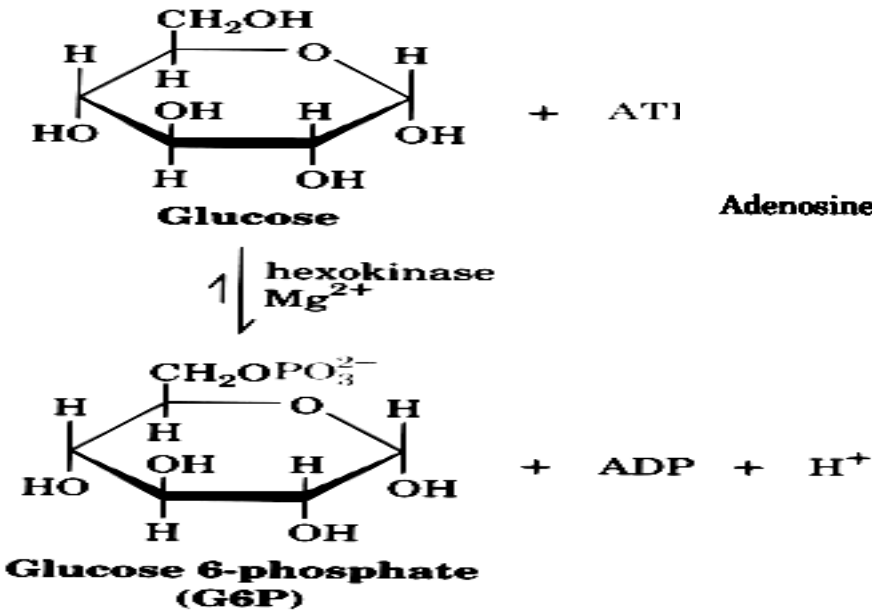
Electrically Charged



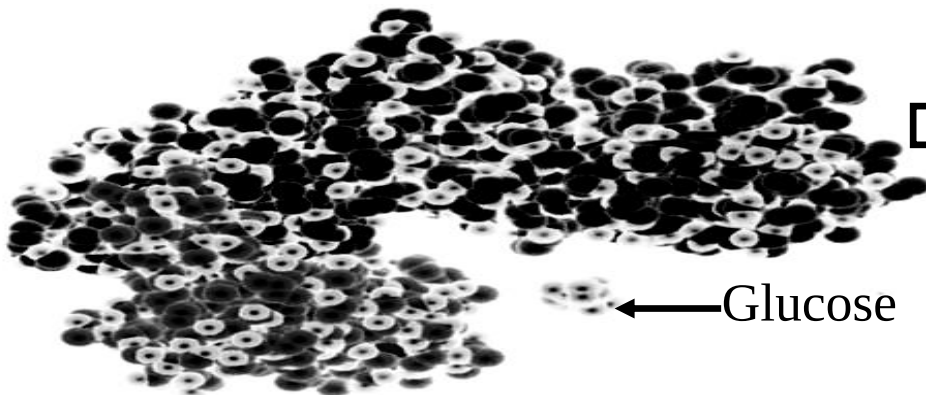
Mechanism of Glycolytic Enzymes

1. Hexokinase

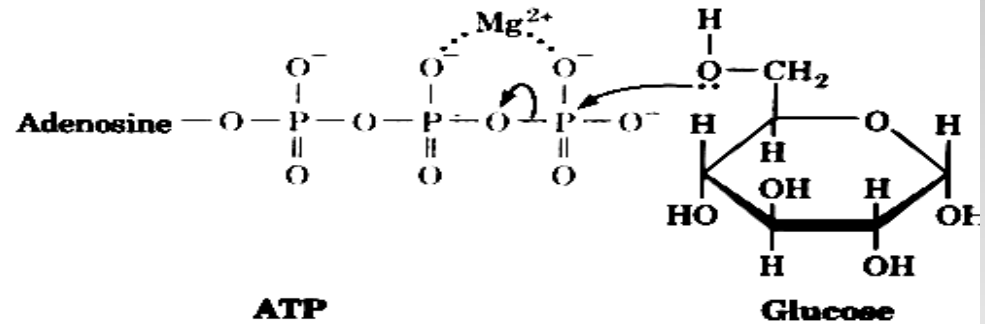
- ลักษณะการทำงาน



- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ Glucose ของ Hexokinase

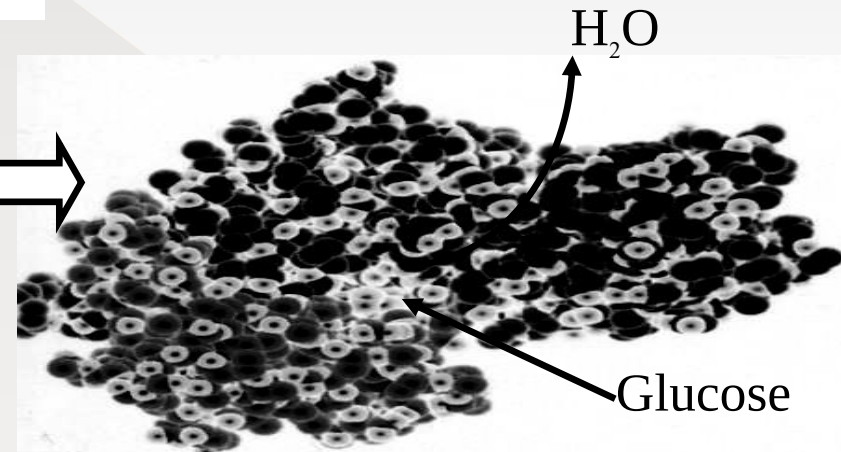


- กลไกของปฏิกิริยา



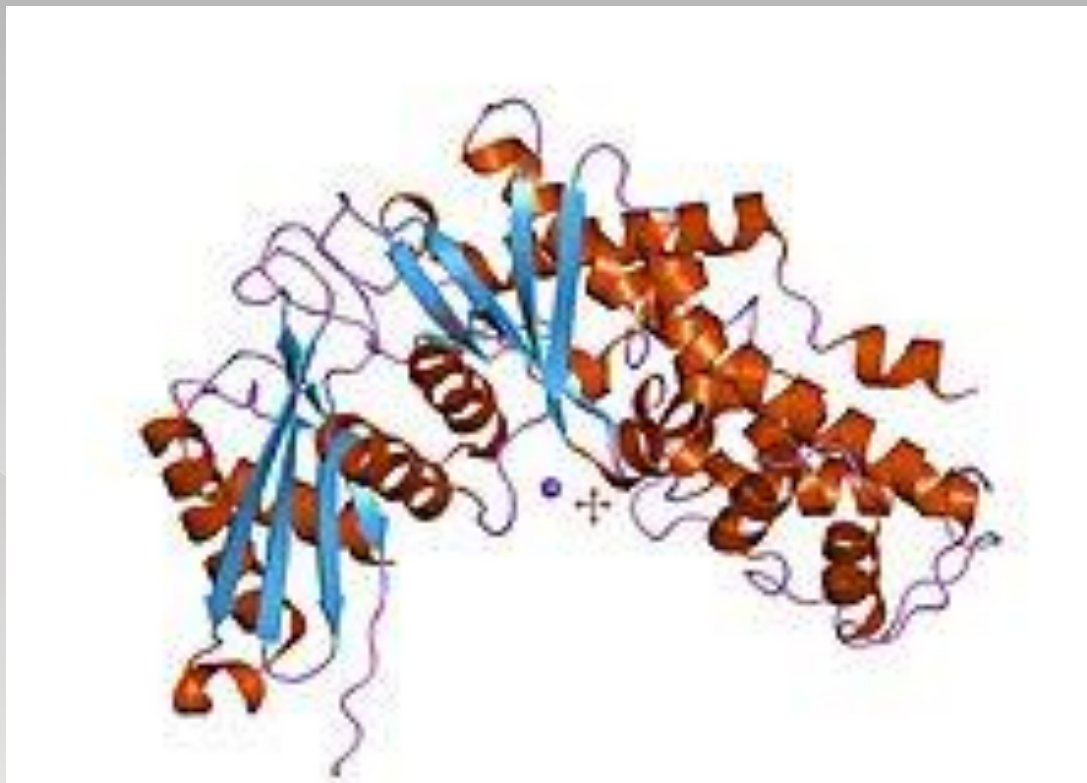
** เกิดการทำปฏิกิริยา

ในลักษณะ Nucleophilic reaction ของ C6-OH group



เอนไซม์จะ form ลักษณะ complex ของ glucose และ Mg⁺-ATP ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้น และมีการเปลี่ยนรูปร่างเอนไซม์ใน Rx

Hexokinase_1



Copyright from by <http://en.wikipedia.org/wiki/Hexokinase#Variation>

- 4 mammalian hexokinase isozymes (EC 2.7.1.1)

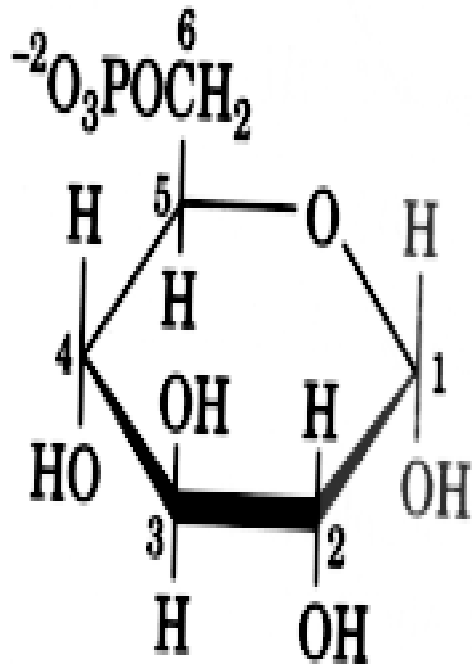
In hexokinases I, II, III, and IV or hexokinases A, B, C, and D.

- in subcellular locations and kinetics

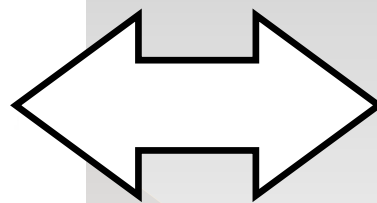
- different substrates and conditions, and physiological function.

2. Phosphoglucose isomerase

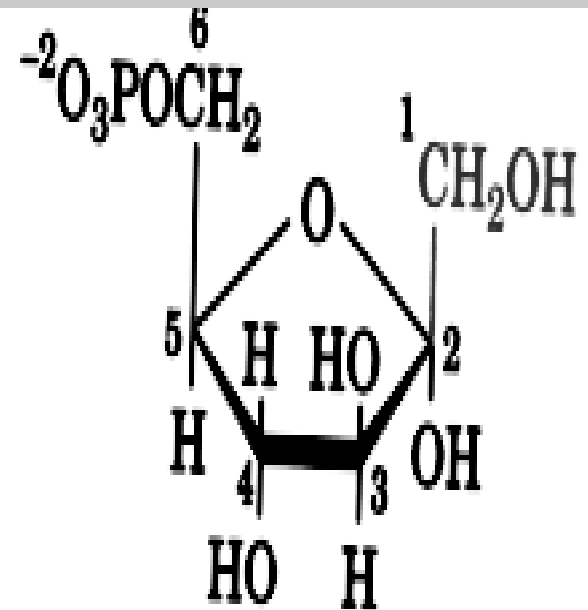
- ลักษณะการทำงาน



Glucose 6-phosphate (G6P)

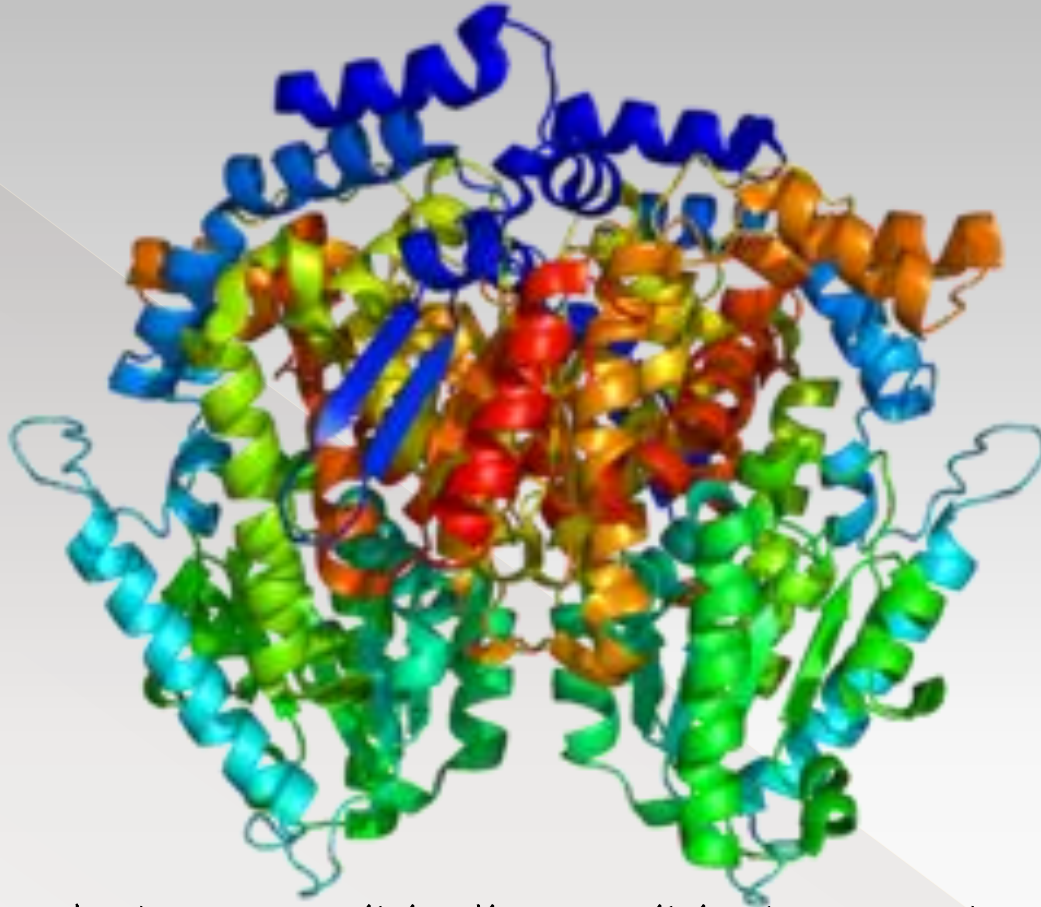


phosphoglucose
isomerase (PGI)



Fructose 6-phosphate (F6P)

Glucose-6-phosphate isomerase E.C. 5.3.1.9

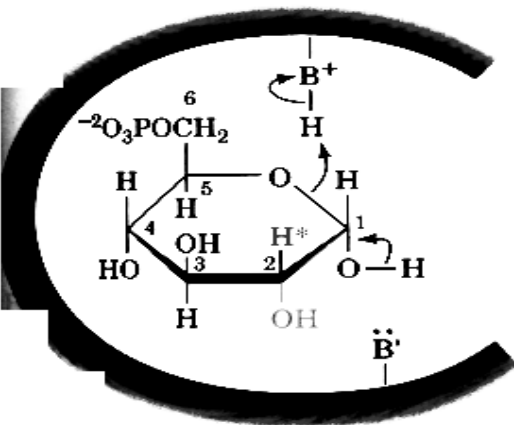
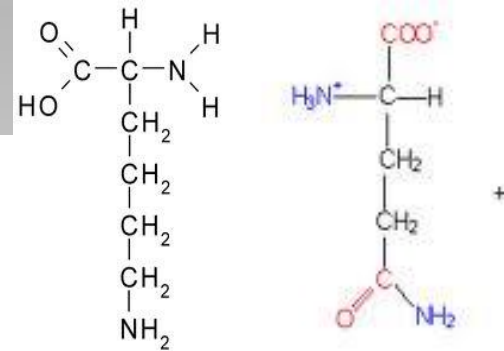


Copyright from by http://en.wikipedia.org/wiki/Glucose-6-phosphate_isomerase

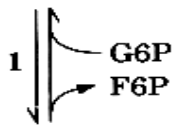
Multifunctional proteins

- In Cytosplasm >>> glucolysis + gluconeogenesis
- In Outside of cell >>>> neurotropic factor

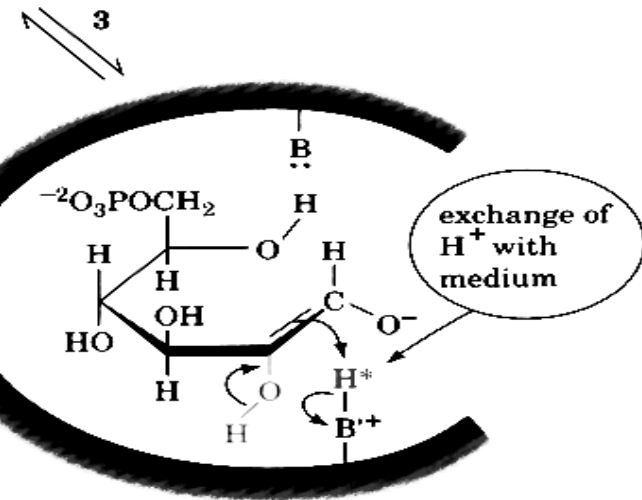
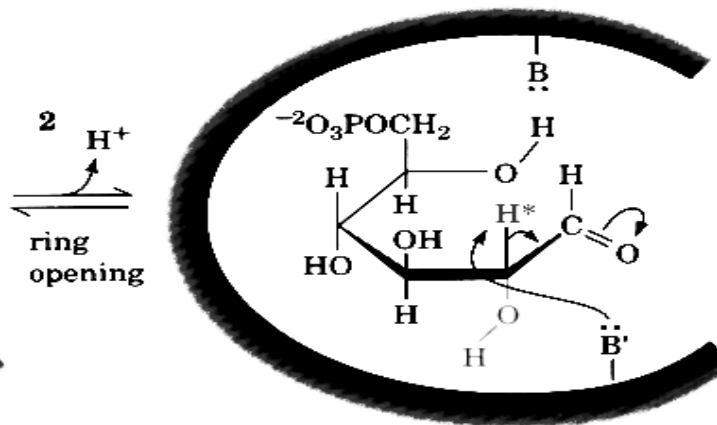
- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ Glucose- 6P ของ
 Phosphoglucose isomerase ที่ตำแหน่ง BH^+ (Lys) และ B^- (Glu)



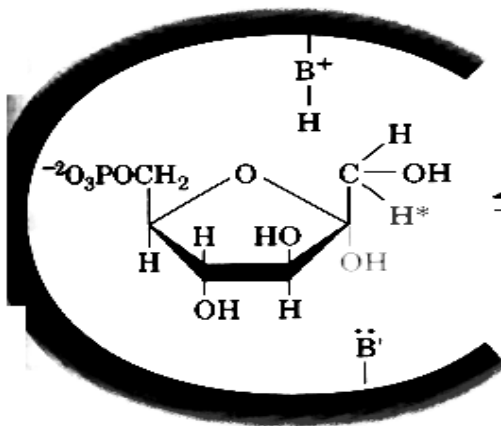
Glucose-6-phosphate (G6P)



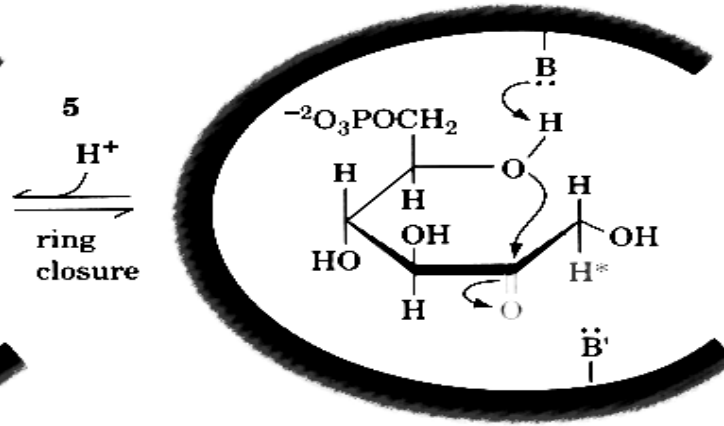
***MECHANISM BY
 ENEDIOL INTERMEDIATE***



cis-Enediolate intermediate



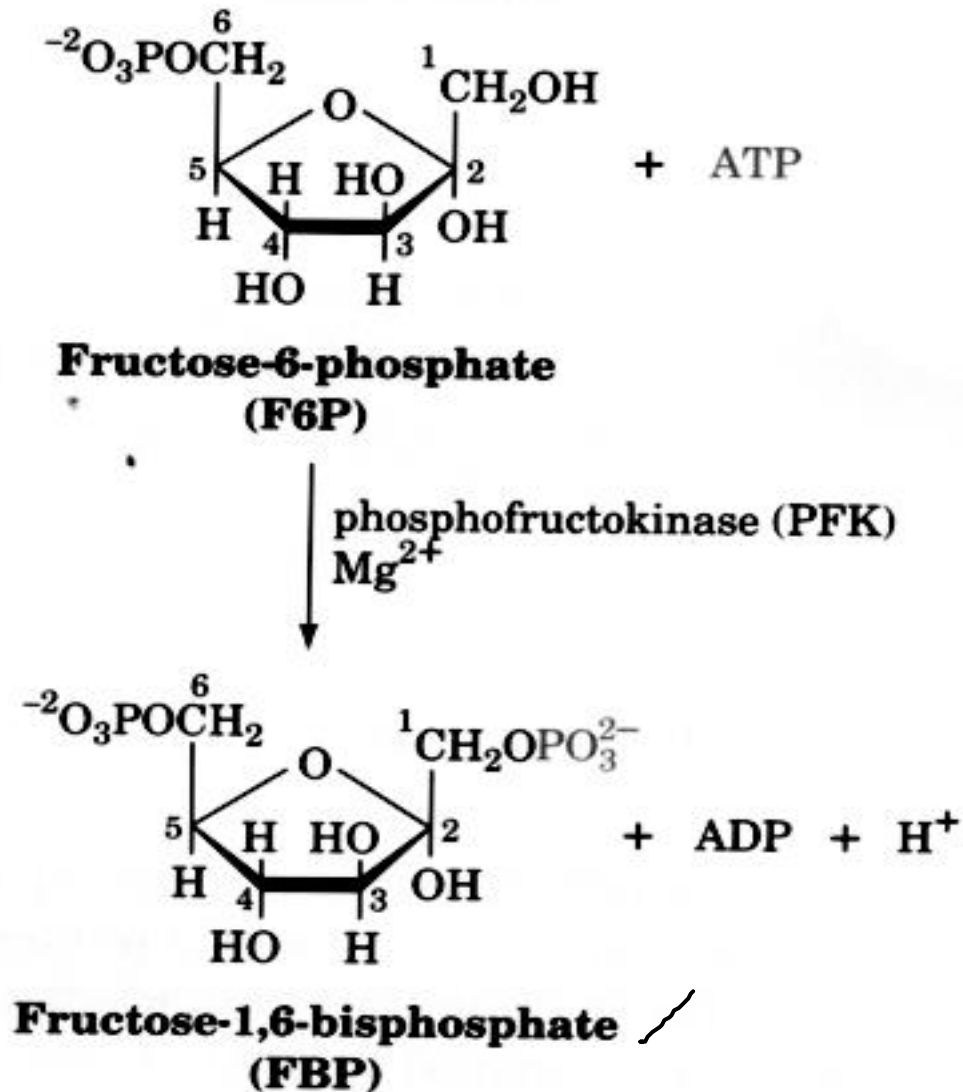
Fructose-6-phosphate (F6P)



** ข้อสังเกตของ Rx มีการย้าย Proton จาก C2 ไปยัง C1

ทบทวนเนื้อหา 01

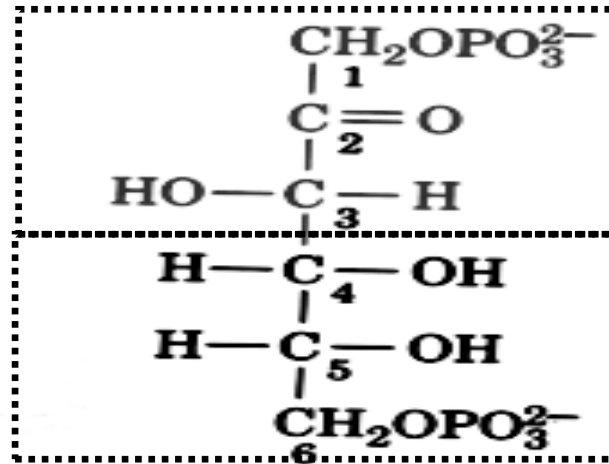
3. Phosphofructokinase



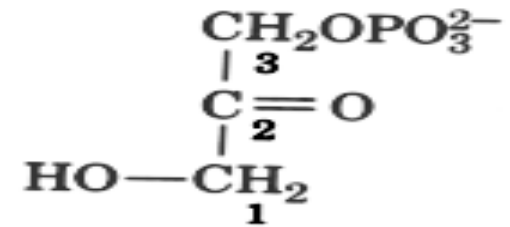
- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ
F6P
ของ
Phosphofructokinase
เหมือน
กับ Hexokinase

4. Aldolase

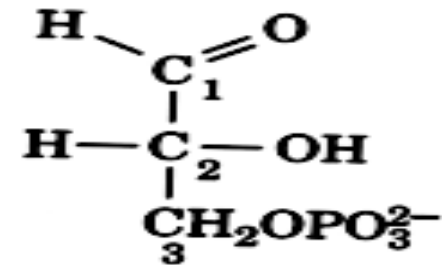
Dihydroxy-acetone phosphate (DHAP)



Fructose-1,6-bisphosphate (FBP)

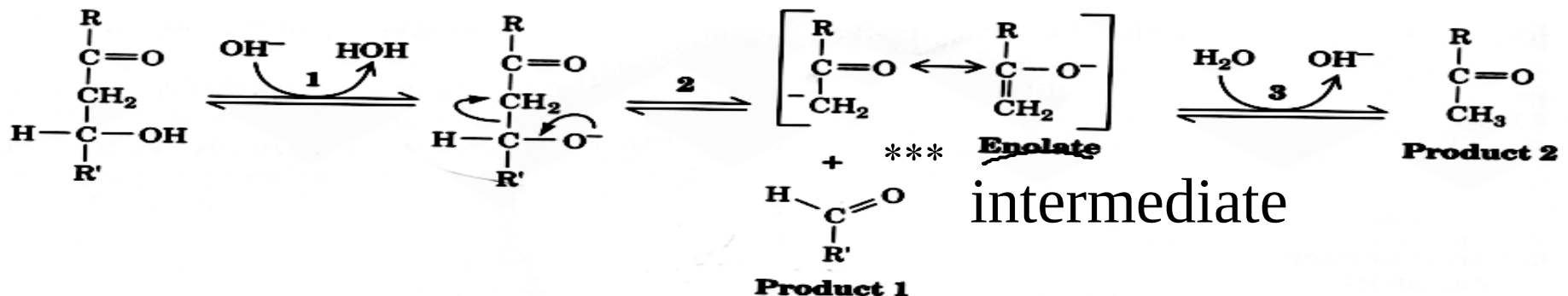


+

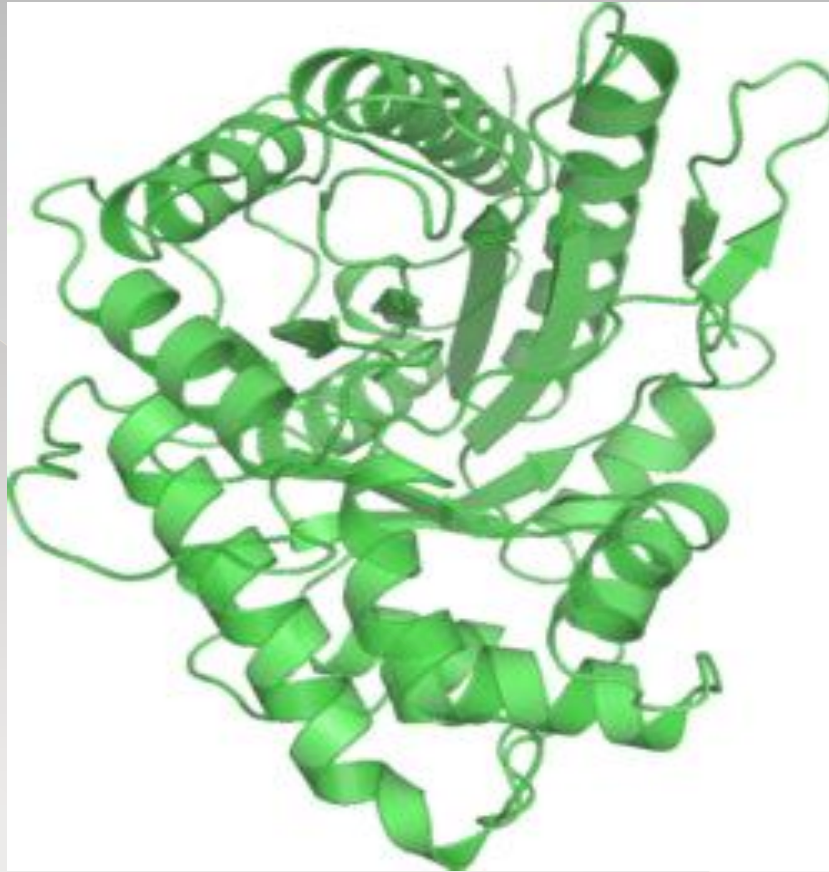


Glyceraldehyde-3-phosphate (GAP)

- กลไกโดยทั่วไปของปฏิกิริยา



Aldolase



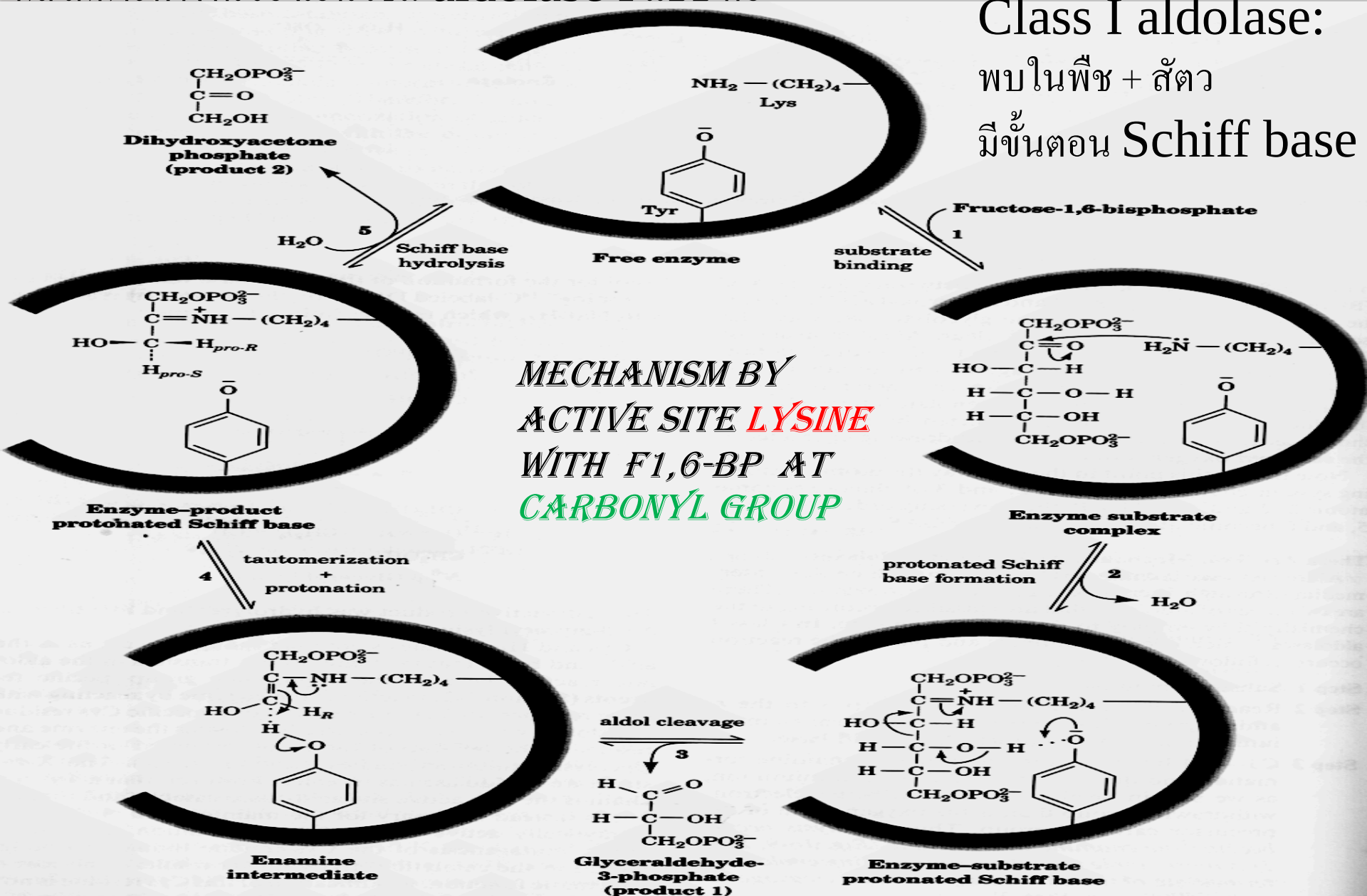
- EC 4.1.2.13

*** การทำให้เกิด stability ของ enolate intermediate ทำให้เกิดลักษณะ กลไกการทำงานของเอนไซม์ aldolase 2 แบบ คือ

Class I aldolase:

พบในพืช + สัตว์

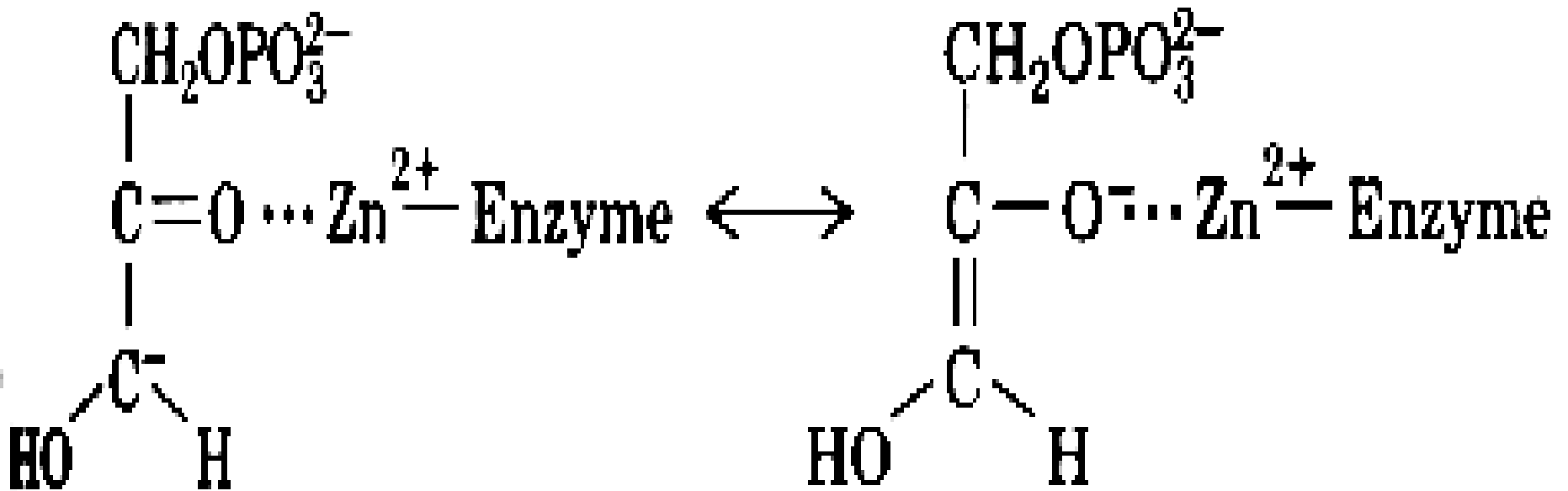
มีขั้นตอน Schiff base



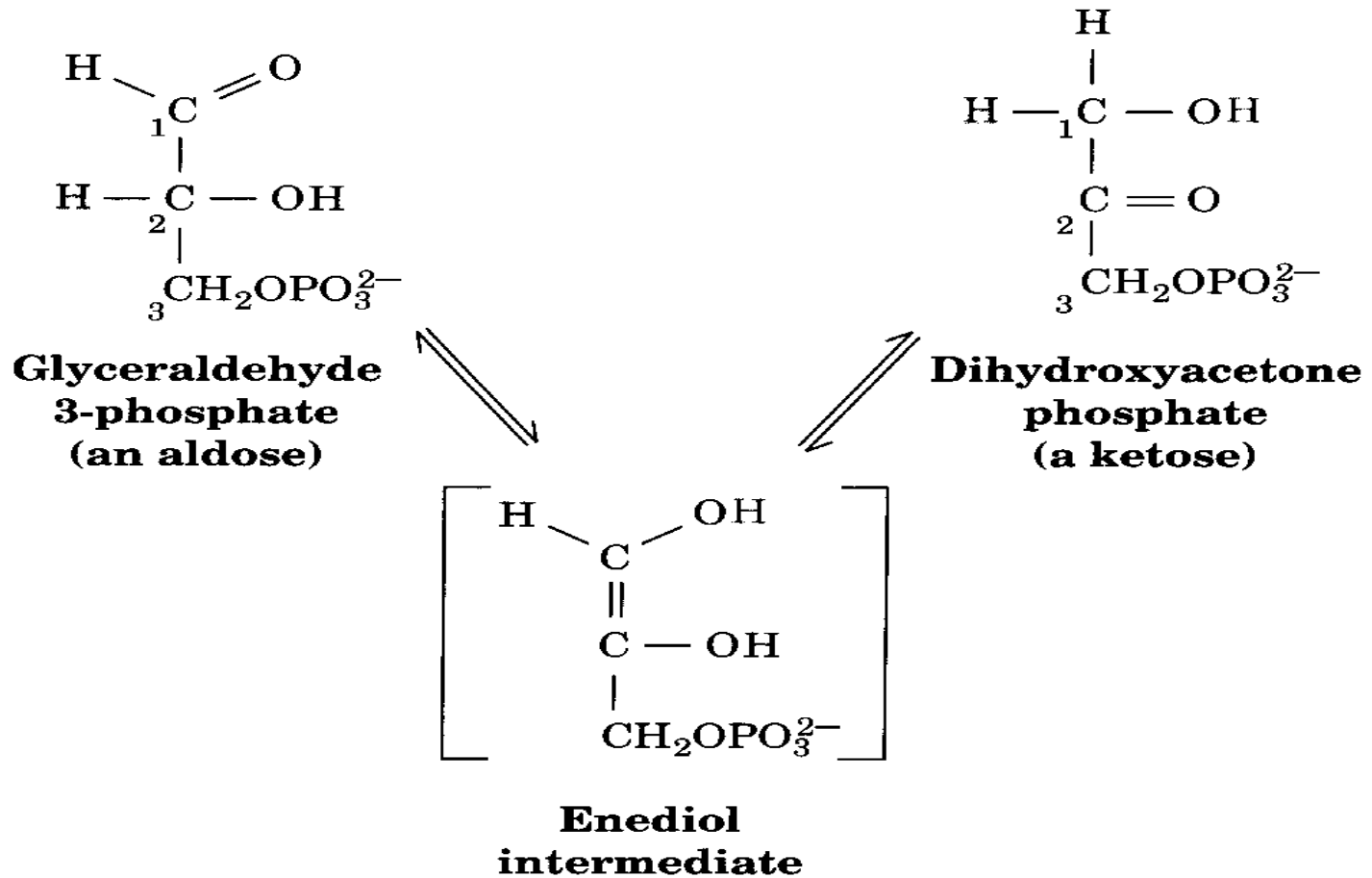
Class II Aldolase: พบใน fungi, algae และ some bacteria

ไม่มีขั้นตอนการ Schiff base ในการยิด

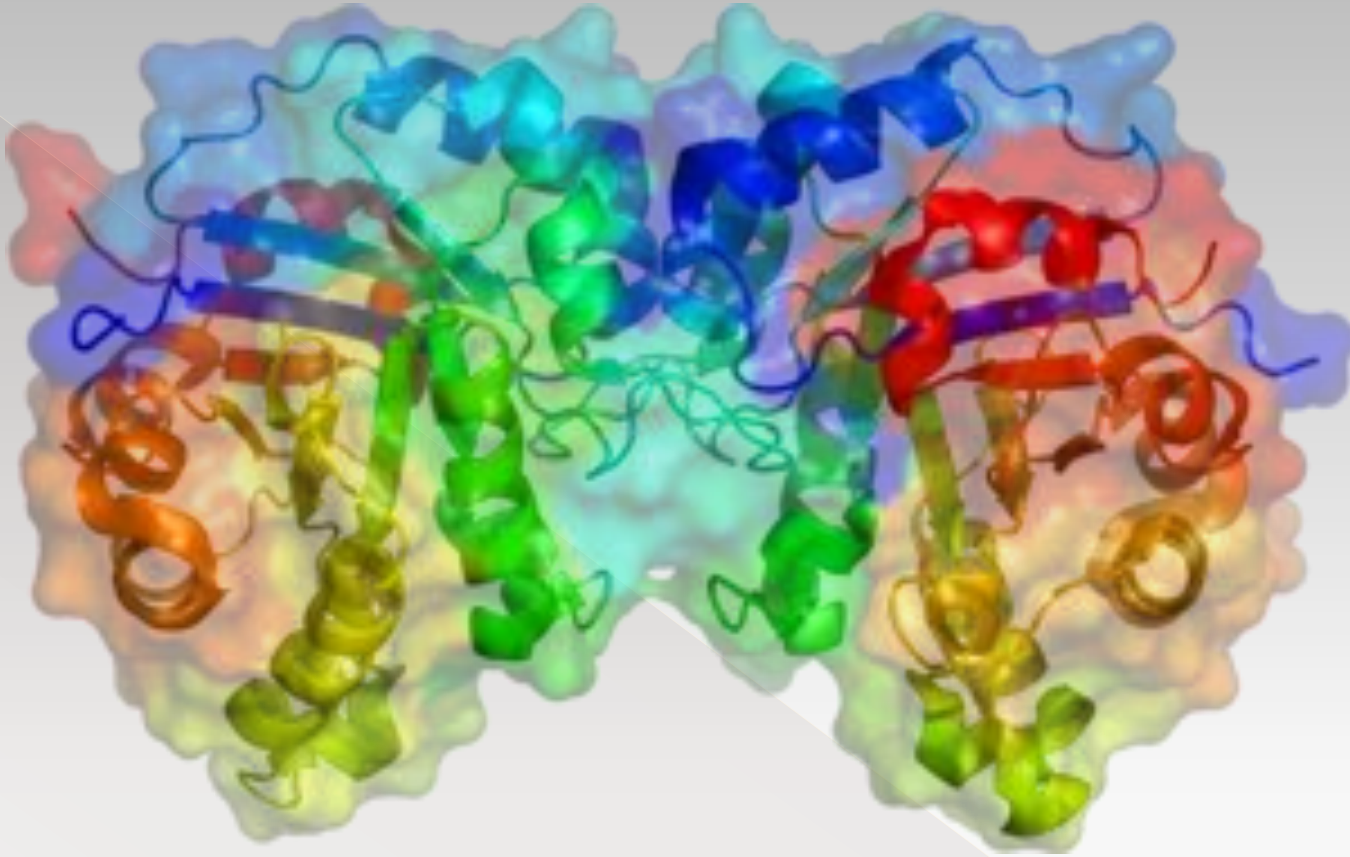
Substrate กับเอ็นไซม์ แต่อาศัย metal ion ใน
เอ็นไซม์ เป็นตัวยิดแทน



5. Triose phosphate isomerase

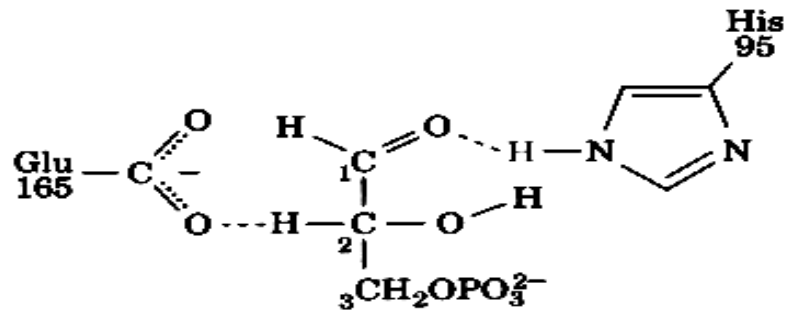


Triose phosphate isomerase

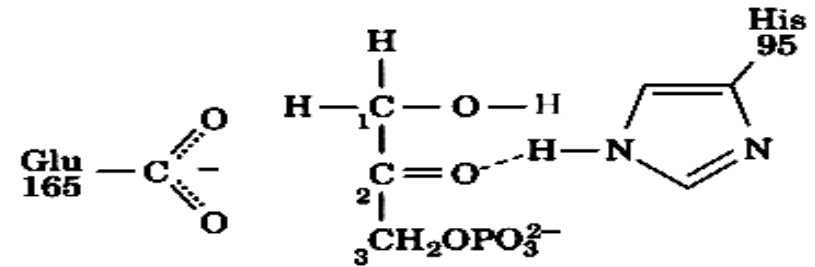


- Dimer (EC 5.3.1.1)
- 250 residues in α/β protein folds (**TIM barrels**)
- 8 alpha-helices (outside)
- 8 beta-strand (inside)

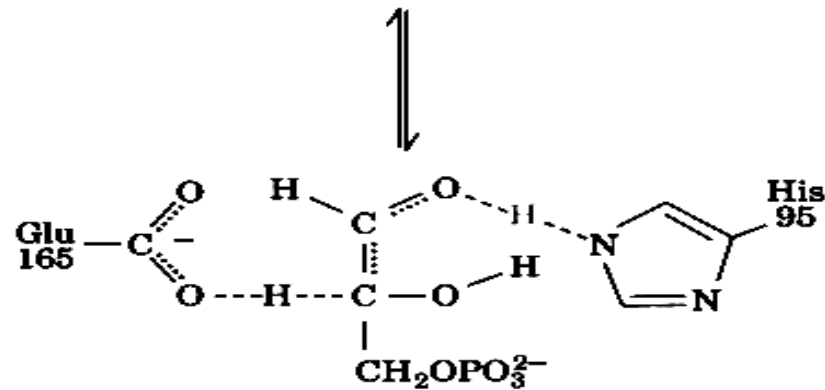
- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ DHA และ GAP ของ
 Triose phosphate isomerase ที่ตำแหน่ง His 95 และ Glu 165



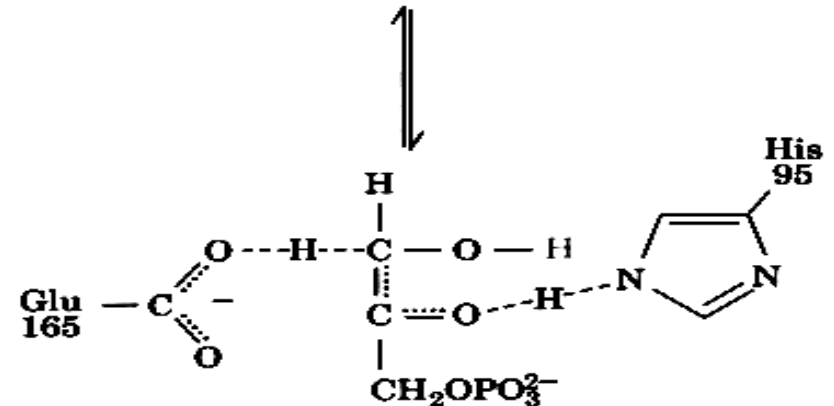
GAP·TIM Michaelis complex



DHAP·TIM Michaelis complex

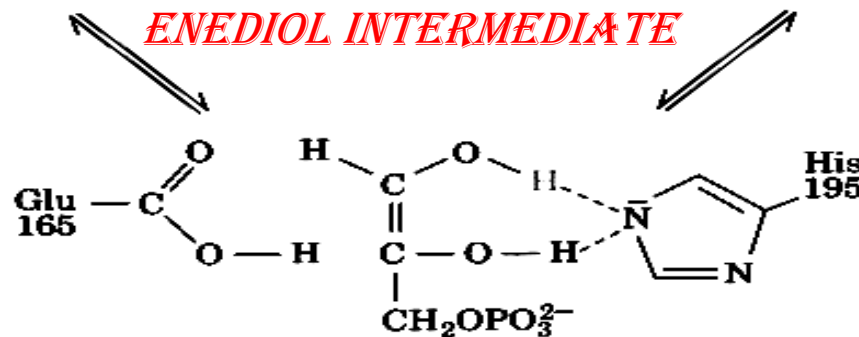


Transition state



Transition state

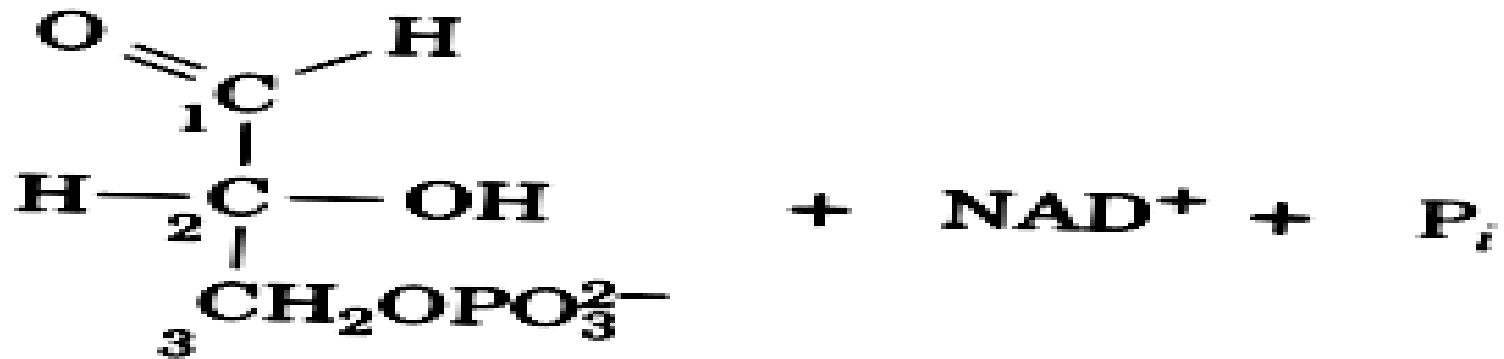
*MECHANISM BY
 ENEDIOL INTERMEDIATE*



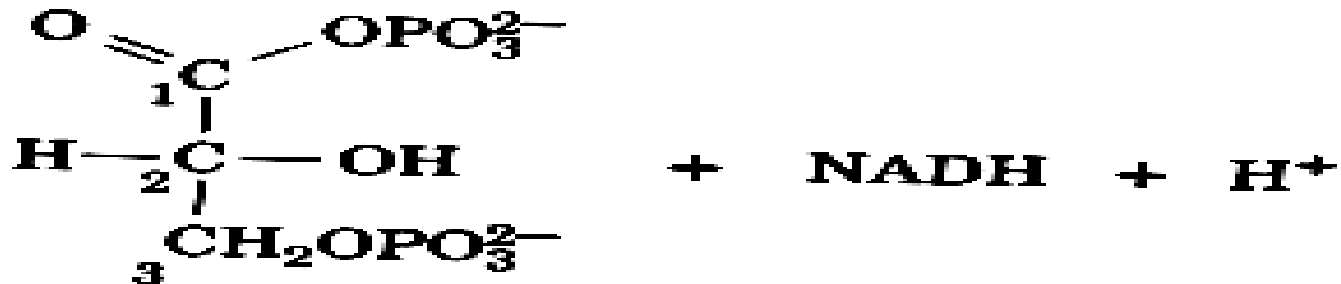
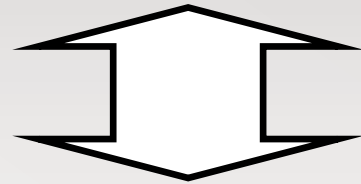
Enediol (or enendiolate) intermediate

DHAP 20:1 GAP
 production.

6. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH)

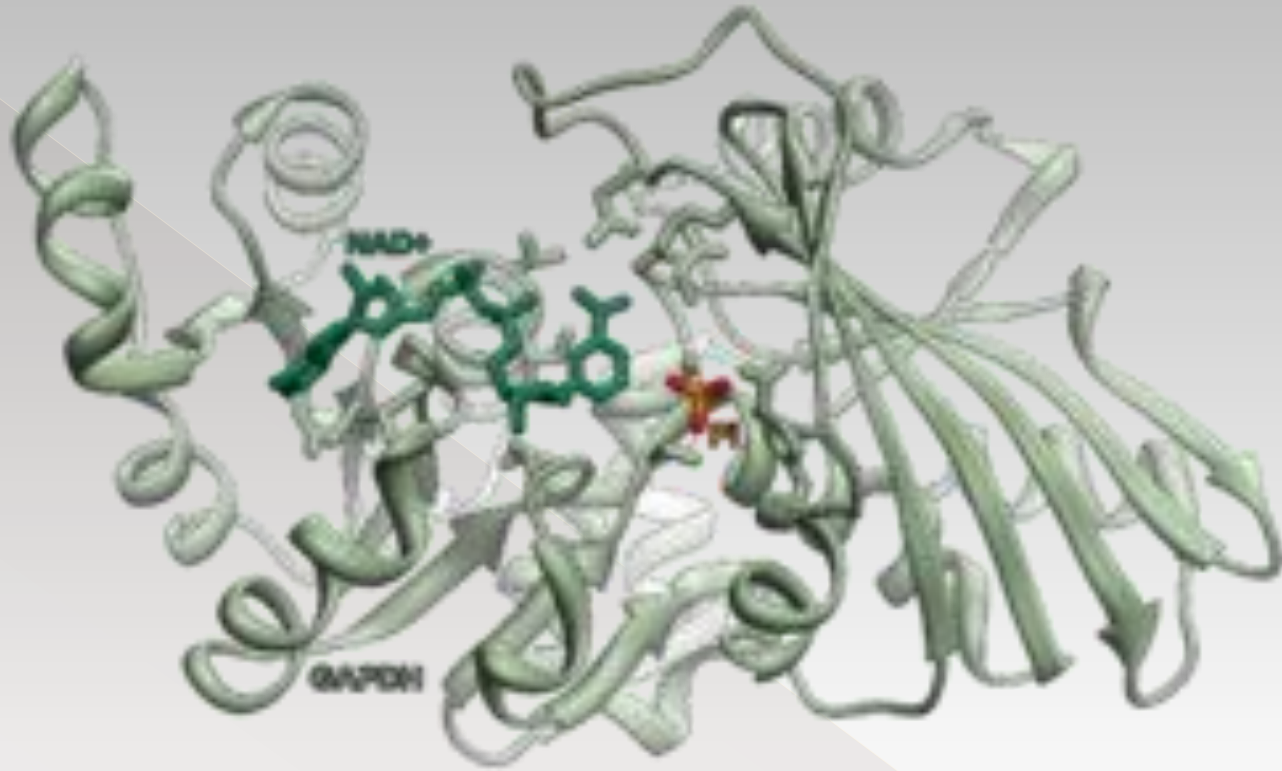


**Glyceraldehyde
3-phosphate (GAP)**



**1,3-Bisphoglycerate
(1,3-BPG)**

Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH)

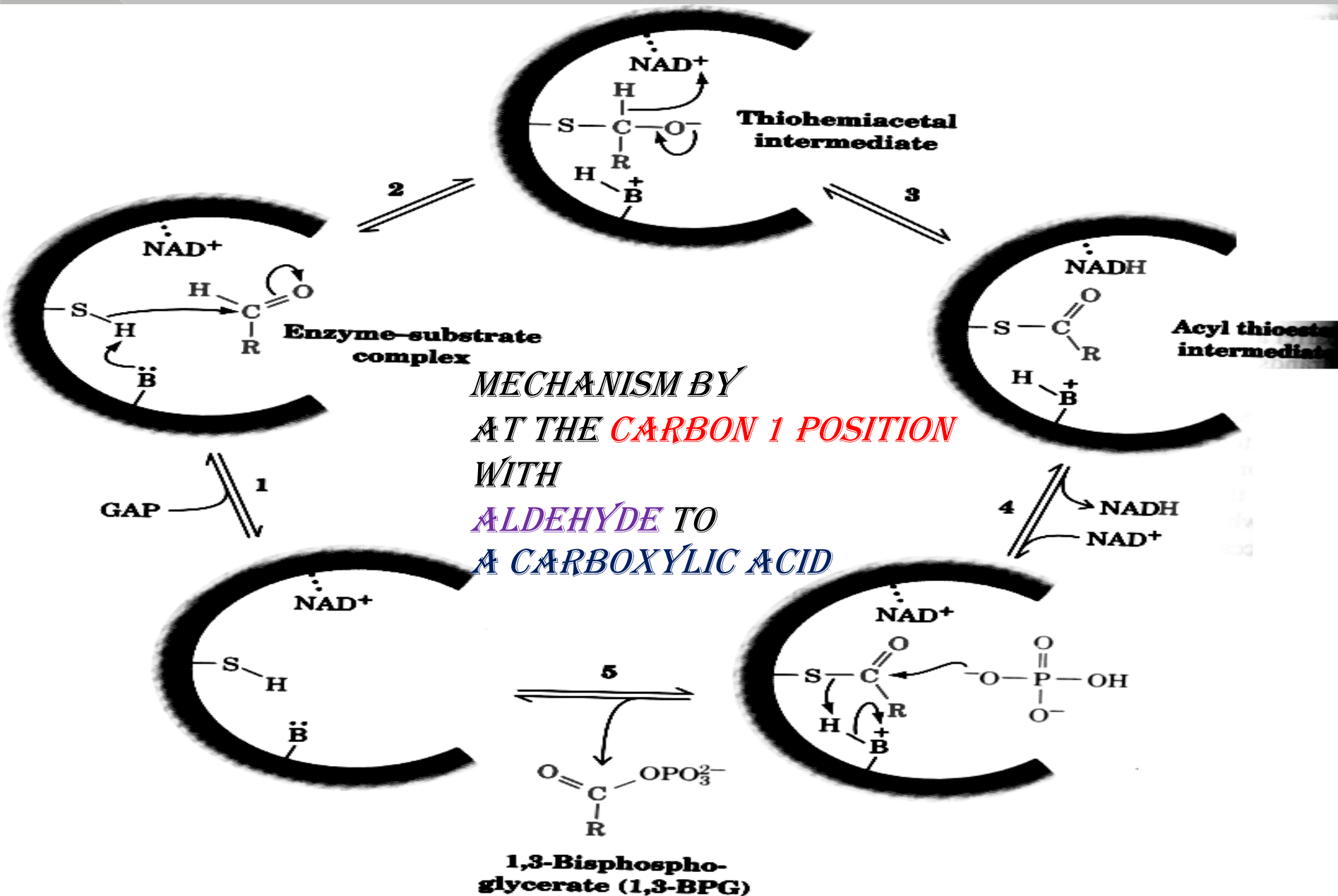


Copyright from by http://en.wikipedia.org/wiki/Glyceraldehyde-3-phosphate_dehydrogenase

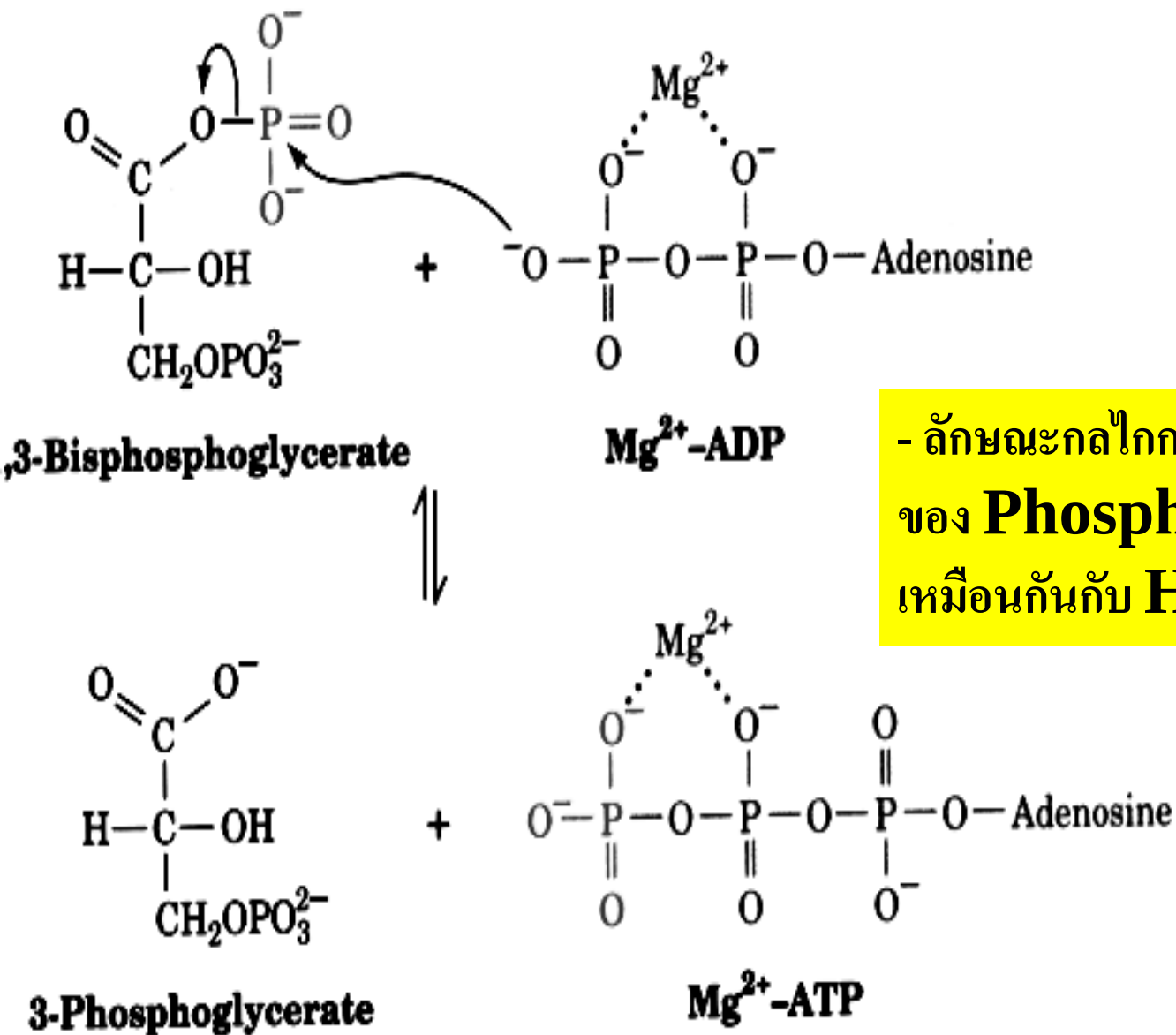
- EC 1.2.1.12
- to **break down** glucose for energy
- **non-metabolic processes** (transcription activation, initiation of apoptosis and ER to Golgi vesicle shuttling.

6. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH)

- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ GAP ของ GAPDH ที่ตำแหน่ง Cys และ Glu

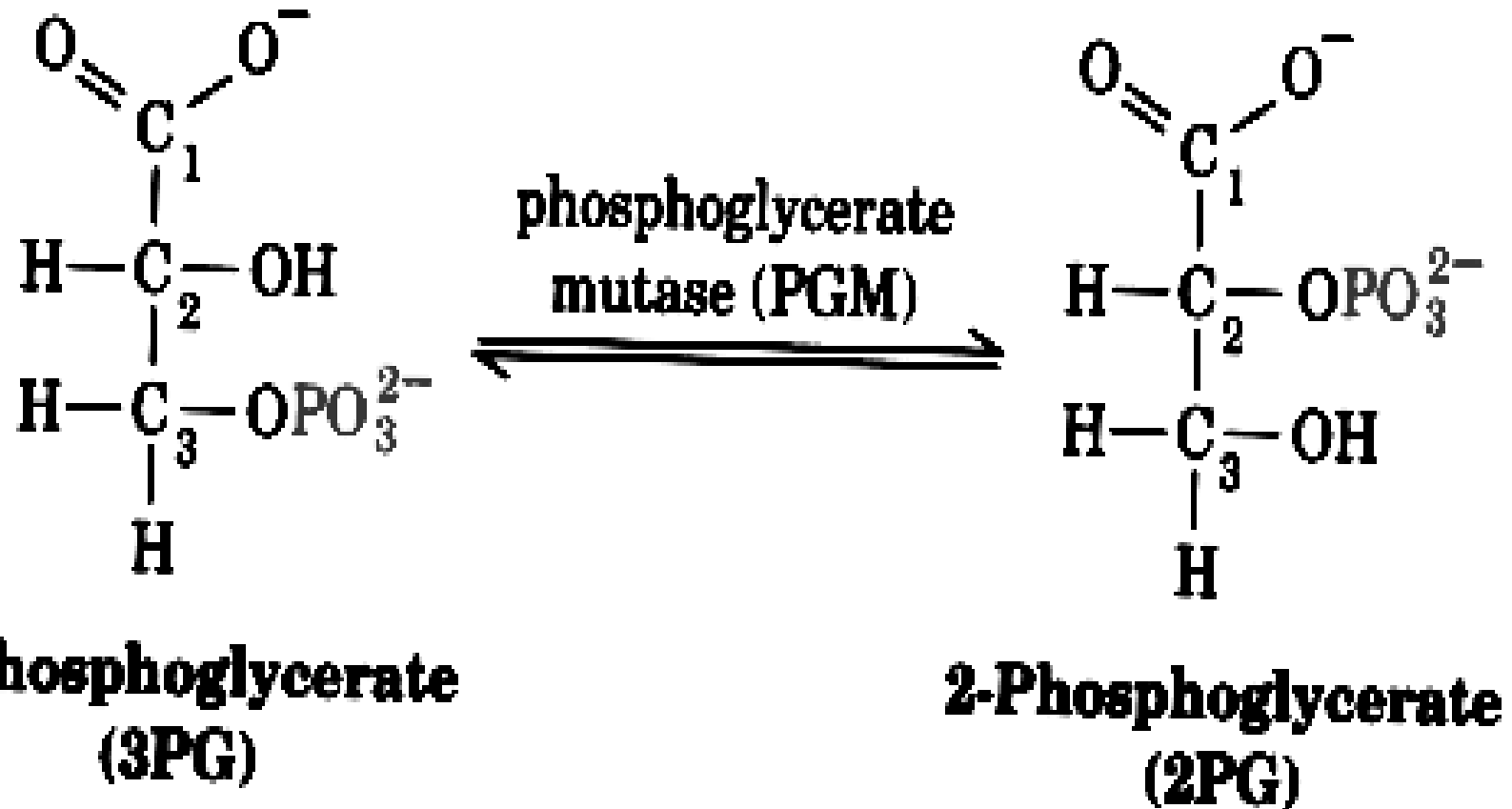


7. Phosphoglycerate kinase



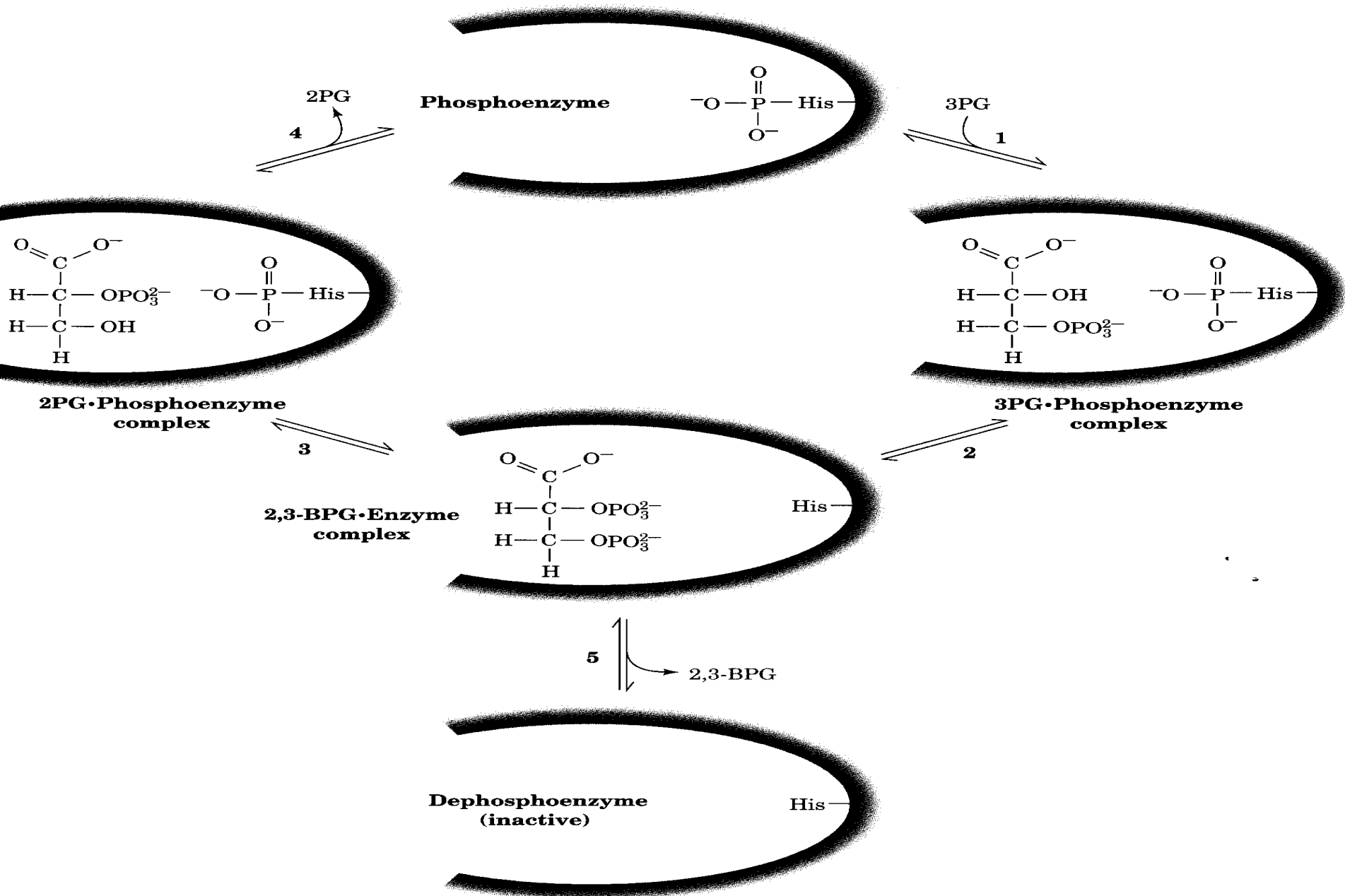
- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ 1,3-BPG ของ **Phosphoglycerate kinase** เหมือนกันกับ **Hexokinase**

8. Phosphoglycerate mutase

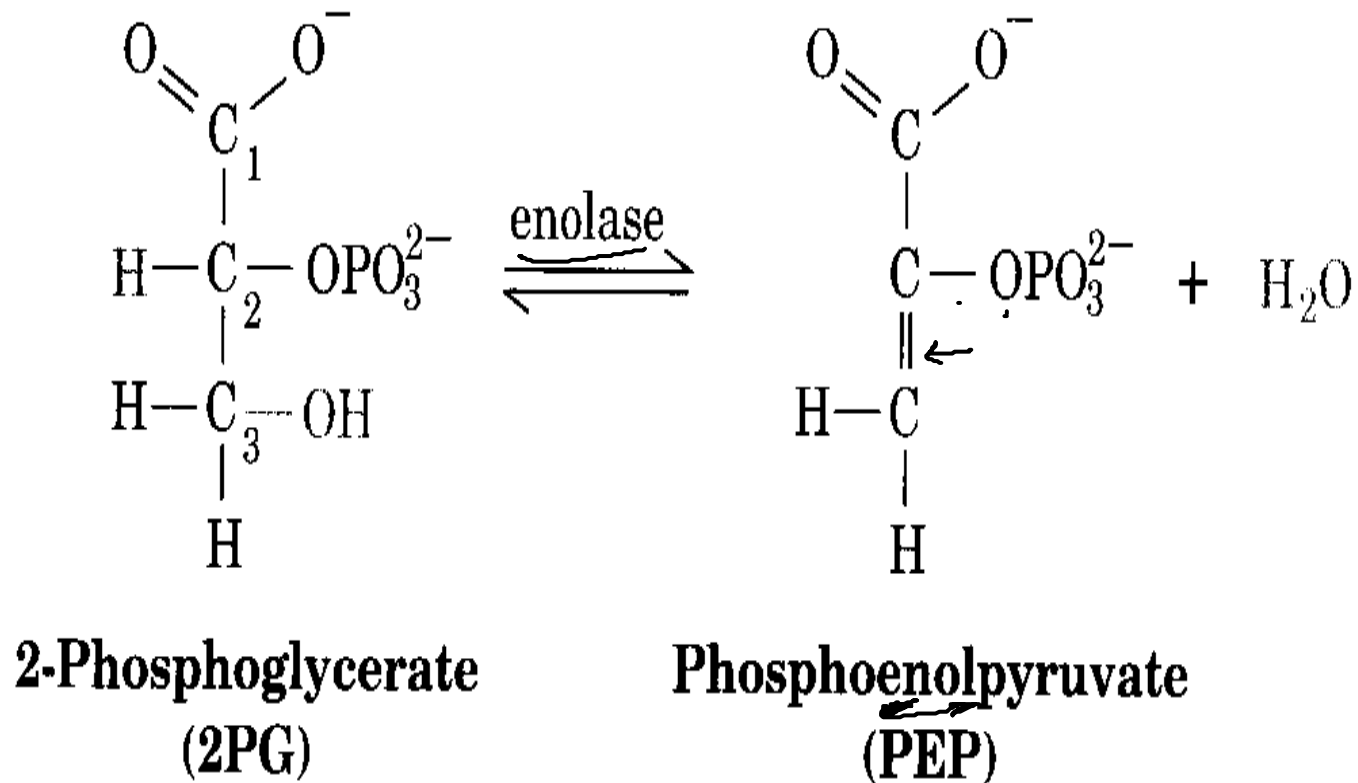


-ลักษณะกลไก

การเข้าจับกับ 3-PG ของ Phosphoglycerate mutase ที่ตำแหน่ง His ซึ่งจะมีขบวนการ Phosphorylation

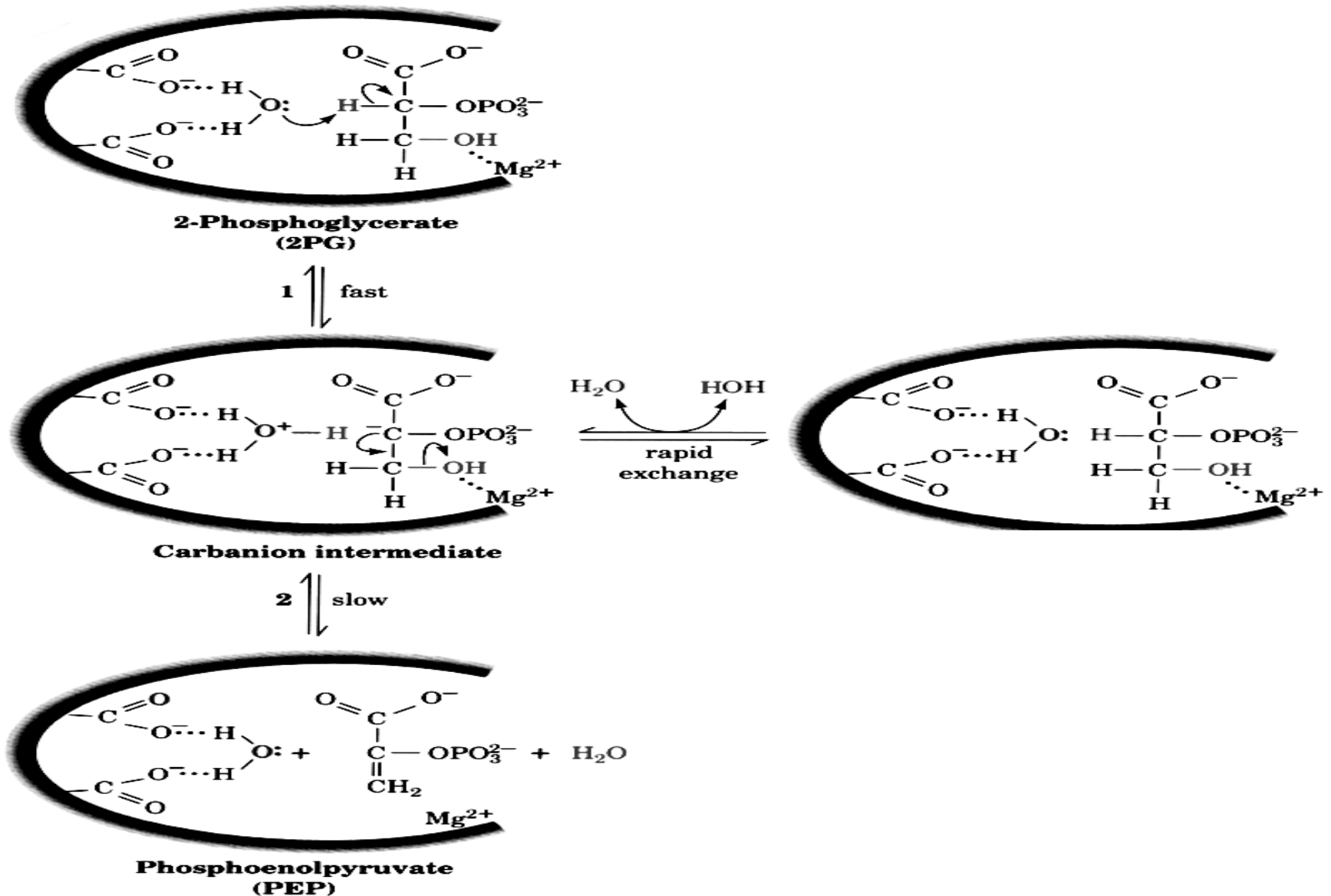


9. Enolase

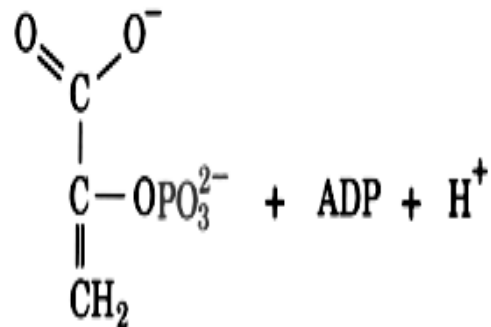


9. Enolase

- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ 2PG ของ Enolase ที่ตำแหน่ง Glu 168 และ Glu 211
- นอกจากนี้ยังอาศัย Mg^{2+} ในการเกิด complex ก่อนเกิดปฏิกิริยา

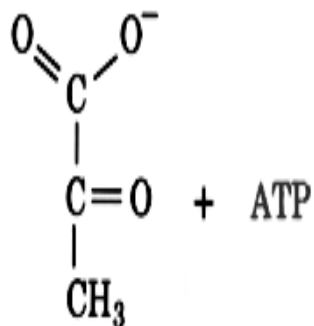


10. Pyruvate kinase

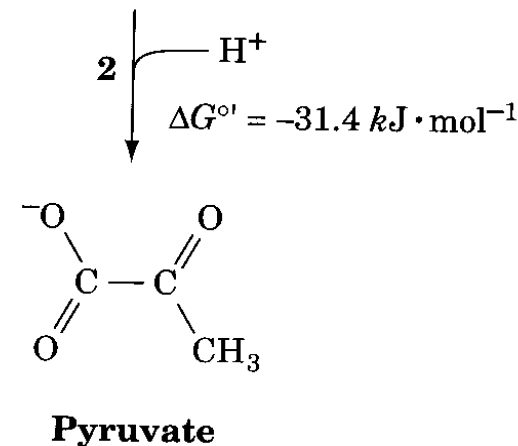
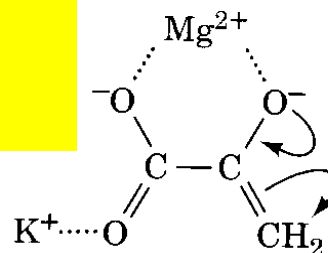
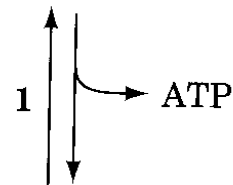
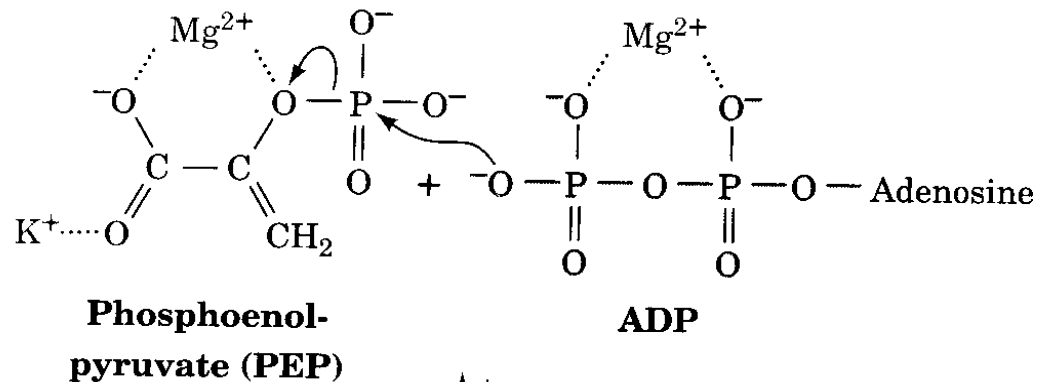


Phosphoenolpyruvate (PEP)

pyruvate
kinase (PK)



Pyruvate



- ลักษณะกลไกการเข้าจับกับ **PEP**
ของ **Pyruvate kinase**
เหมือนกันกับ **Hexokinase**

D-Glucose

Phosphatase#

ตับไต ลำไส้เล็ก

ตับ + กล้ามเนื้อ
Glycogen

Pi
Glucose-1-P
M

D-Galactose

Kinase*
Gal-1-P
UDP-glucose + Transferase**
UDP-galactose
Epimerase^
Glucose

+ UTP

D-Manose

ATP
D-Manose-6-P
Isomerase^^^

D-Fructose

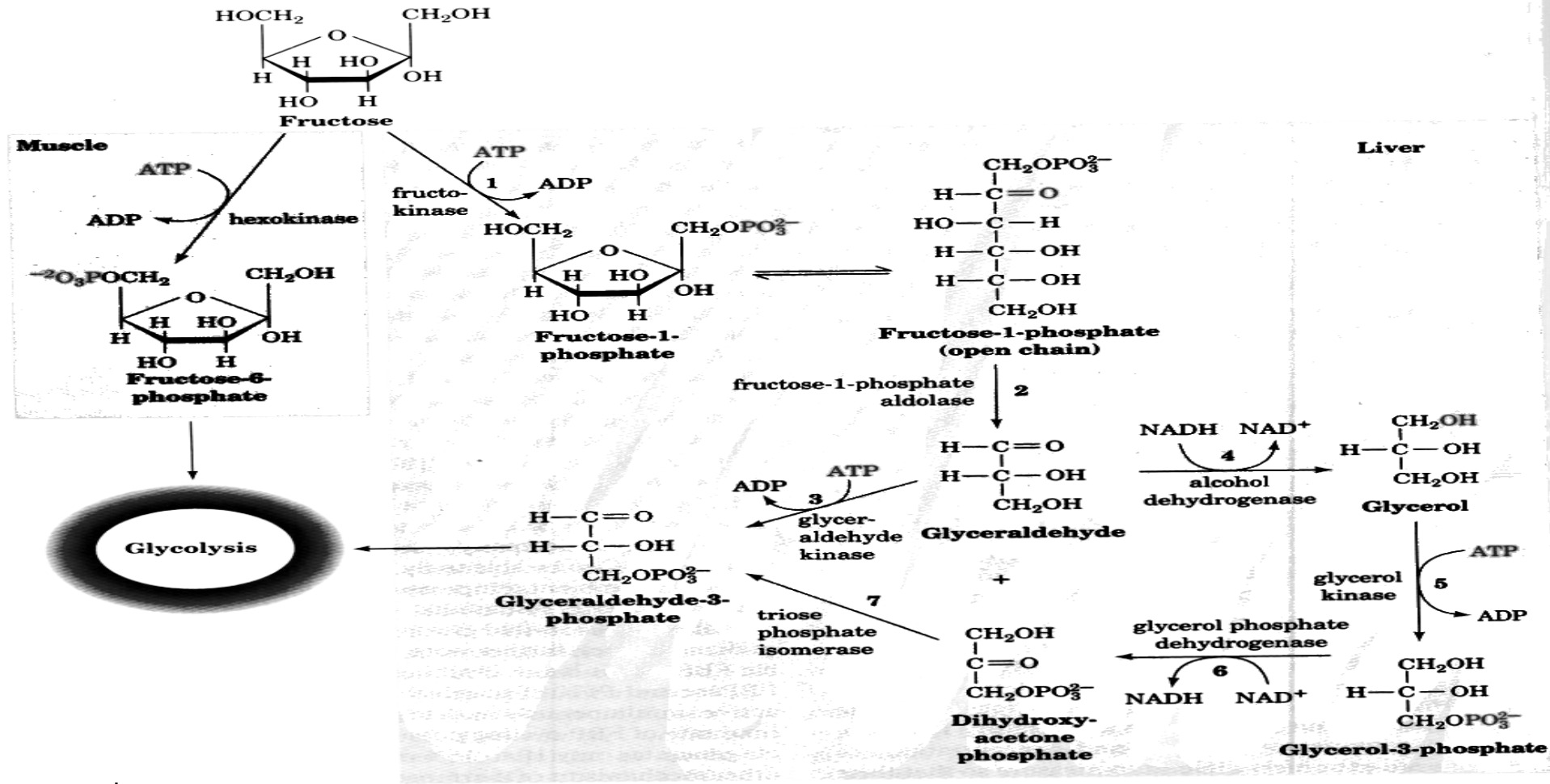
กล้ามเนื้อ+ไต
ATP

ตับ
เฮกไซไคเนส
ATP
Fructose-1-P
ฟรักโทส-6-ฟอสเฟต

อัลโดเลส
Glyceraldehyde + ไดไฮดรอกซีอะซิโตน
ฟอสเฟต
ATP
ไตรออสฟอสเฟต
ไอโซเมอเรส

ฟรักโทส-1,6-บิสฟอสเฟต
อัลโดส

Metabolism of Fructose



ข้อสังเกต

หากเลือดมี fructose สูงเกินไป

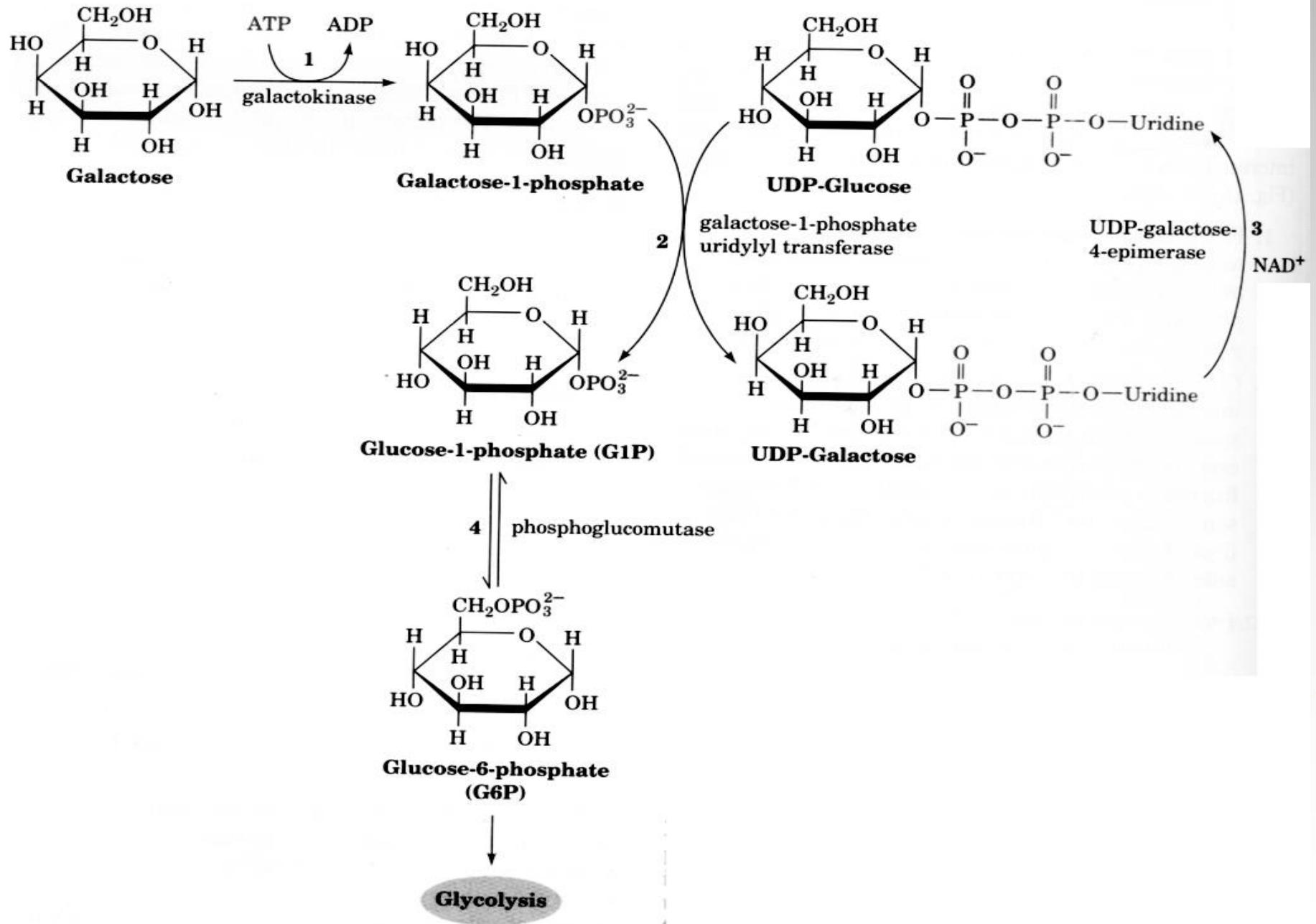
Aldolase มีไม่เพียงพอ

ขาดแหล่งเก็บ P

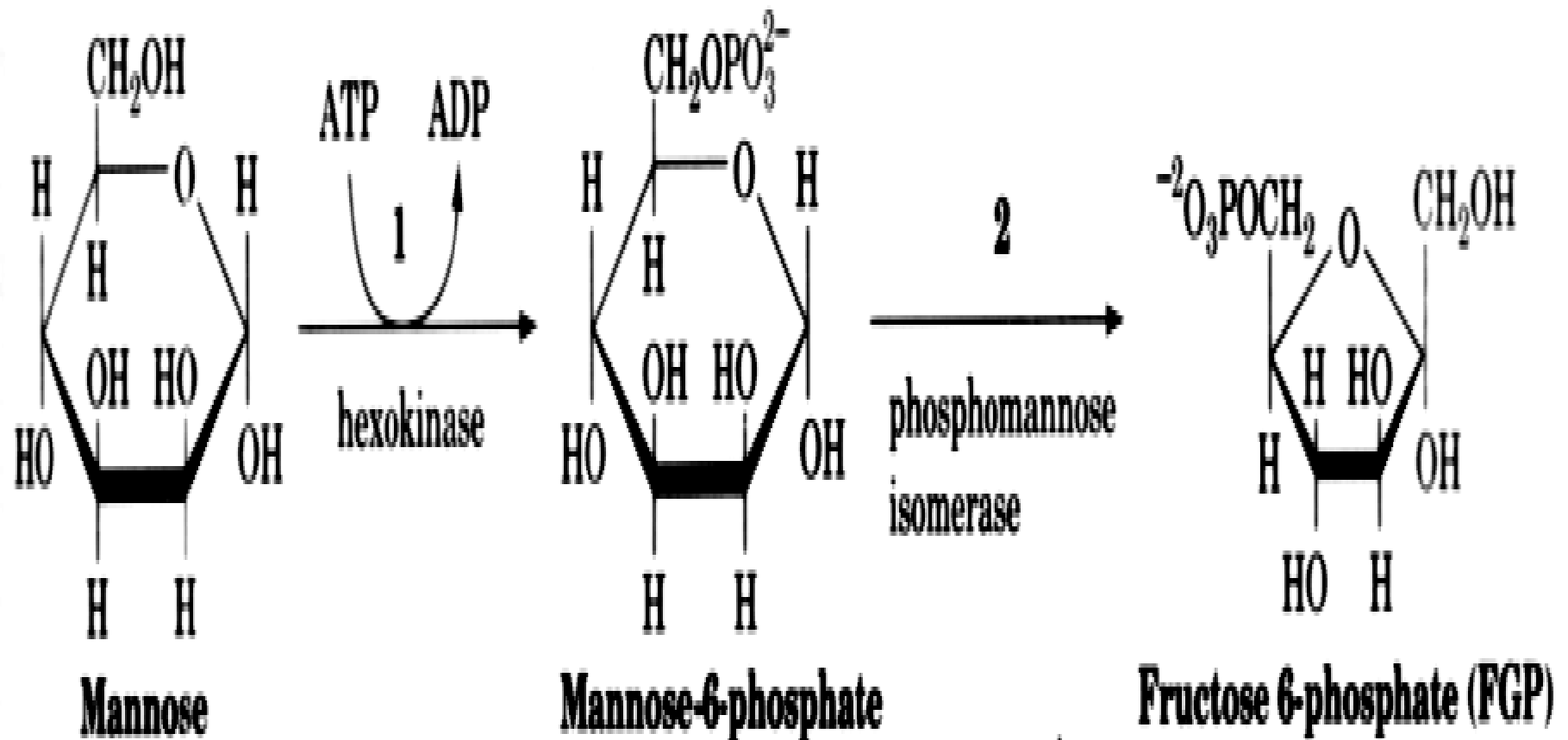
ATP ลดลง

Lactate production

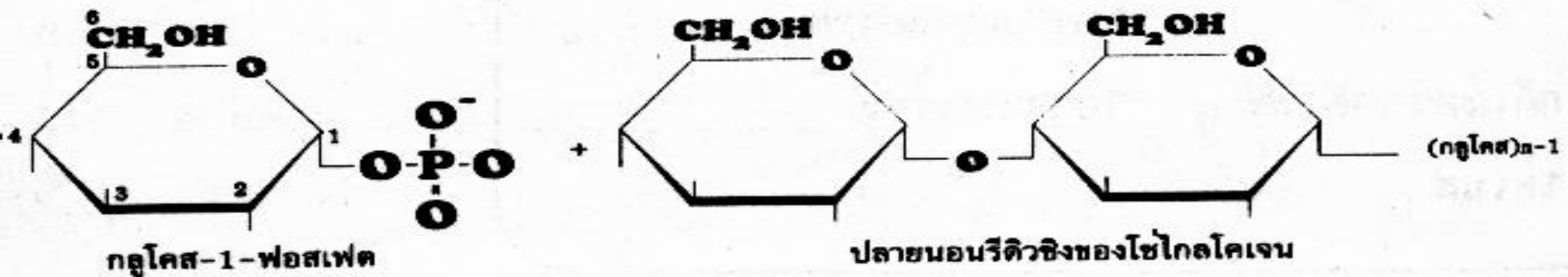
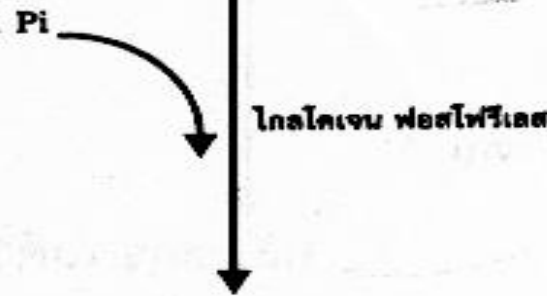
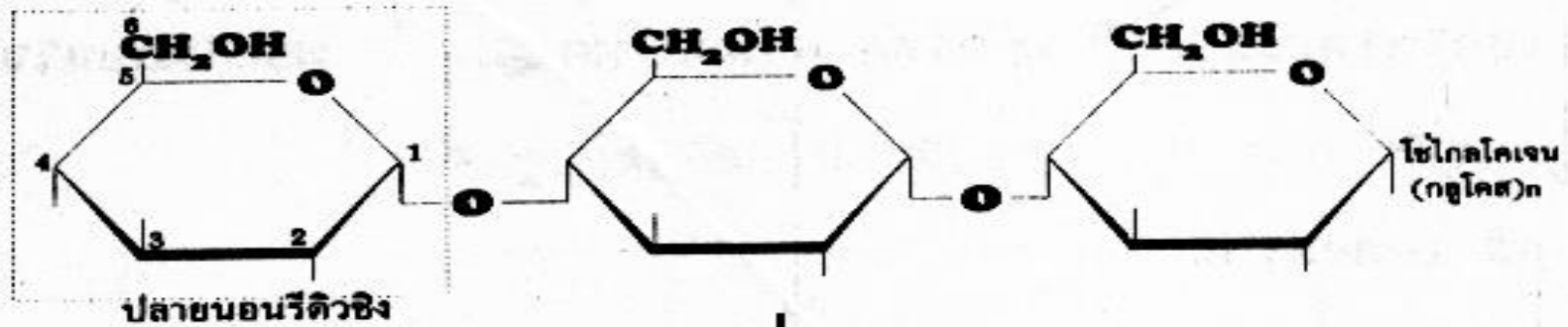
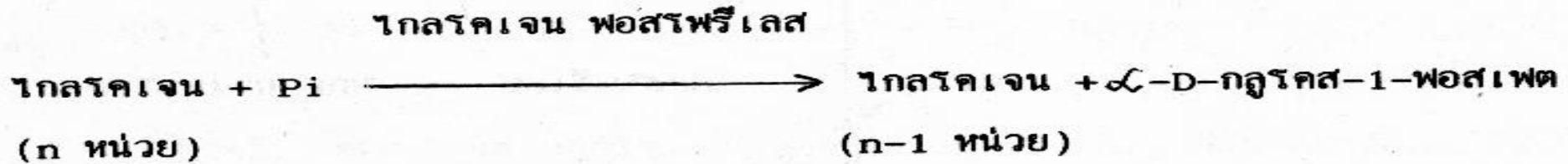
Metabolism of Galactose



Metabolism of Mannose



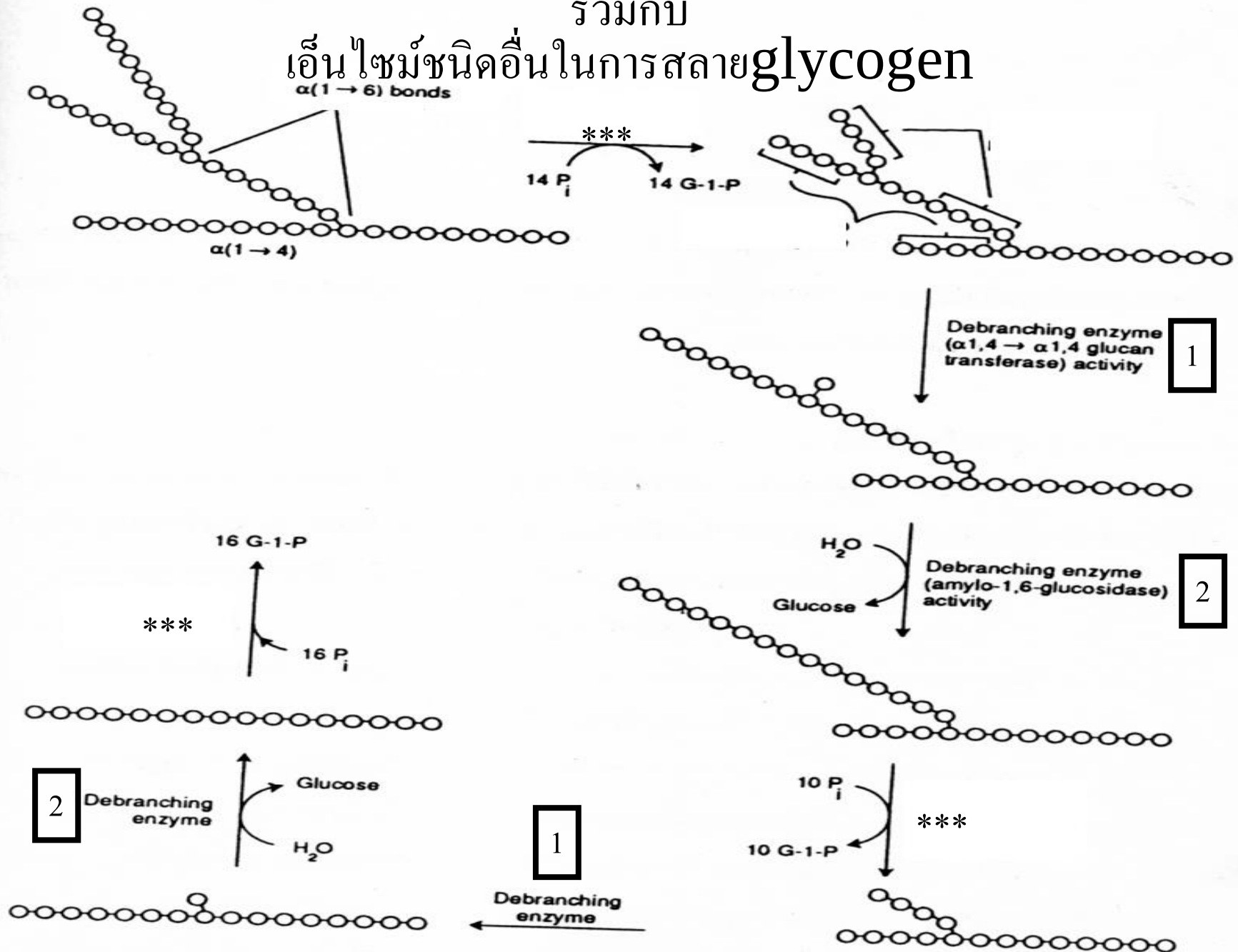
ลักษณะการทำงานของเอ็นไซม์ Glycogen phosphorylase

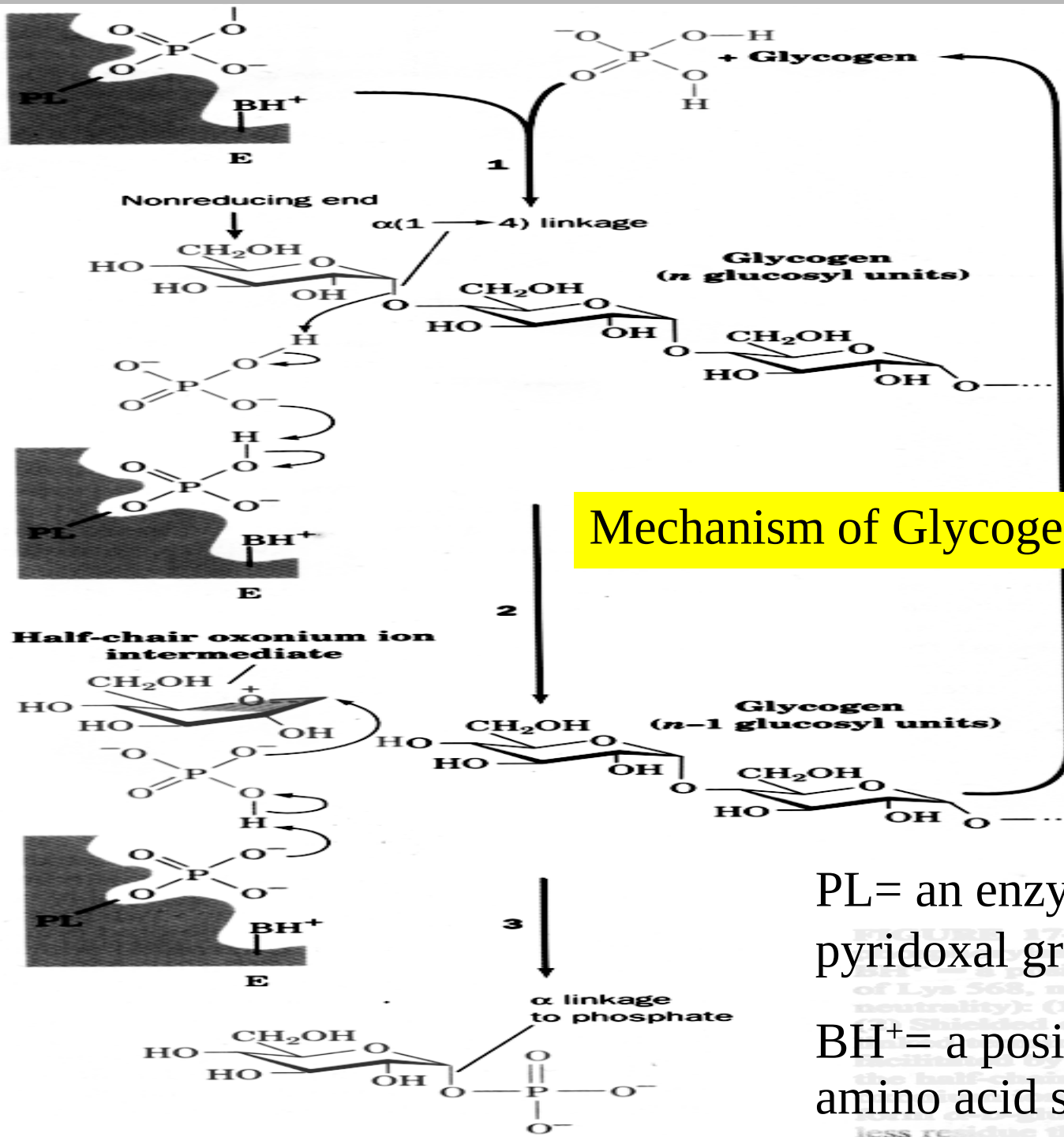


การทำงานของ Glycogen phosphorylase***

รวมกับ

เอนไซม์ชนิดอื่นในการสลายglycogen



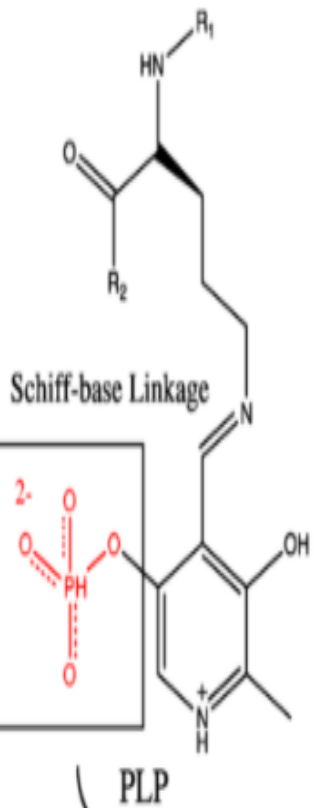


Mechanism of Glycogen phosphorylase

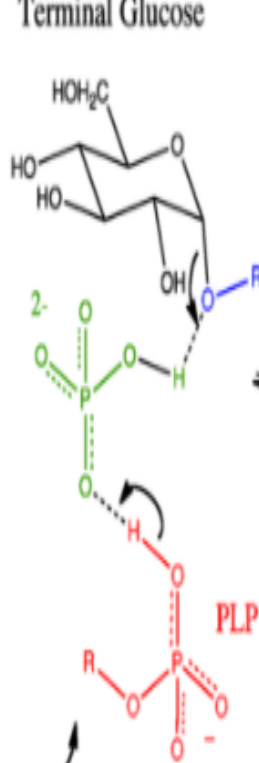
PL= an enzyme-bound pyridoxal group

BH⁺= a positively charged amino acid side chain

Lysine 680



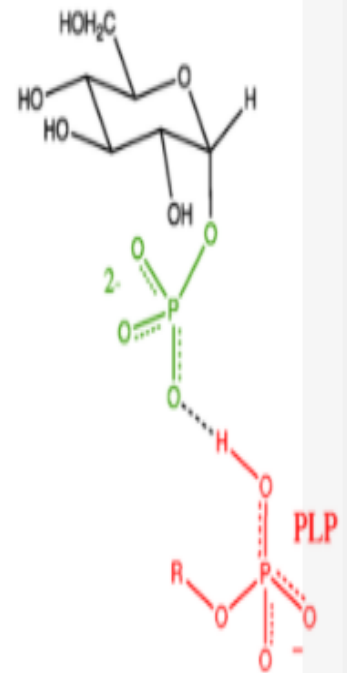
Terminal Glucose

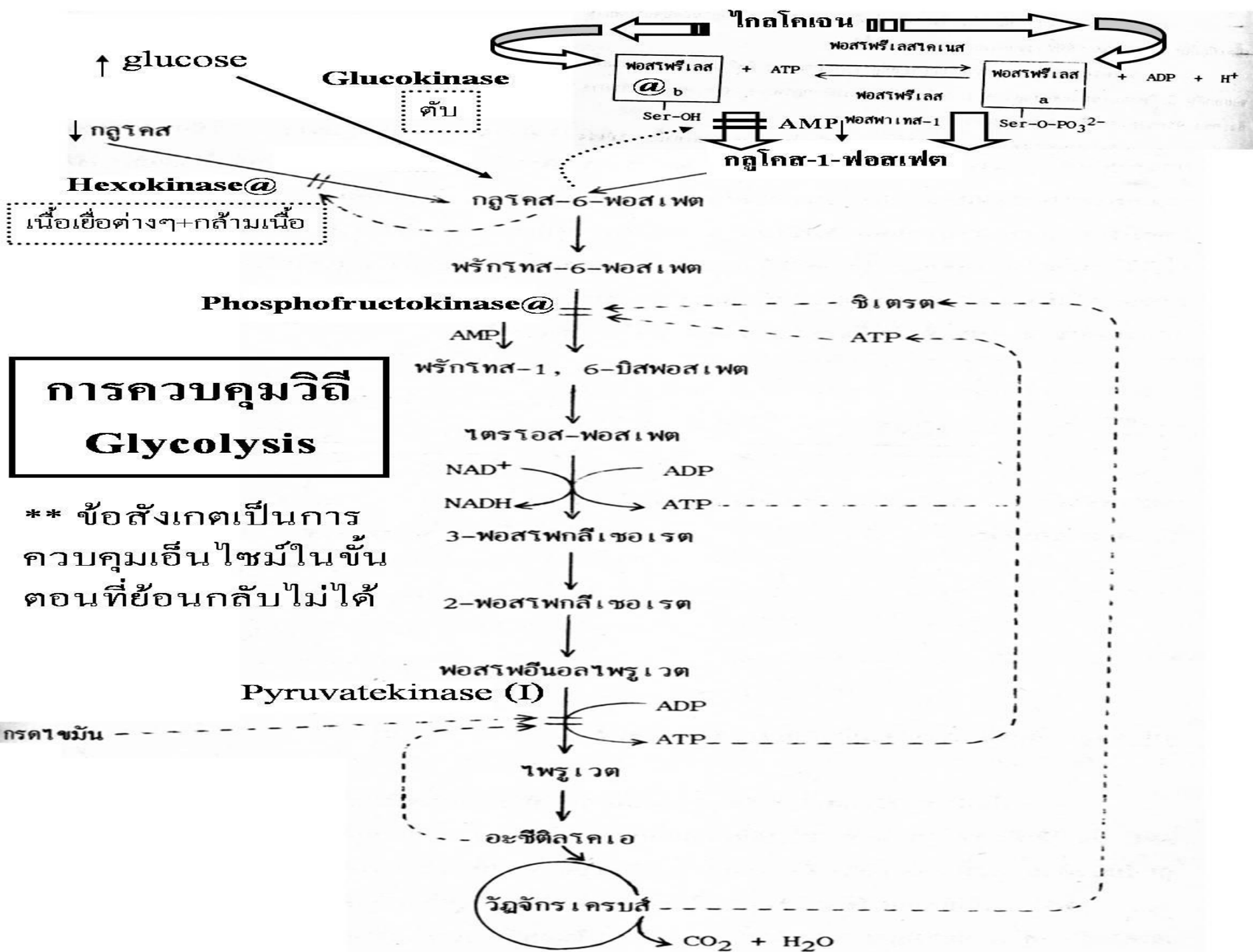


Carbocation Intermediate

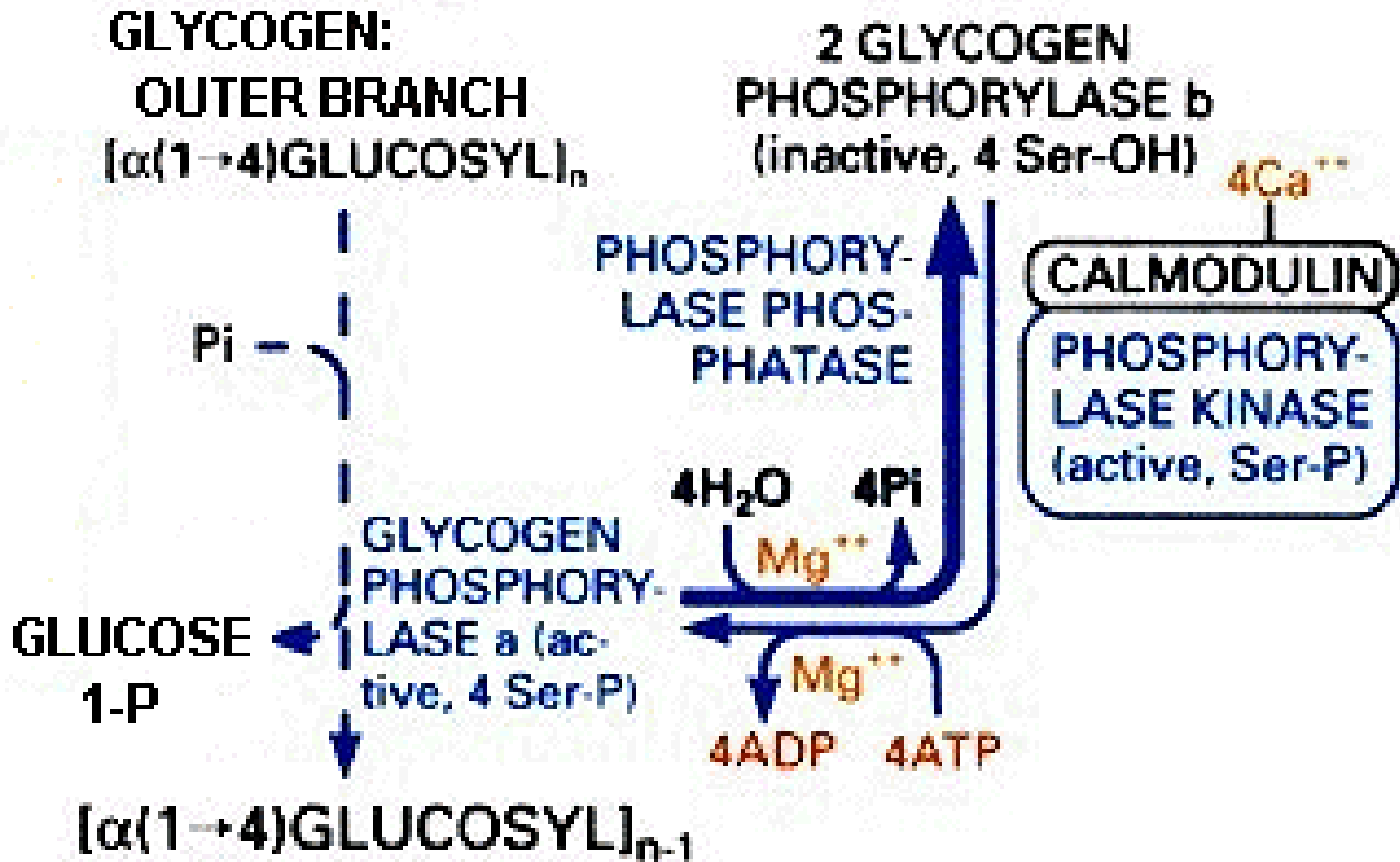


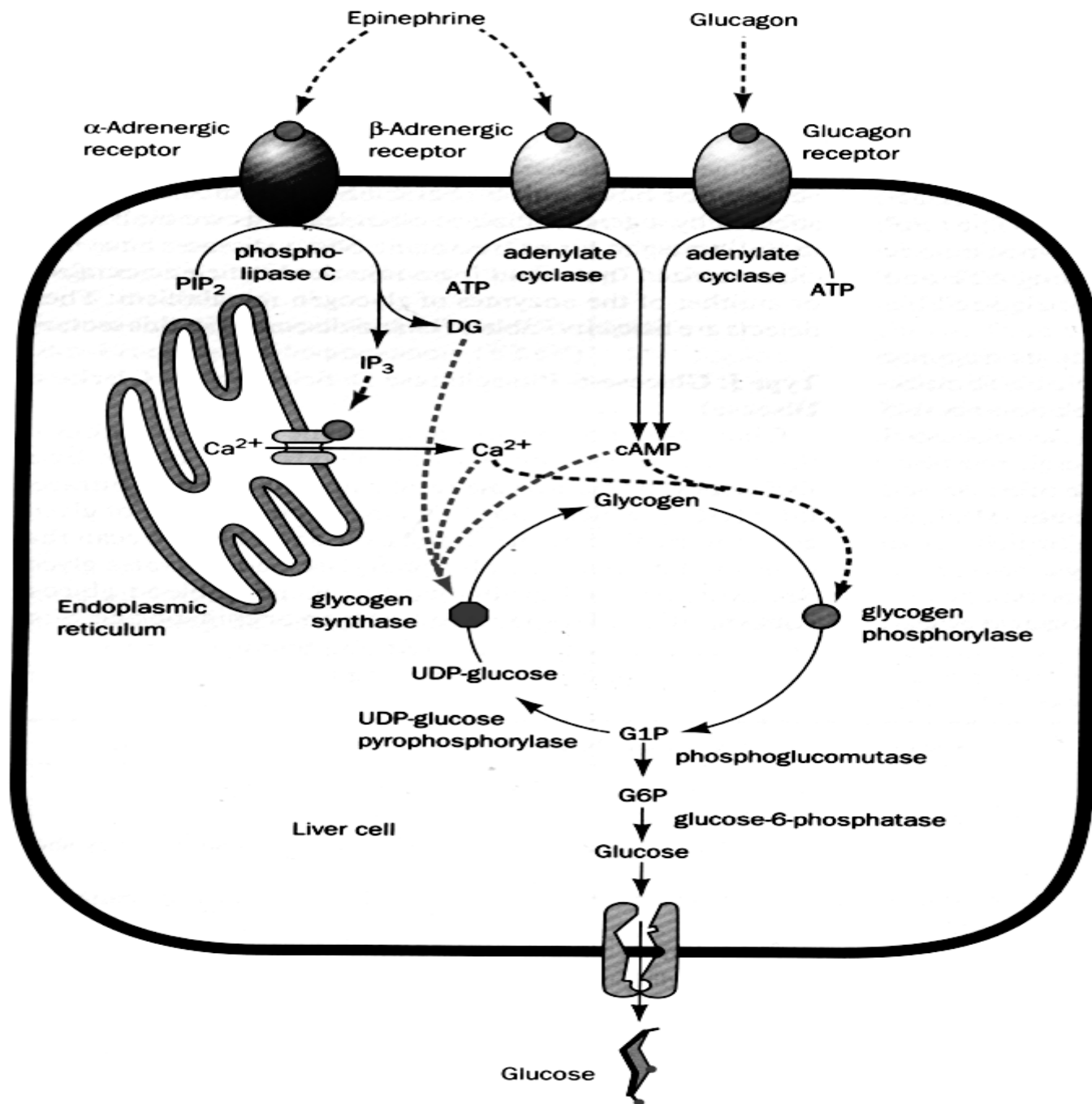
Terminal Glucose-1-Phosphate



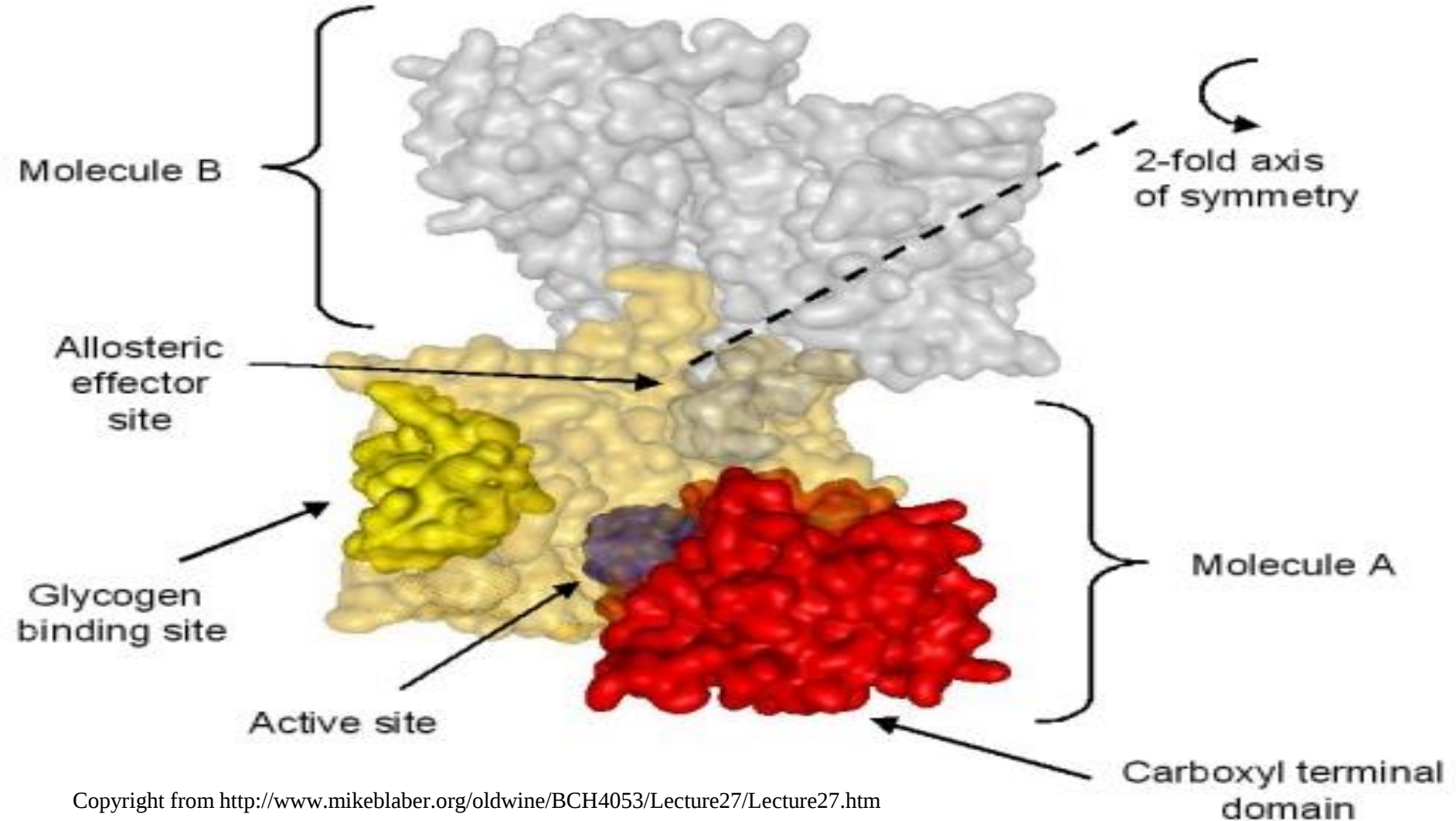


Types 1. Covalent modification

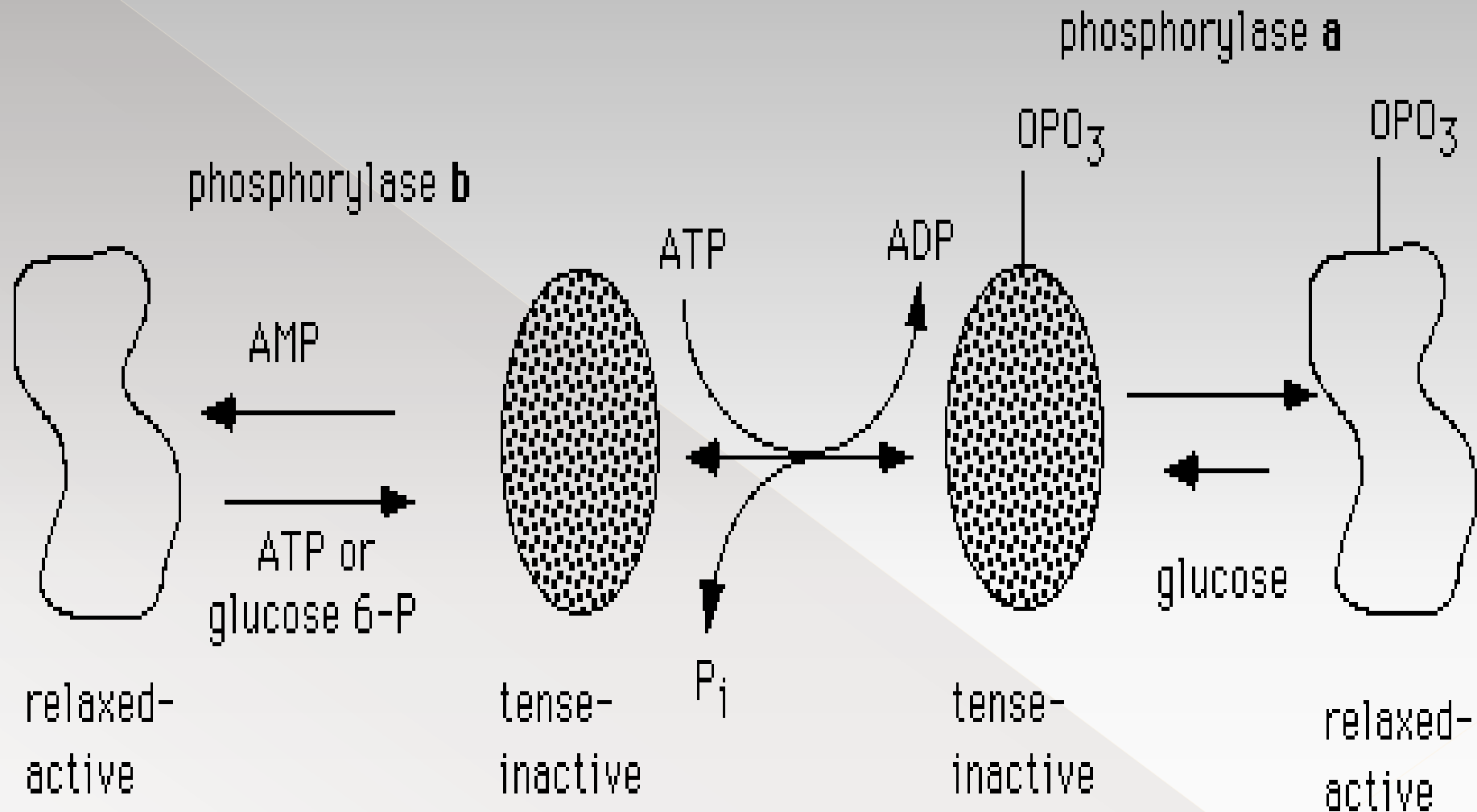




Type 2. Non-covalent modification

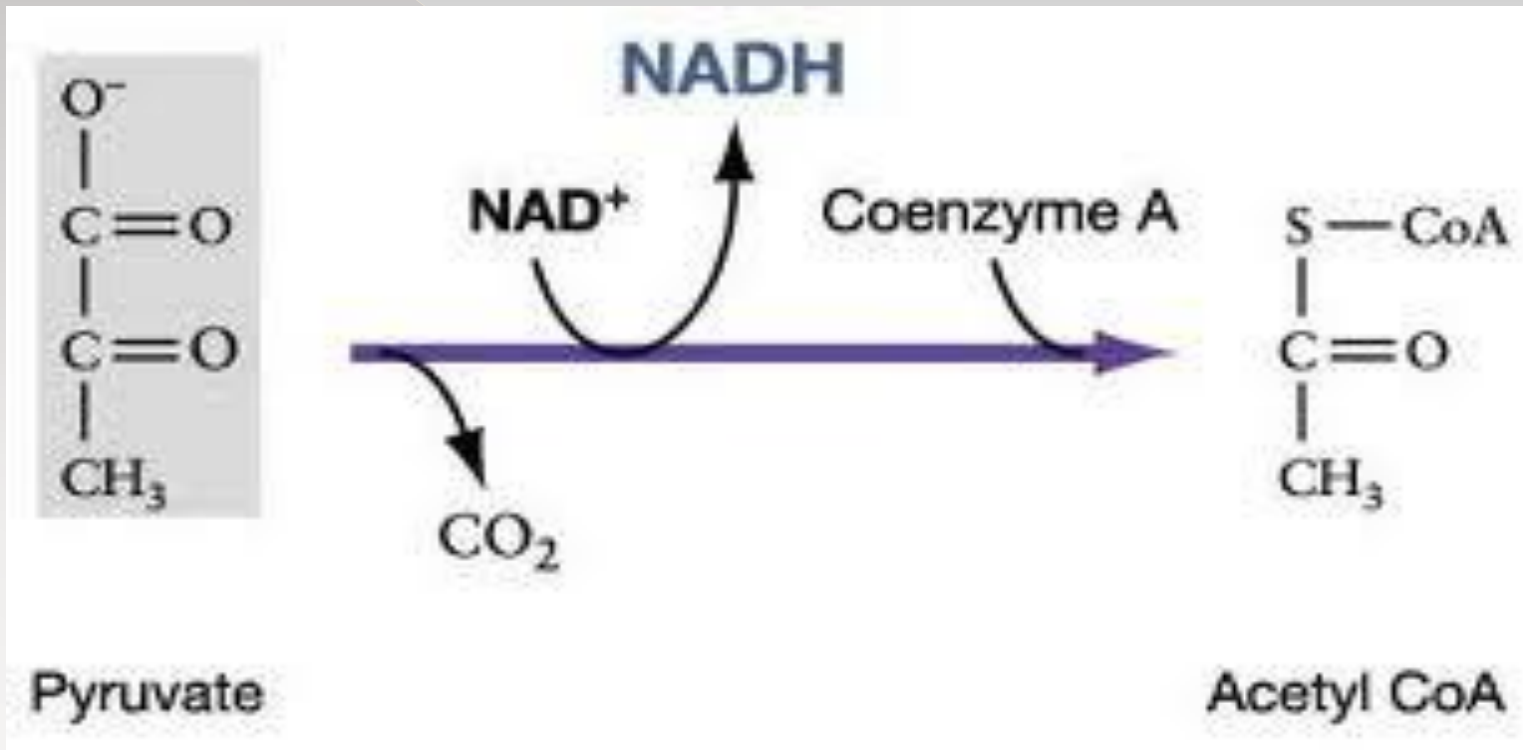


Non-covalent modification

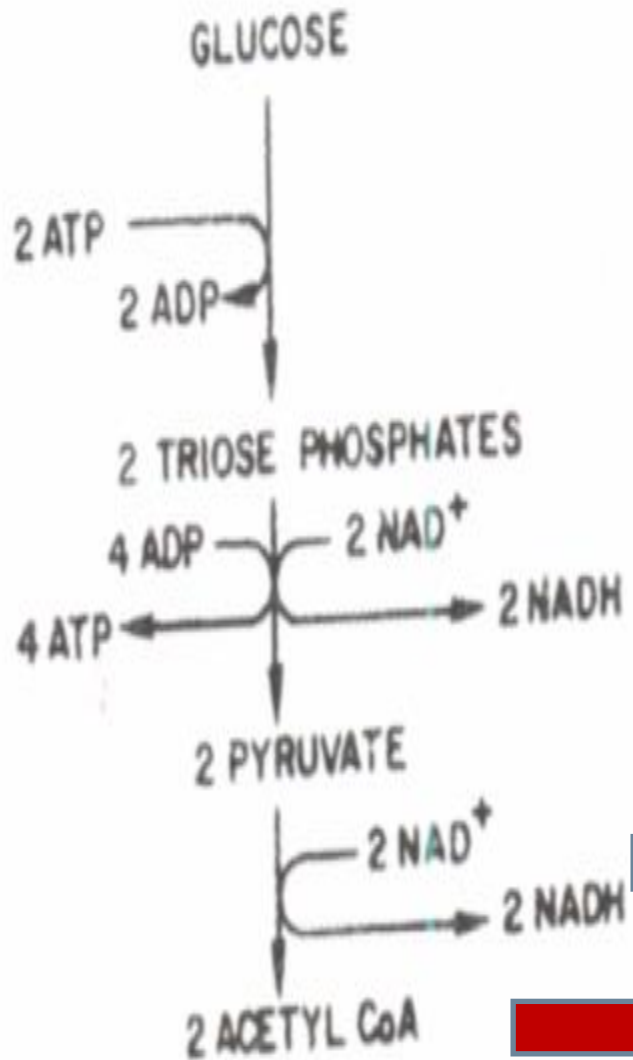


สภาวะปกติ

- สิ่งแวดล้อม ที่มี O_2 มาก



Energy calculation of glycolysis



Copyright from Biochemistry, mahidol, 1999

Direct ATP

$$(-2) + (+4) = 2 \text{ ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \quad 2 \times 3 = 6 \text{ ATP}$$

Indirect ATP

$$\text{NADH} + \text{H}^+ \quad 2 \times 3 = 6 \text{ ATP}$$

Indirect ATP

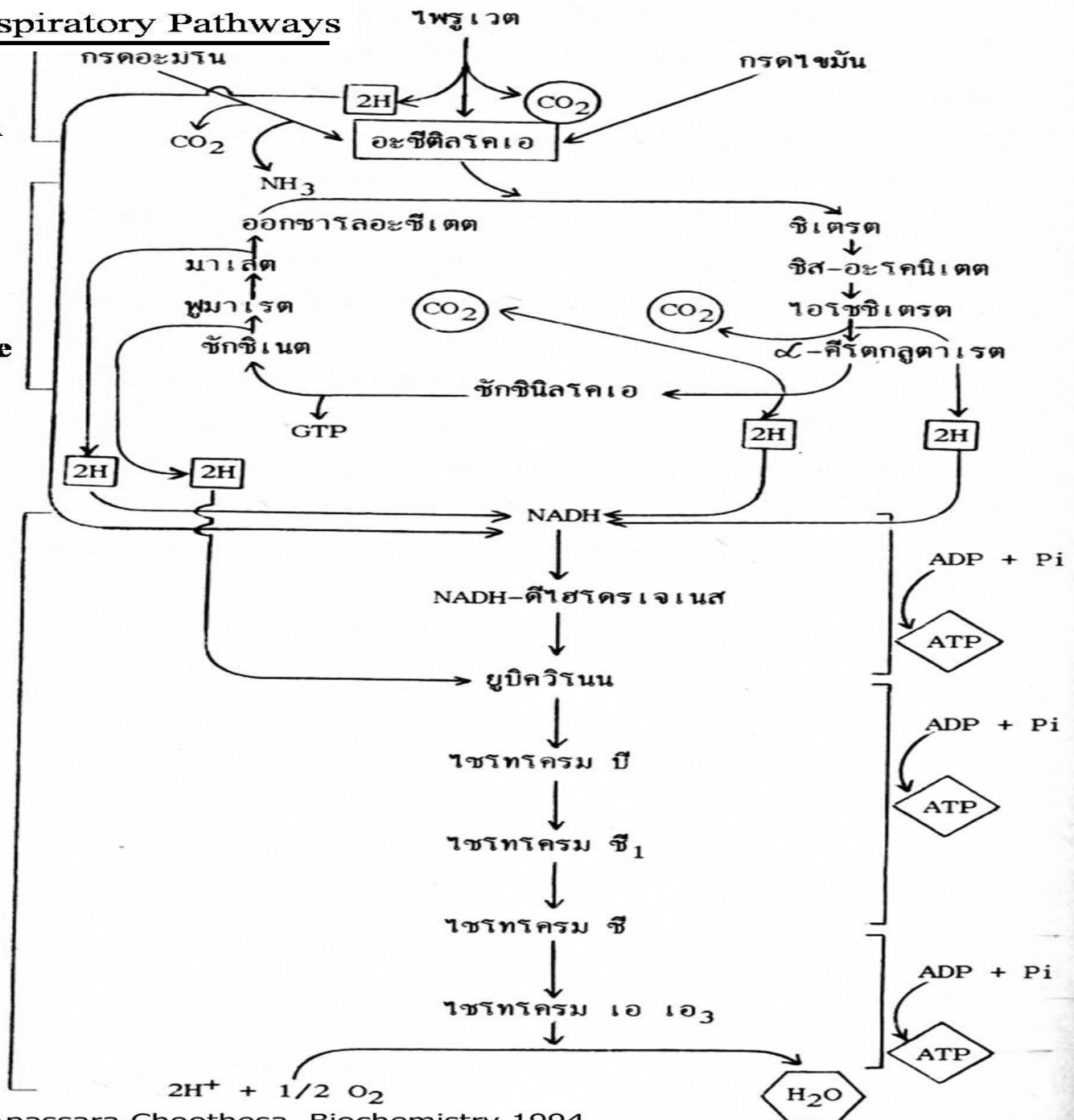
$$\text{Acetyl CoA} \quad 2 \times 12 = 24 \text{ ATP}$$

Aerobic Respiratory Pathways

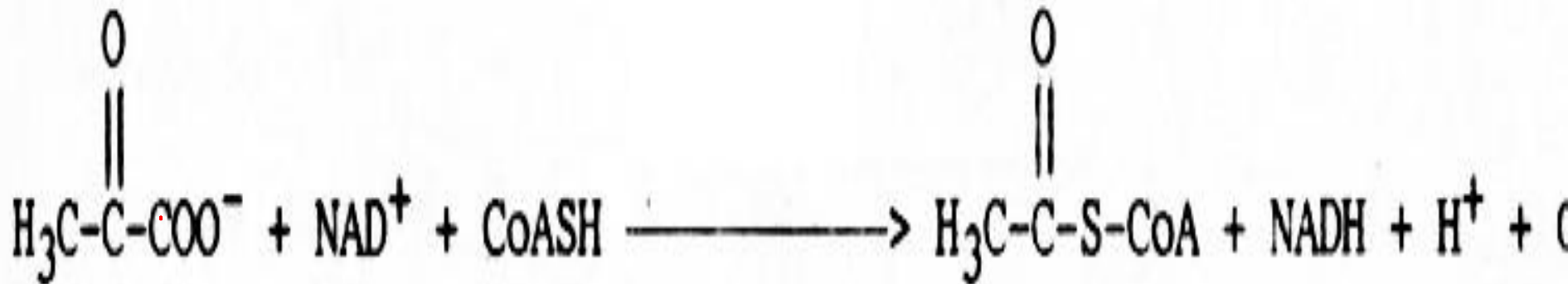
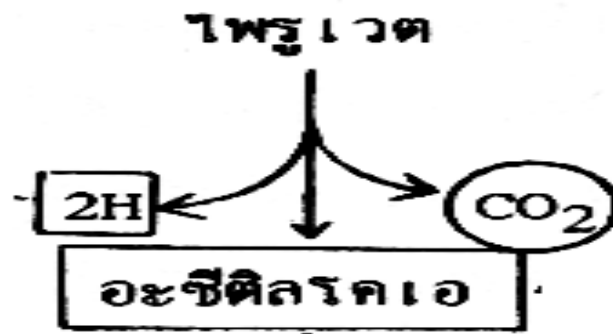
ขั้นตอนที่ 1 Acetyl CoA synthesis

ขั้นตอนที่ 2 Kerb's cycle

ขั้นตอนที่ 3 Oxidative phospho- -rylation



ขั้นตอนที่ 1 Acetyl CoA synthesis



Pyruvate

Acetyl CoA

Pyruvate dehydrogenase complex

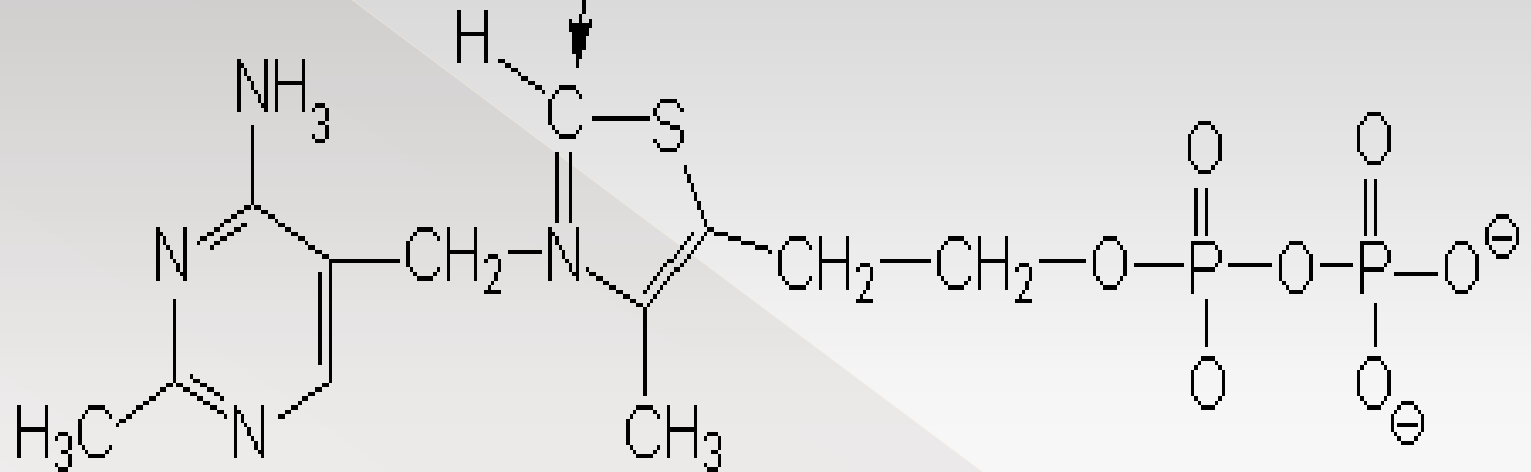
เอนไซม์	ชื่อย่อ	จำนวนหน่วย เพปไทด์	หมู่พรอสเทติก	ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา
ไพรูเวตดีไฮโดรจีเนส	A, E ₁	24	TPP	ออกซิเดตีฟดีคาร์บอกซีเลชัน ของไพรูเวต
ไดไฮโดรลิวพอล ทรานส์อะซีติเลส (dihydrolipoyl transacetylase)	B, E ₂	24	ลิพอเอไมด์ (lipoamide)	การย้ายหมู่อะซีติลไปให้ CoA
ไดไฮโดรลิวพอล ดีไฮโดรจีเนส (dihydrolipoyl dehydrogenase)	C, E ₃	12	FAD	การสร้างรูบออกซิโดส์ของ ลิพอเอไมด์

หมายเหตุ

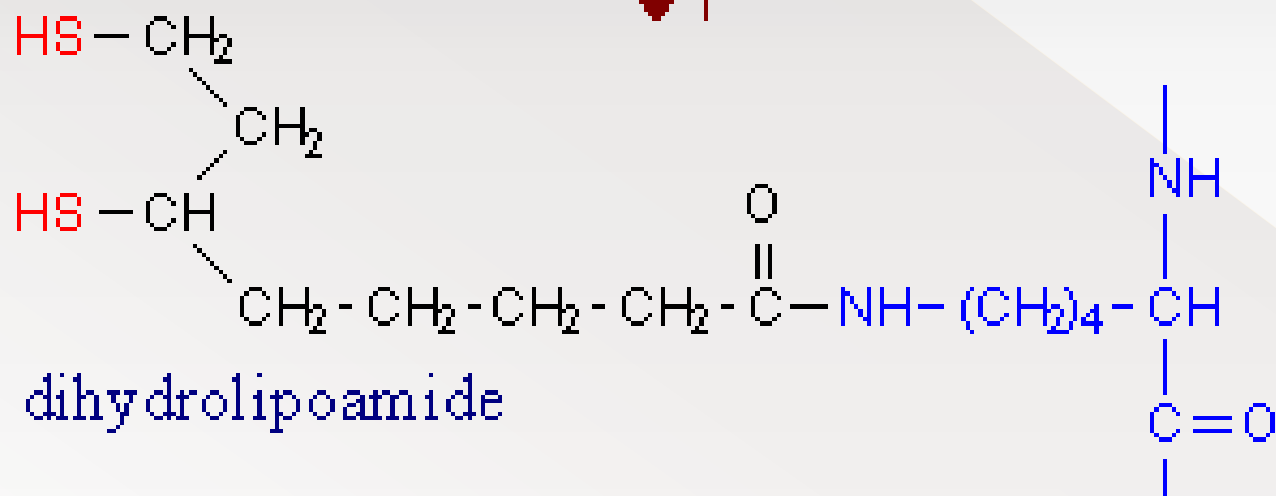
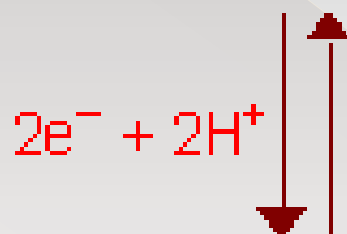
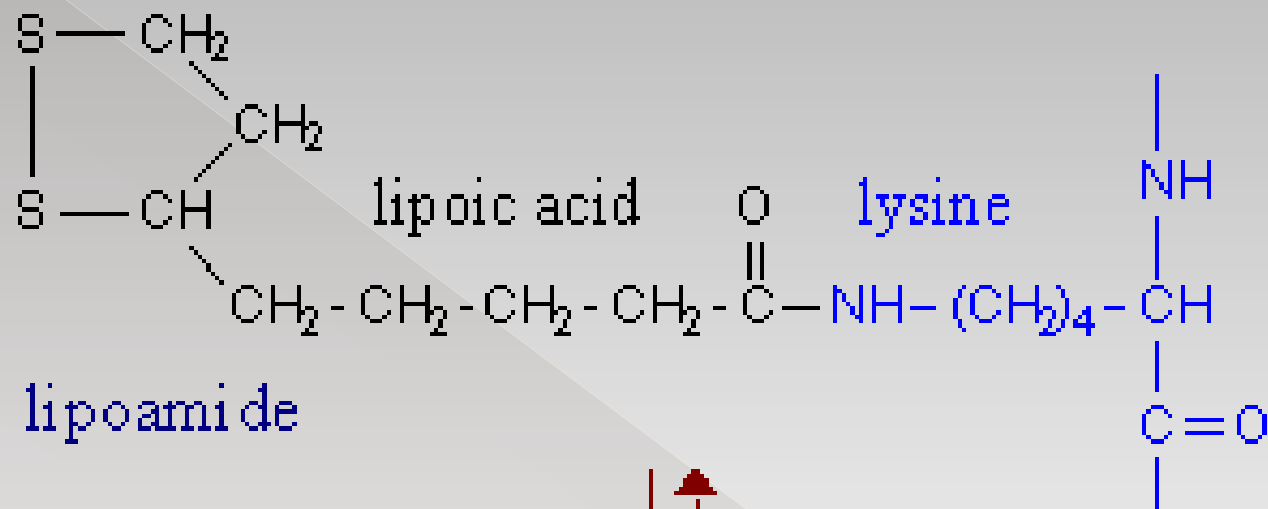
TPP: Thiamine pyrophosphate

Dissociable proton

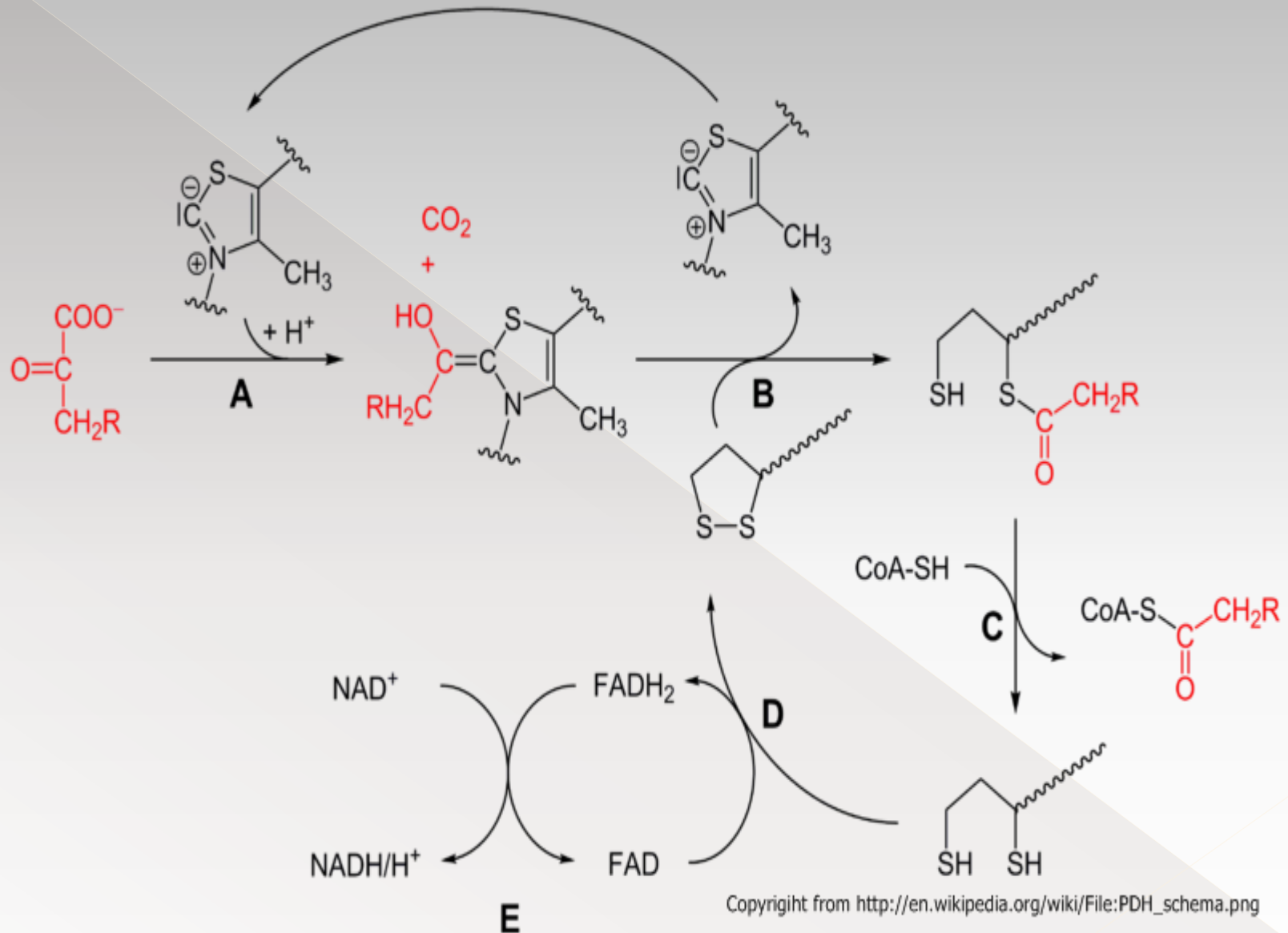
Reactive carbon atom



Thiamine pyrophosphate (TPP)



Pyruvate dehydrogenase complex

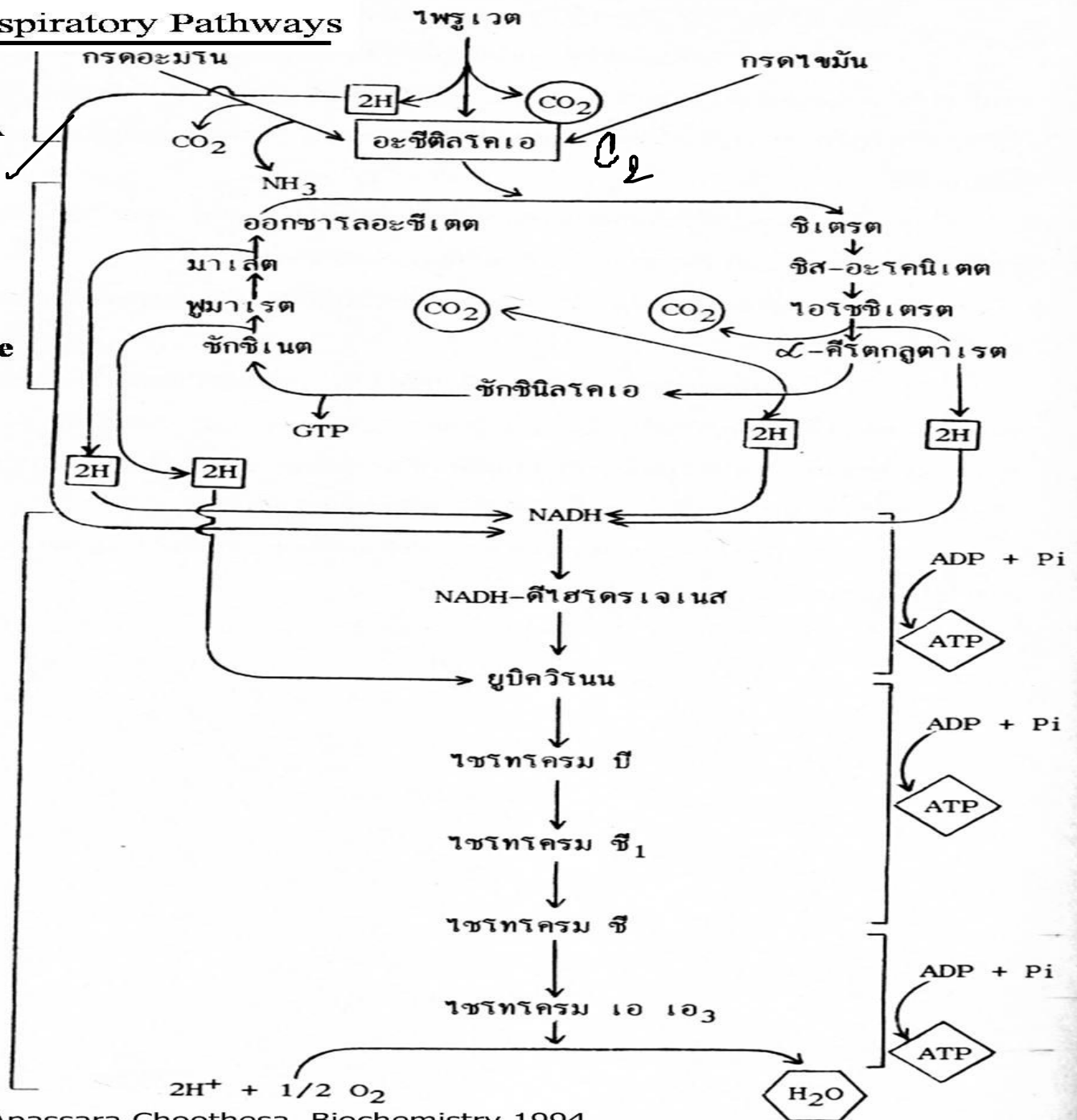


Aerobic Respiratory Pathways

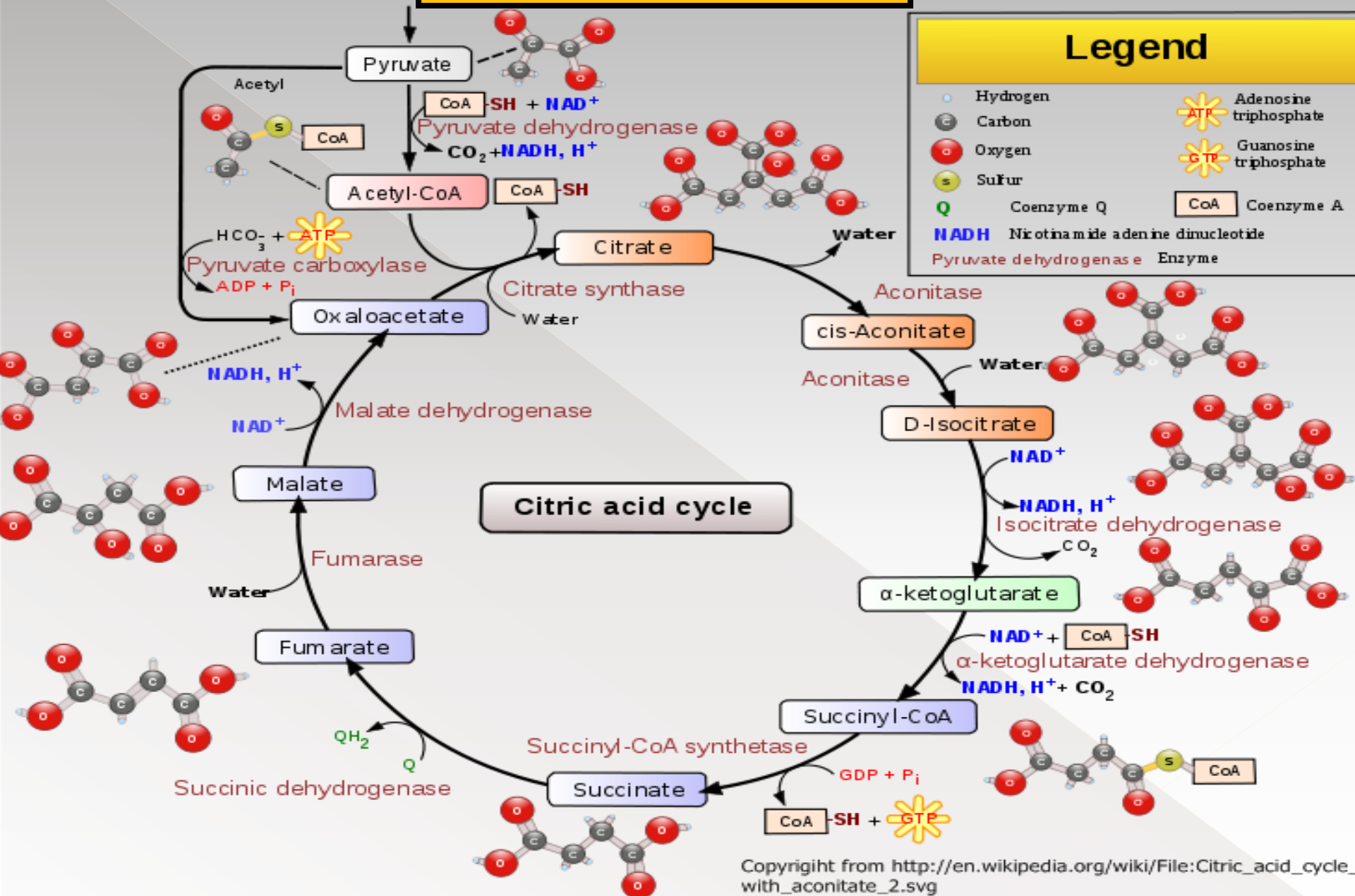
ขั้นตอนที่ 1 Acetyl CoA synthesis

ขั้นตอนที่ 2 Kerb's cycle

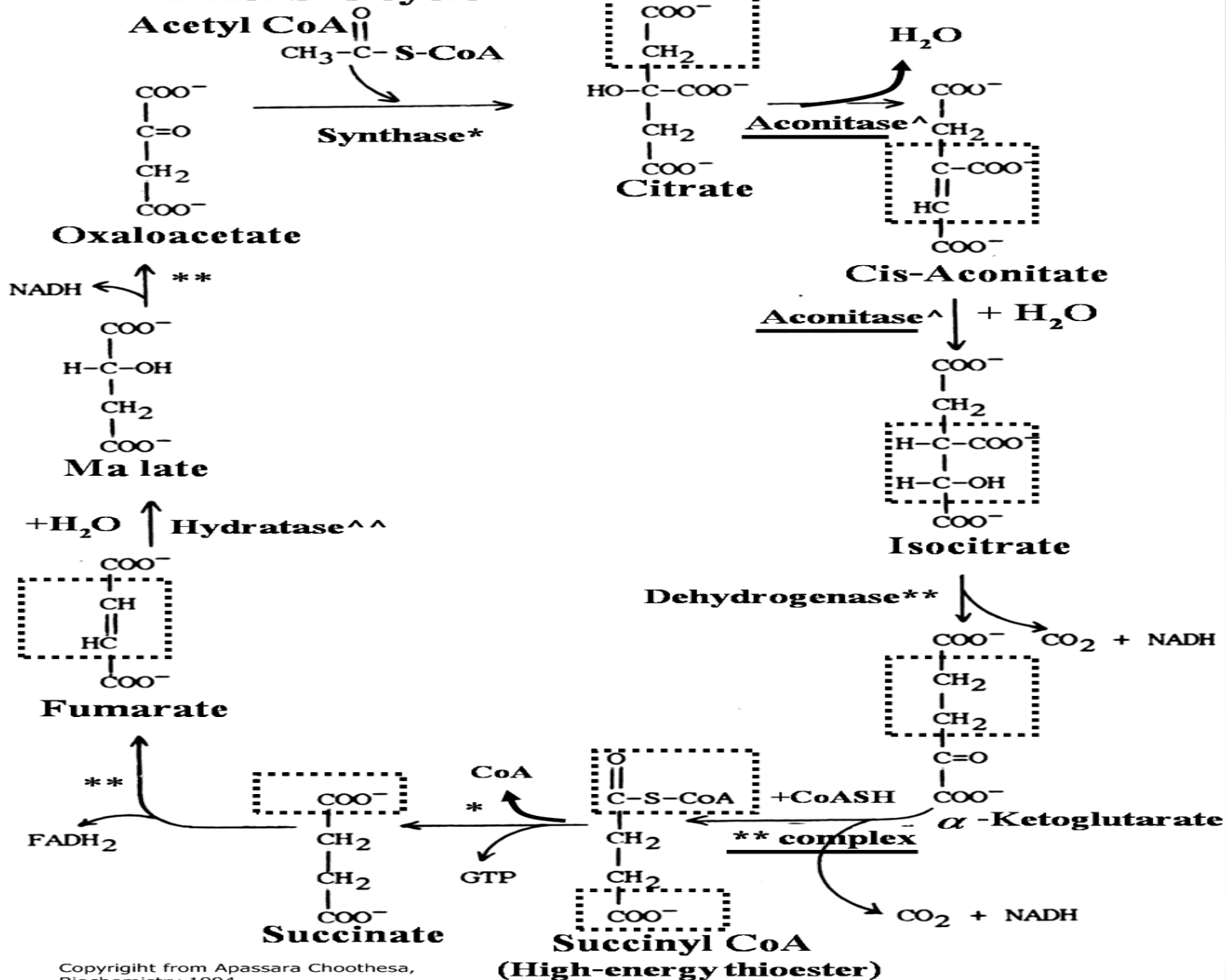
ขั้นตอนที่ 3 Oxidative phospho- -rylation



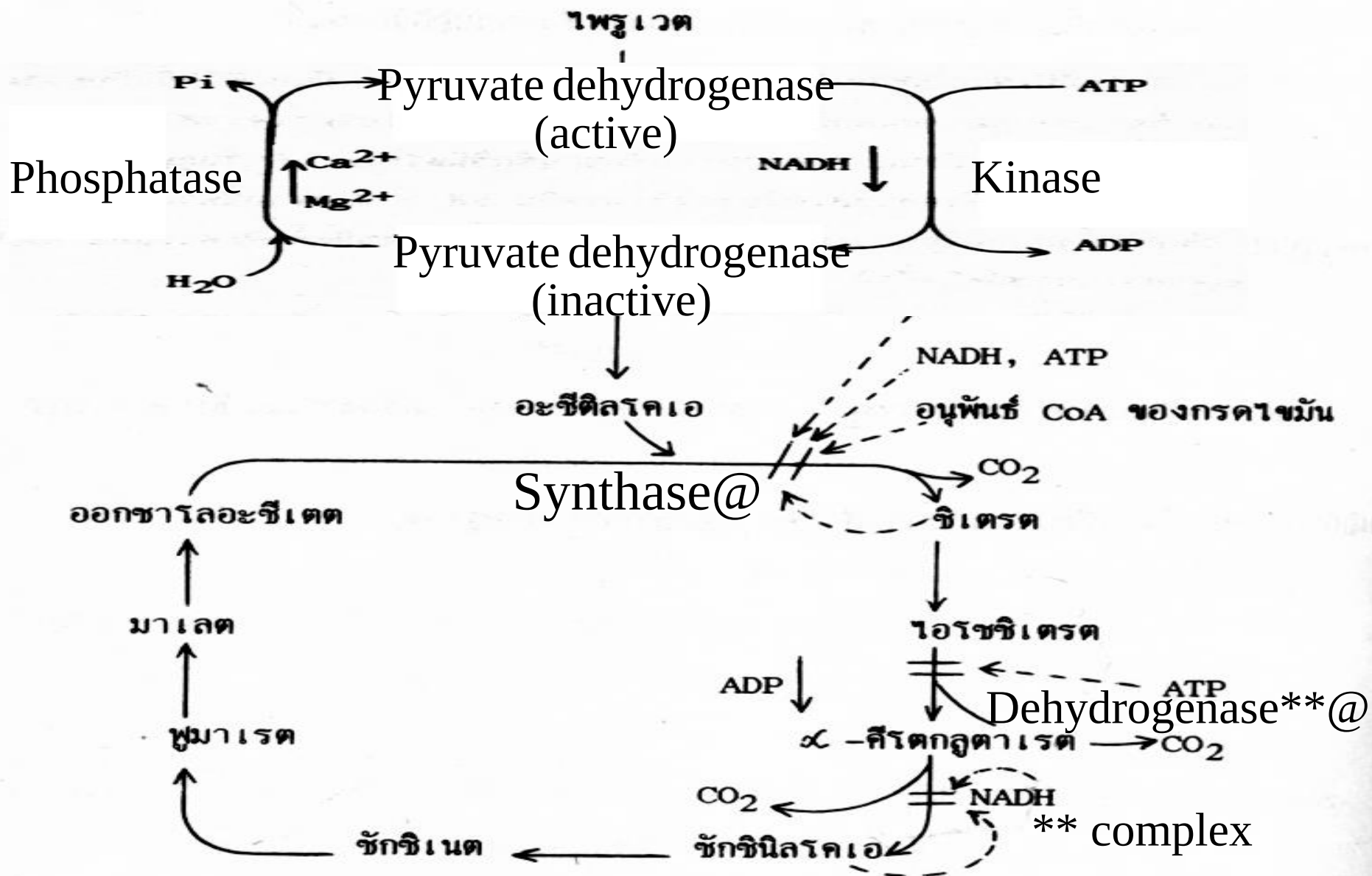
Step 2. Kerb cycle



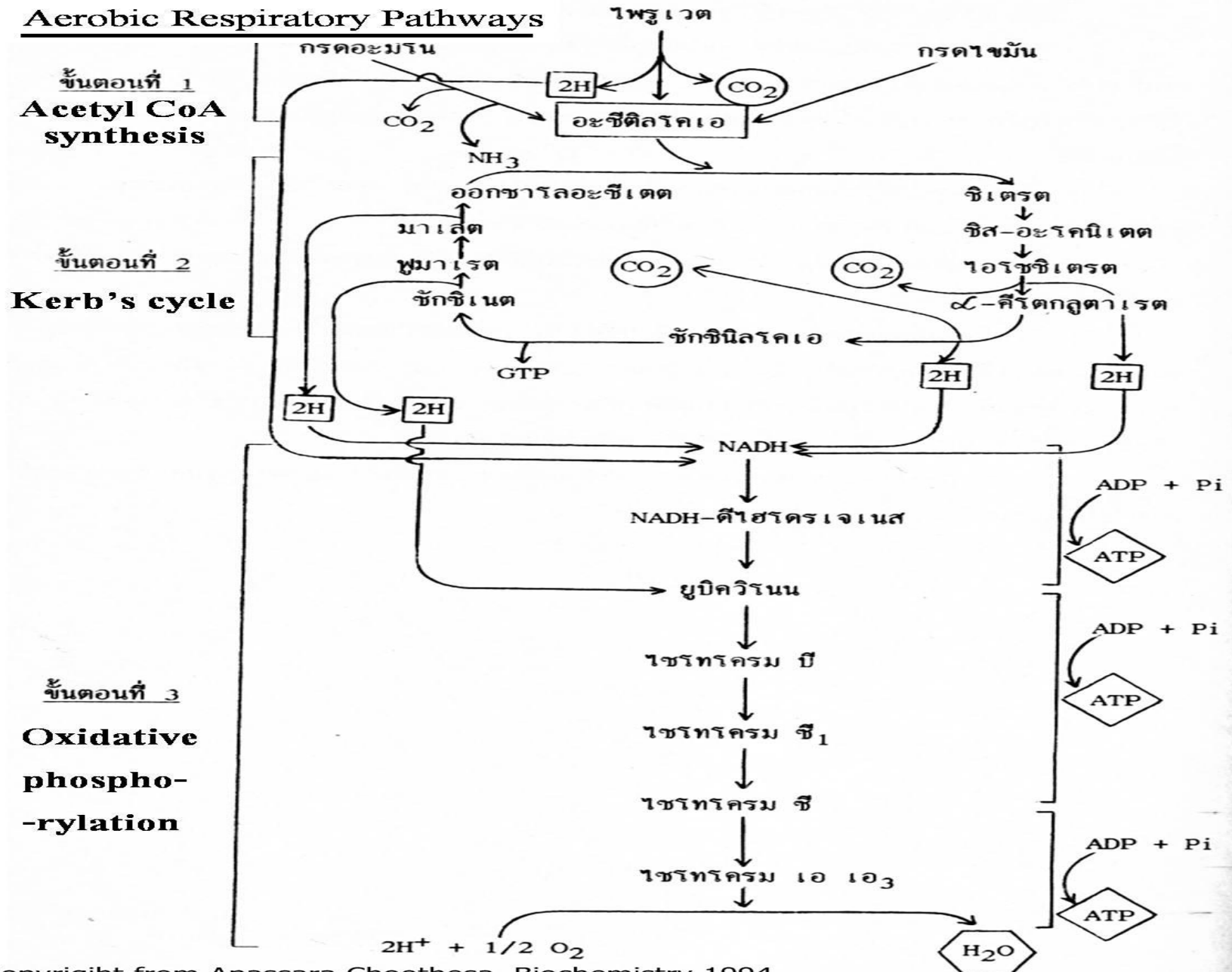
ขั้นตอนที่ 2 Kerb's cycle



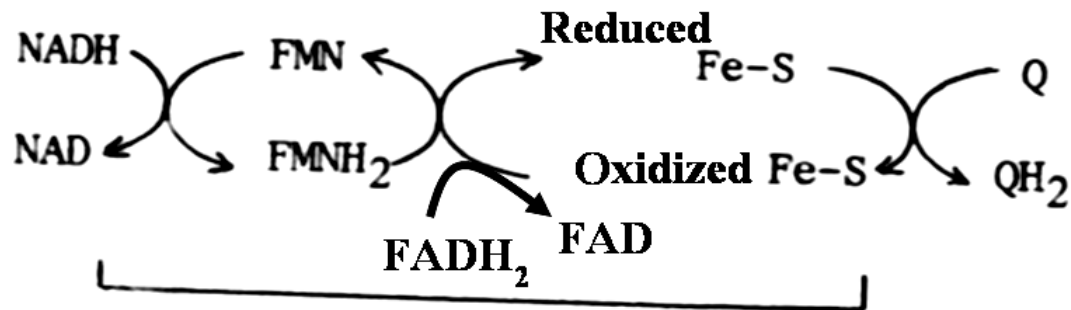
การควบคุมขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของการหายใจโดยใช้ออกซิเจน



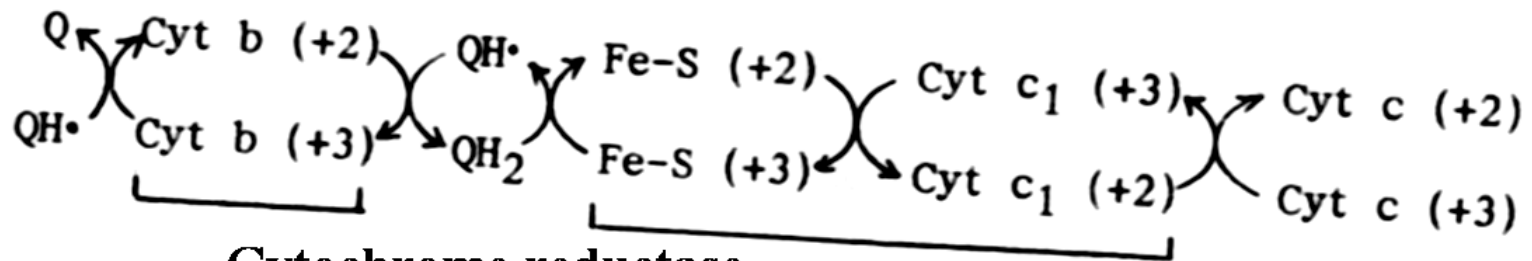
ขั้นตอนที่ 3 Oxidative phosphorylation



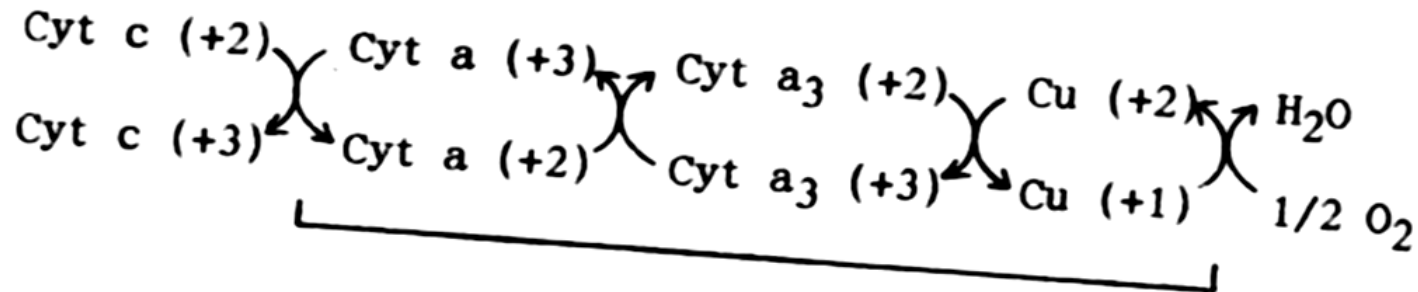
กลไกการการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในการขนส่งอิเล็กตรอน



NADH dehydrogenase

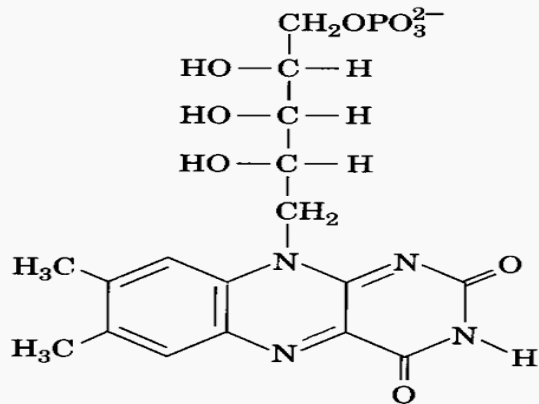


Cytochrome reductase

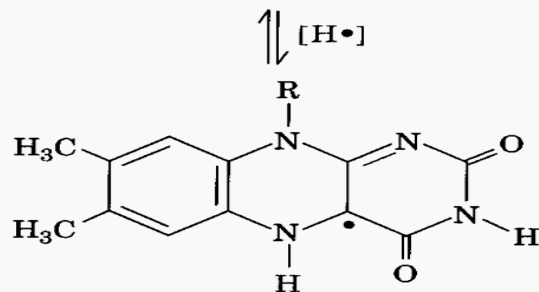


Cytochrome oxidase

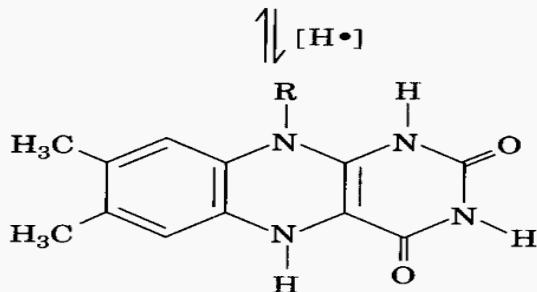
Structure of FMN, Fe-S and Coenzyme Q



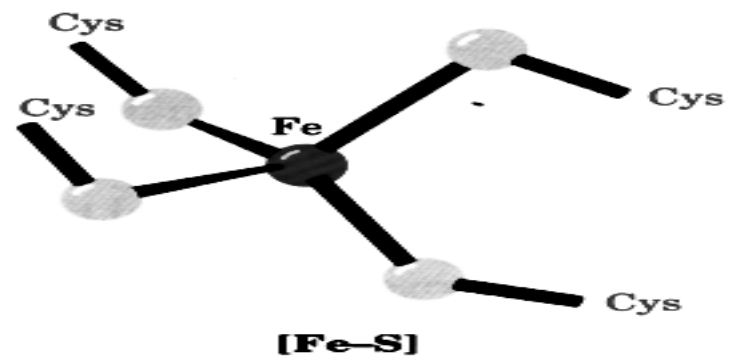
Flavin mononucleotide (FMN)
(oxidized or quinone form)



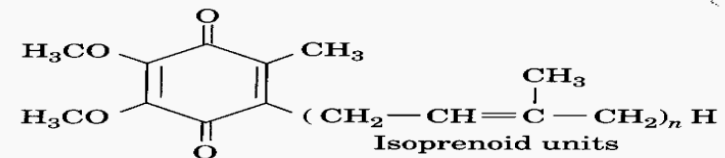
FMNH• (radical or semiquinone form)



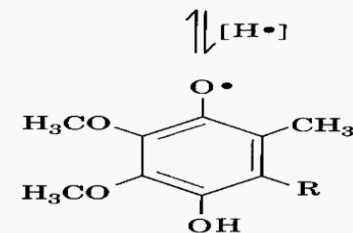
FMNH₂ (reduced or hydroquinone form)



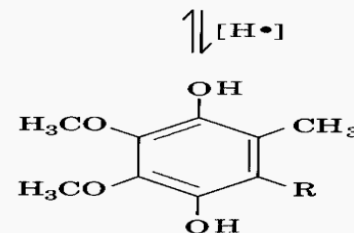
[Fe-S]



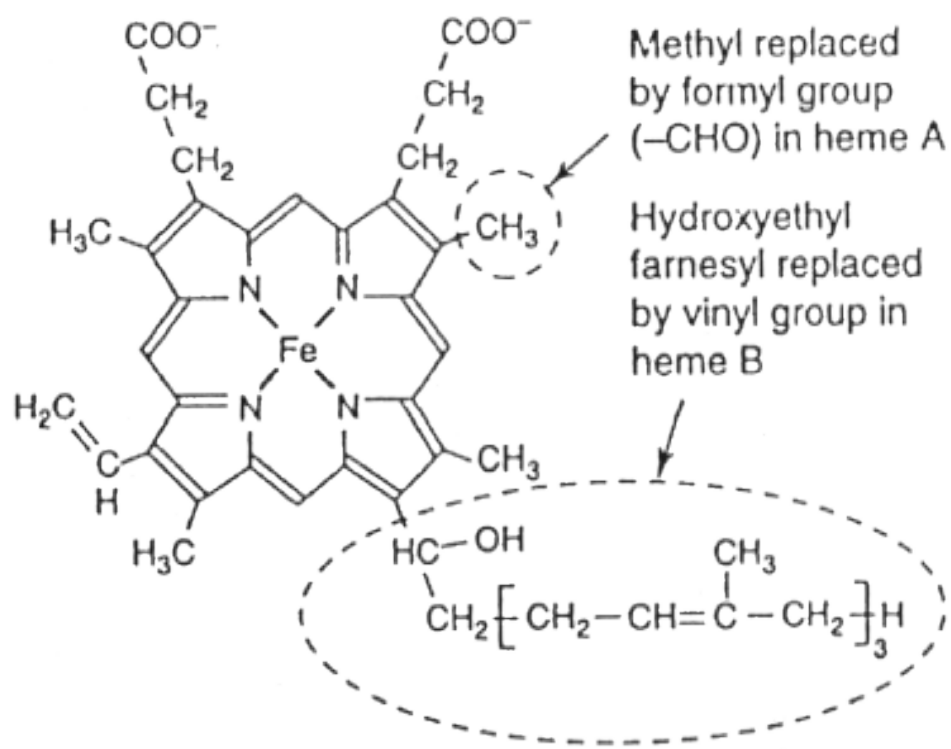
Coenzyme Q (CoQ) or Ubiquinone
(oxidized or quinone form)



Coenzyme QH• or Ubisemiquinone
(radical or semiquinone form)

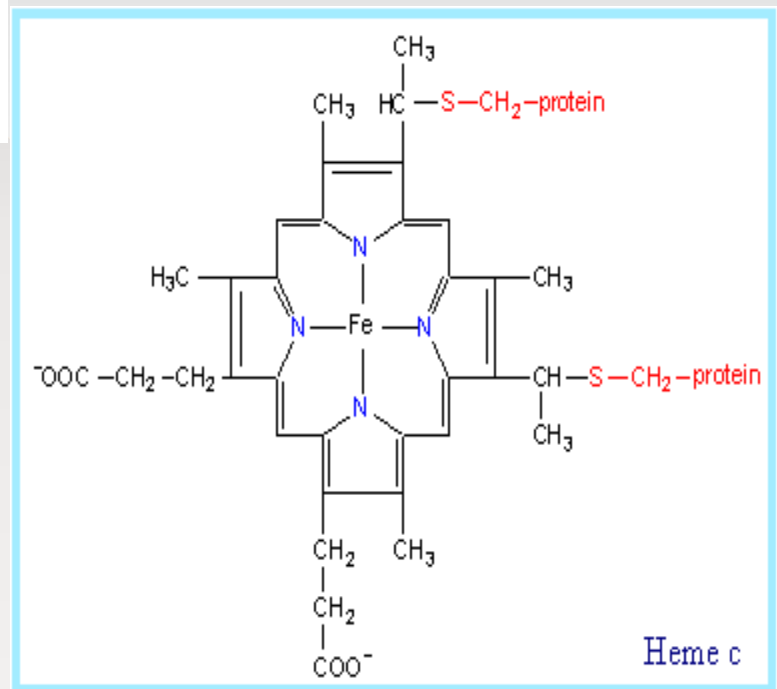


Coenzyme QH₂ or Ubiquinol
(reduced or hydroquinone form)



Heme structure in cytochrome

Copyright from <http://www.life.illinois.edu/crofts/bioph354/images/cytox/figb.gif>



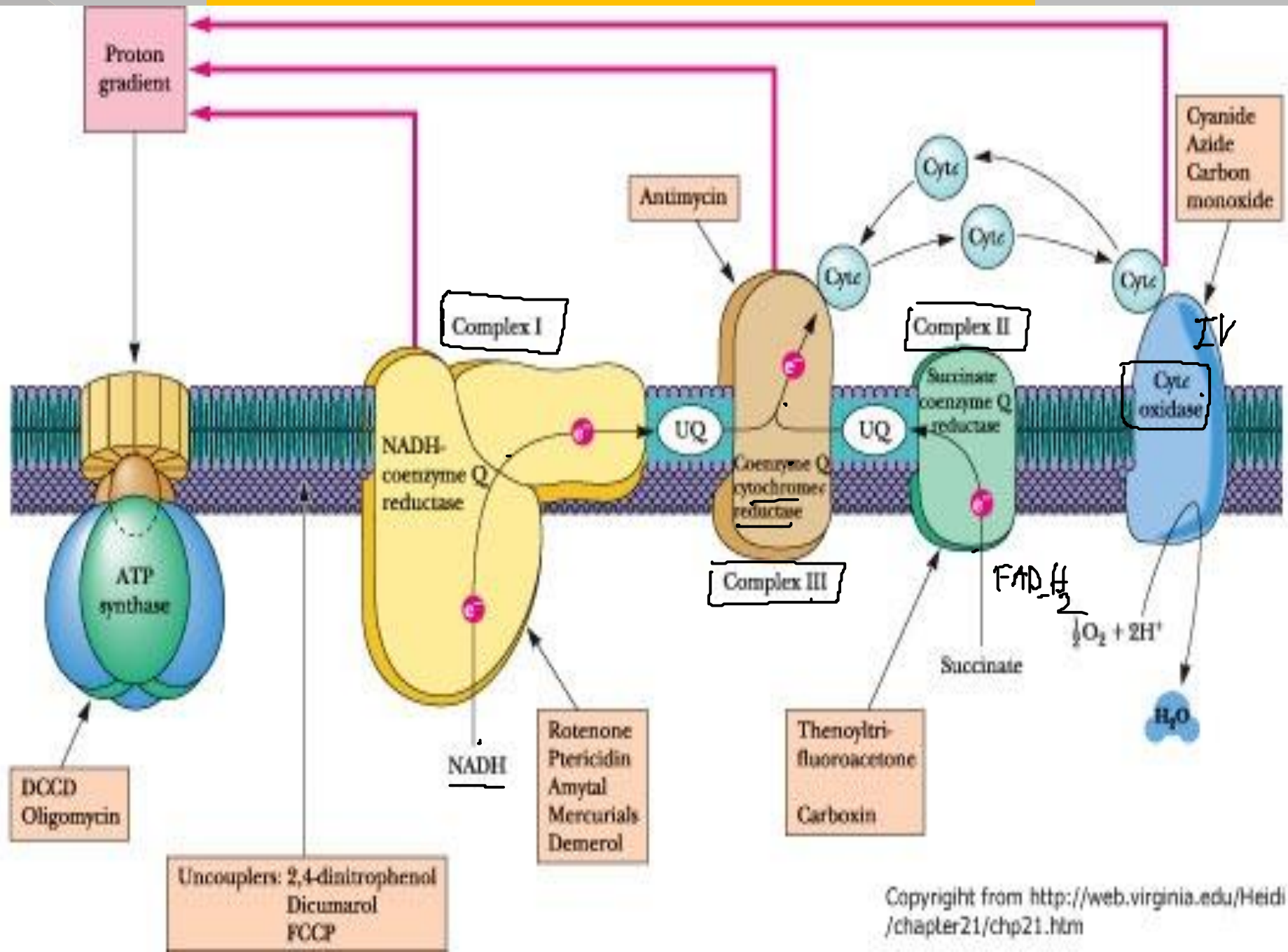
Copyright from <http://rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb1/part2/images/hemecytc.gif>

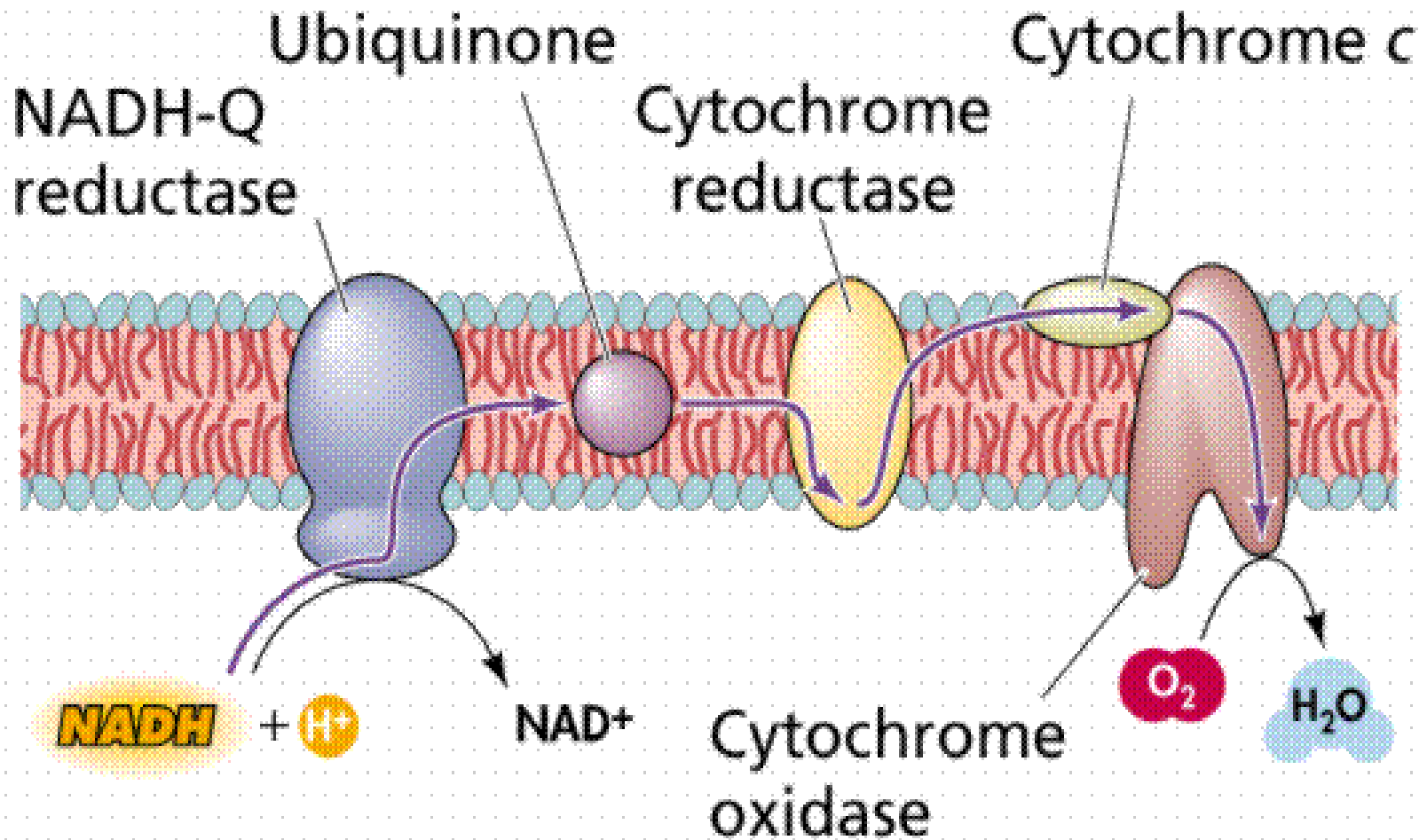
Protein Complexes of the Mitochondrial Electron-Transport Chain

Complex	Mass (kD)	Subunits	Prosthetic Group	Binding Site for:
NADH-UQ reductase	850	>30	FMN Fe-S	NADH (matrix side) UQ (lipid core)
Succinate-UQ reductase	140	4	FAD Fe-S	Succinate (matrix side) UQ (lipid core)
UQ-Cyt <i>c</i> reductase	248	11	Heme <i>b_L</i> Heme <i>b_H</i> Heme <i>c₁</i> Fe-S	Cyt <i>c</i> (intermembrane space side)
Cytochrome <i>c</i>	13	1	Heme <i>c</i>	Cyt <i>c₁</i> Cyt <i>a</i>
Cytochrome <i>c</i> oxidase	162	>10	Heme <i>a</i> Heme <i>a₃</i> Cu _A Cu _B	Cyt <i>c</i> (intermembrane space side)

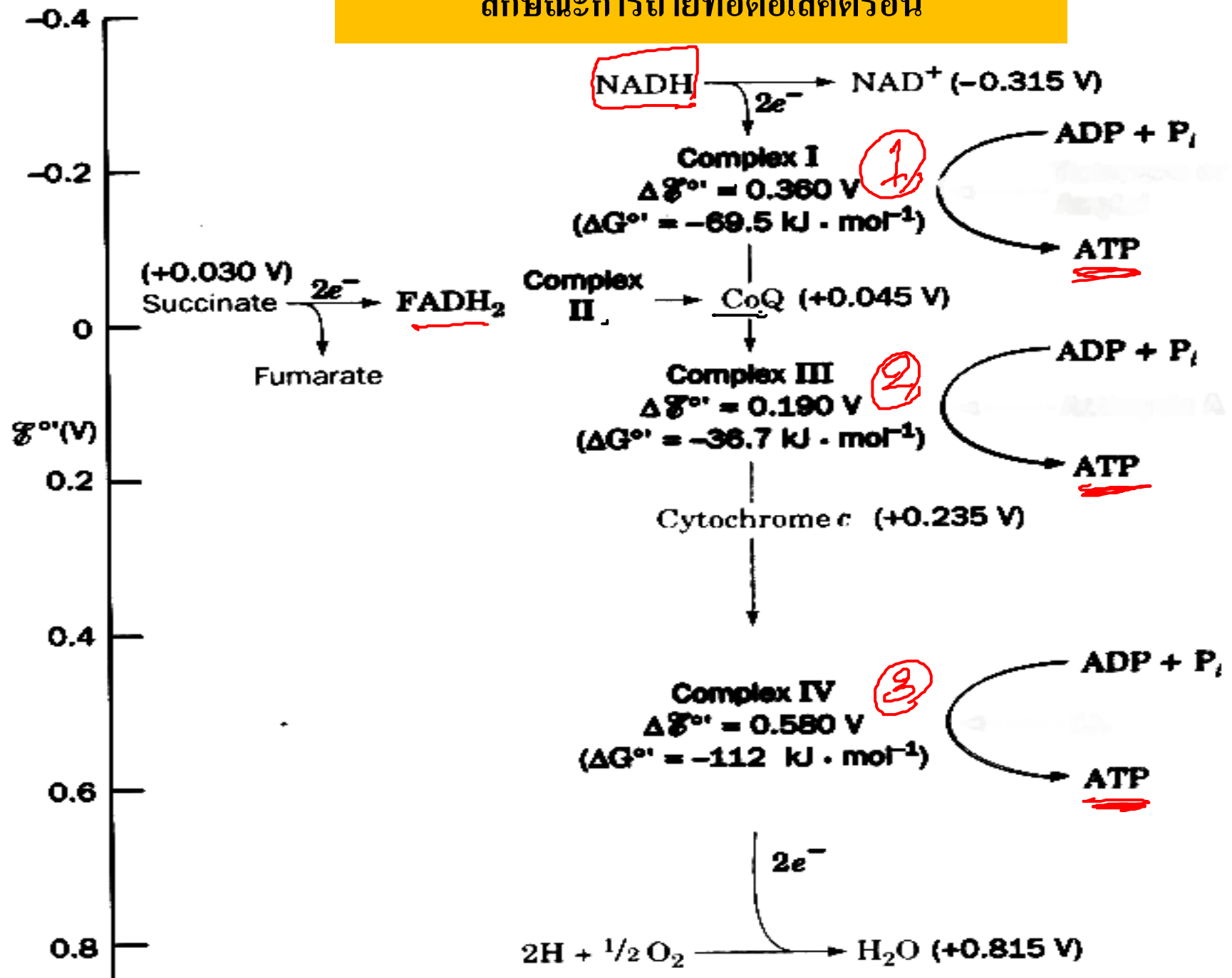
Adapted from: Hatefi, Y., 1985. The mitochondrial electron transport chain and oxidative phosphorylation system. *Annual Review of Biochemistry* 54:1015-1069; and DePierre, J., and Ernster, L., 1977. Enzyme topology of intracellular membranes. *Annual Review of Biochemistry* 46:201-262.

กลไกการการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในการขนส่งอิเล็กตรอน



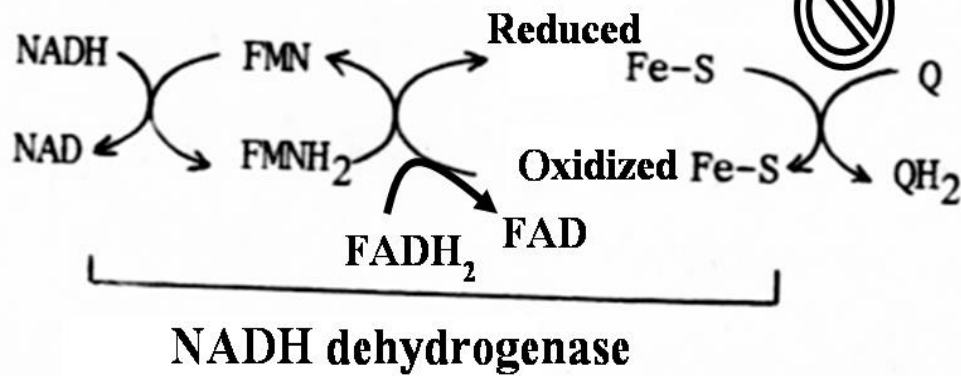
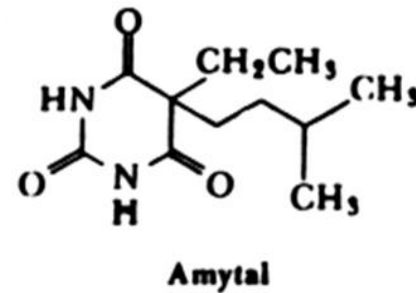
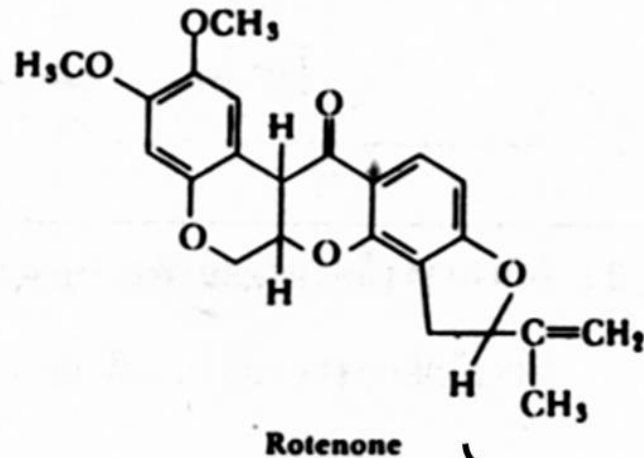


ลักษณะการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

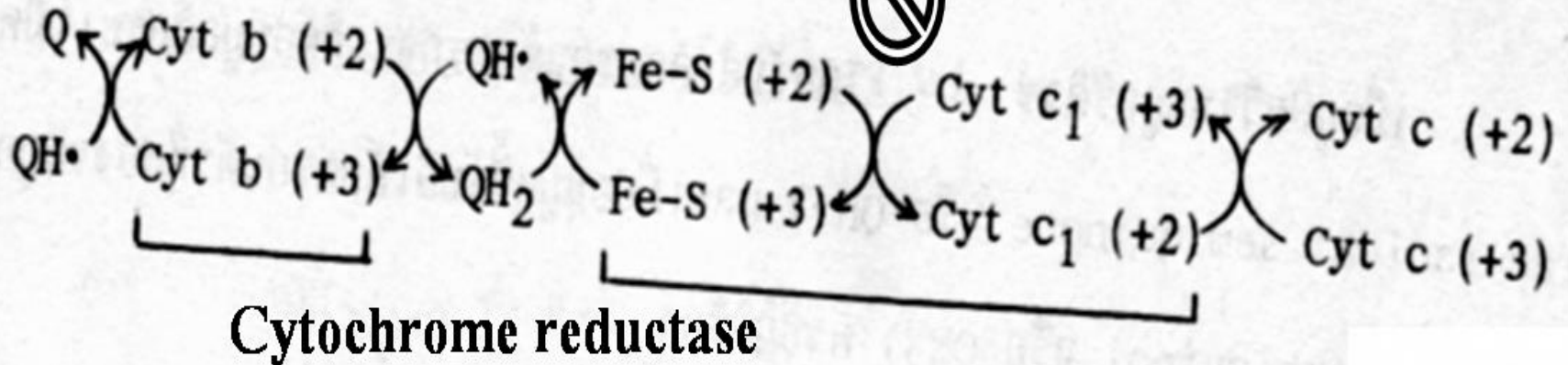
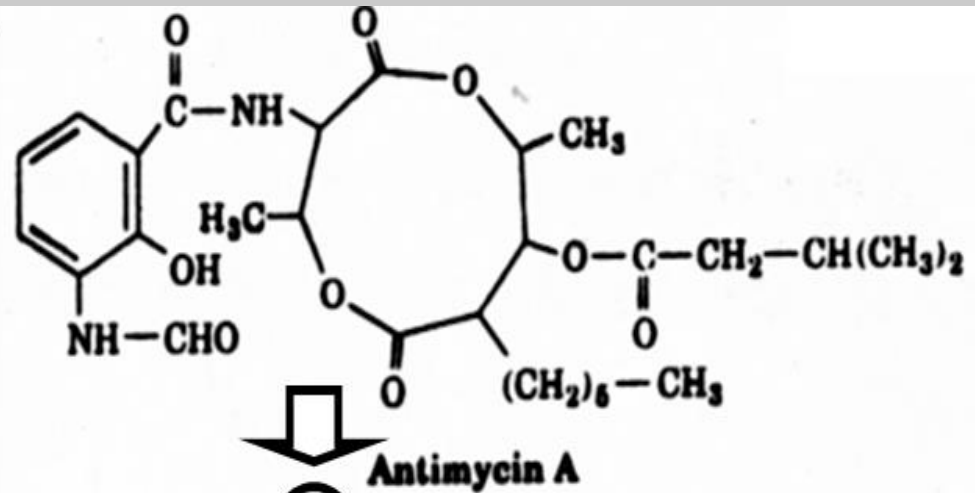


ทบทวนเนื้อหา 05

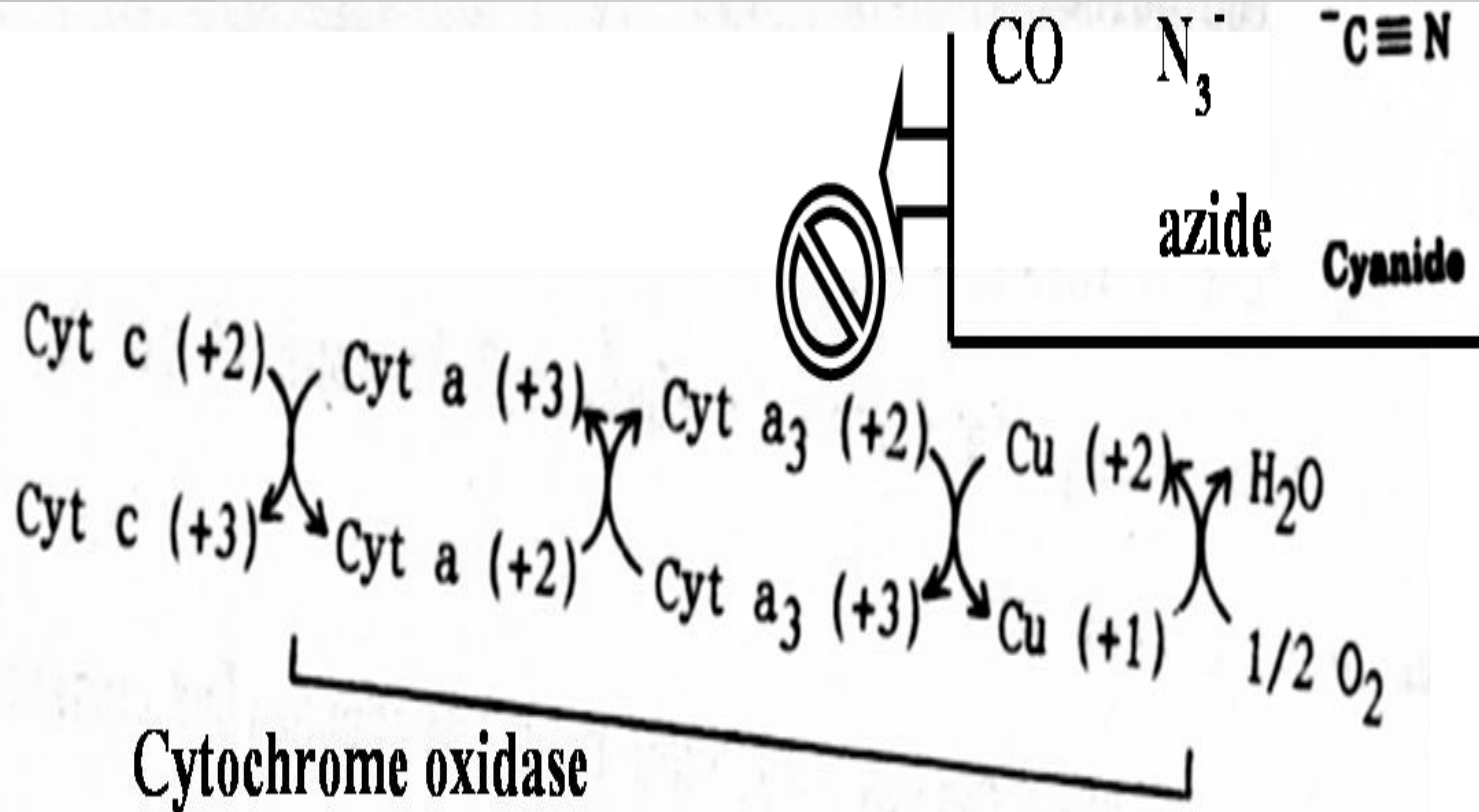
Inhibition of NADH dehydrogenase



Inhibition of Cytochrome reductase



Inhibition of Cytochrome reductase



การเกิดพลังงานคู่ควบไปกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ขบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

พบว่ามี 3 ขั้นตอนสำคัญที่มีการคายพลังงานออกมา

1. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก NADH ไปให้กับ Fe-S ใน NADH-Q :

มีค่า $\Delta G' = -12$ กิโลแคลอรี/โมล

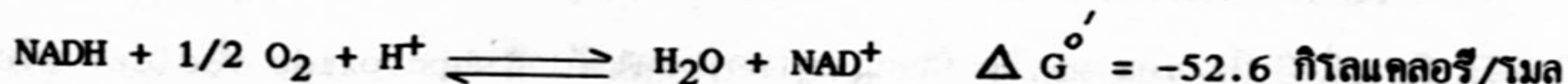
2. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก Cyt b ไปให้กับ Cyt c_1 ใน Cyt

มีค่า $\Delta G' = -10$ กิโลแคลอรี/โมล

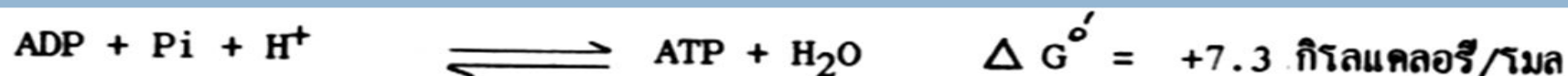
3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก Cyt a ไปให้กับ O_2 ใน Cyt

มีค่า $\Delta G' = -24$ กิโลแคลอรี/โมล

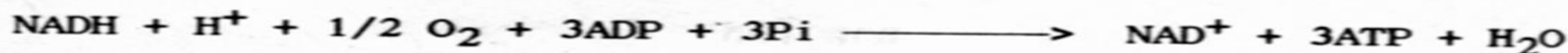
ดังนั้นมีพลังงานที่ได้ออกมา



เปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการสร้าง 1 ATP



ดังนั้นจึงเกิดการสร้าง ATP ขึ้น 3 โมเลกุลต่อหนึ่งโมเลกุลของ NADH ที่ถูกออกซิไดส์หรือต่อหนึ่งอะตอมของออกซิเจน การสร้าง ATP จาก ADP และ P_i ซึ่งเกิดคู่ควบกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในโซ่ การหายใจนี้เรียกว่า **Oxidative phosphorylation**



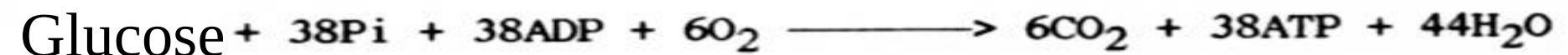
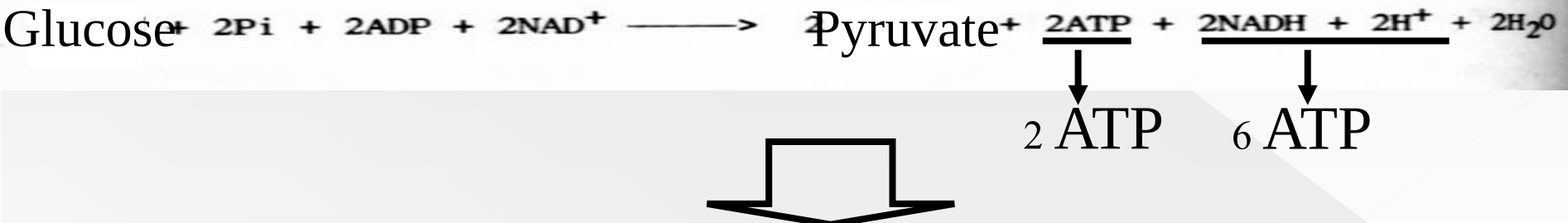
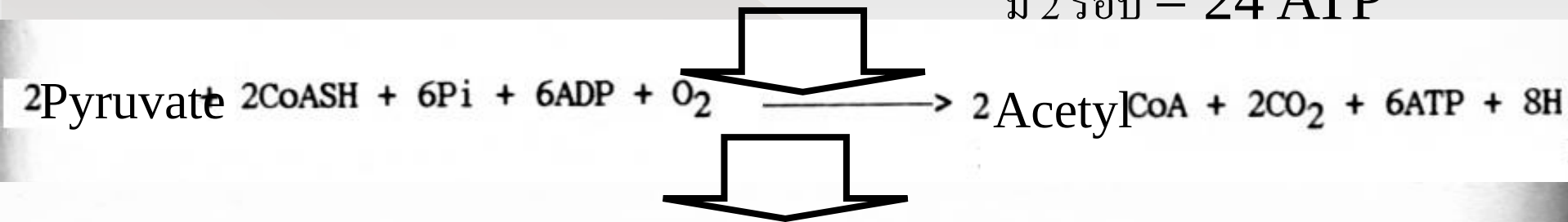
การคิดคำนวณพลังงานในรูป ATP

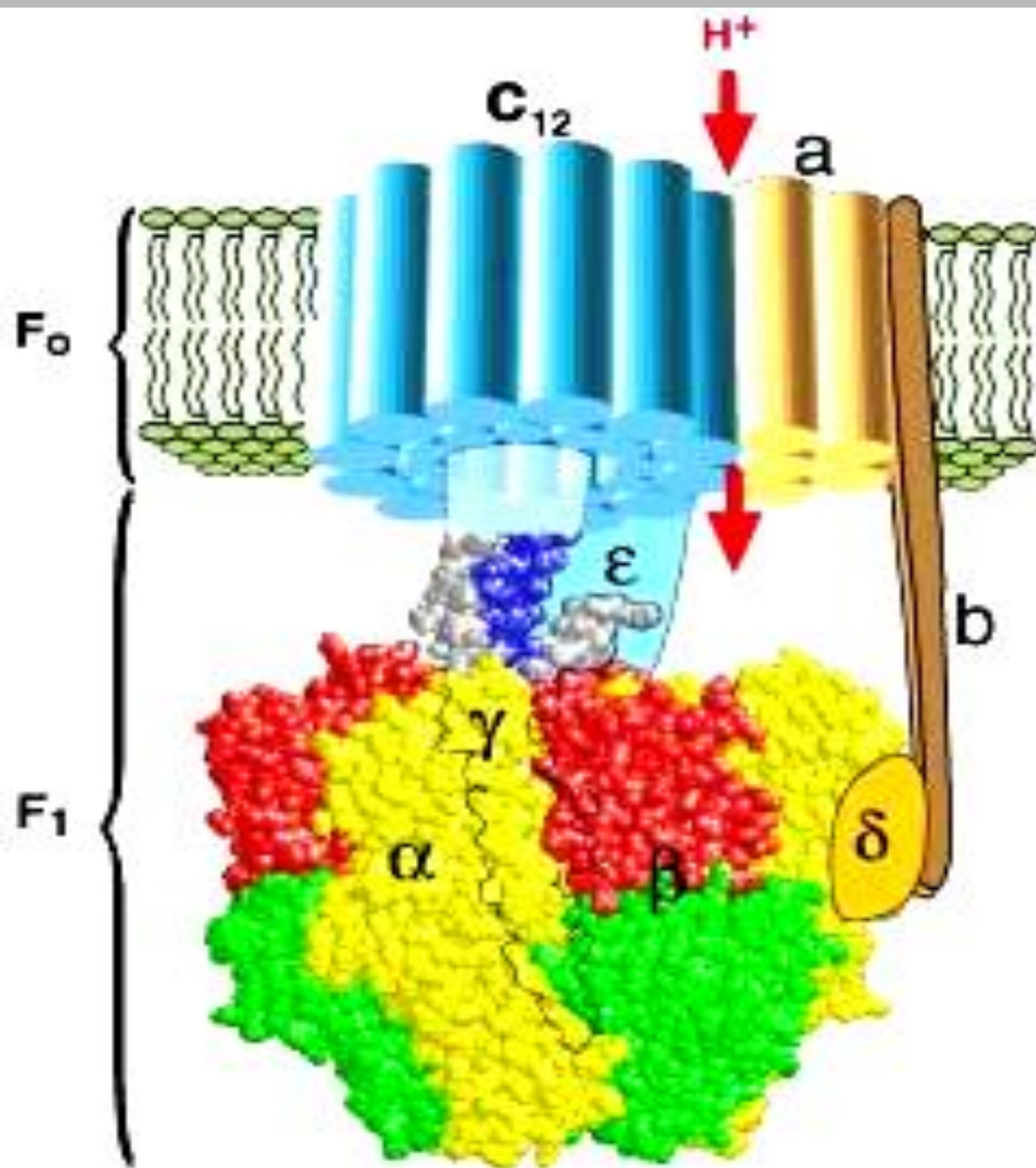
ขั้นตอน	จำนวนโมเลกุลของ ATP
ไอโซซิเตรต $\longrightarrow$ α -คีโตกลูตาเรต + CO_2	3
α -คีโตกลูตาเรต $\longrightarrow$ ซักซิเนต + CO_2	4*
ซักซิเนต $\longrightarrow$ ฟูมาเรต	2
มาเลต $\longrightarrow$ ออกซาโลอะซีเตต	3

รวมทั้งสิ้น

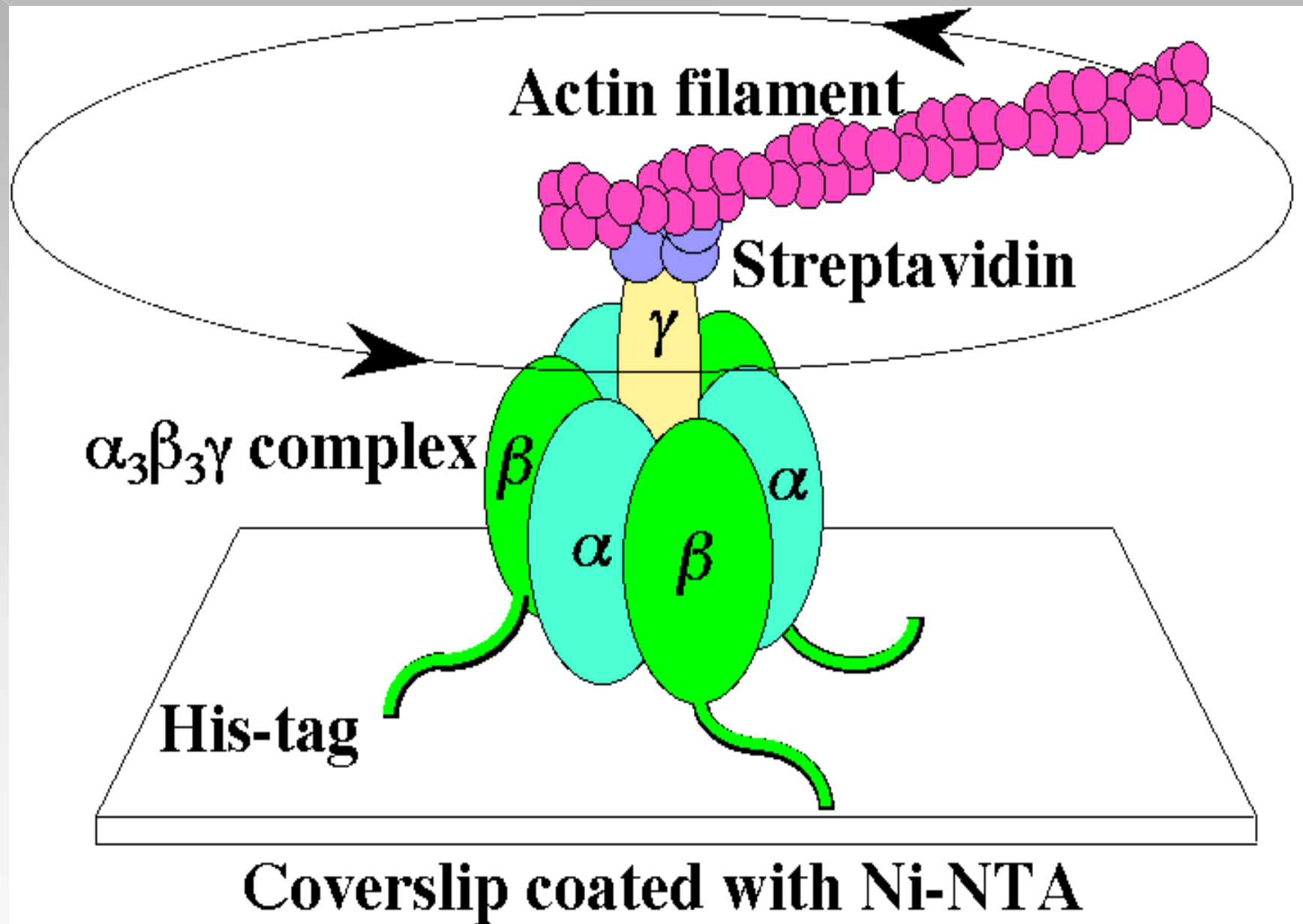
12

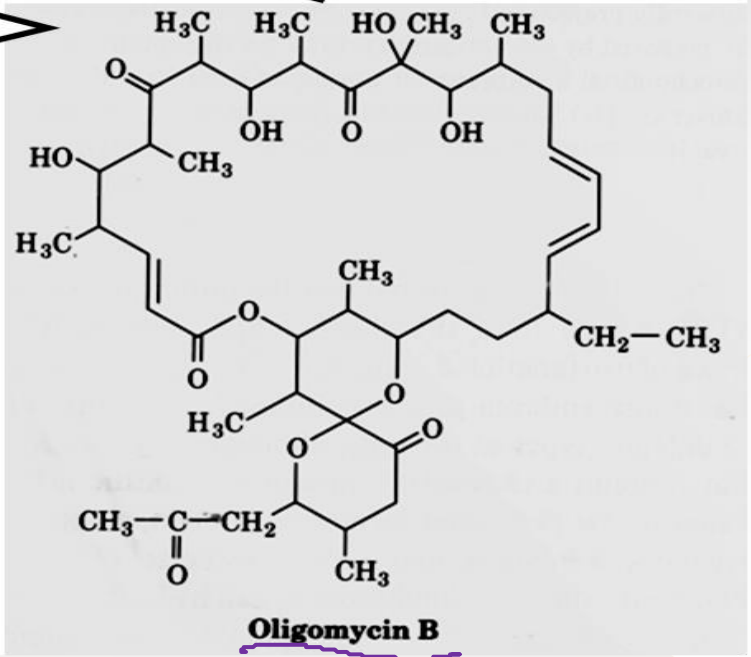
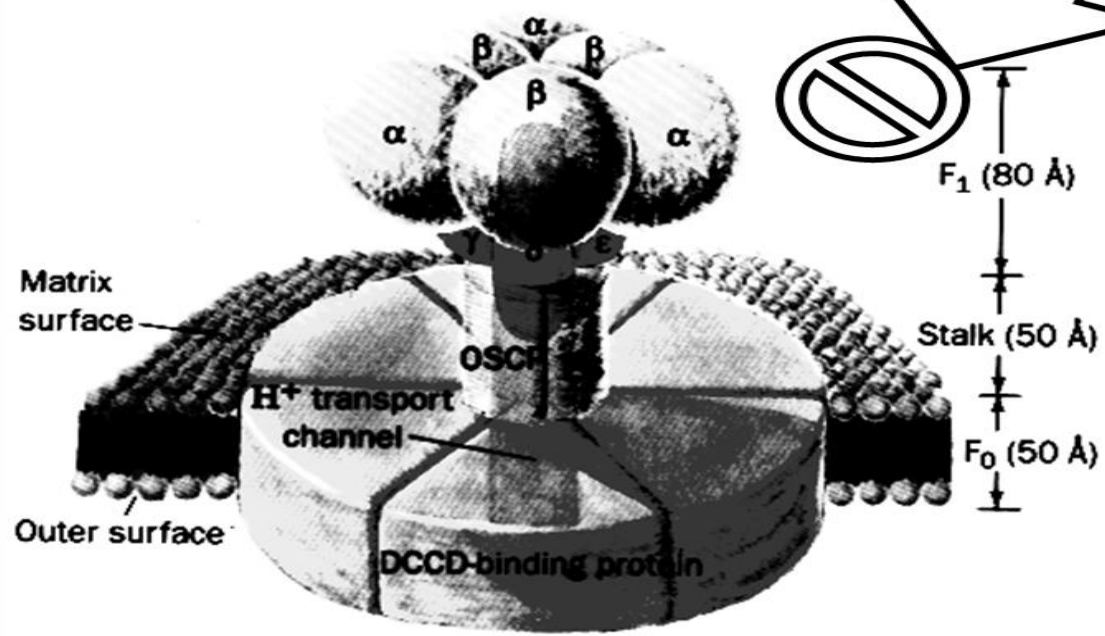
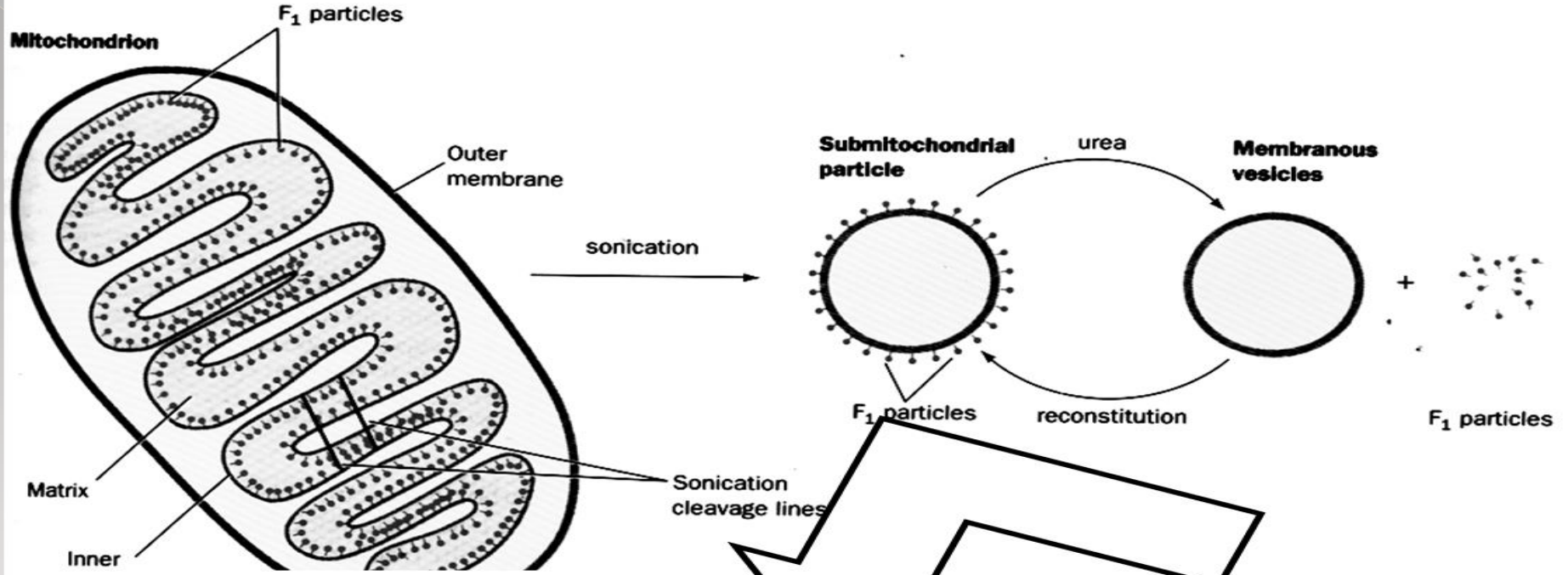
มี 2 รอบ = 24 ATP





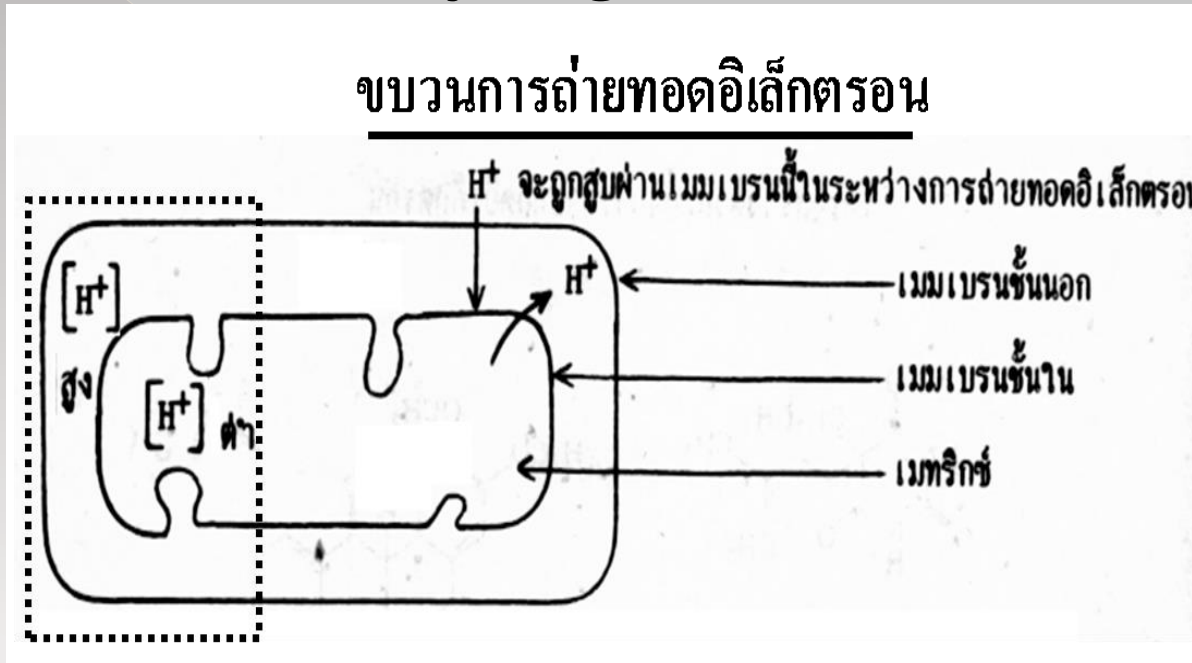
H. Wang and G. Oster (1998) Nature 396 279-282





Oxidation ที่อยู่ภายนอก Mitochondria

-แก้ปัญหา NADH dehydrogenase รับเฉพาะ H^+ จาก matrix



- แต่ถ้ามี

H^+ จาก cytoplasm ต้องอาศัยวิธีการเหล่านี้

1. Malate-aspartate shuttle
2. Glycerol phosphate shuttle

Oxidation ที่อยู่ภายนอก Mitochondria

- แก้ปัญหา NADH dehydrogenase รับเฉพาะ H^+ จาก matrix

- แต่ถ้ามี

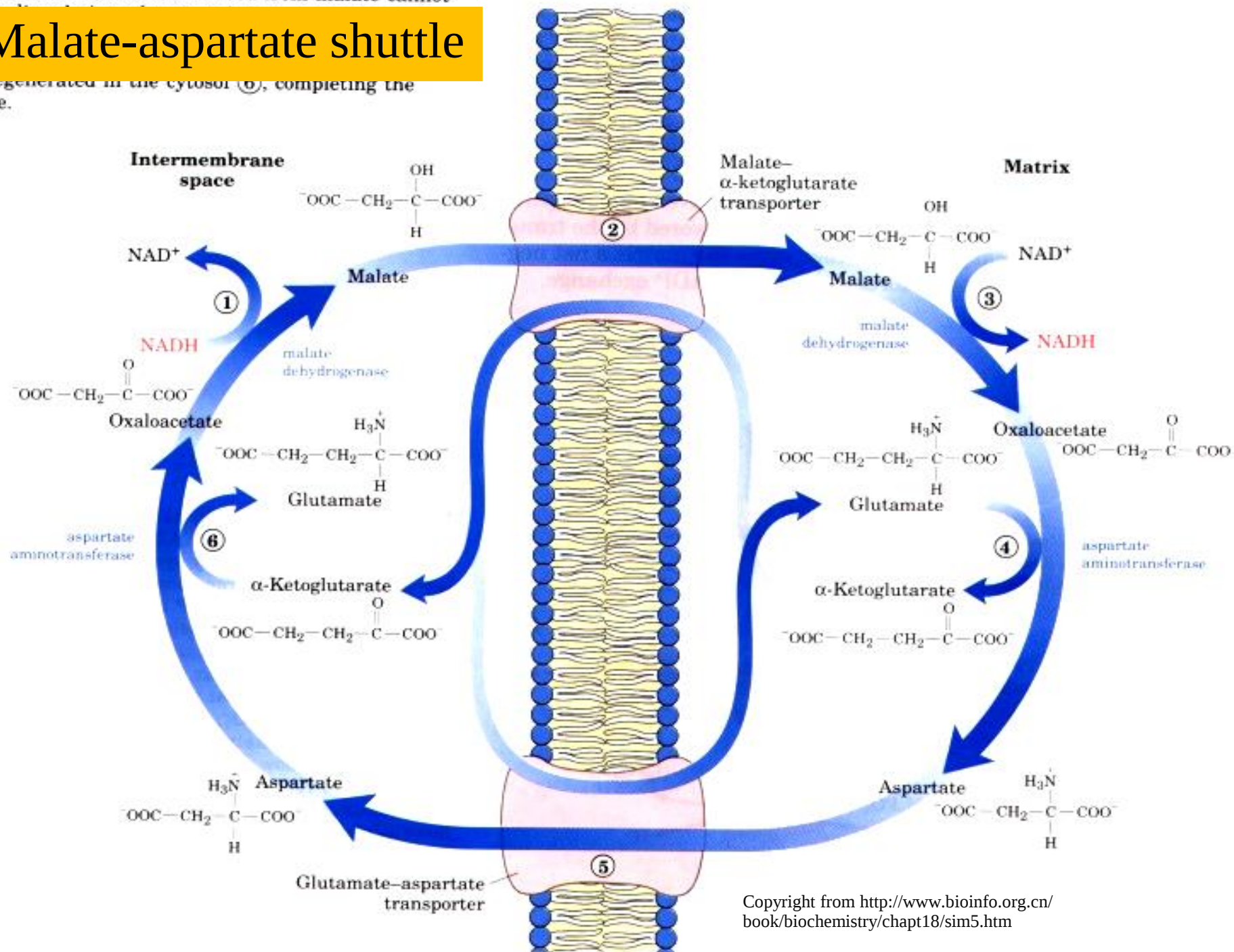
H^+ จาก cytoplasm ต้องอาศัยวิธีการเหล่านี้

1. Malate-aspartate shuttle

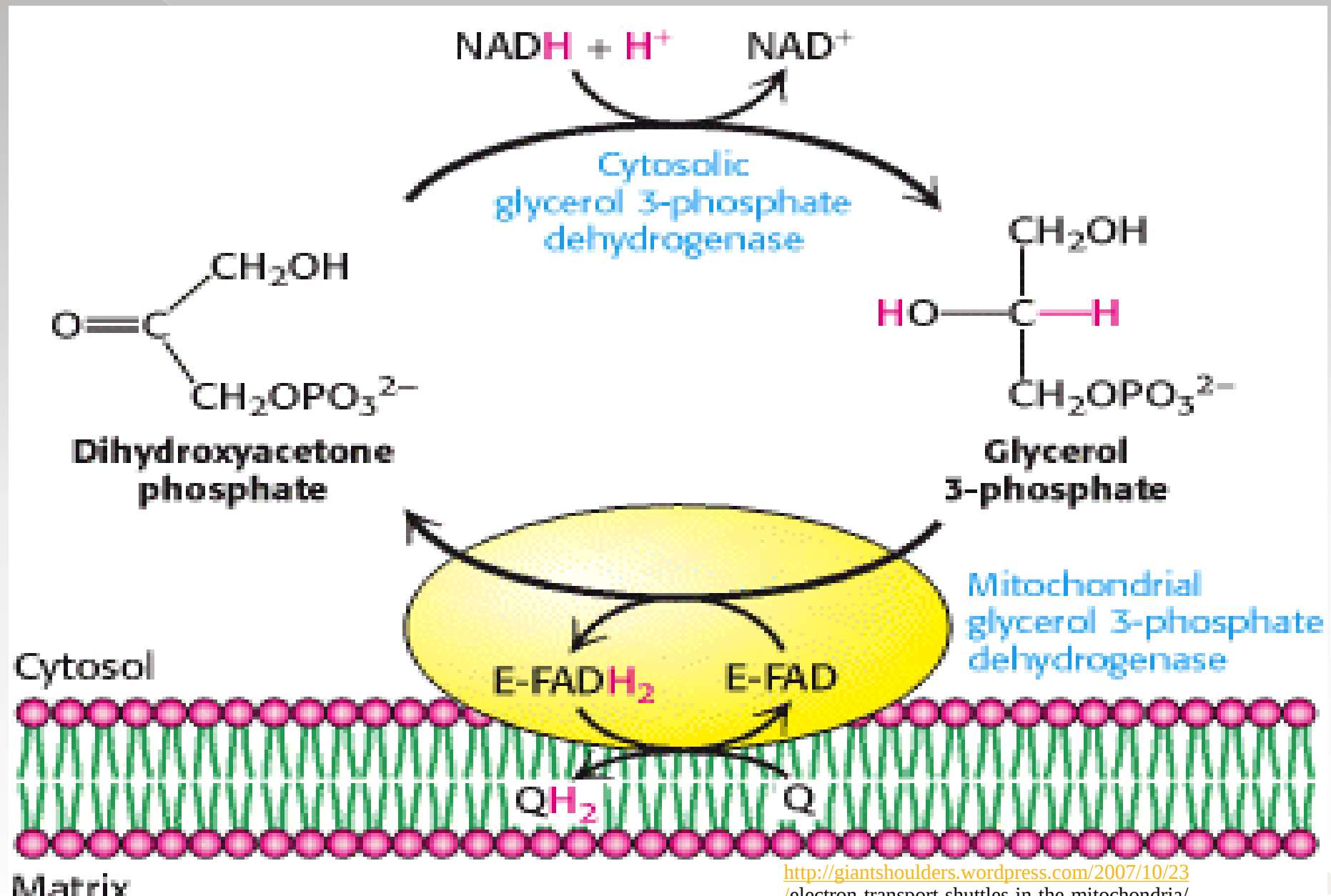
2. Glycerol phosphate shuttle

Malate-aspartate shuttle

is regenerated in the cytosol (6), completing the cycle.



2. Glycerol phosphate shuttle



Inhibition of oxidative phosphorylation

Couple reaction

2, 4 dinitrophenol

Diumarol

Salicylanilide

Carbonyl cyanide phenylhydrazone

Ion carrier

Valinomycin

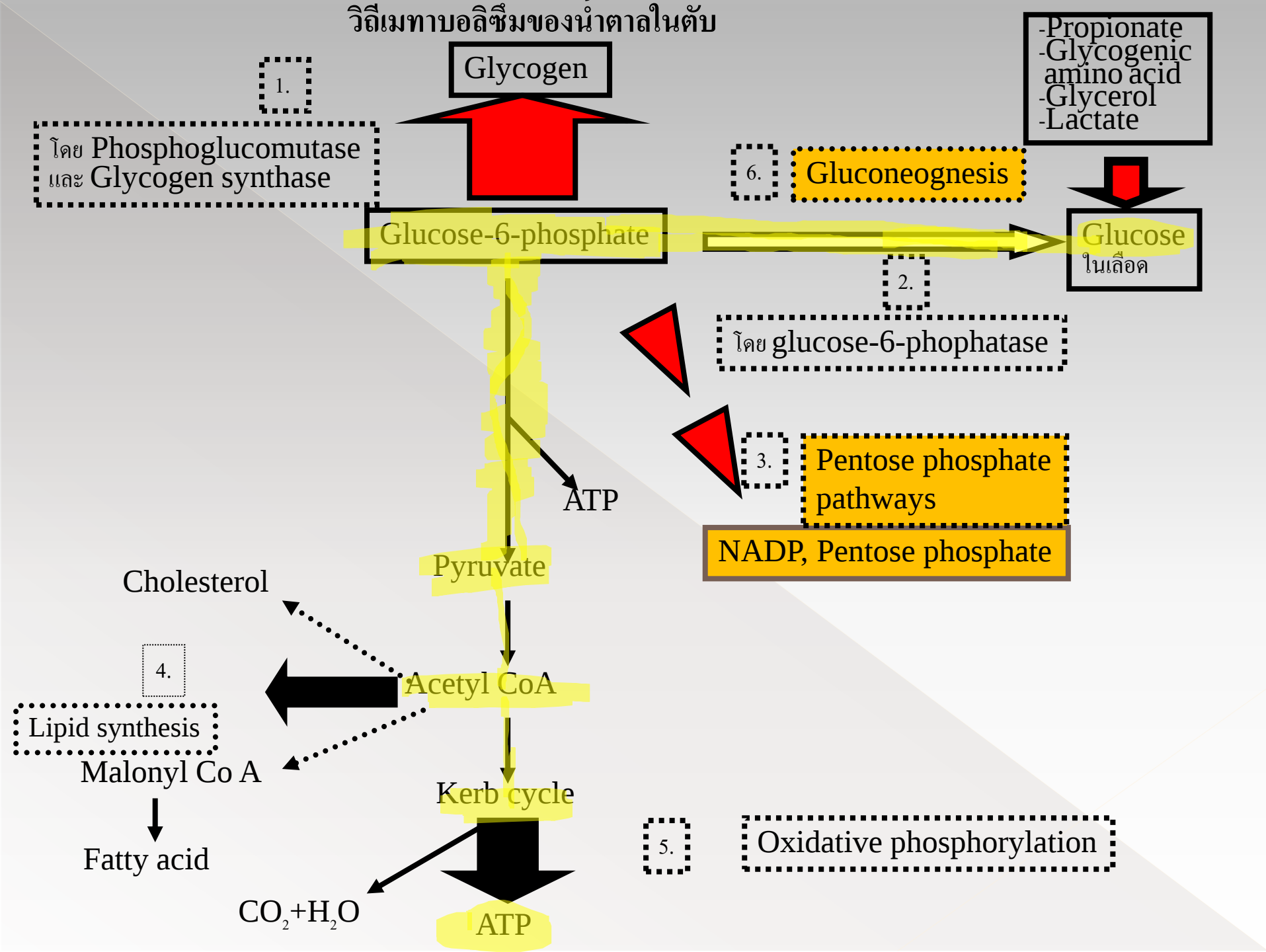
Gramicidin

ATP synthesis

Oligomycin

Rutamycin

วิถีเมแทบอลิซึมของน้ำตาลในตับ



Pentose Phosphate Pathway

Pentose phosphate pathway

Targets of this pathway

1. To generate reducing equivalents

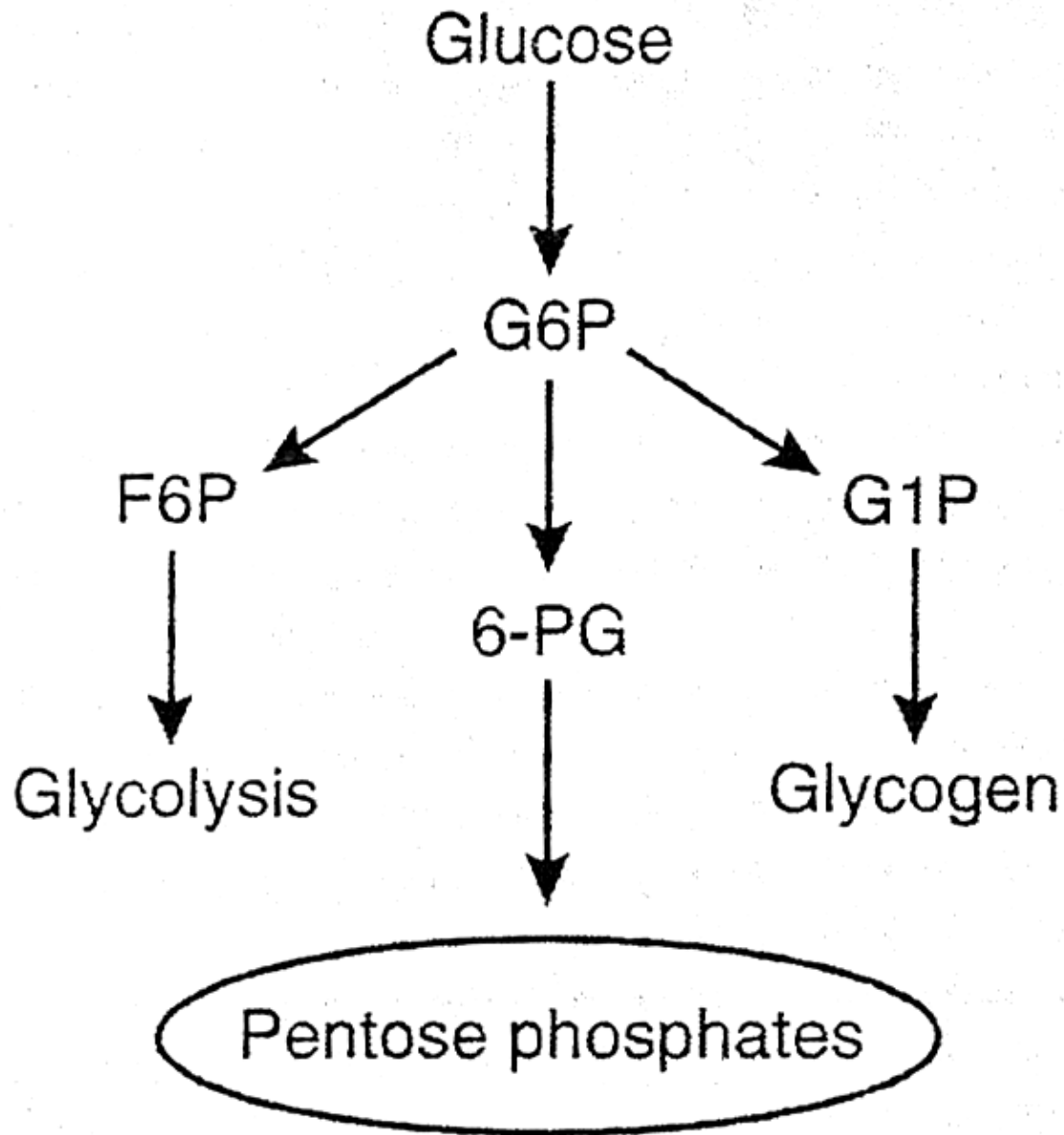
[NADPH]

2. To produce materials for nucleic acid

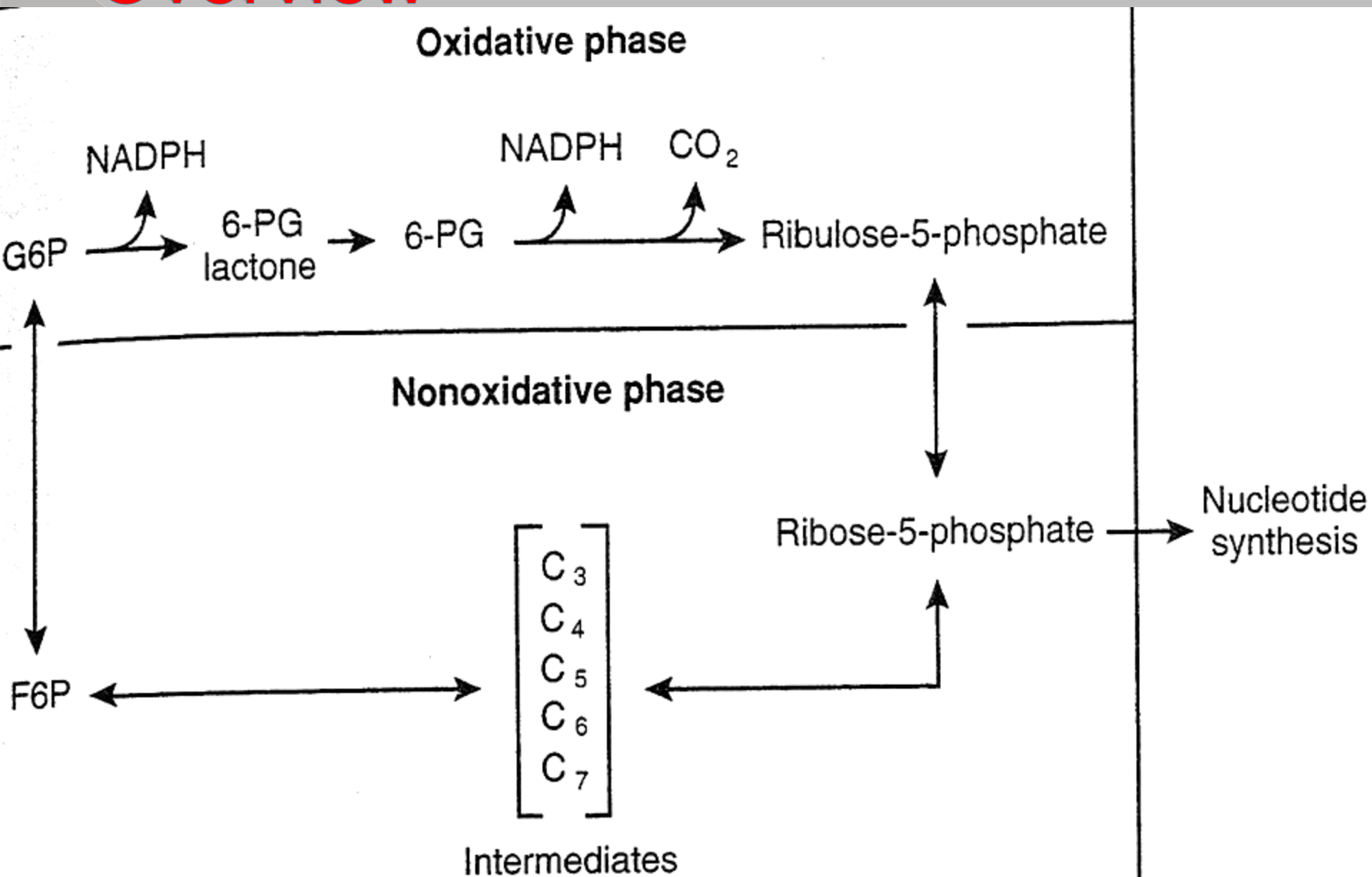
Riburose-5-phosphate [R5P]

3. To rearrange C skeletons of dietary carbohydrate into glycolytic/gluconeogenic intermediate

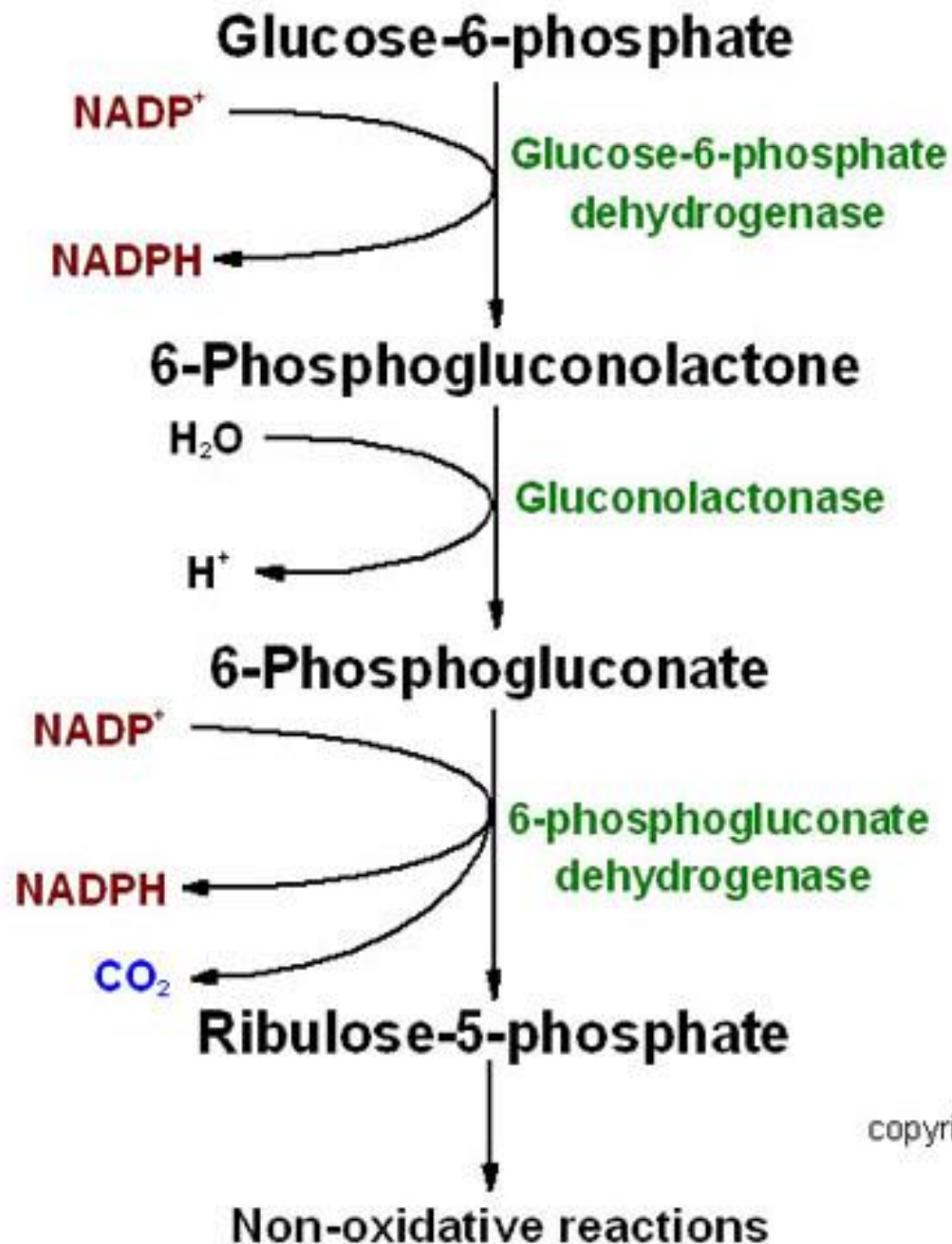
Overview



Overview



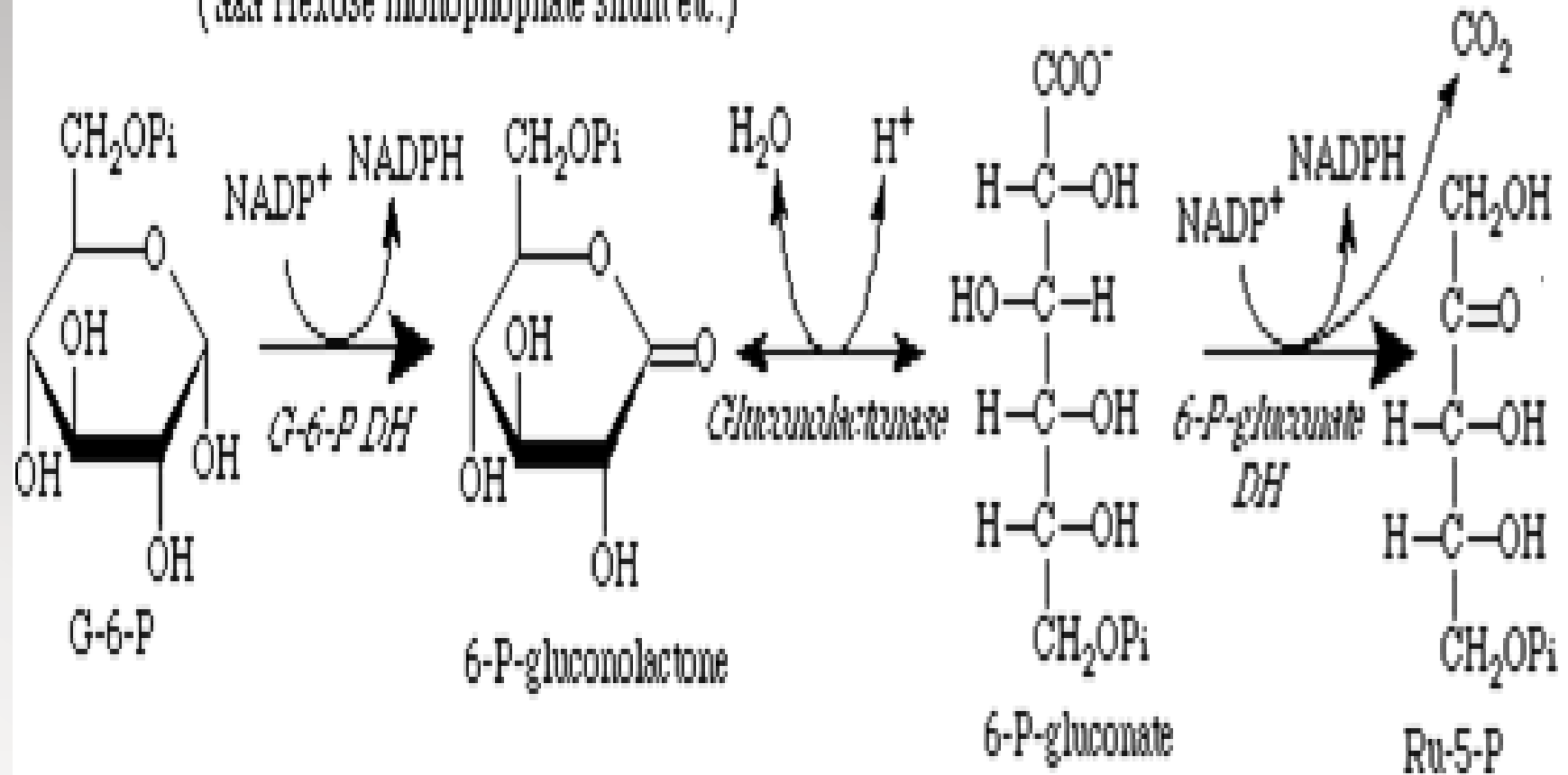
Oxidative Stage of Pentose Phosphate Pathway



copyright 1996 M.W.King

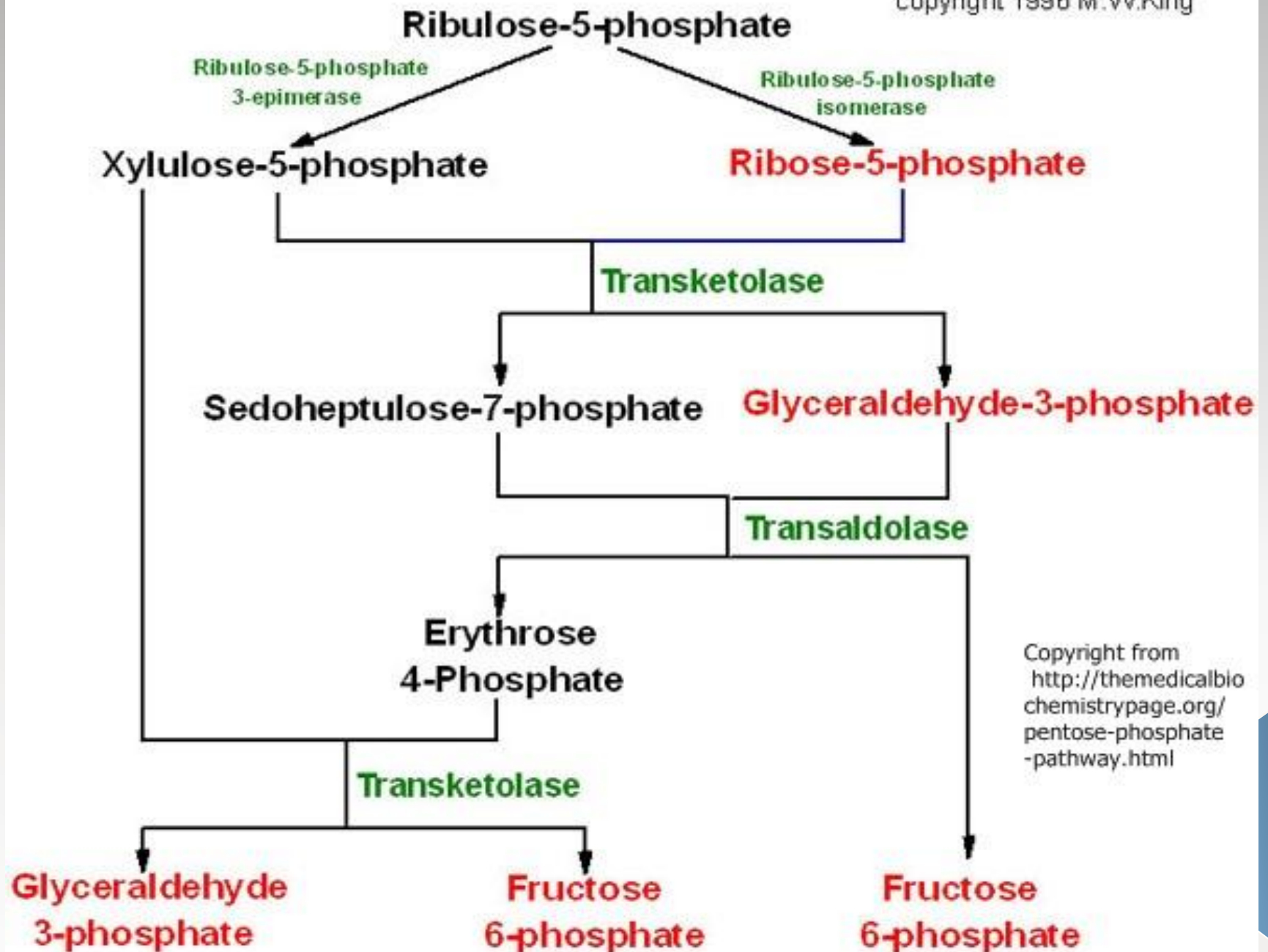
Pentose Phosphate Pathway

(aka Hexose monophosphate shunt etc.)



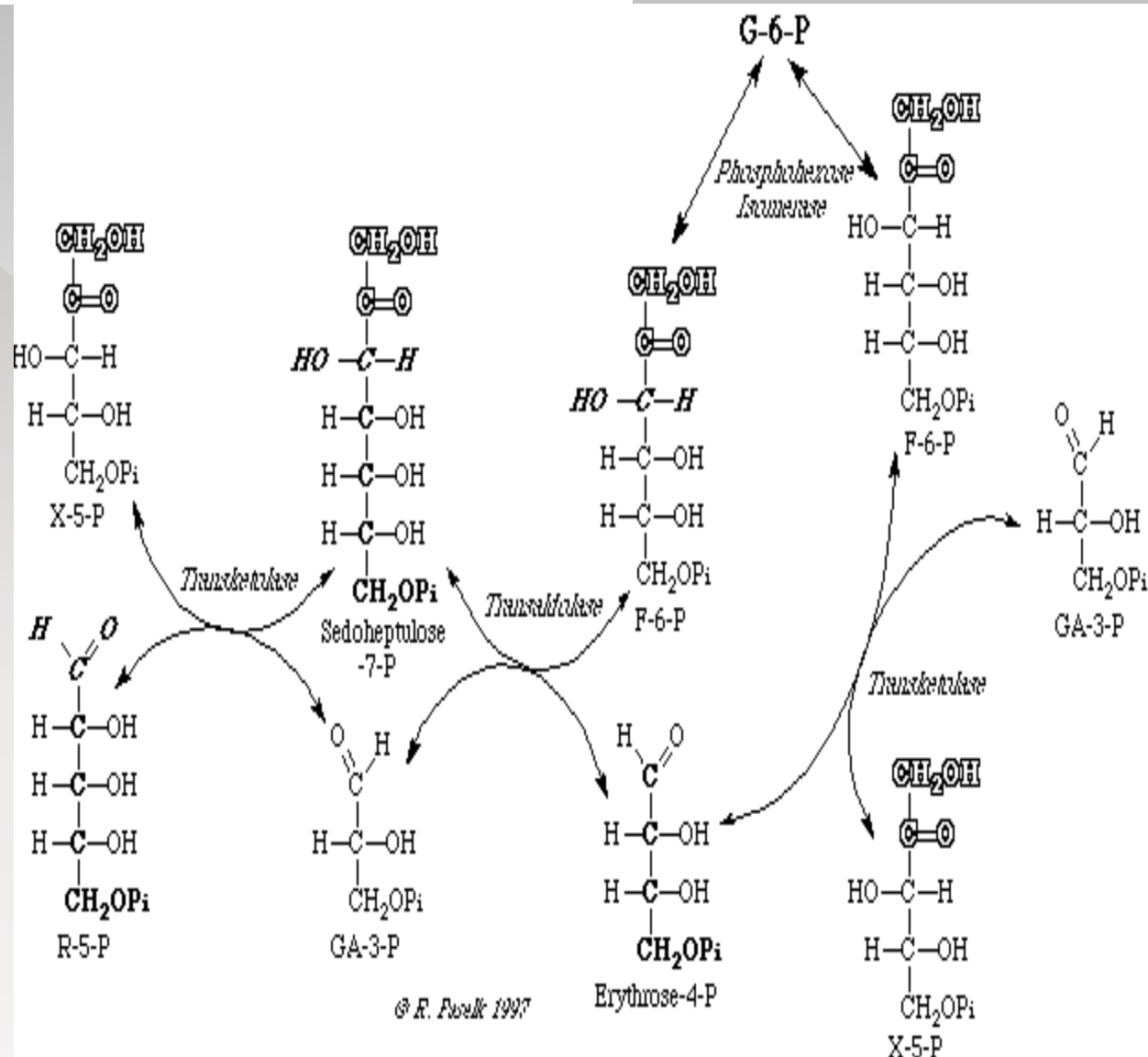
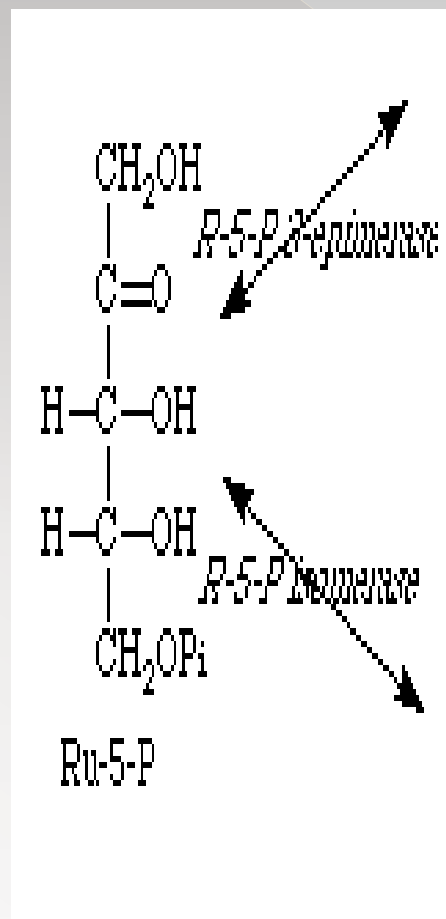
Non-Oxidative Stage of Pentose Phosphate Pathway

copyright 1996 M.W.King



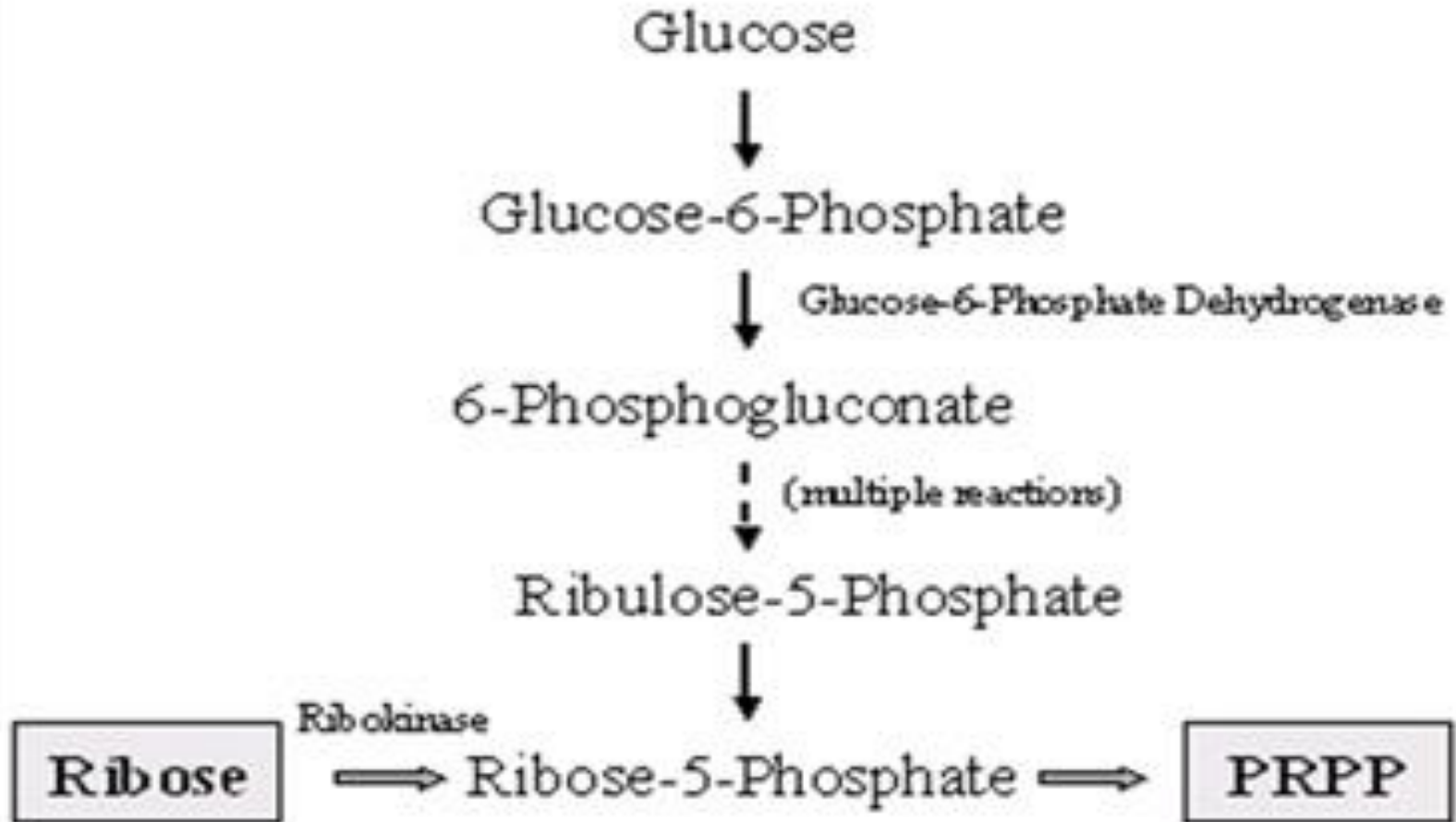
Pentose Phosphate Pathway

(a.k.a Hexose monophosphate shunt etc.)



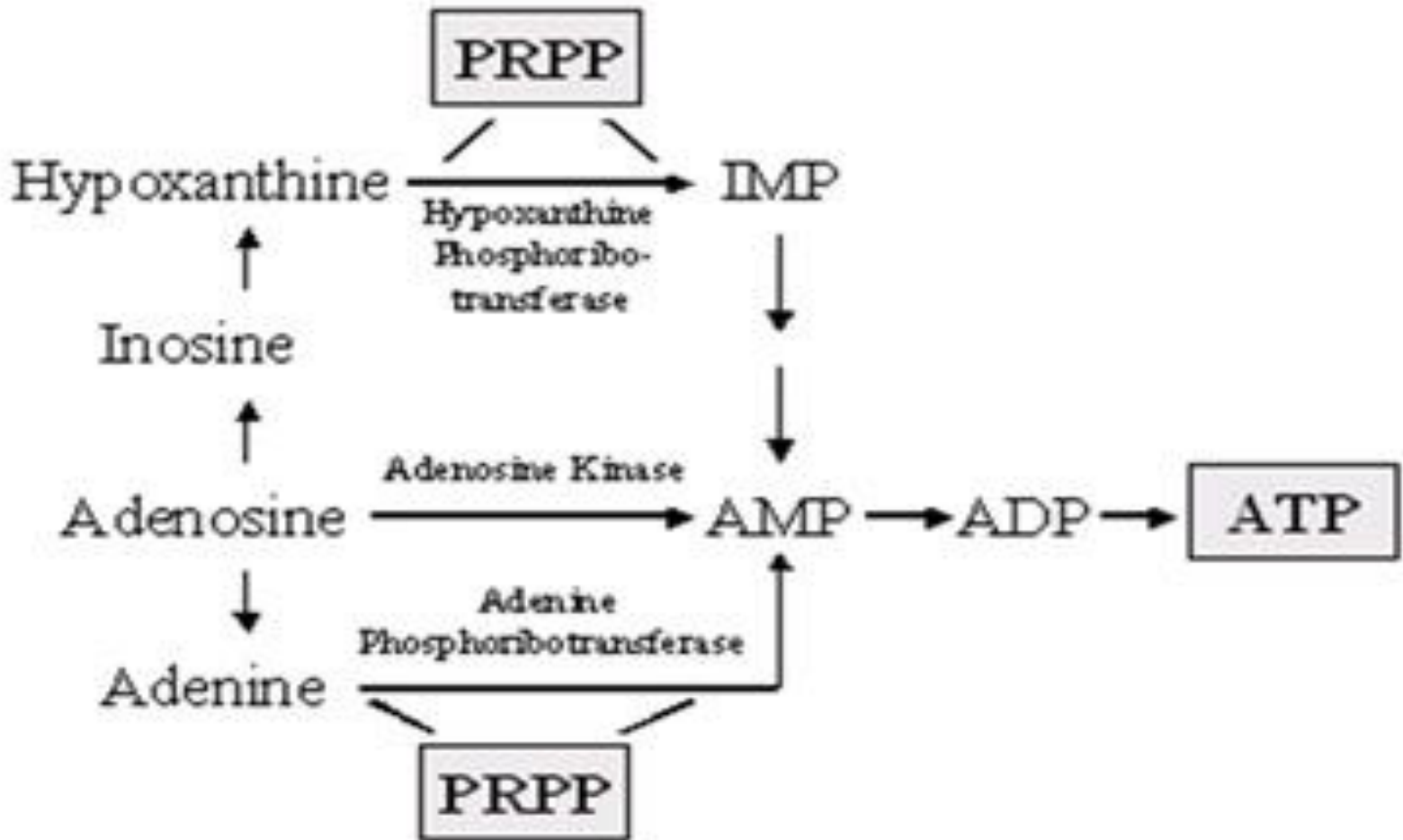
© R. Fieser 1997

Roles for Ru5P



Copyright from
<http://www.mrphysicalfitness.com/images/ribose-4.jpg>

Pentose phosphate pathway



Copyright from <http://www.mrphysicalfitness.com/images/ribose-4.jpg>

Roles for NADPH

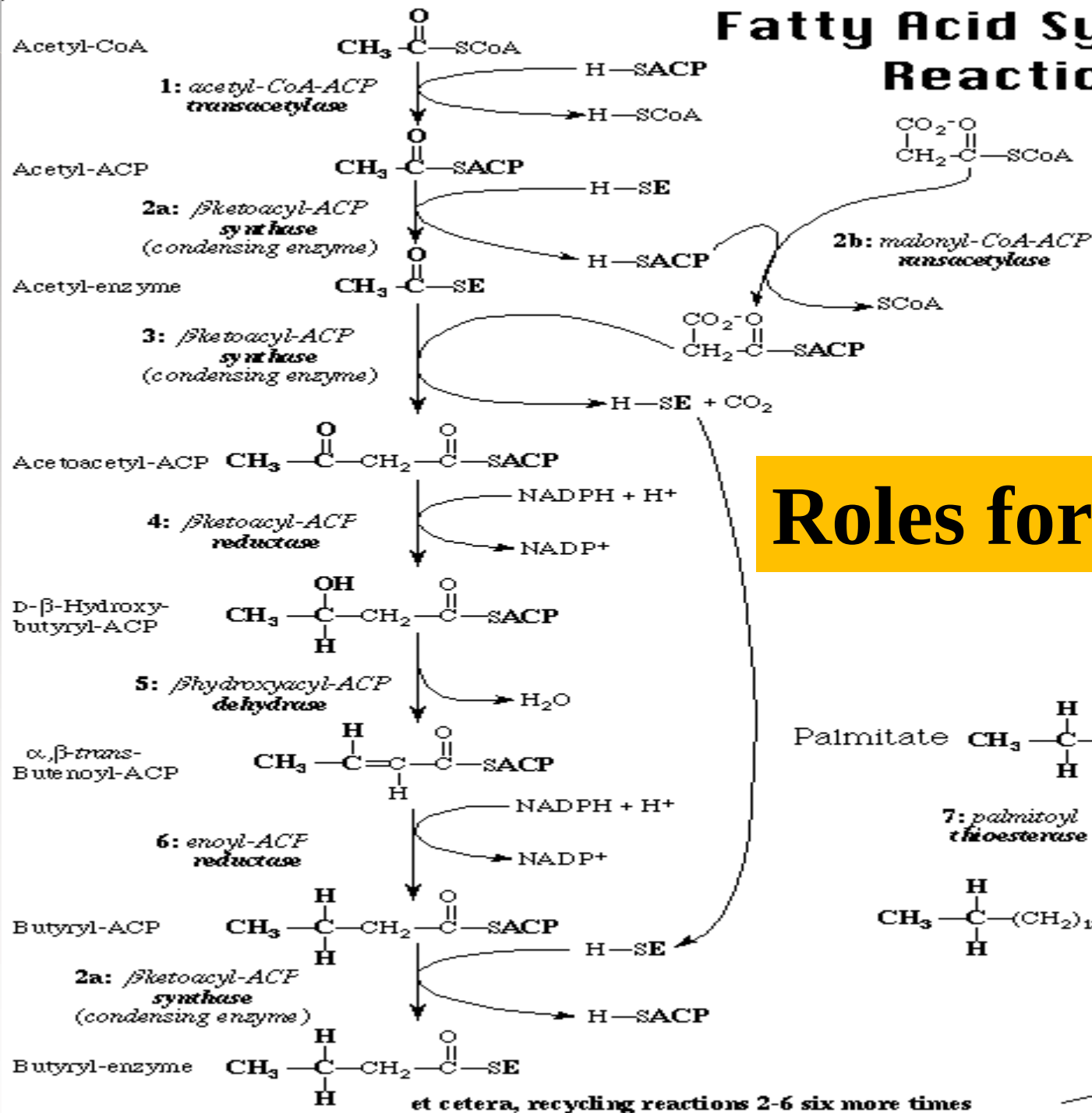
1. Biosynthetic pathways

FA synthesis (liver, adipose, mammary)

Cholesterol synthesis (liver)

Steroid hormone synthesis
(adrenal, ovaries, testes)

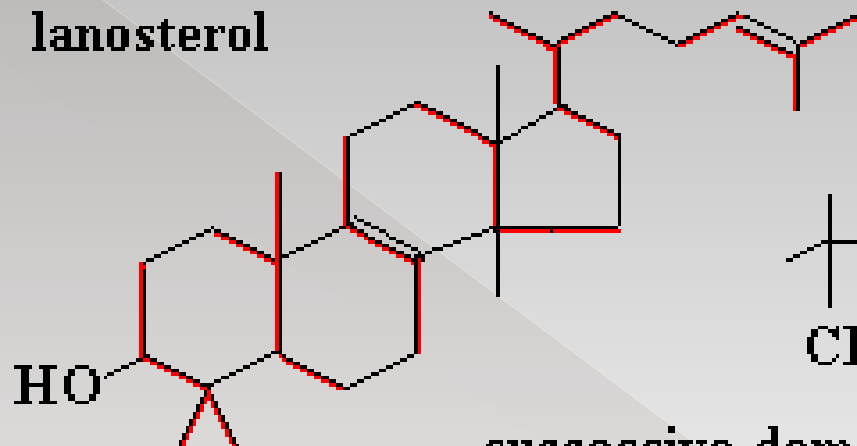
Fatty Acid Synthase Reactions



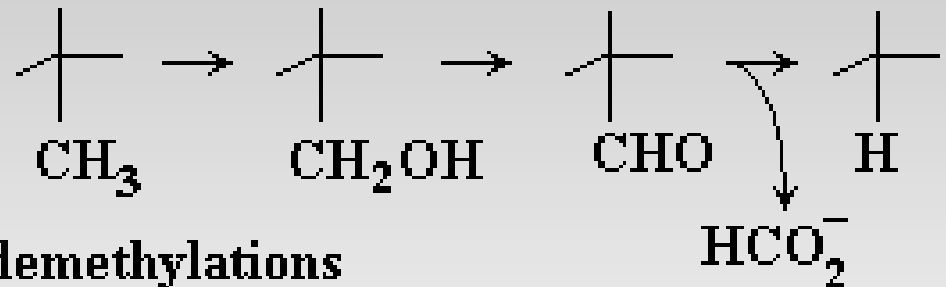
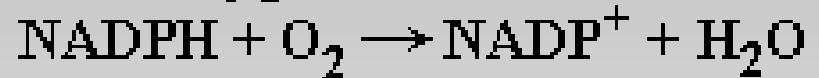
Roles for NADPH

Roles for NADPH

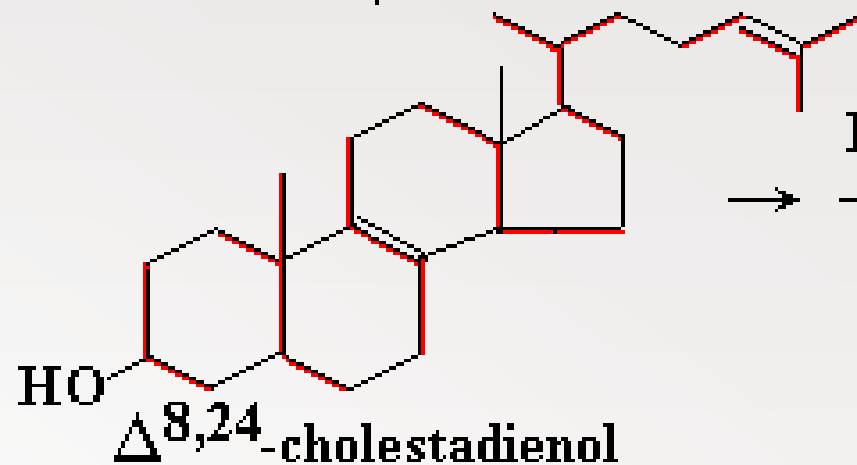
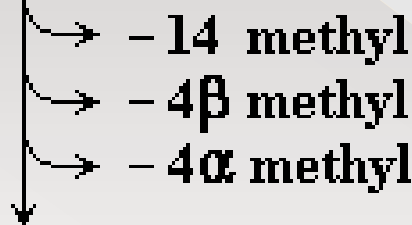
lanosterol



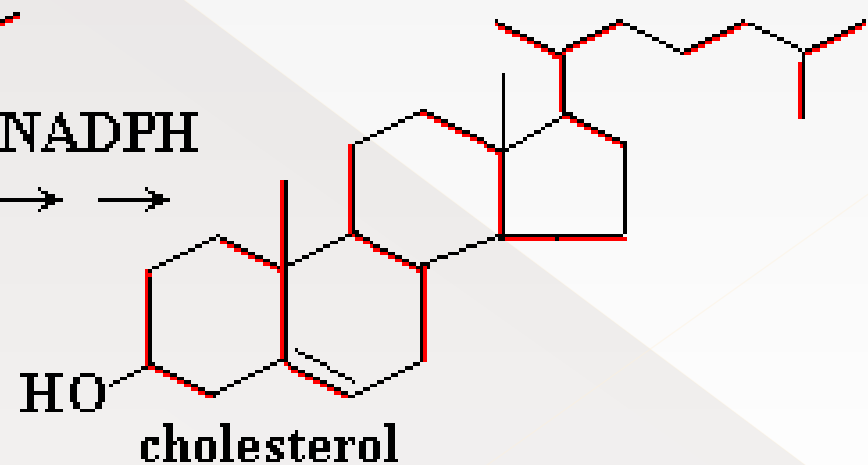
monooxygenase oxidations



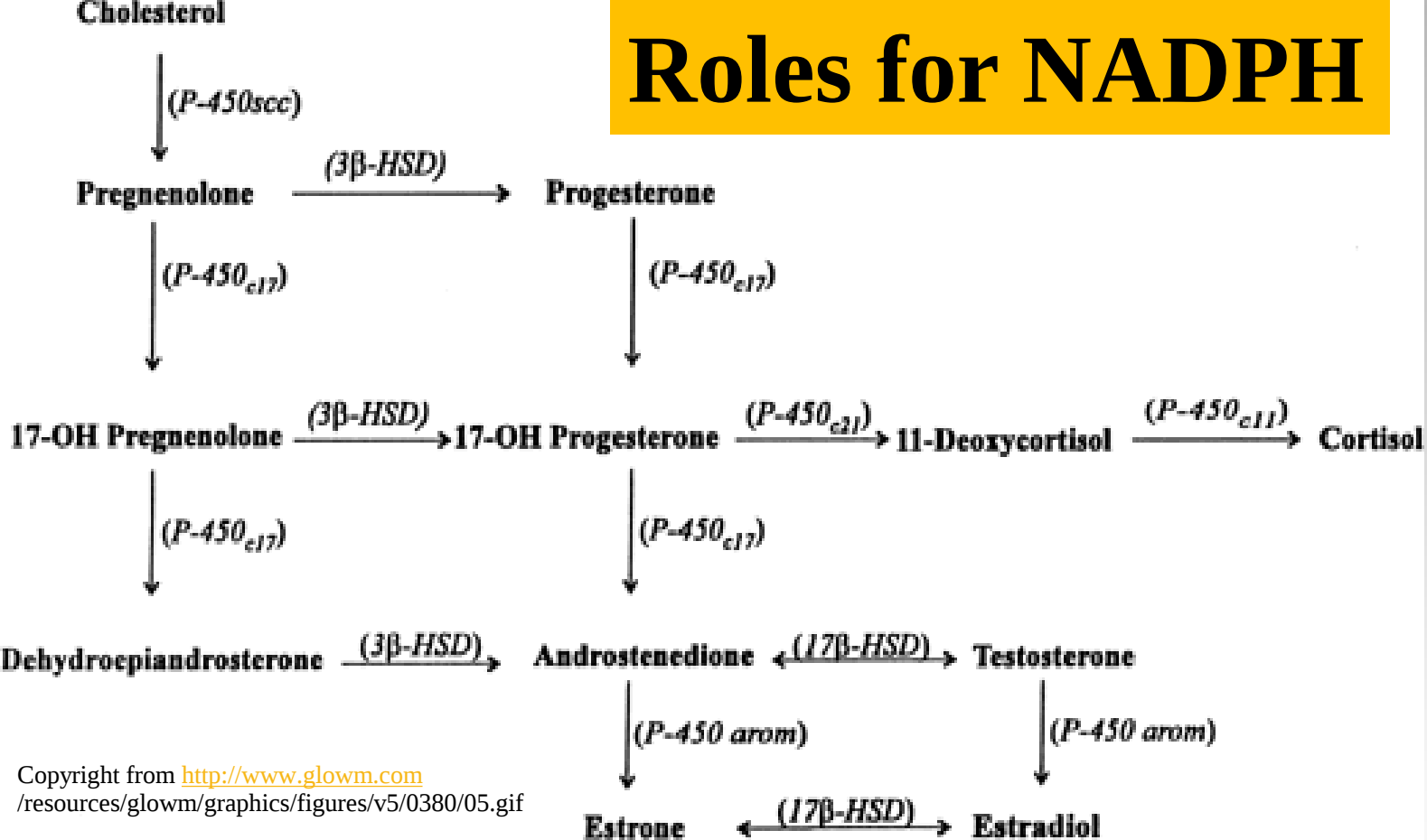
successive demethylations



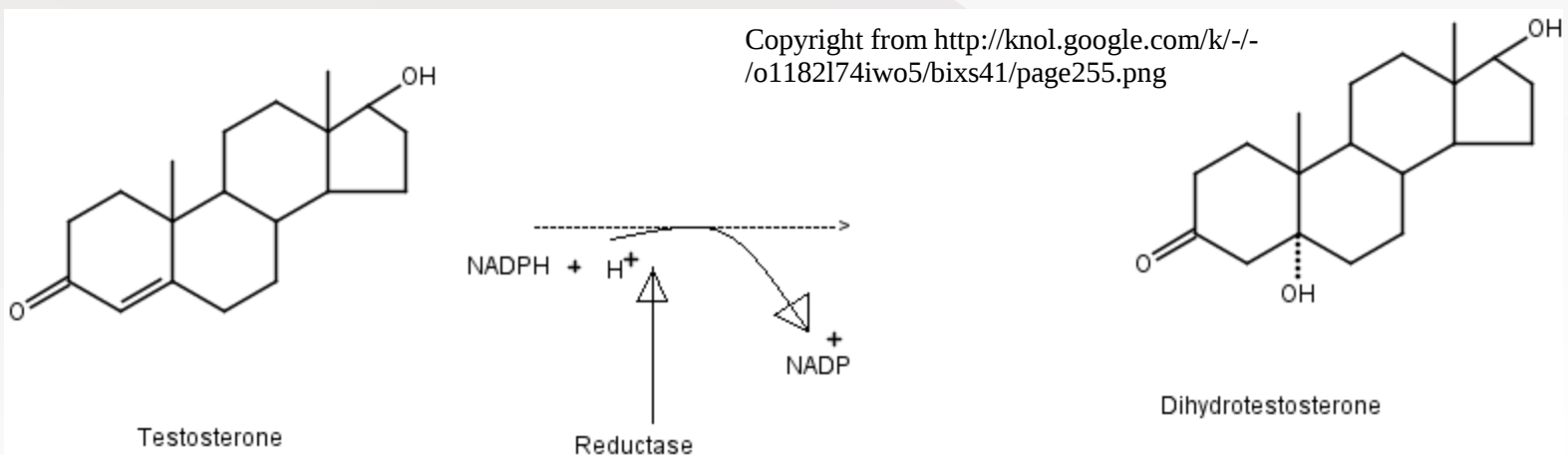
NADPH



Roles for NADPH



Copyright from <http://www.glowm.com/resources/glowm/graphics/figures/v5/0380/05.gif>



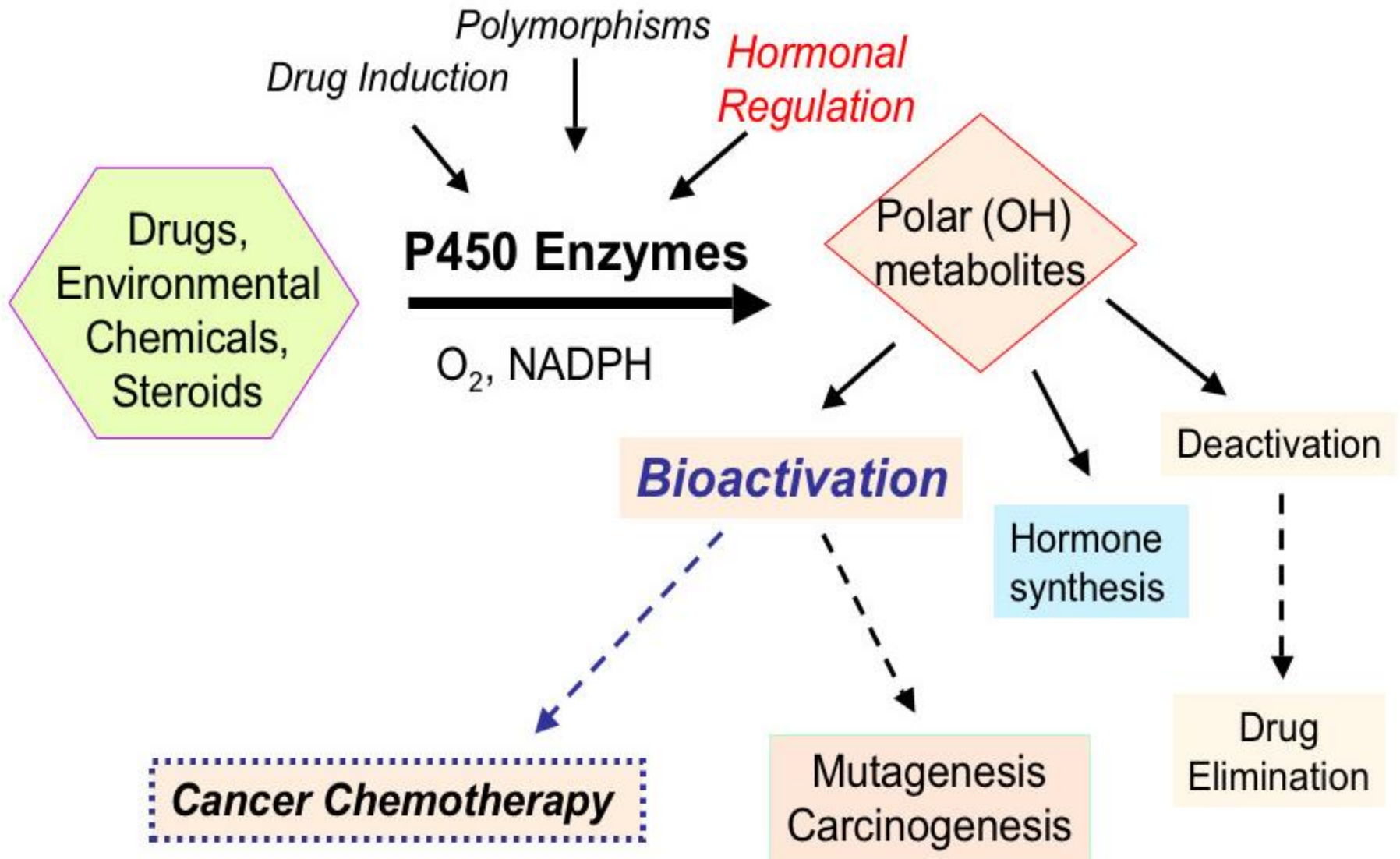
Roles for NADPH

1. Biosynthetic pathways

- FA synthesis (liver, adipose, mammary)
- Cholesterol synthesis (liver)
- Steroid hormone synthesis (adrenal, ovaries, testes)

2. Detoxification (Cytochrome P-450 System) – liver

Roles for NADPH



Roles for NADPH

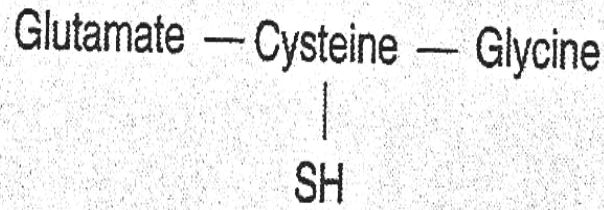
1. Biosynthetic pathways

- FA synthesis (liver, adipose, mammary)
- Cholesterol synthesis (liver)
- Steroid hormone synthesis (adrenal, ovaries, testes)

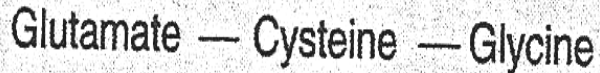
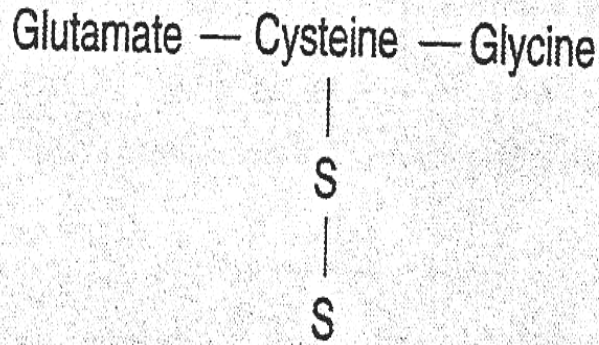
2. Detoxification (Cytochrome P-450 System) – liver

3. Reduced glutathione as an antioxidant (RBC)

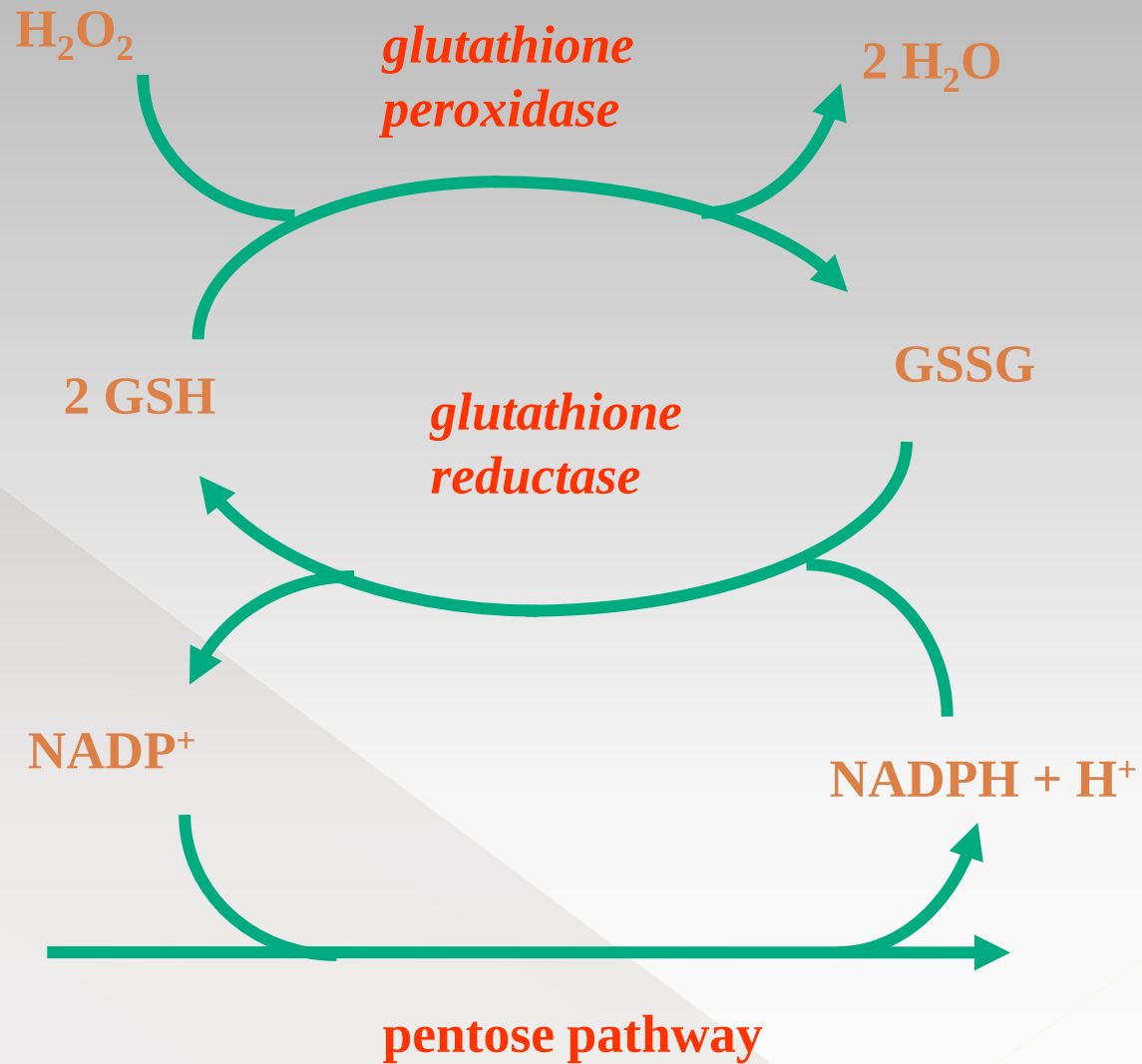
Reduced and Oxidized Glutathione in the RBC



Reduced



Oxidized



Reactions of glutathione reduction and oxidation

Roles for NADPH

1. Biosynthetic pathways

- FA synthesis (liver, adipose, mammary)
- Cholesterol synthesis (liver)
- Steroid hormone synthesis (adrenal, ovaries, testes)

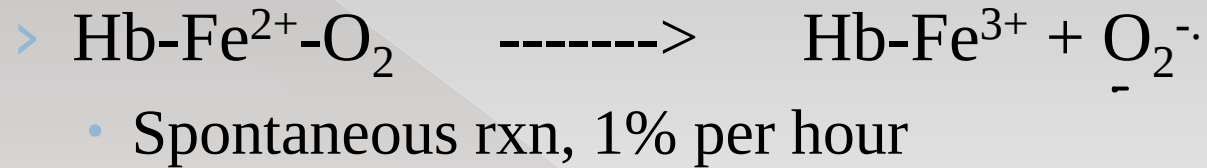
2. Detoxification (Cytochrome P-450 System) – liver

3. Reduced glutathione as an antioxidant (RBC)

4. Generation of superoxide (neutrophils)

Roles for NADPH

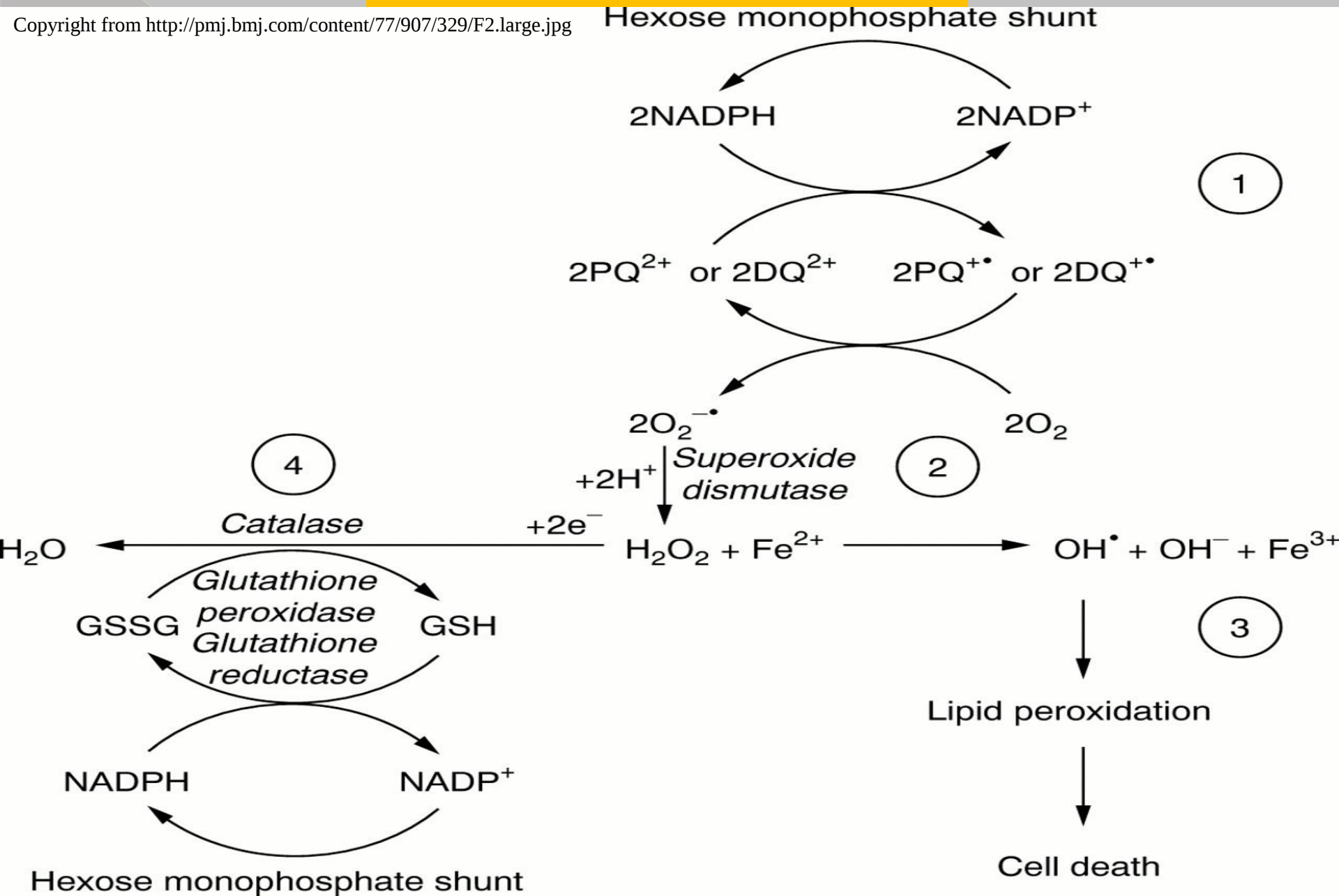
◎ Step 1. Production of superoxide



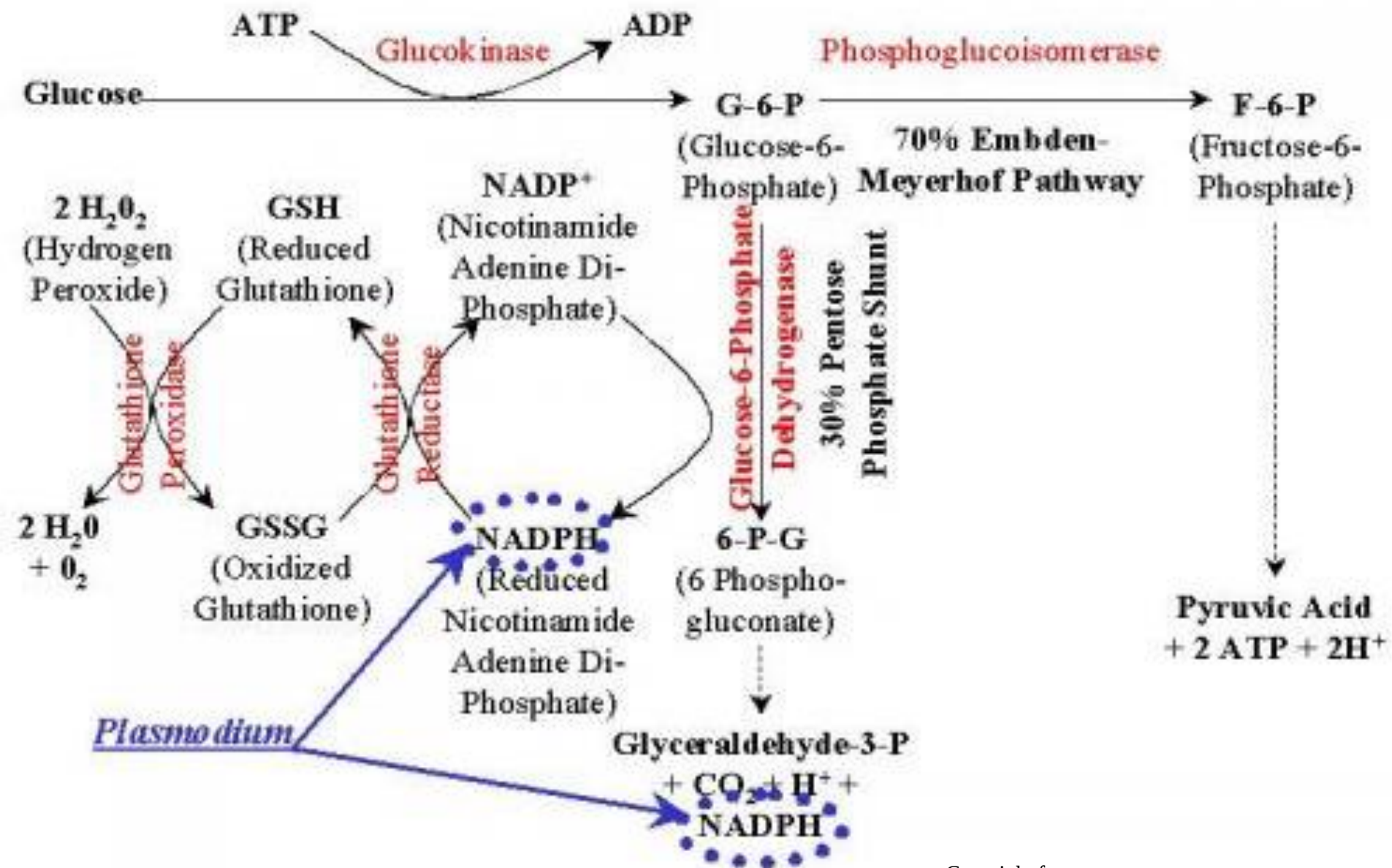
Both $\text{O}_2^{\cdot -}$ & H_2O_2 can produce reactive free radical species, damage cell membranes, and cause hemolysis

Roles for NADPH

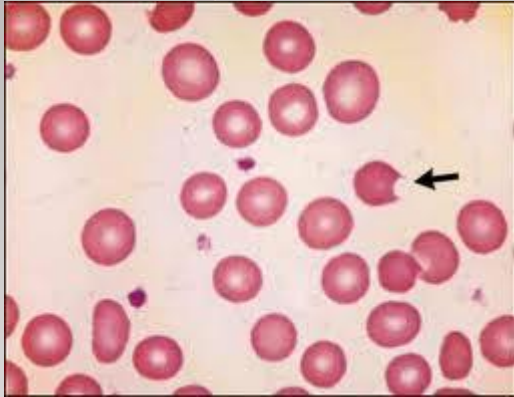
Copyright from <http://pmj.bmj.com/content/77/907/329/F2.large.jpg>



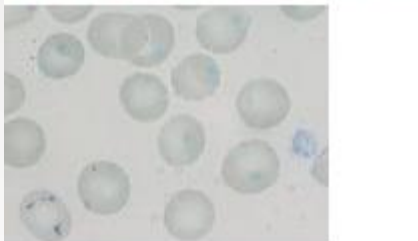
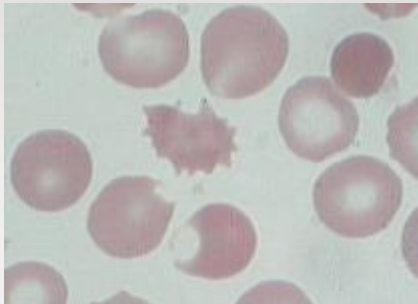
Roles for G6PD



Roles for G6PD



Copyright from http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR7YBkiFr_Hr2Q6qLUlxL8lC5mYFmRN78TdQ2Tvum8bY2D9HGoHPQ

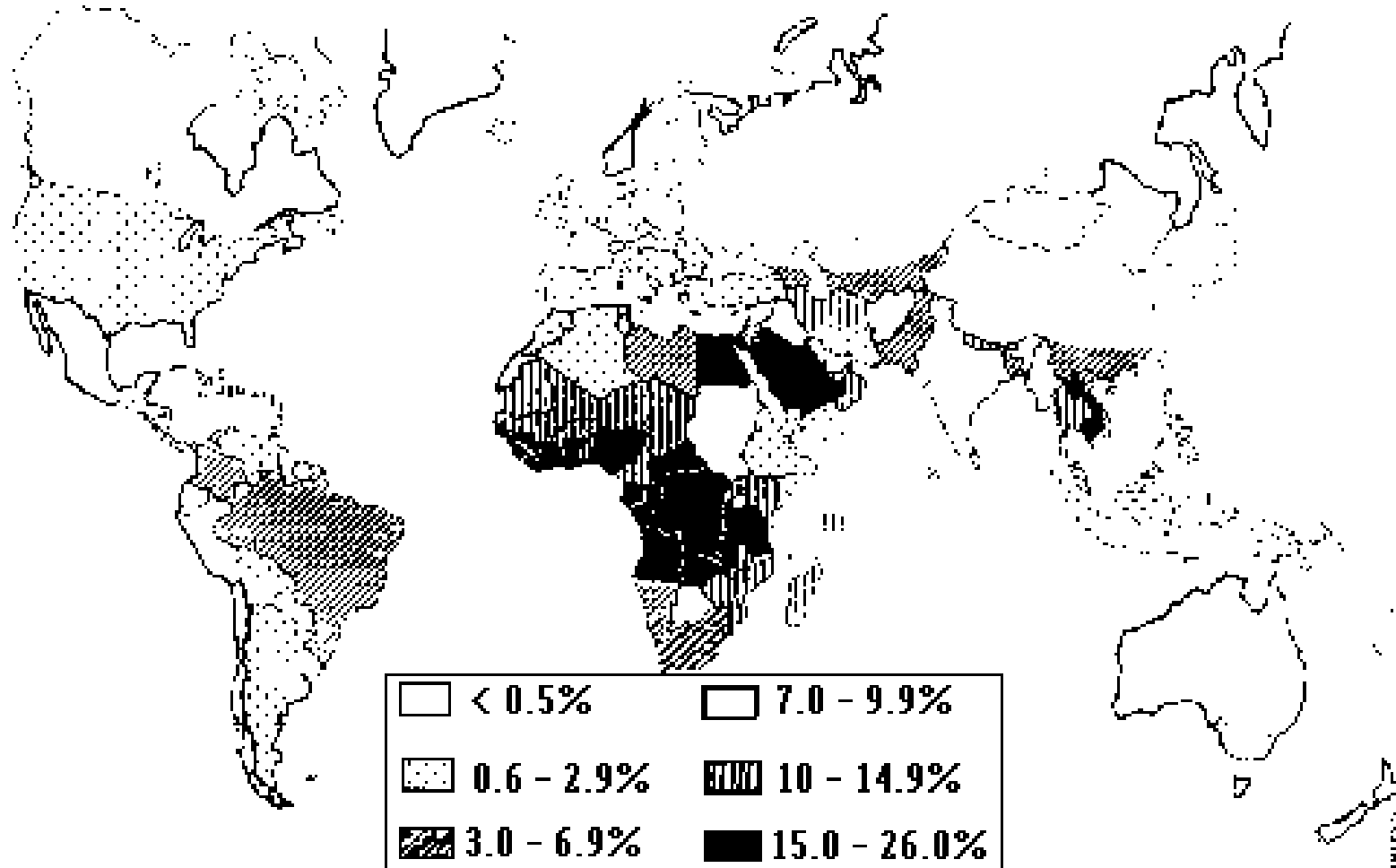


Copyright from <http://www.med-ed.virginia.edu/courses/path/innes/images/rcdjpeg/rcd%20bite%20cells.JPG>



slow
G6PD Deficiency

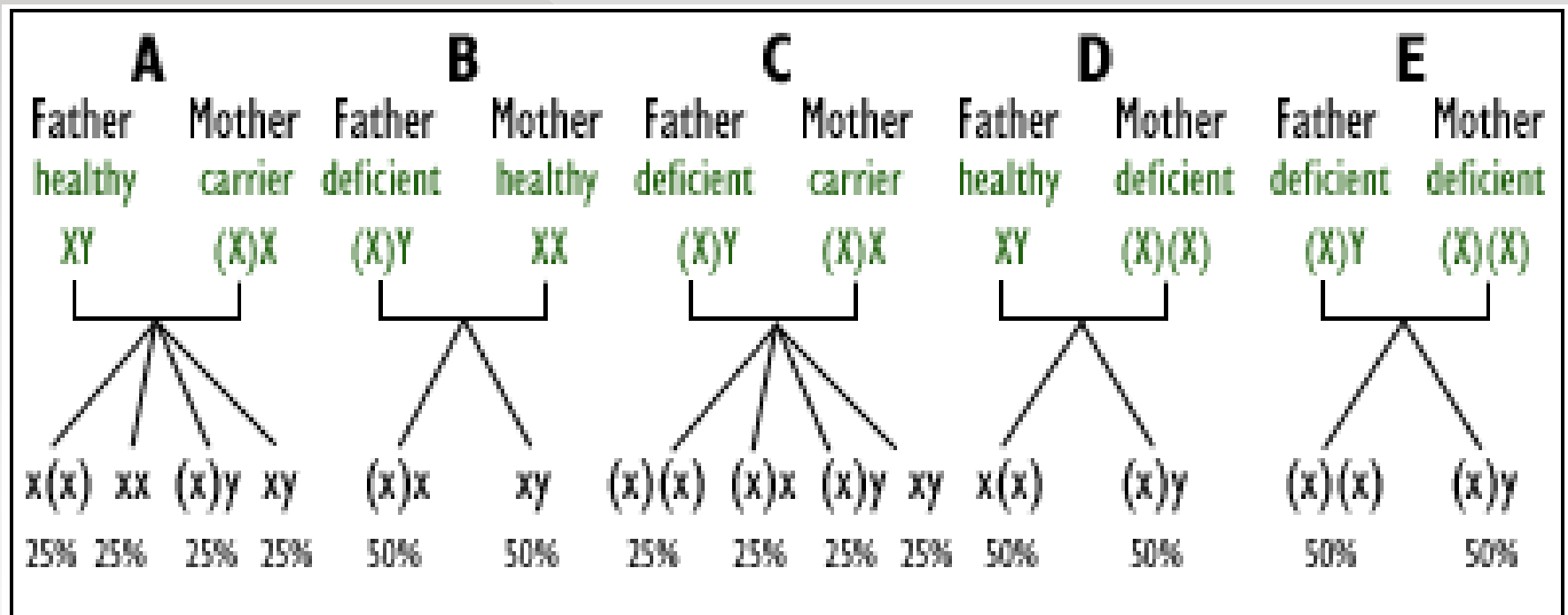
Worldwide distribution of G6PD deficiency: 1995



G6PD Deficiency

Recessive sex-linked mutation

- > X-chromosome
- > Rare in females (two X-chromosomes)



X Normal Chromosome (X) Mutant Chromosome

Inheritance of G-6-PD Deficiency

G6PD Deficiency

Type 1. Homozygous mutation:

- > high hemolysis and anemia

Type 2. Heterozygous mutation:

Normally asymptomatic

Other chemicals known to increase oxidant stress

Sulfonamides (antibiotic)

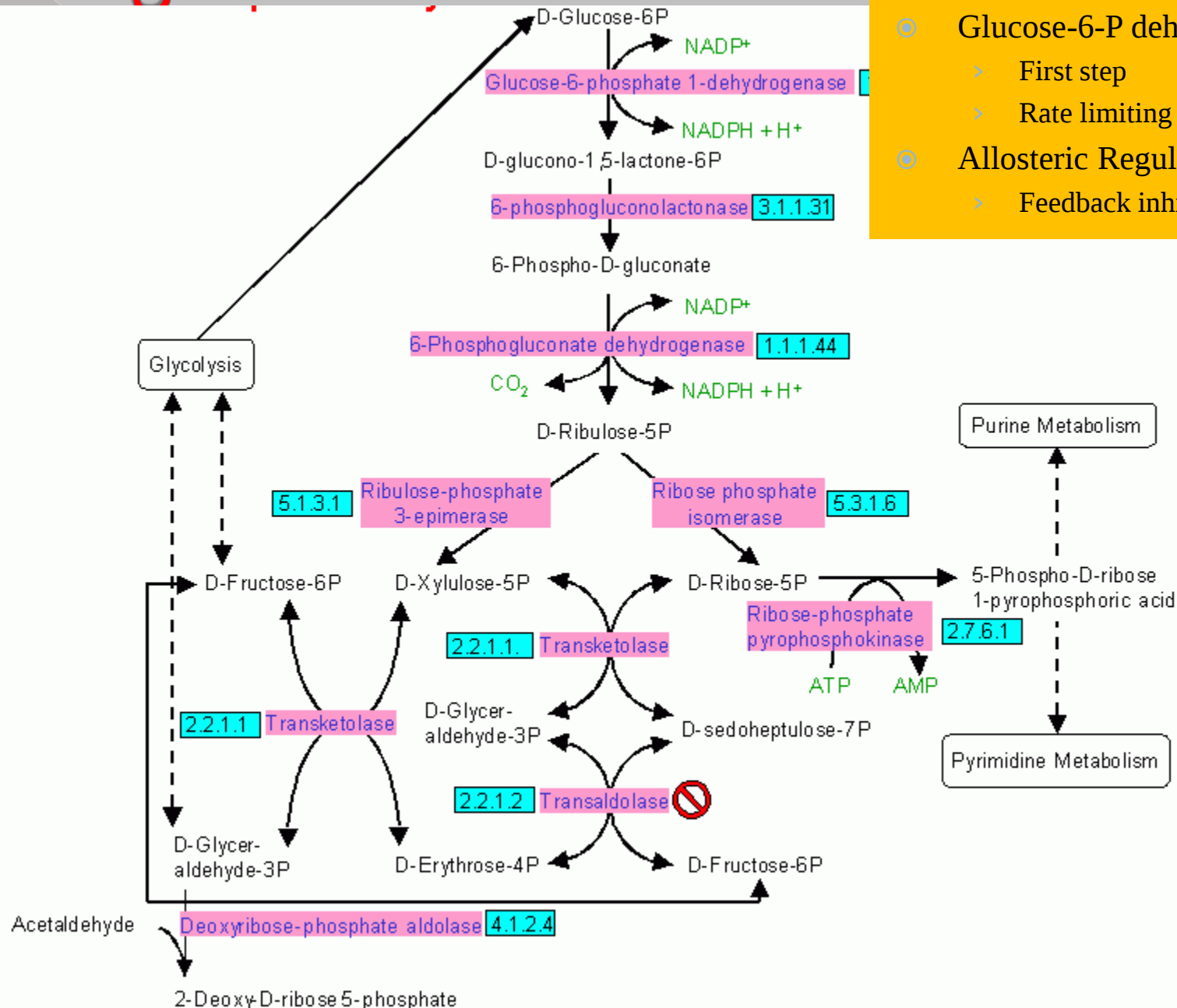
Asprin and NSAIDs

Quinadine and quinine

Napthlane (mothballs)

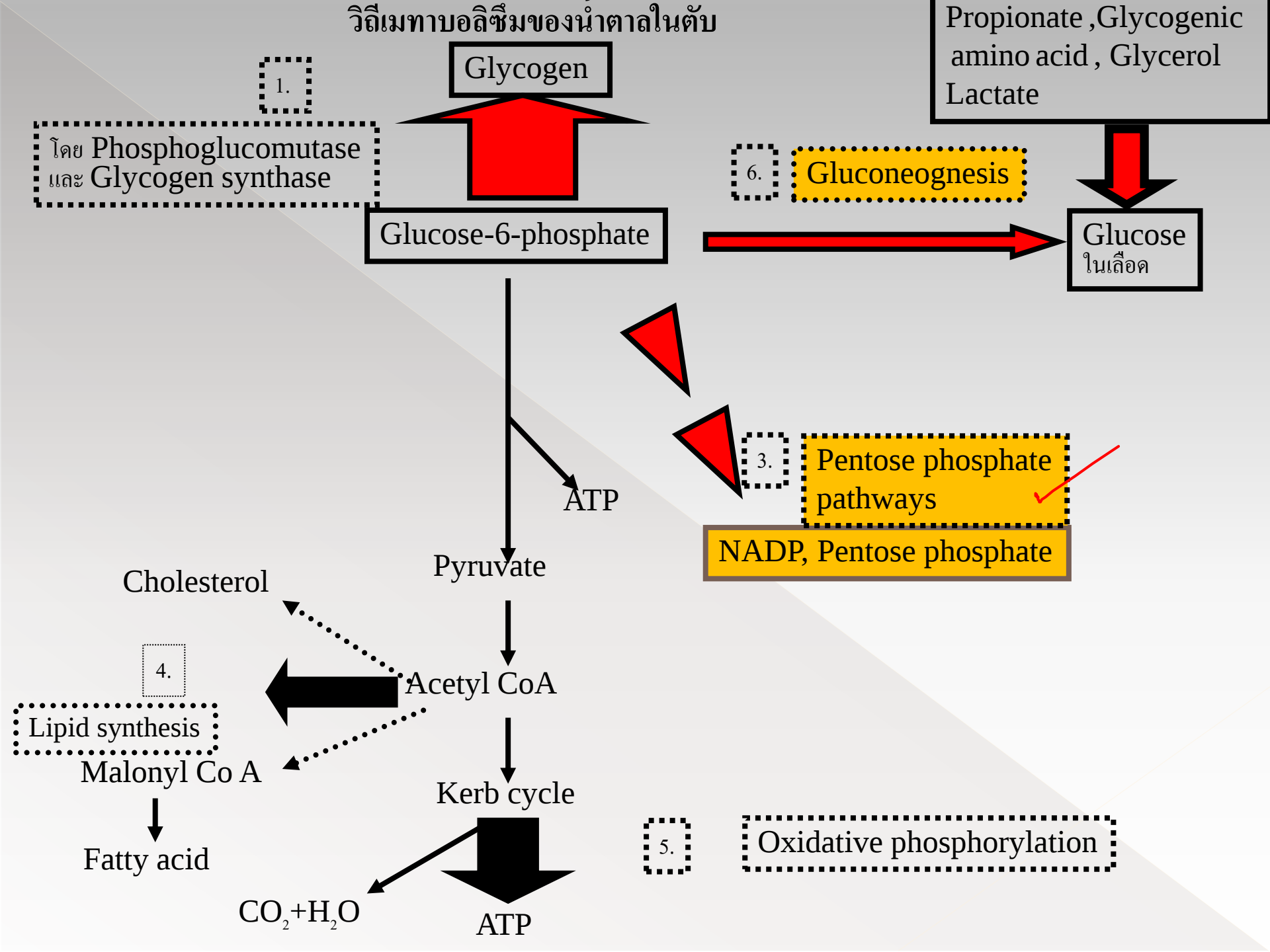
Fava beans (vicine & isouramil)

Regulation of PPP



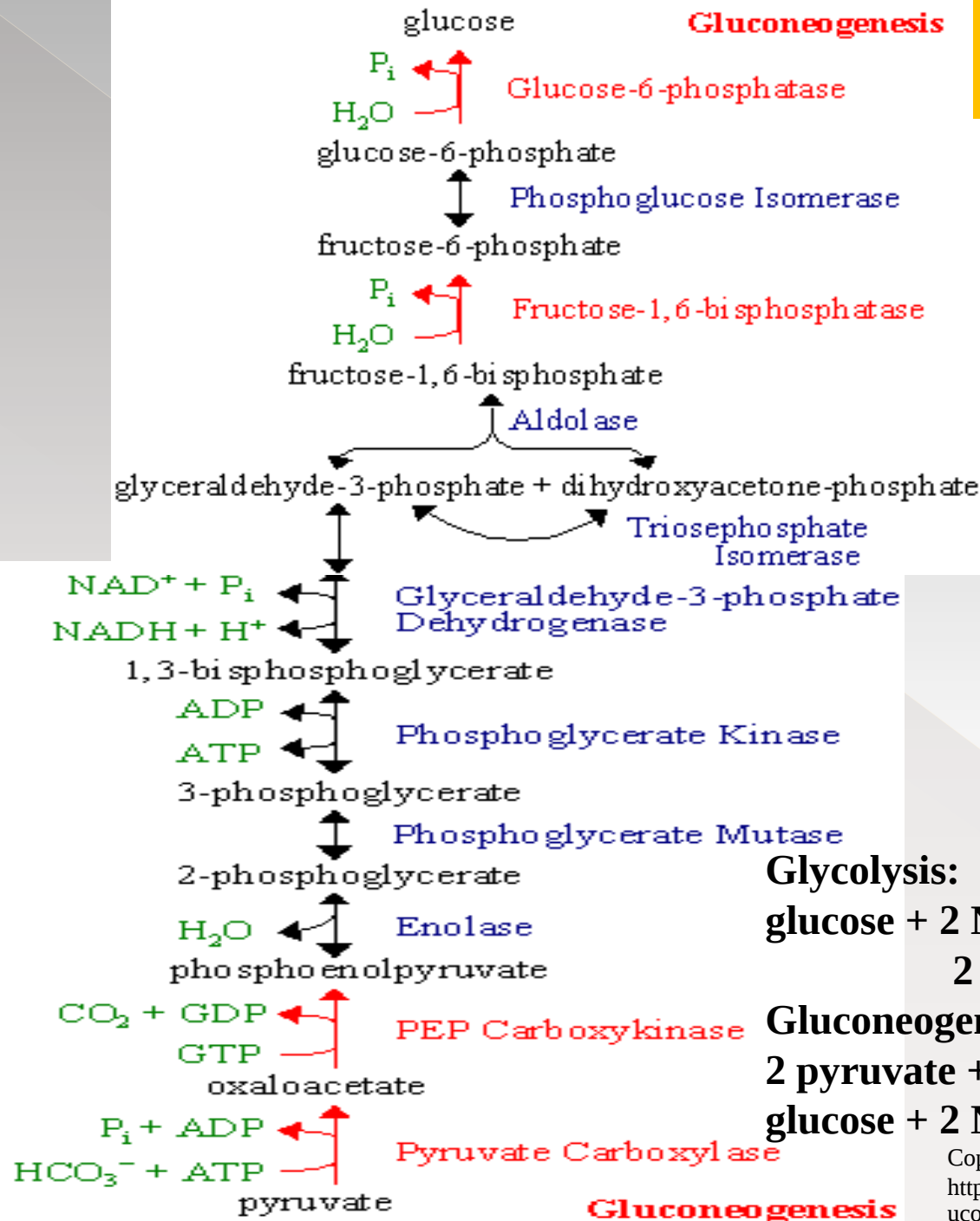
- ⊙ Glucose-6-P dehydrogenase
 - > First step
 - > Rate limiting
- ⊙ Allosteric Regulation
 - > Feedback inhibited by NADPH

วิถีเมแทบอลิซึมของน้ำตาลในตับ

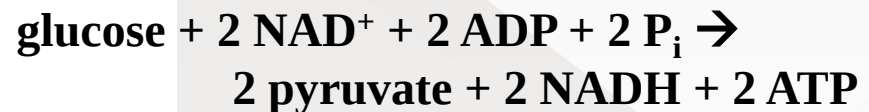


Gluconeogenesis Pathway

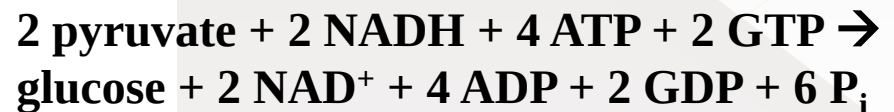
From Pyruvate



Glycolysis:



Gluconeogenesis:

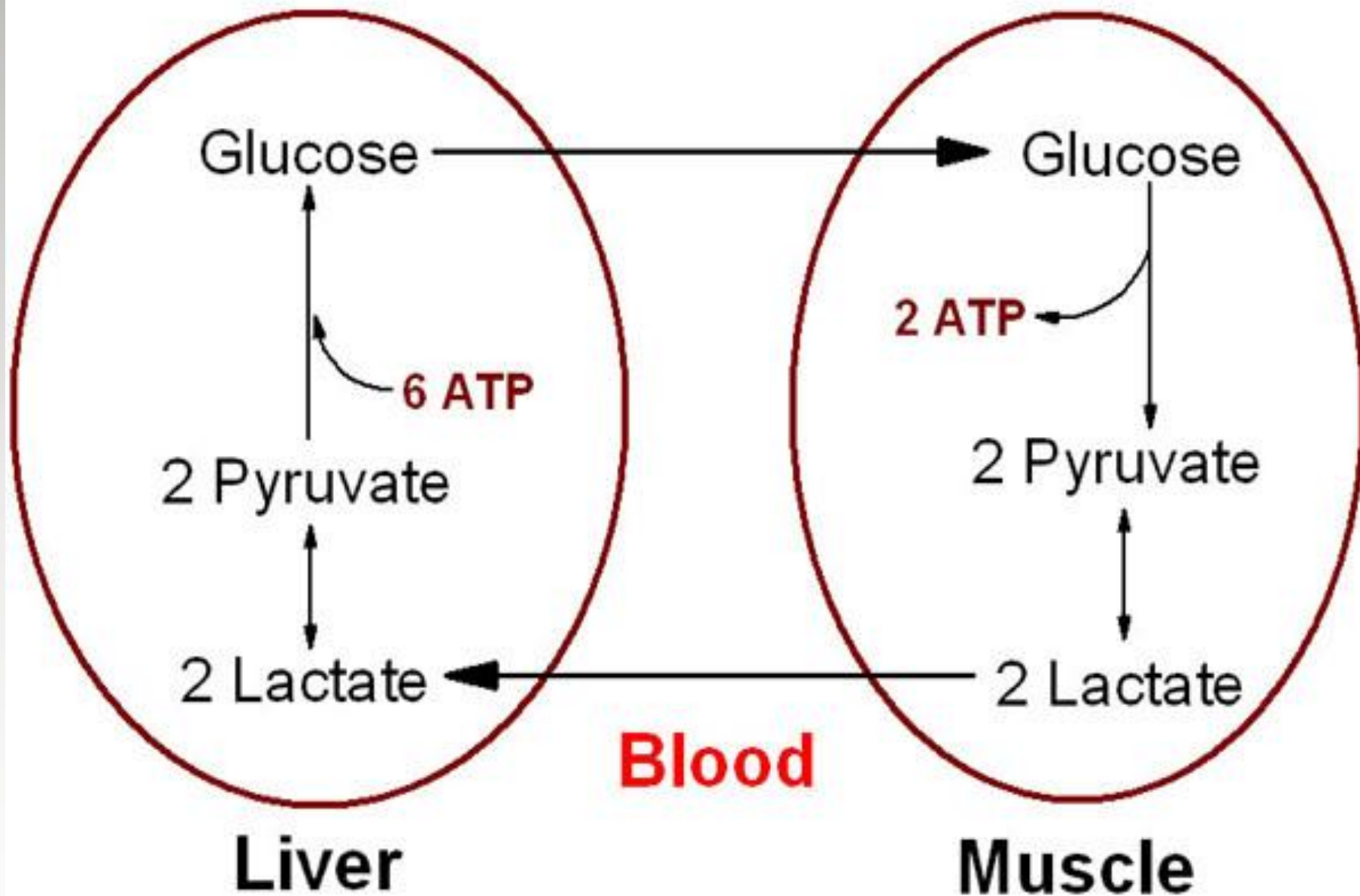


Copyright from

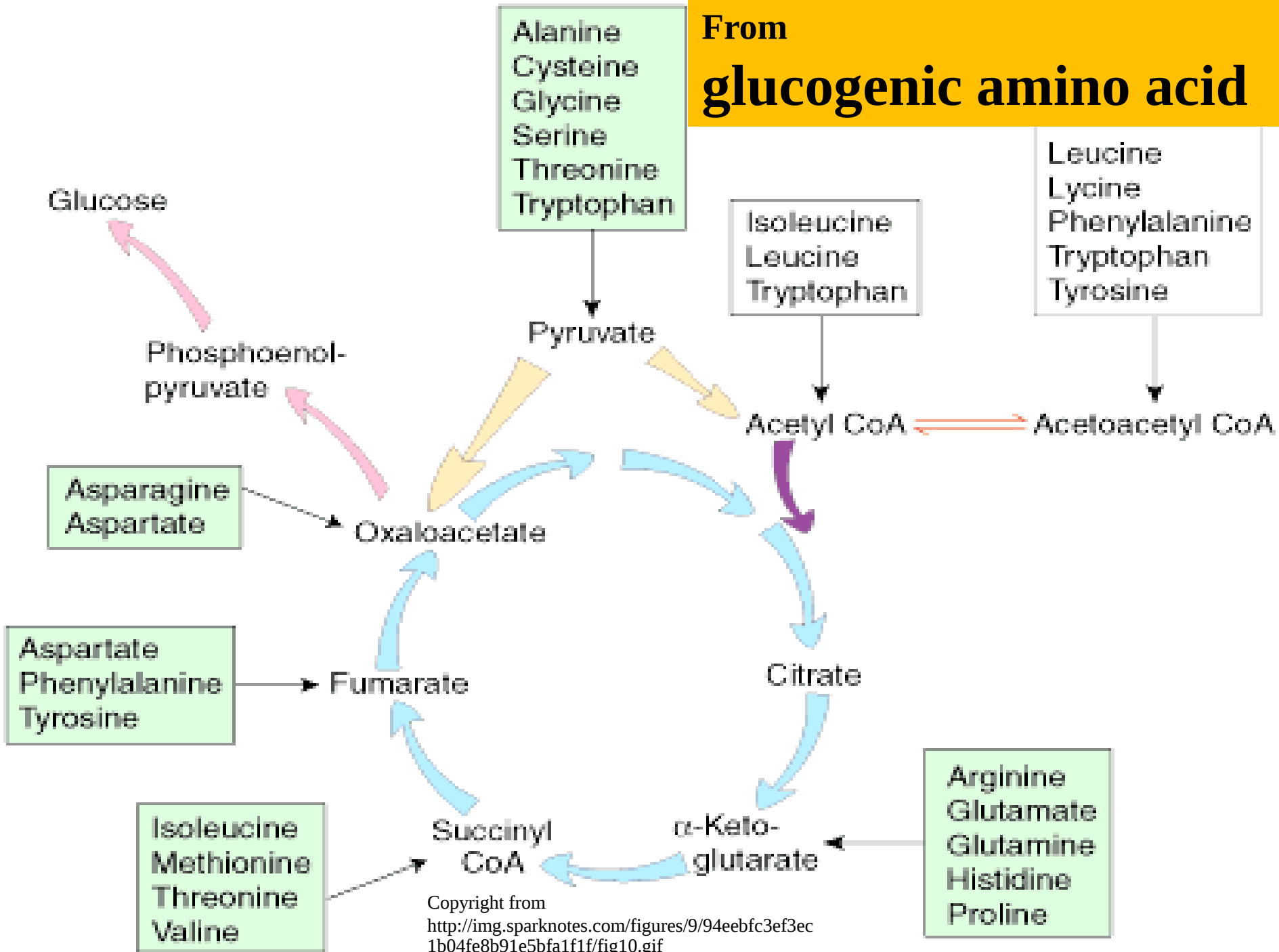
<http://rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb1/part2/glucone.htm>

From Lactate

The Cori Cycle

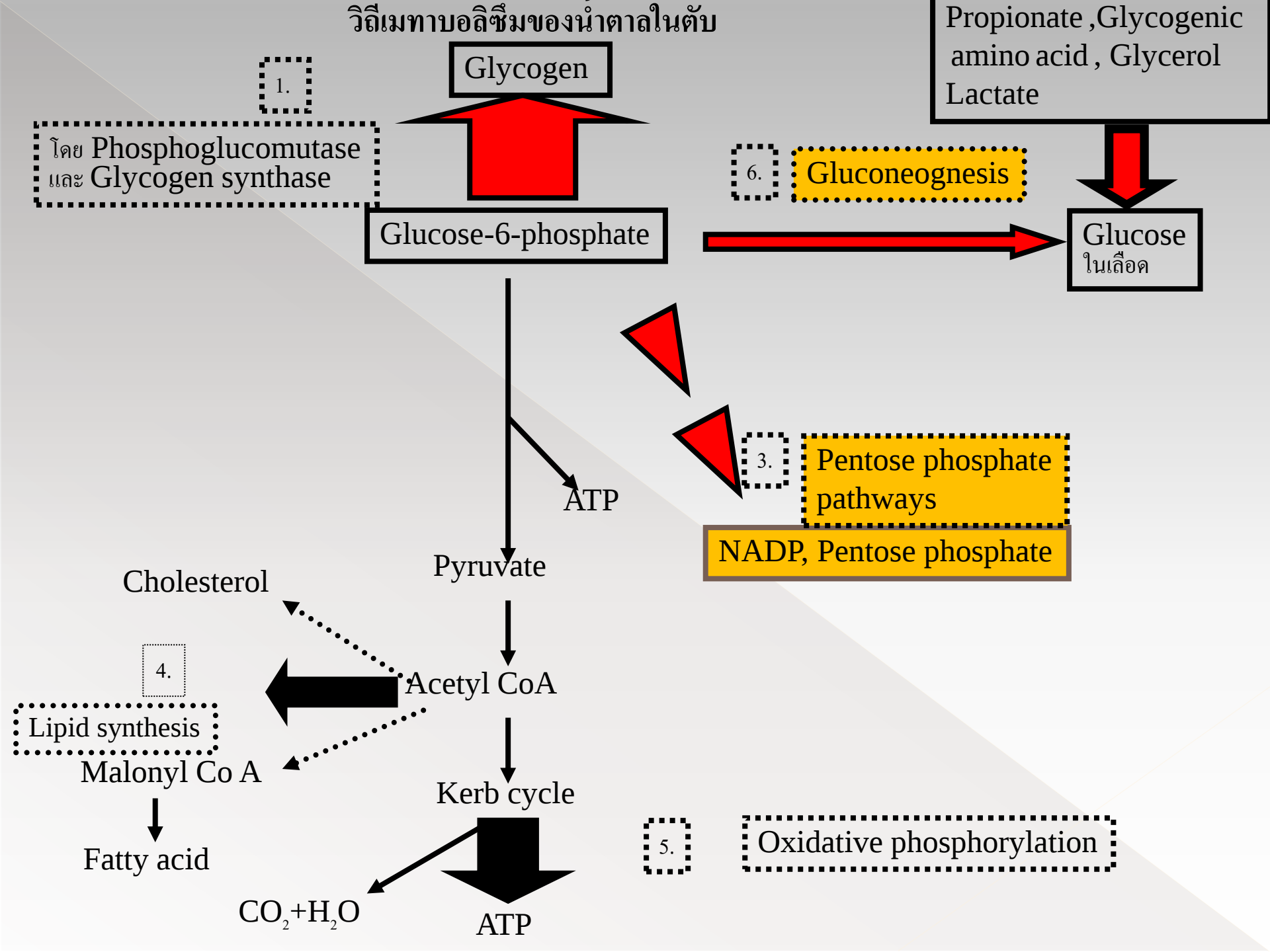


From glucogenic amino acid

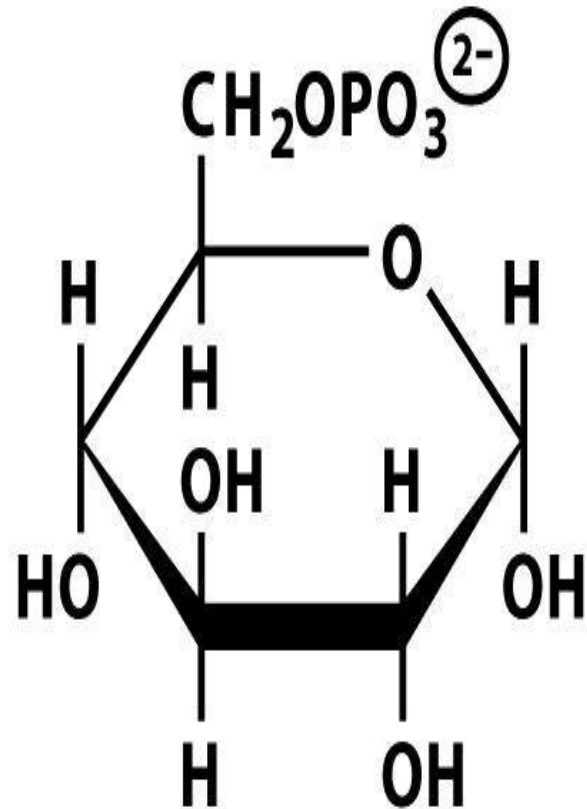


Glucogen synthesis Pathway

วิถีเมแทบอลิซึมของน้ำตาลในตับ

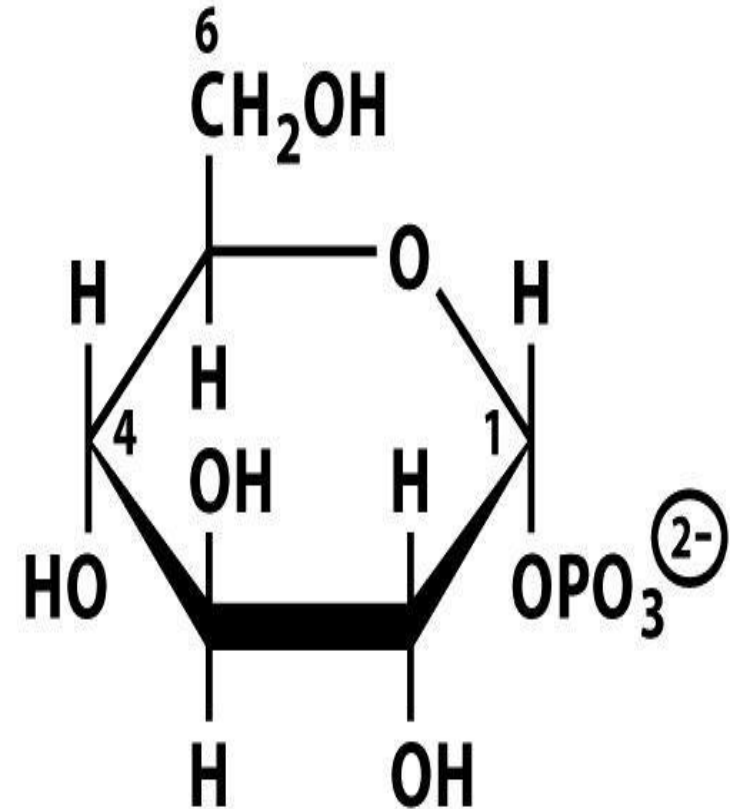
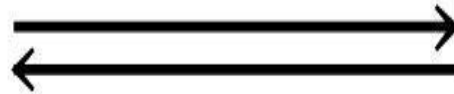


Step 1. Reaction of phosphoglucomutase



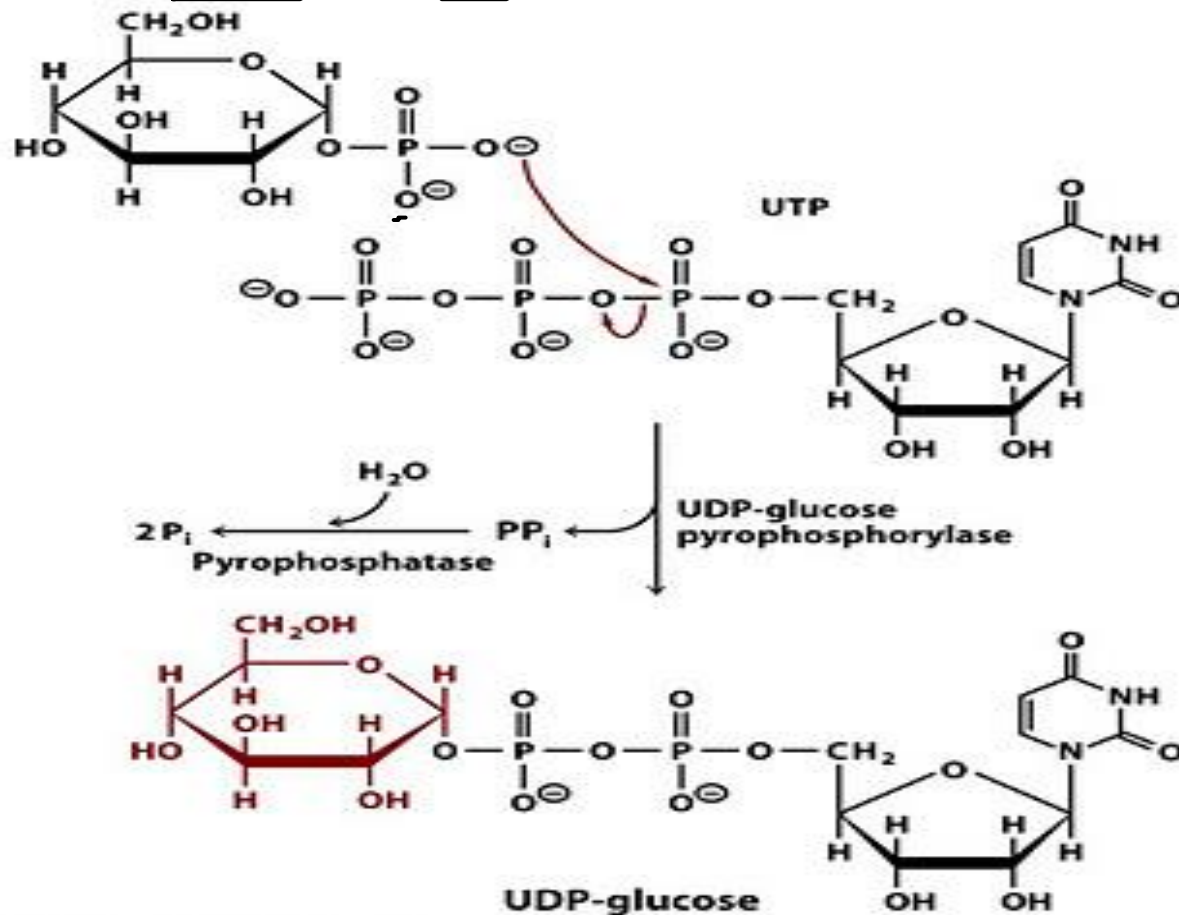
α -D-Glucose 6-phosphate

Phosphogluco-
mutase

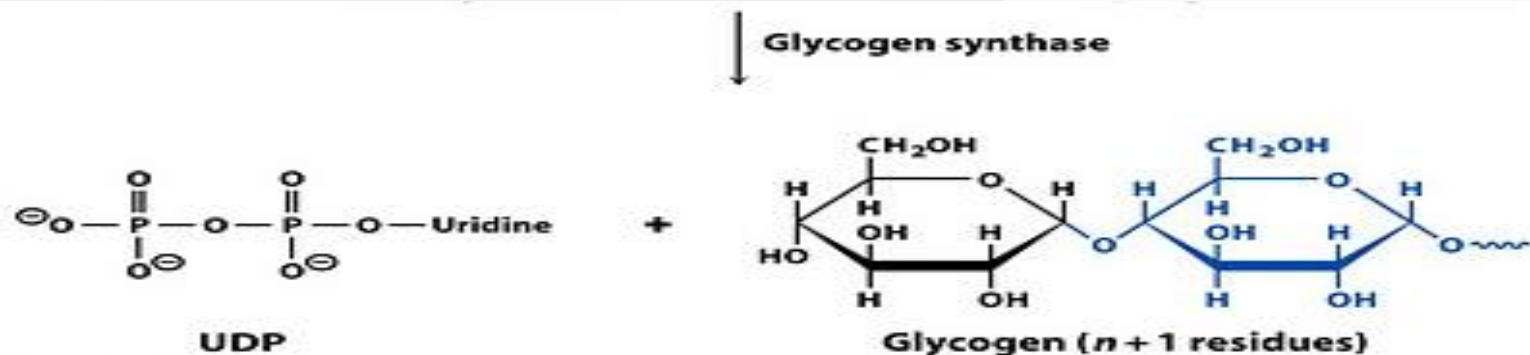


α -D-Glucose 1-phosphate

α -D-Glucose 1-phosphate

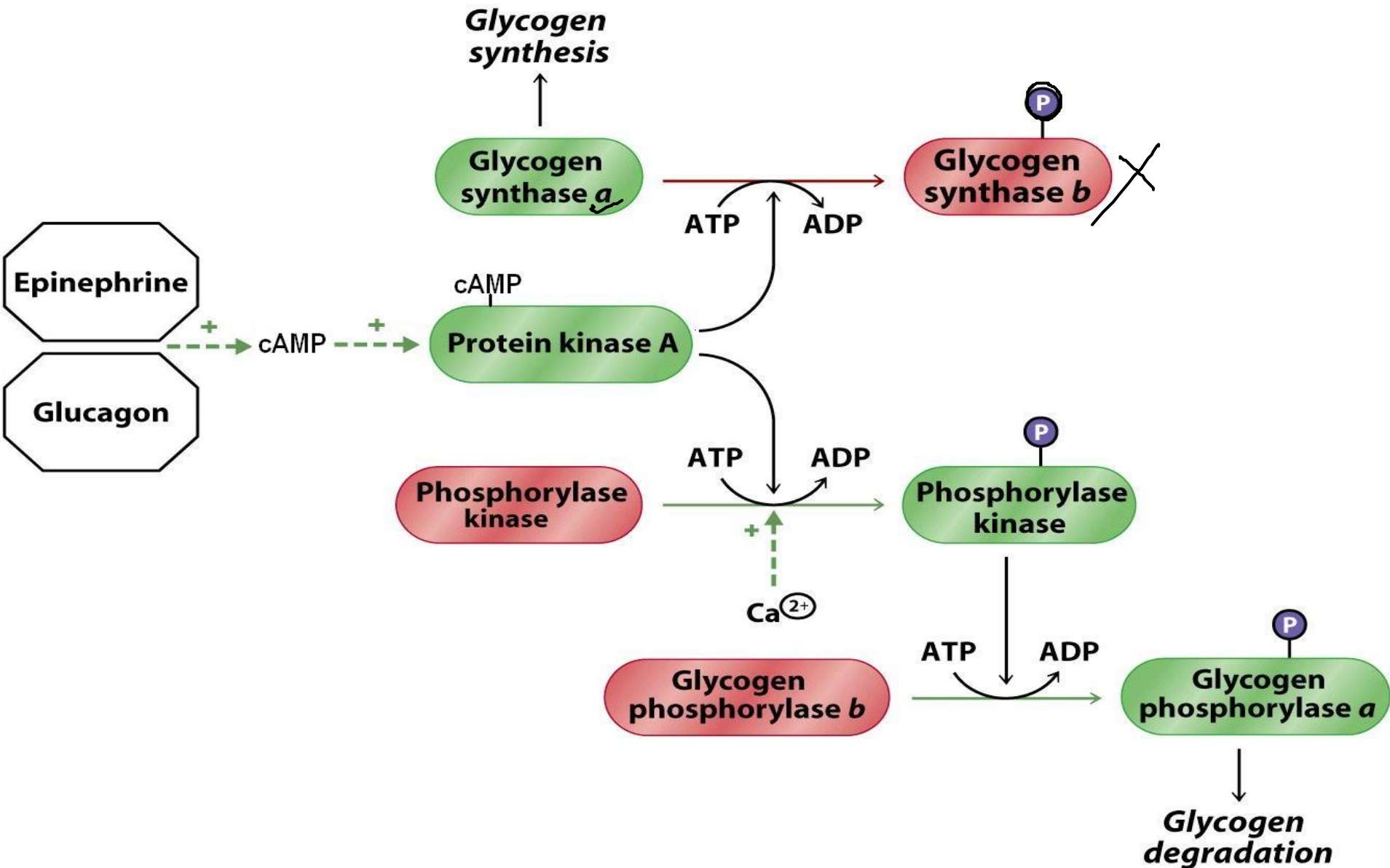


Step 2. Reaction of glycogen synthase



ทบทวนเนื้อหา 3

Regulation of glycogen synthesis



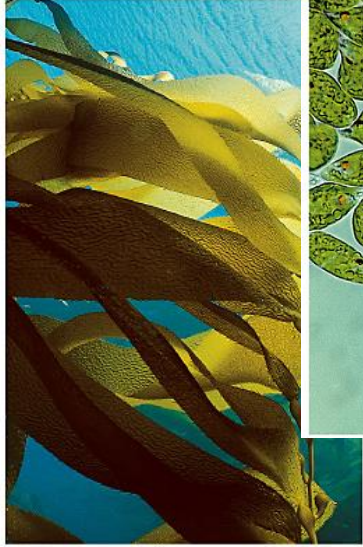
PHOTOSYNTHESIS

PHOTOSYNTHESIS

- Autotrophs, as are some bacteria and protists
 - To produce own organic matter through photosynthesis
 - Energy transformation from sunlight energy to stored energy in the form of chemical bonds



(a) Mosses, ferns, and flowering plants



(b) Kelp



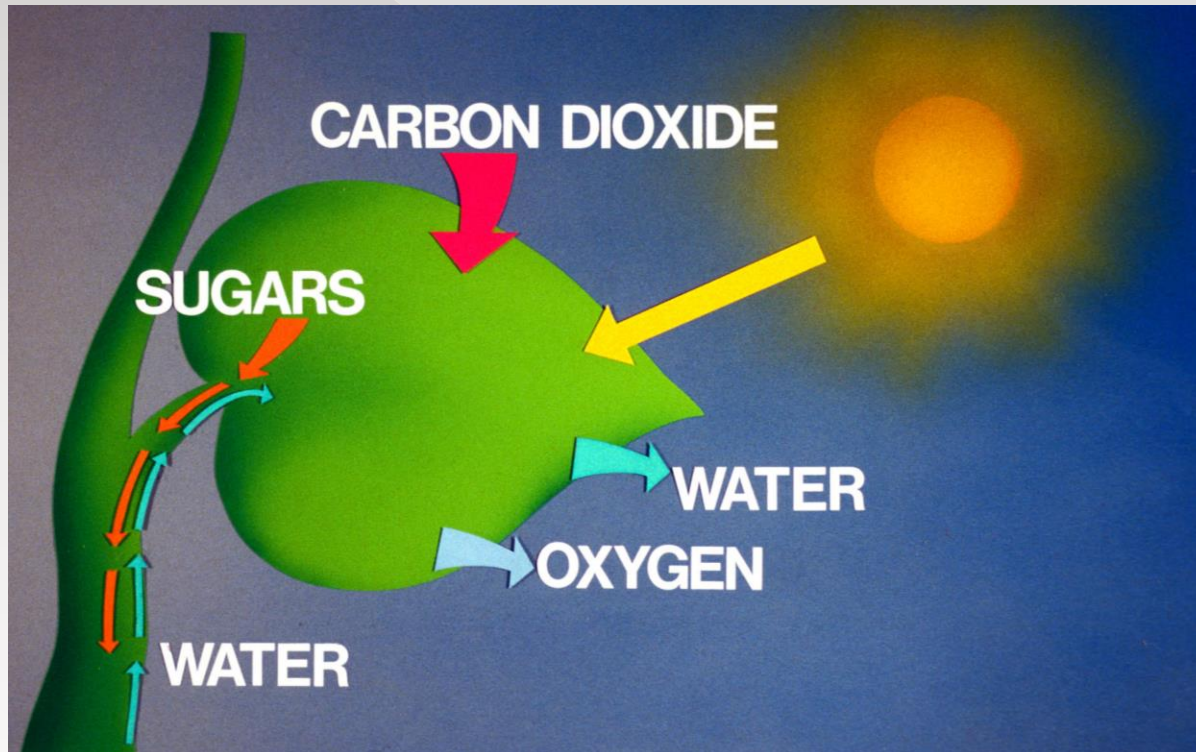
(c) *Euglena*



(d) Cyanobacteria

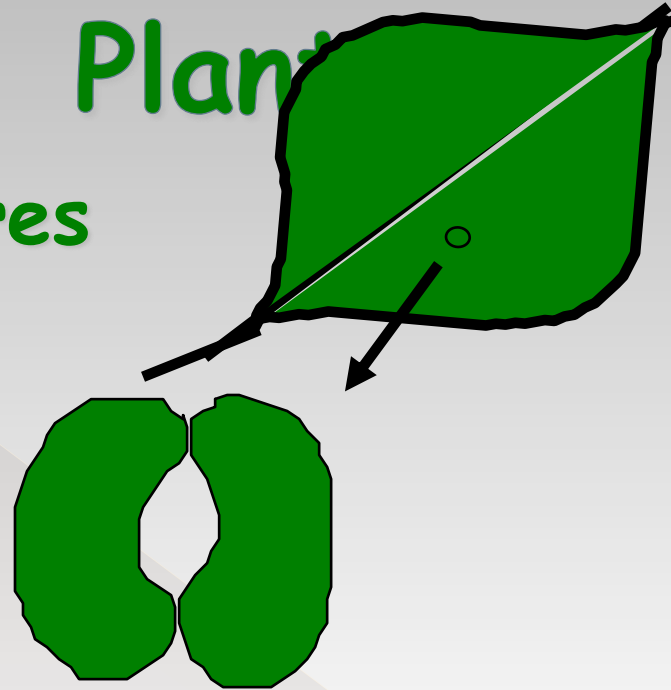
Photosynthesis

- Carbon dioxide (CO_2) requiring process that uses light energy (photons) and water (H_2O) to produce organic macromolecules (glucose).

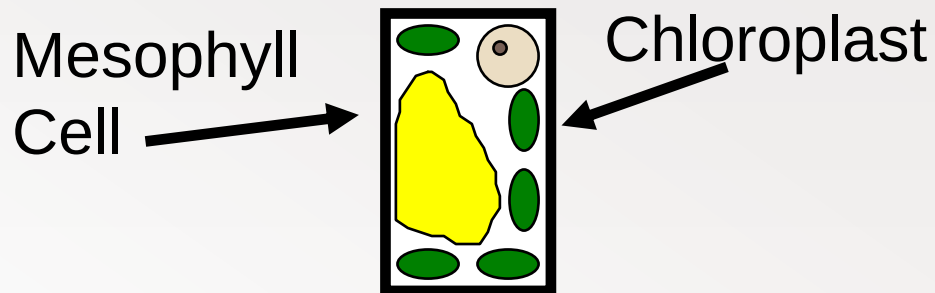


● leaves:

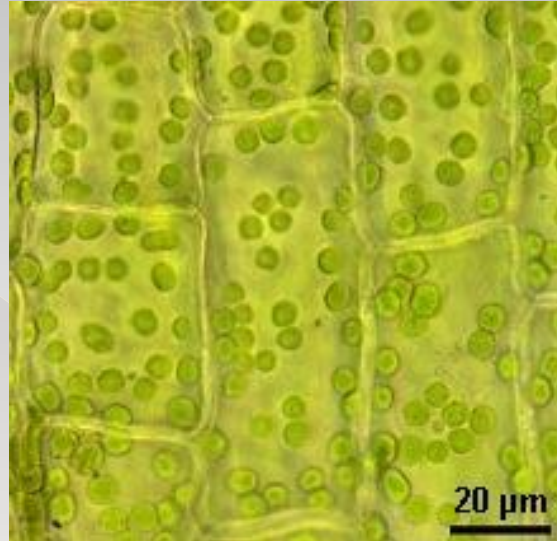
a. stoma - pores



b. mesophyll cells

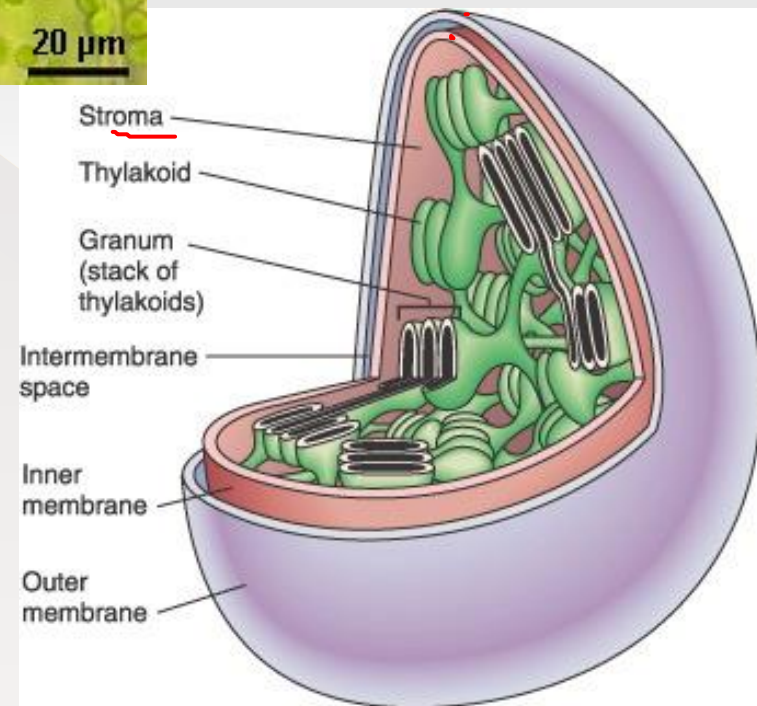


Chloroplasts

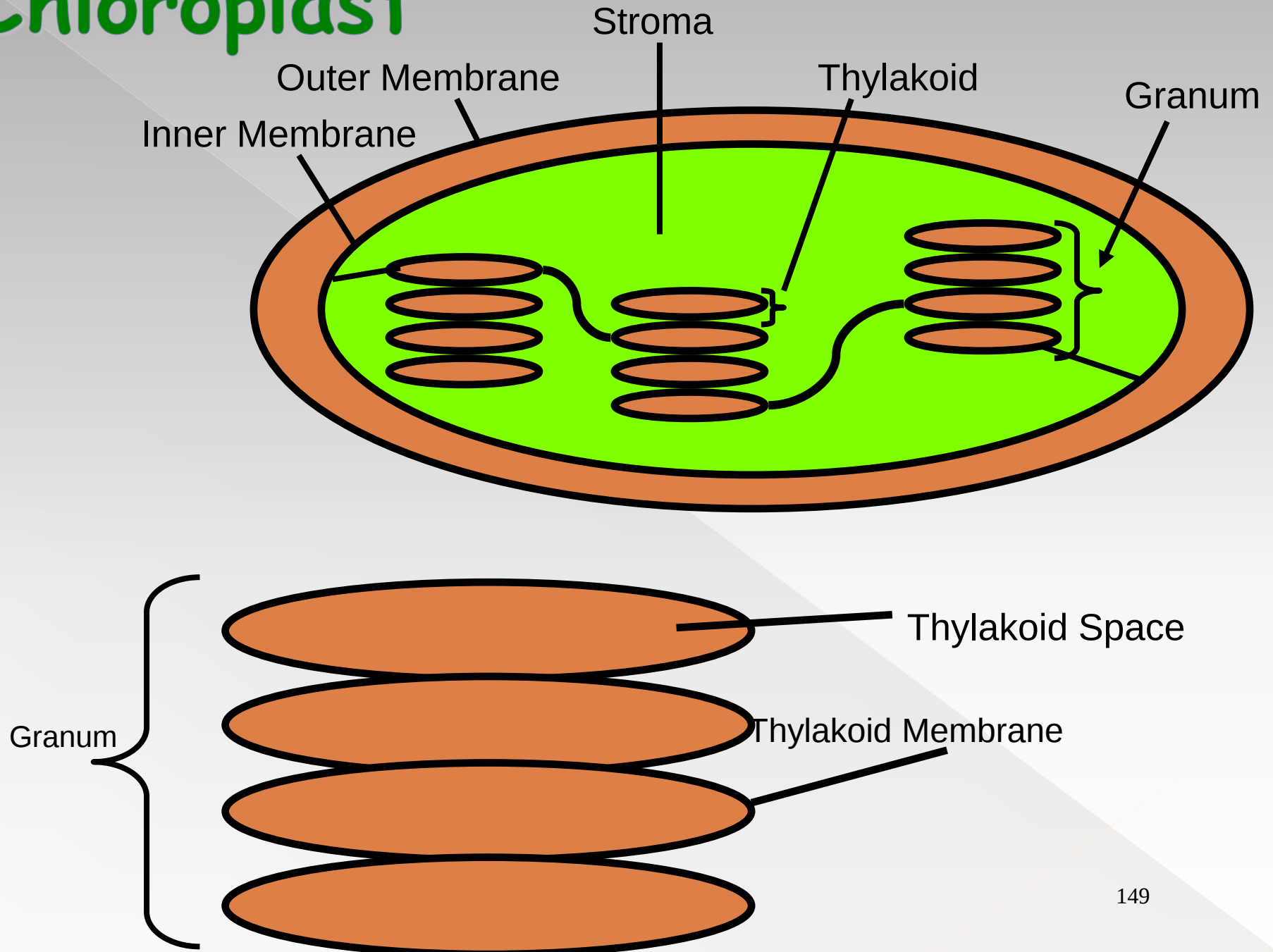


Plant Cells
have Green
Chloroplasts

The thylakoid membrane of the chloroplast is impregnated with photosynthetic pigments (i.e., chlorophylls, carotenoids).

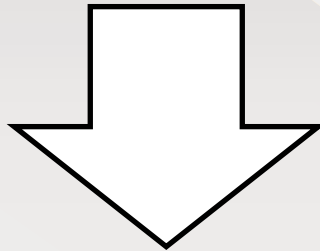


Chloroplast



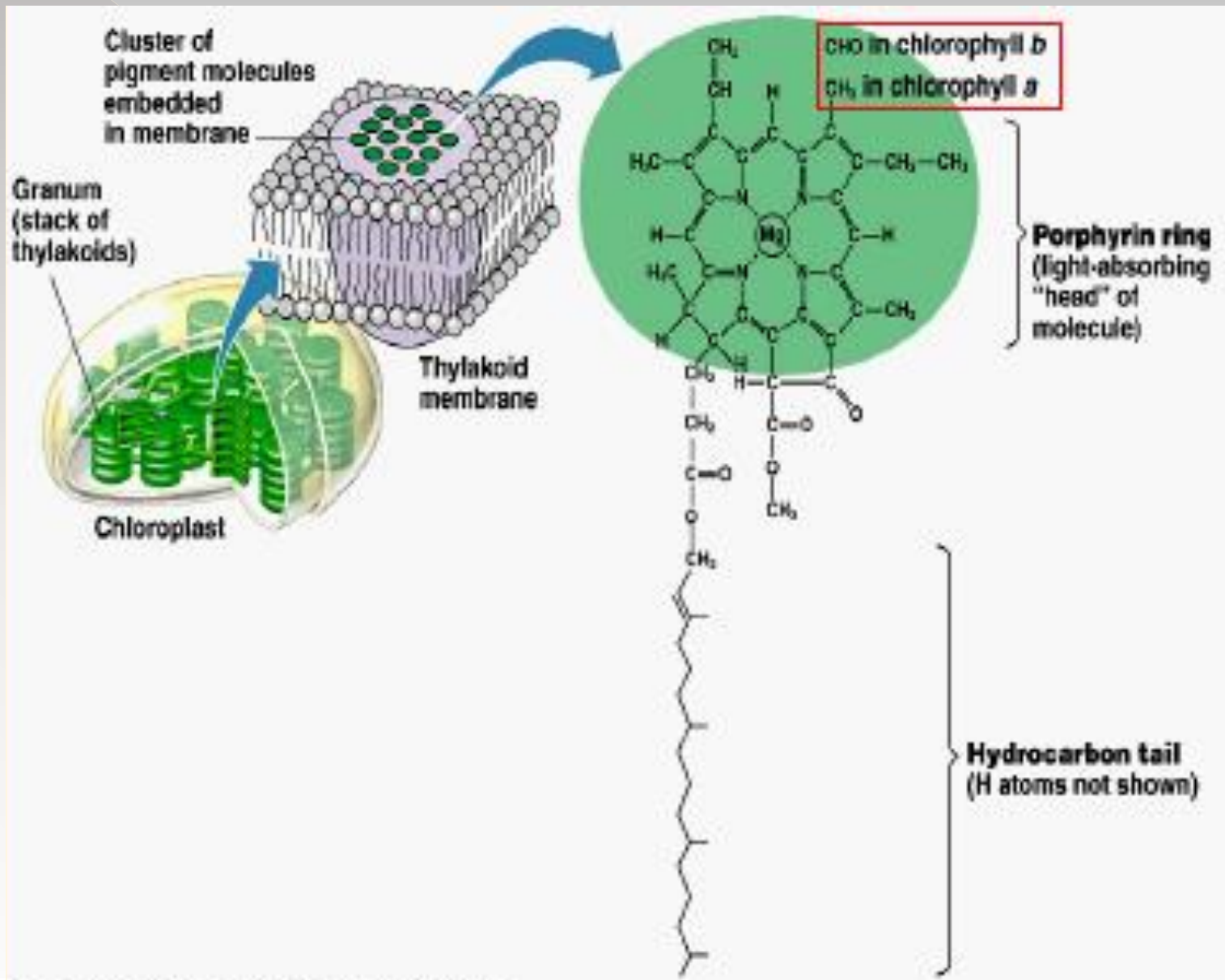
Thylakoid membrane has chlorophyll Molecules:

- Mg^{+} in the center
- Energy absorption in certain wavelengths
(blue-420 nm and red-660 nm)

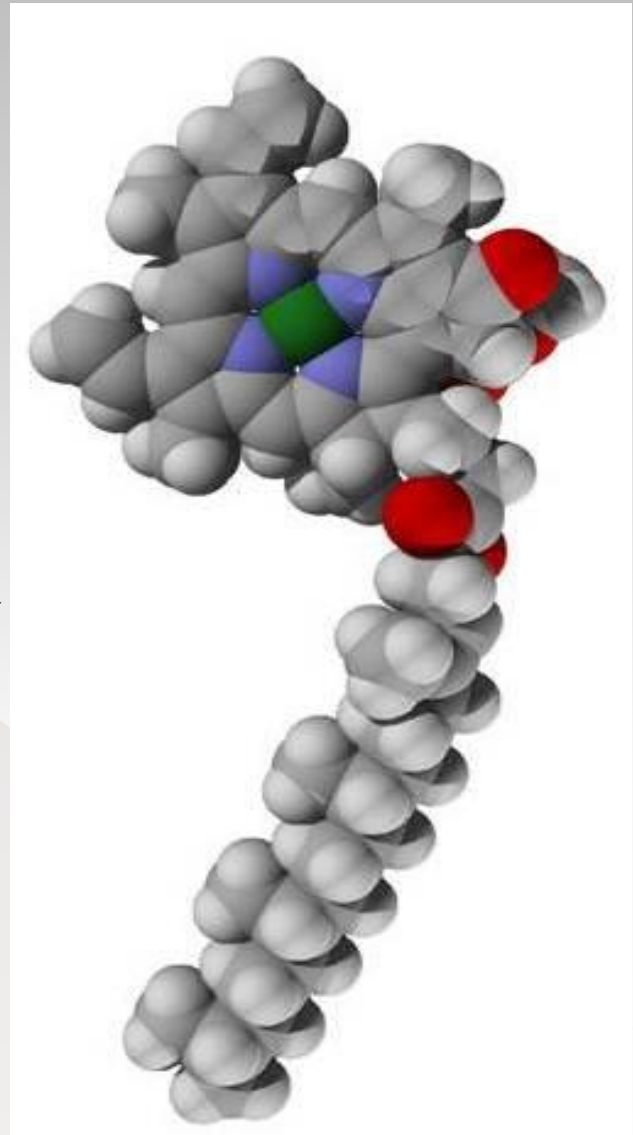
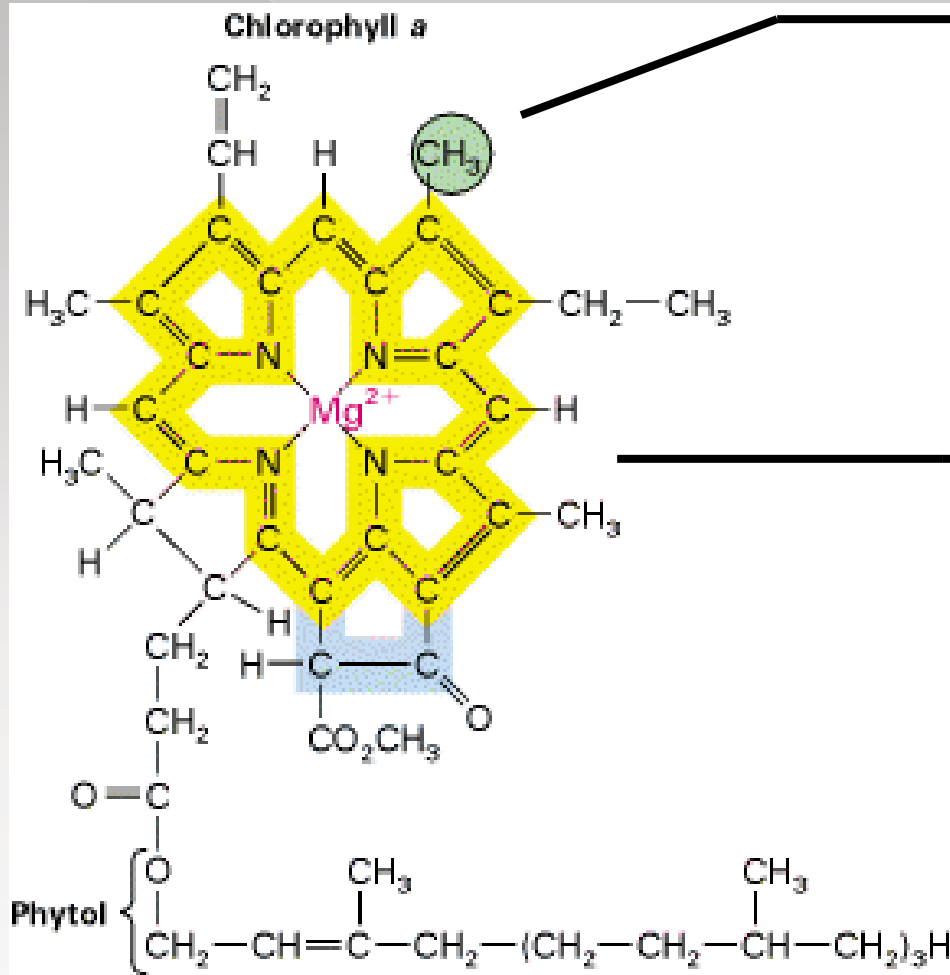


Plants are green because the green wavelength is reflected.

Chlorophyll a & b

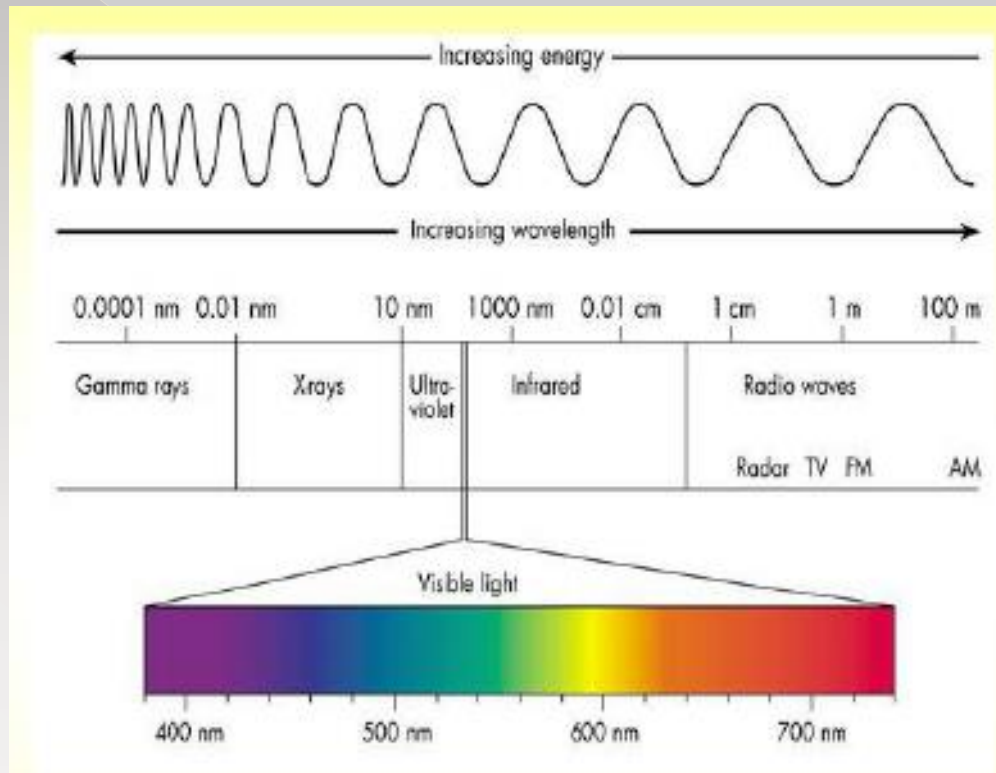


Chlorophyll a & b



Phytol tail

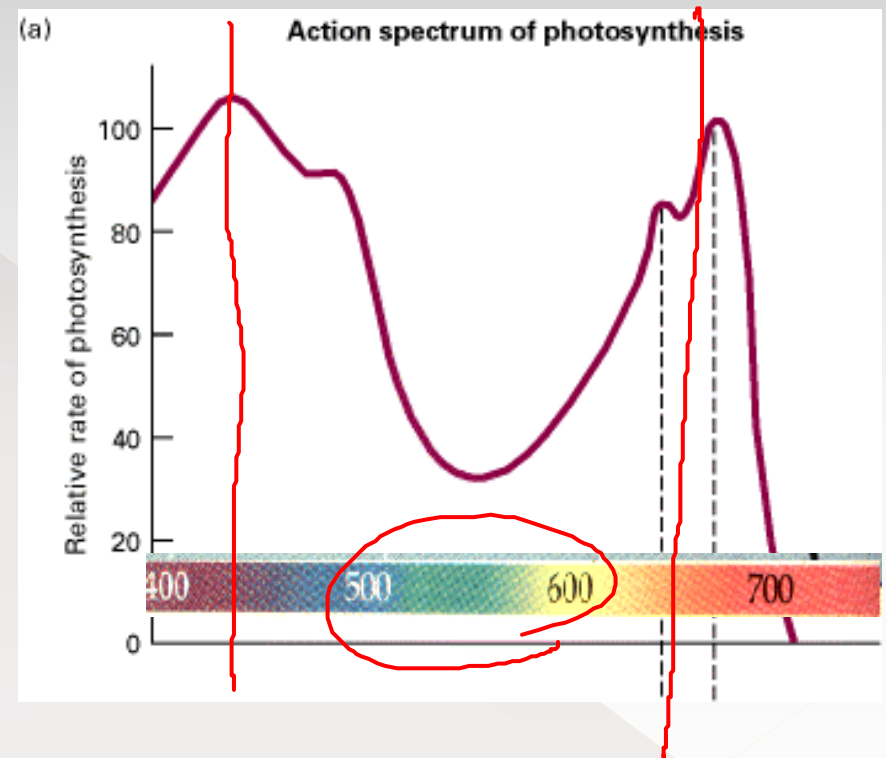
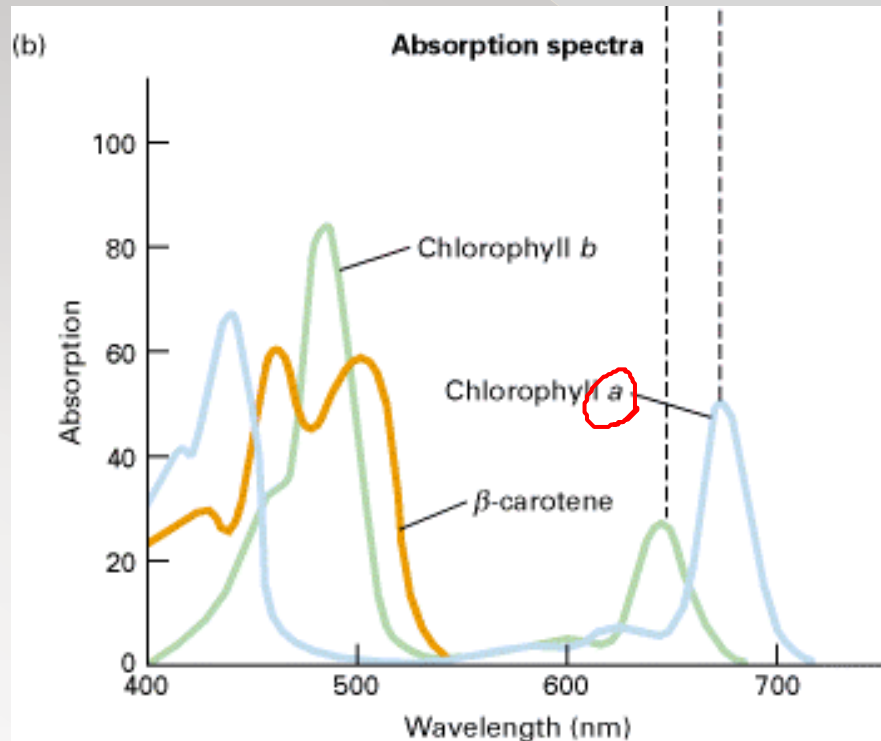
Different pigments absorb light differently



ภาพที่ 2-3 คลื่นแสงและแสงที่คนมองเห็นได้

(ที่มา : Physic GCSE, Online, n.d.)

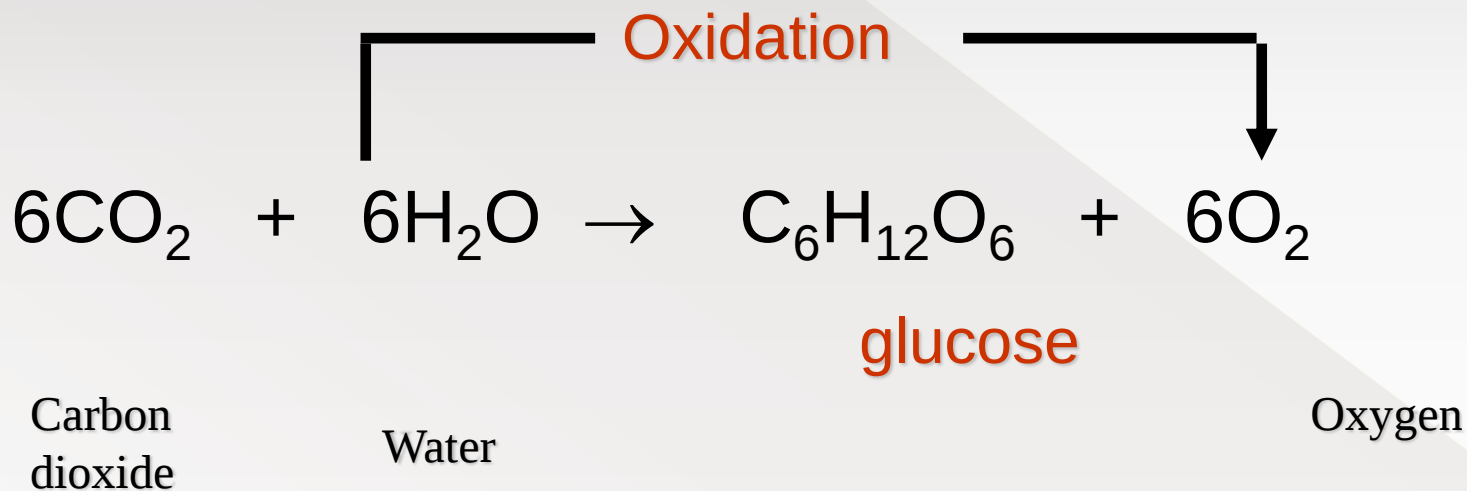
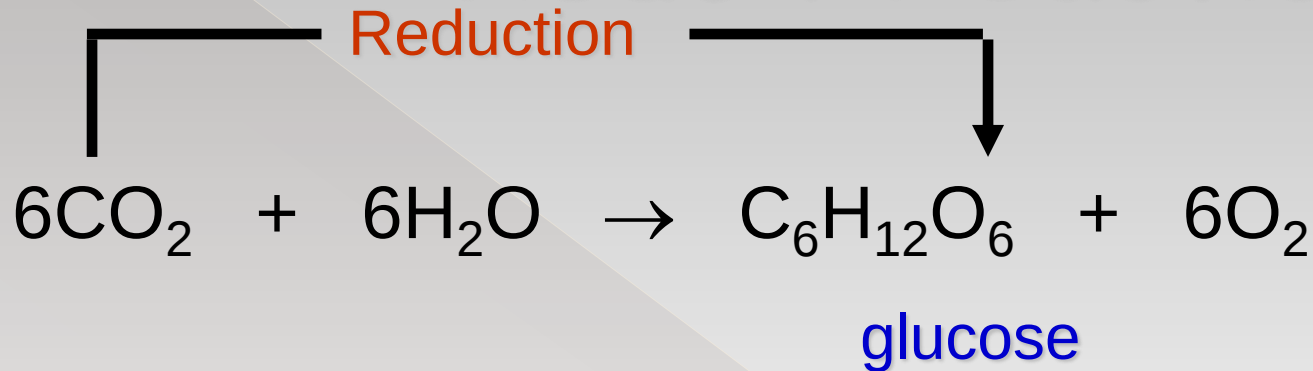
Different pigments absorb light differently



Plant colors

- During the fall, the green chlorophyll pigments are greatly reduced revealing the other pigments
- Carotenoids are pigments that are either red, orange, or yellow

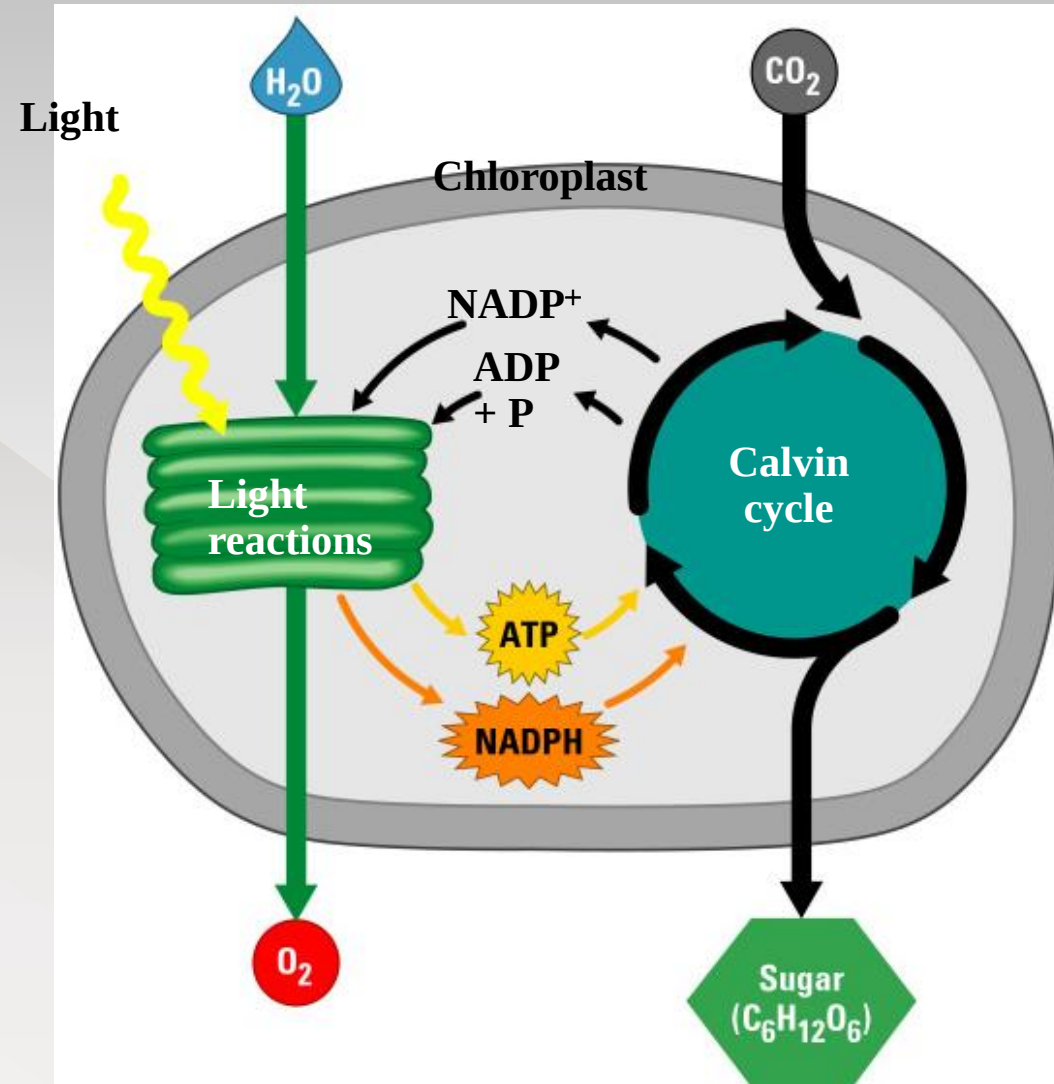
Redox Reaction



Two steps of photosynthesis

Step 1: The light reactions convert solar energy to chemical energy

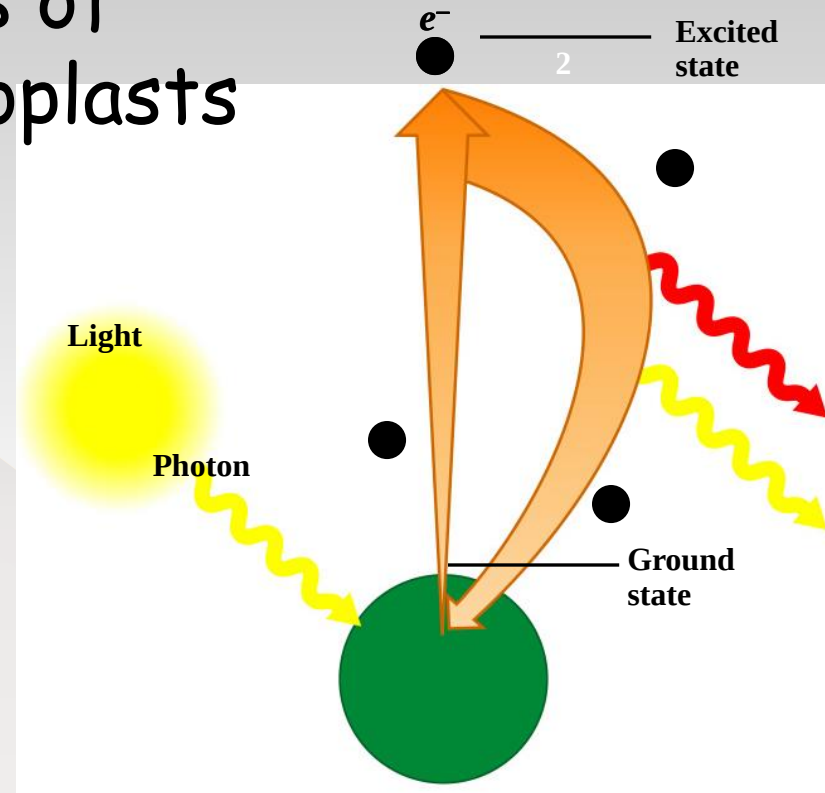
- > Produce ATP & NADPH



Step 2: The Calvin cycle makes sugar from carbon dioxide

Steps of "THE LIGHT REACTION"

- Light hits reaction centers of chlorophyll, found in chloroplasts
- Chlorophyll vibrates and water to break apart.
- Oxygen is released into air



Hydrogen remains in chloroplast attached to NADPH

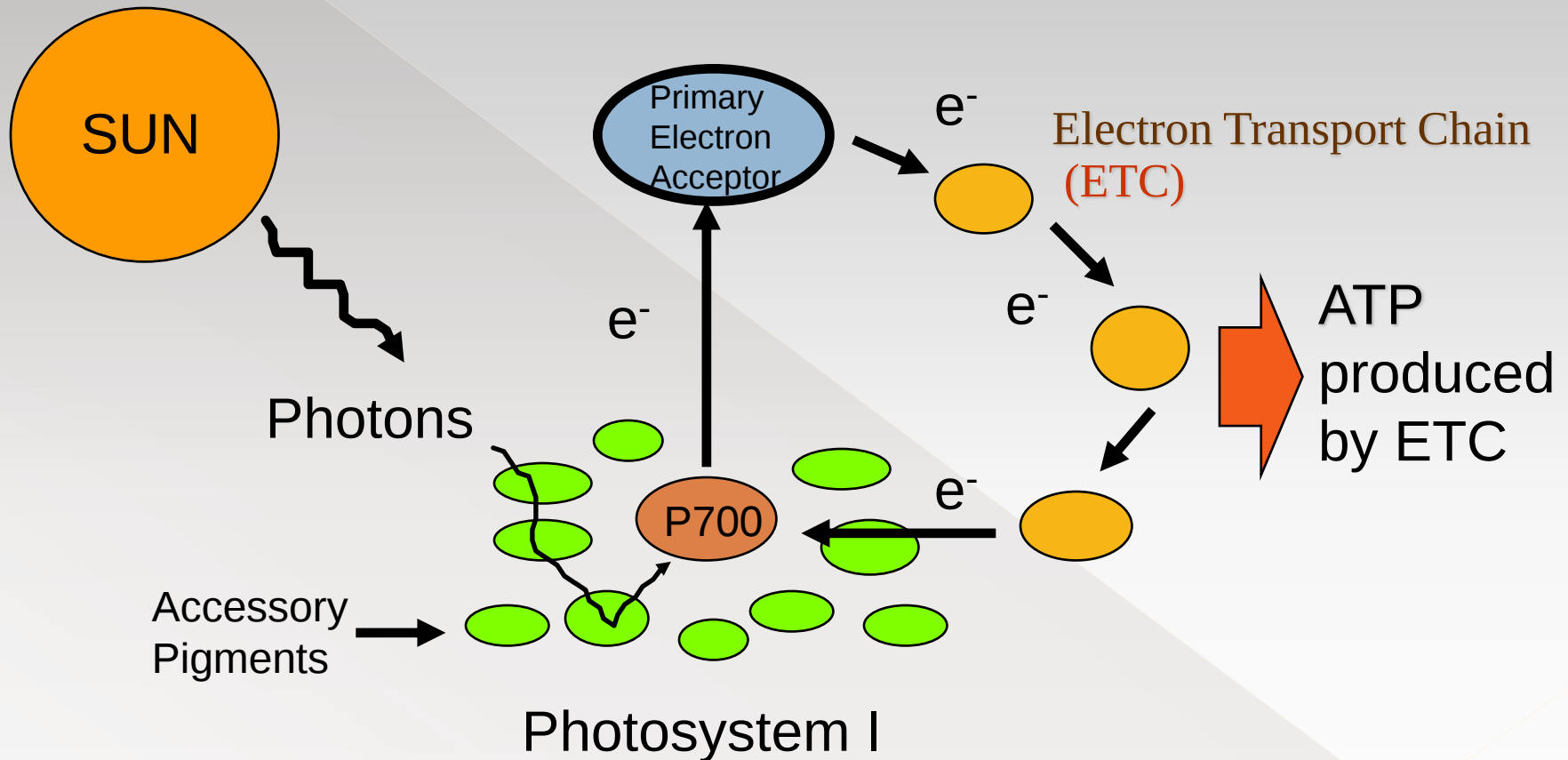
Light Reaction (Electron Flow)

● **Two** possible routes for electron flow:

A. **Cyclic Electron Flow**

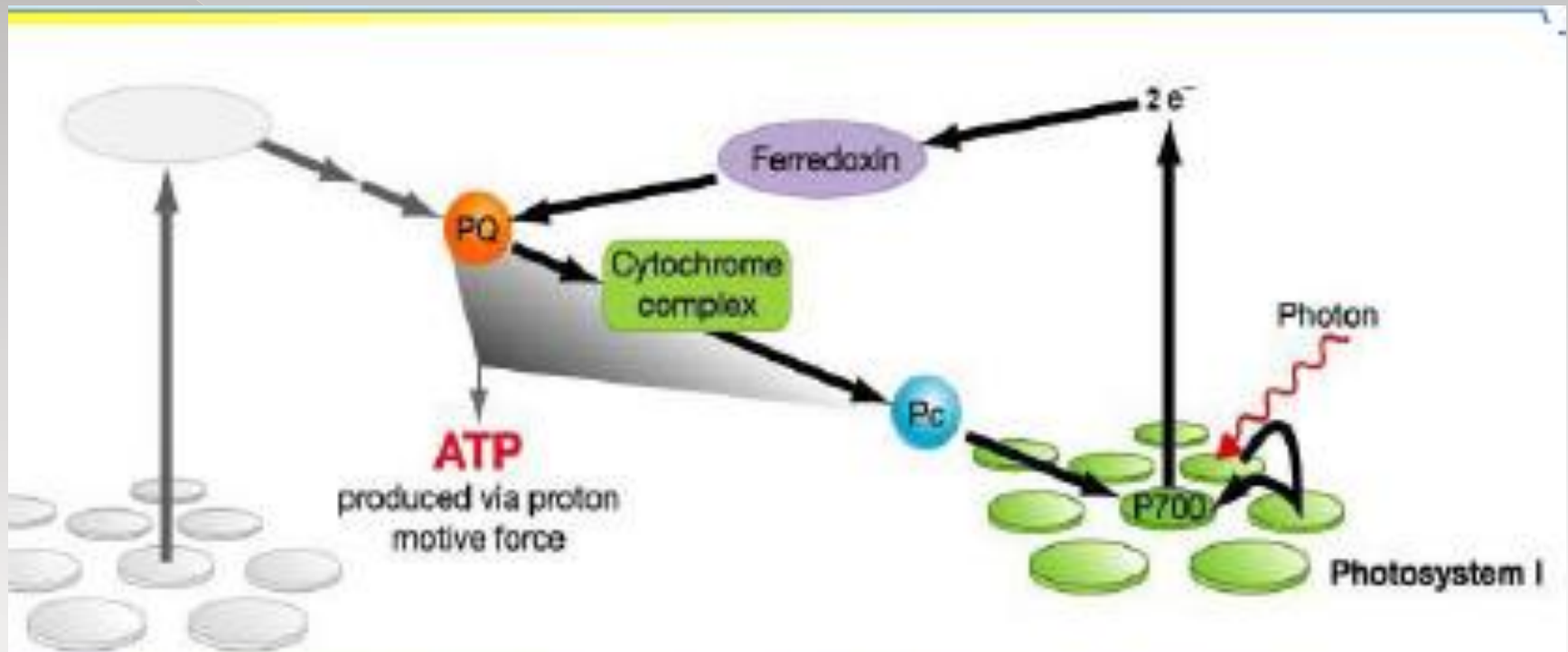
B. **Noncyclic Electron Flow**

Cyclic Electron Flow



Pigments absorb light energy & excite e^- of Chlorophyll a to produce **only ATP**

Cyclic Electron Flow



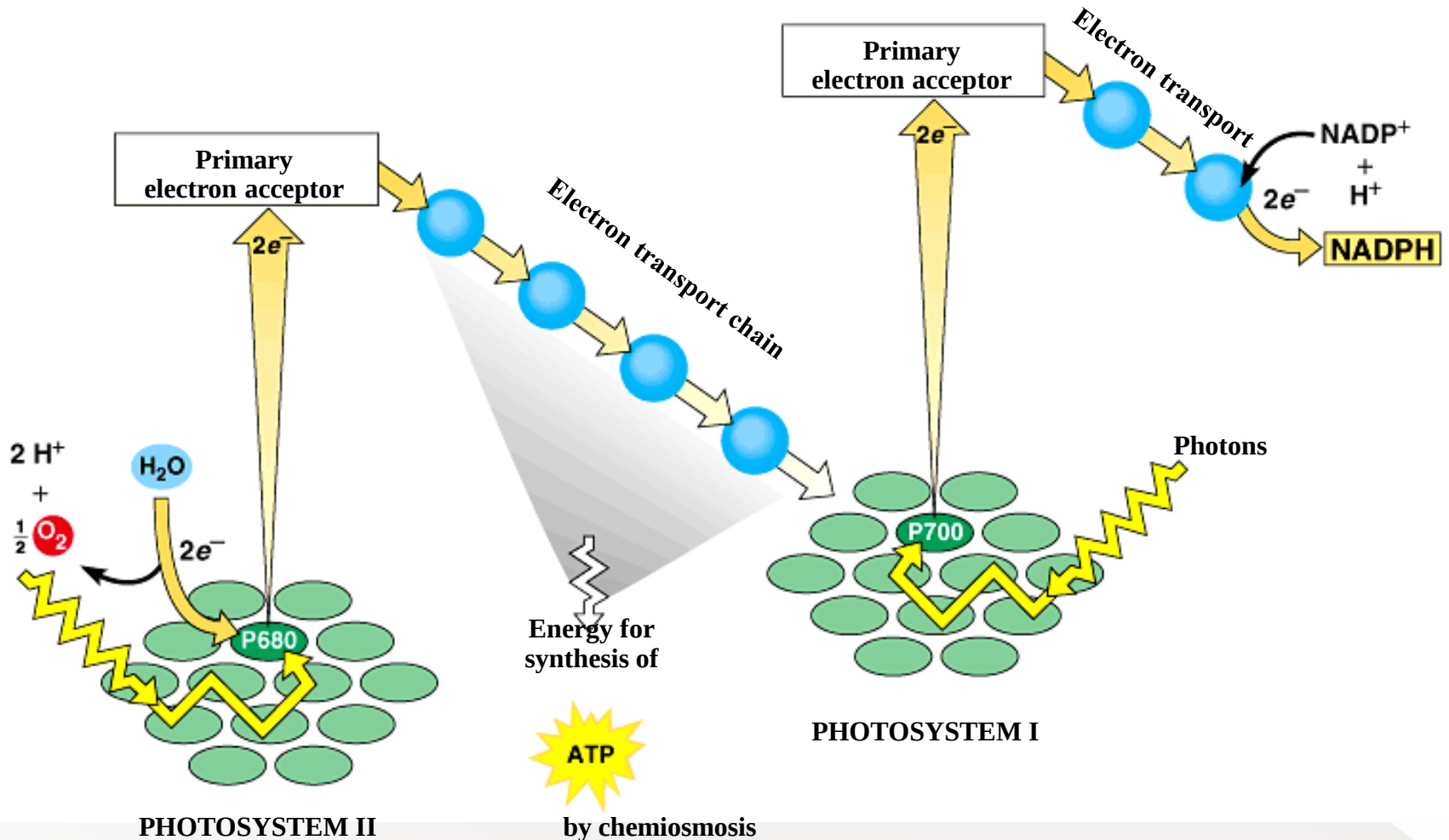
ภาพที่ 2-17 แผนภาพแสดงระดับพลังงานในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร

(ที่มา : Photosynthesis, Online, n.d.b)

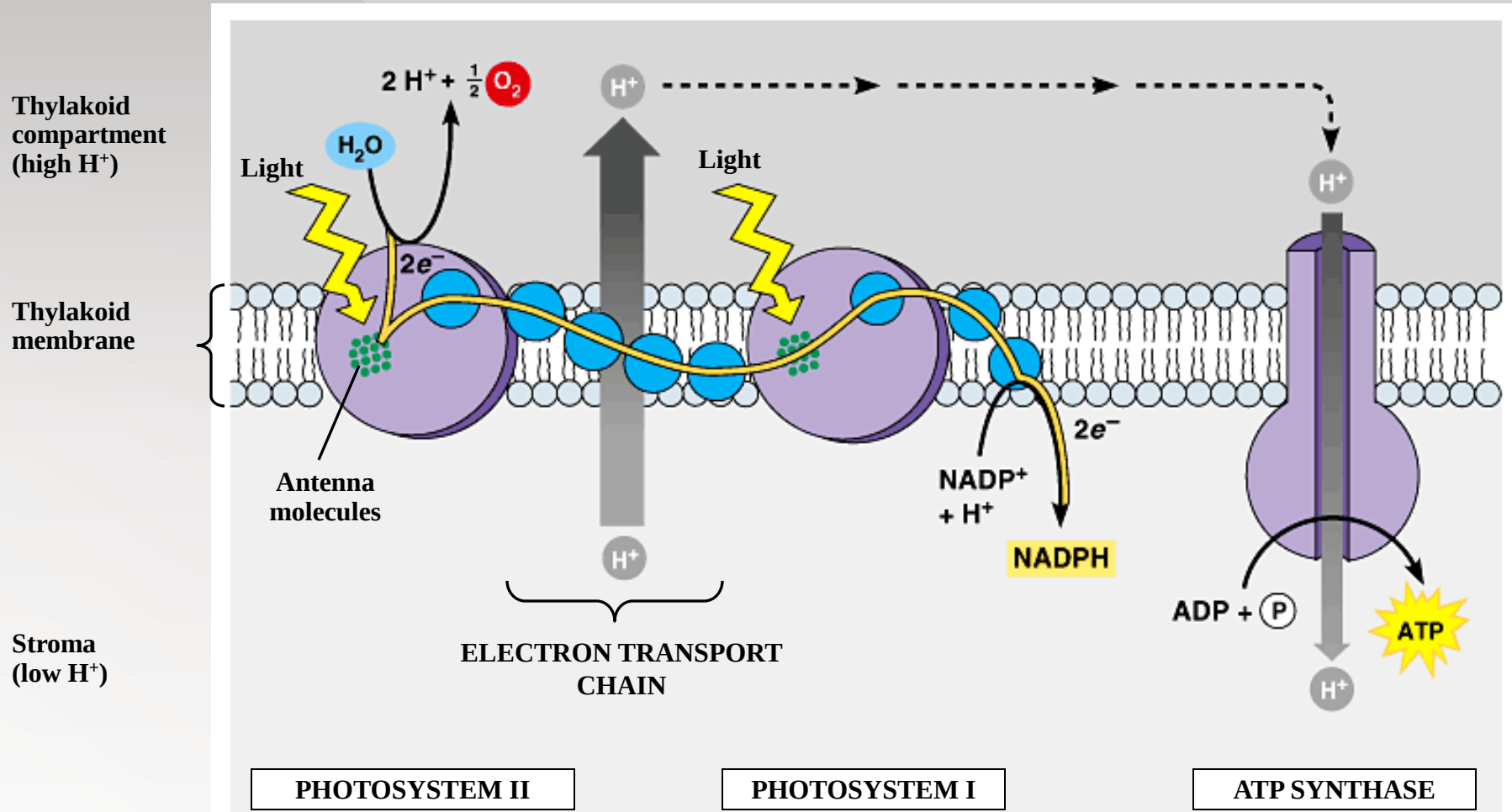
Pigments absorb light energy & excite e^- of Chlorophyll a to produce **only ATP**

Noncyclic Photophosphorylation

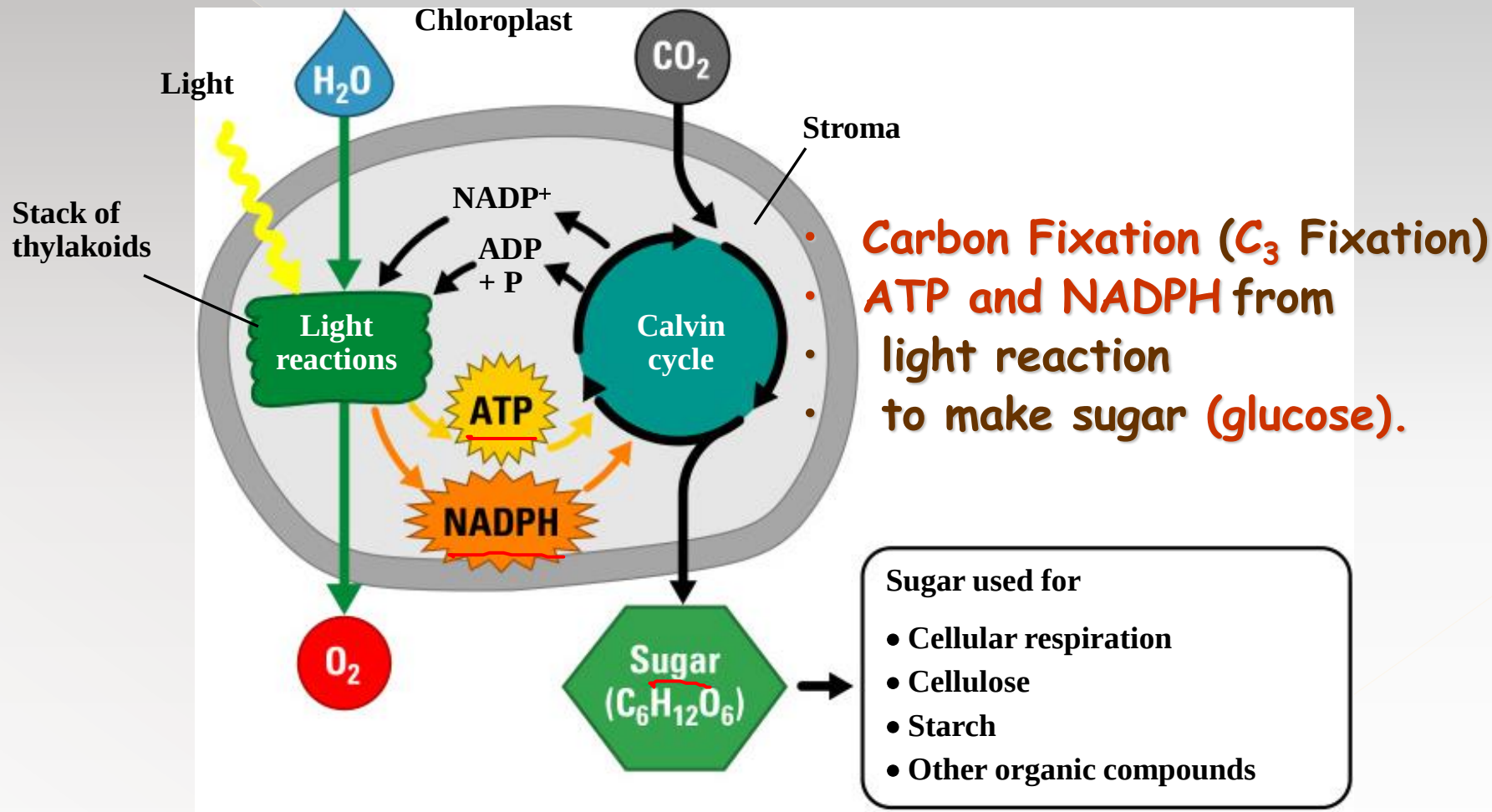
- Generates O_2 , ATP and NADPH



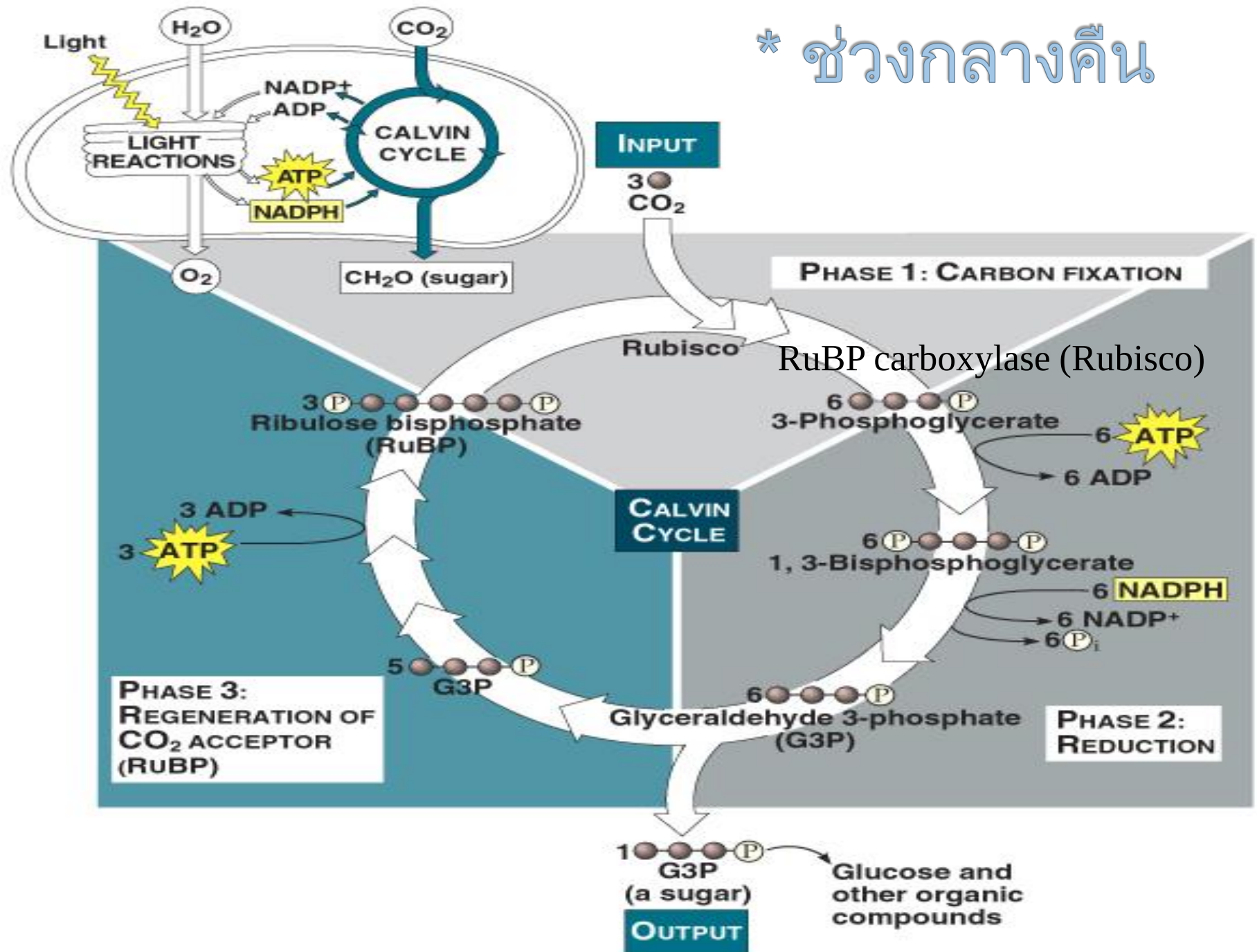
○ The production of ATP by chemiosmosis in photosynthesis



Steps of "Calvin cycle"

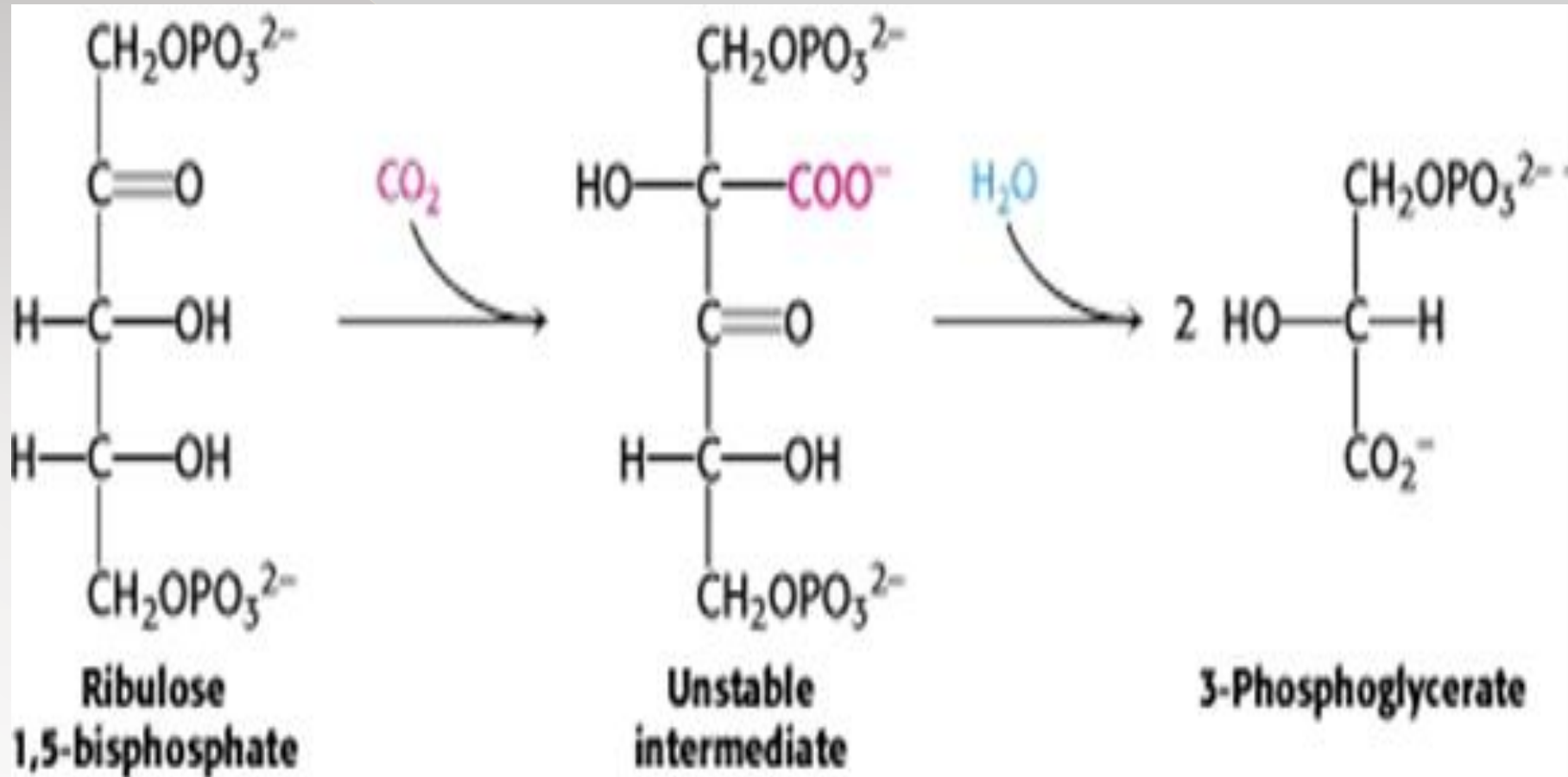


* ช่วงกลางคืน



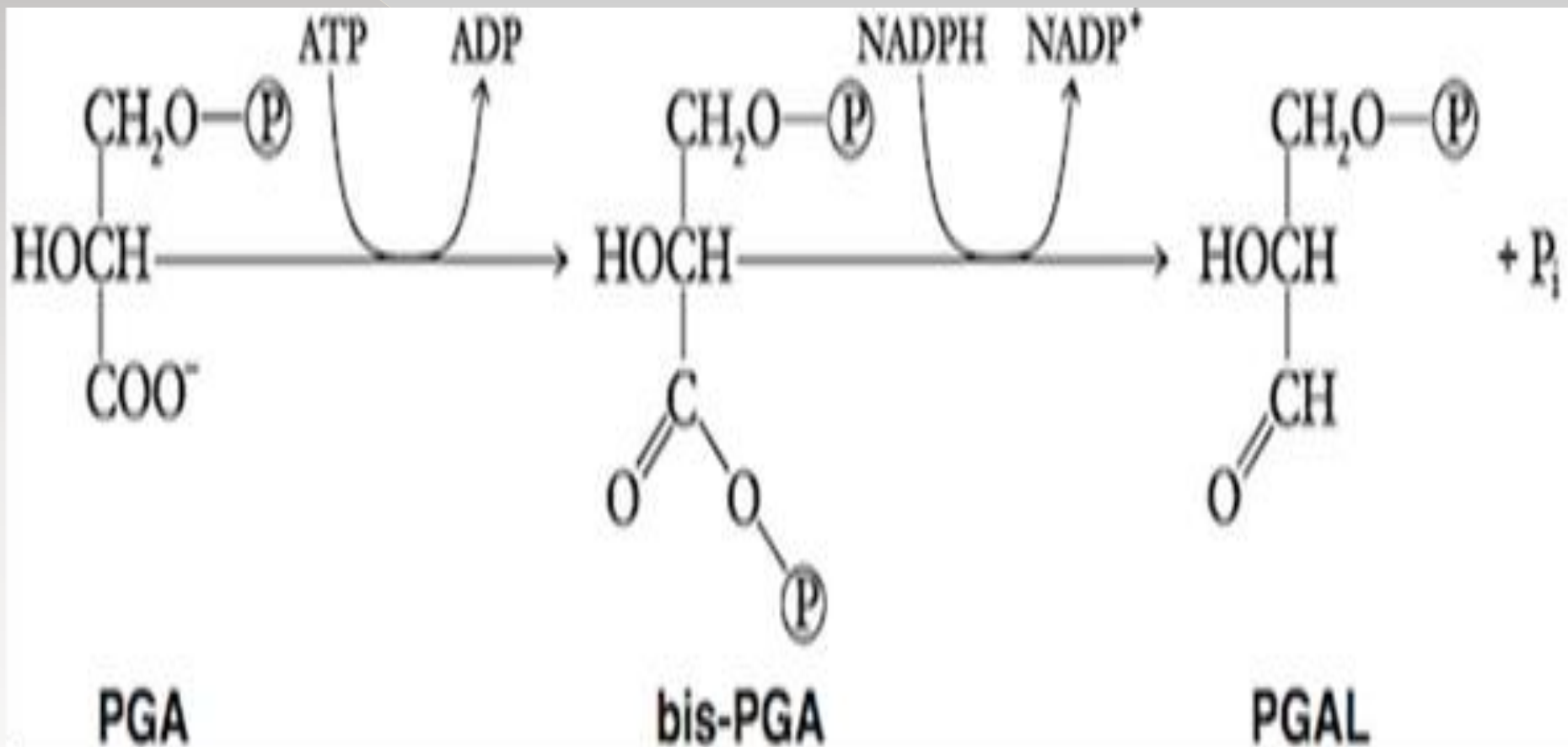
รายละเอียดเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 1 คาร์บอกซิเลชัน (Carboxylation)



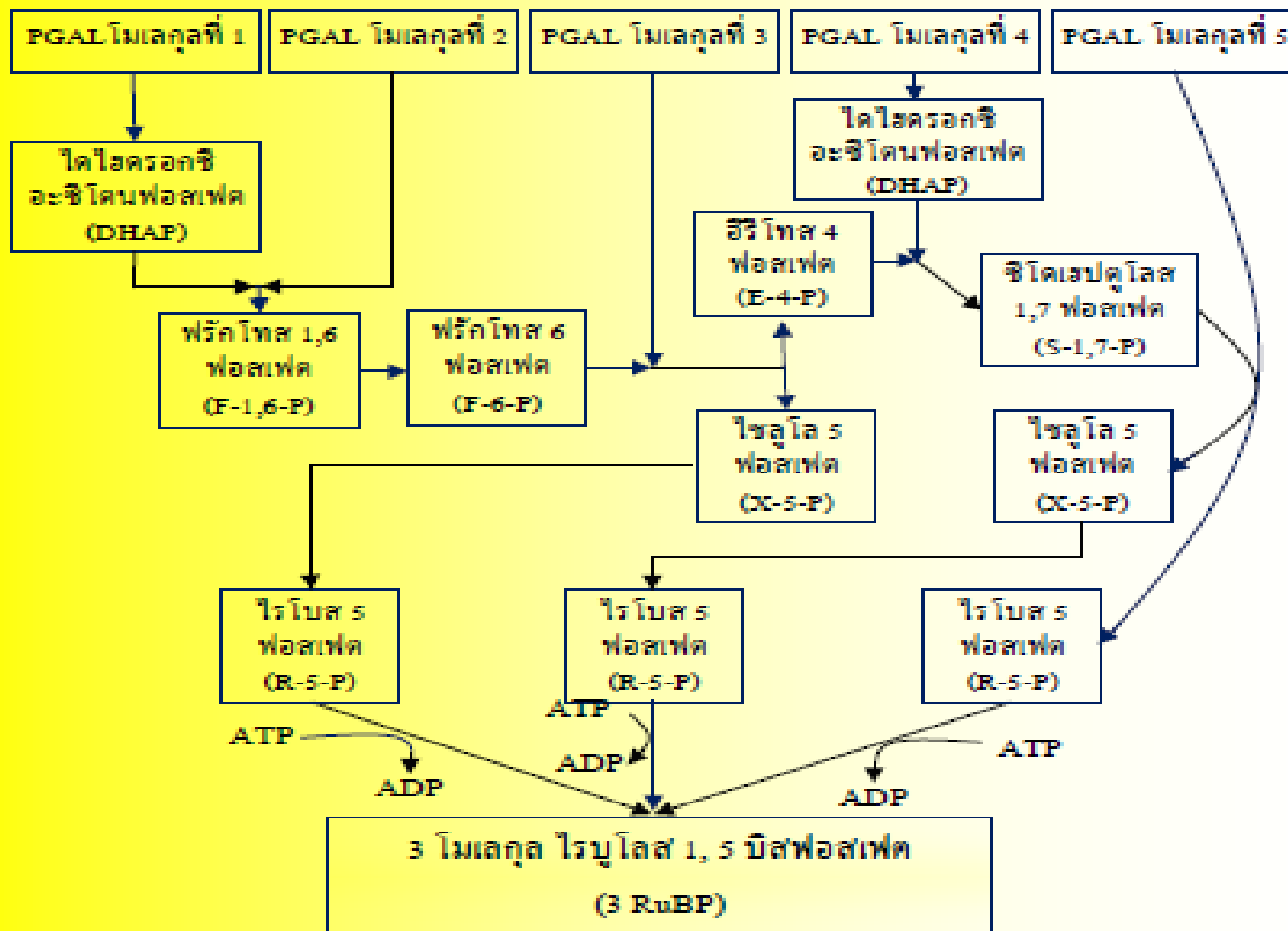
รายละเอียดเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 2 รีดักชัน (Reduction)



รายละเอียดเพิ่มเติม

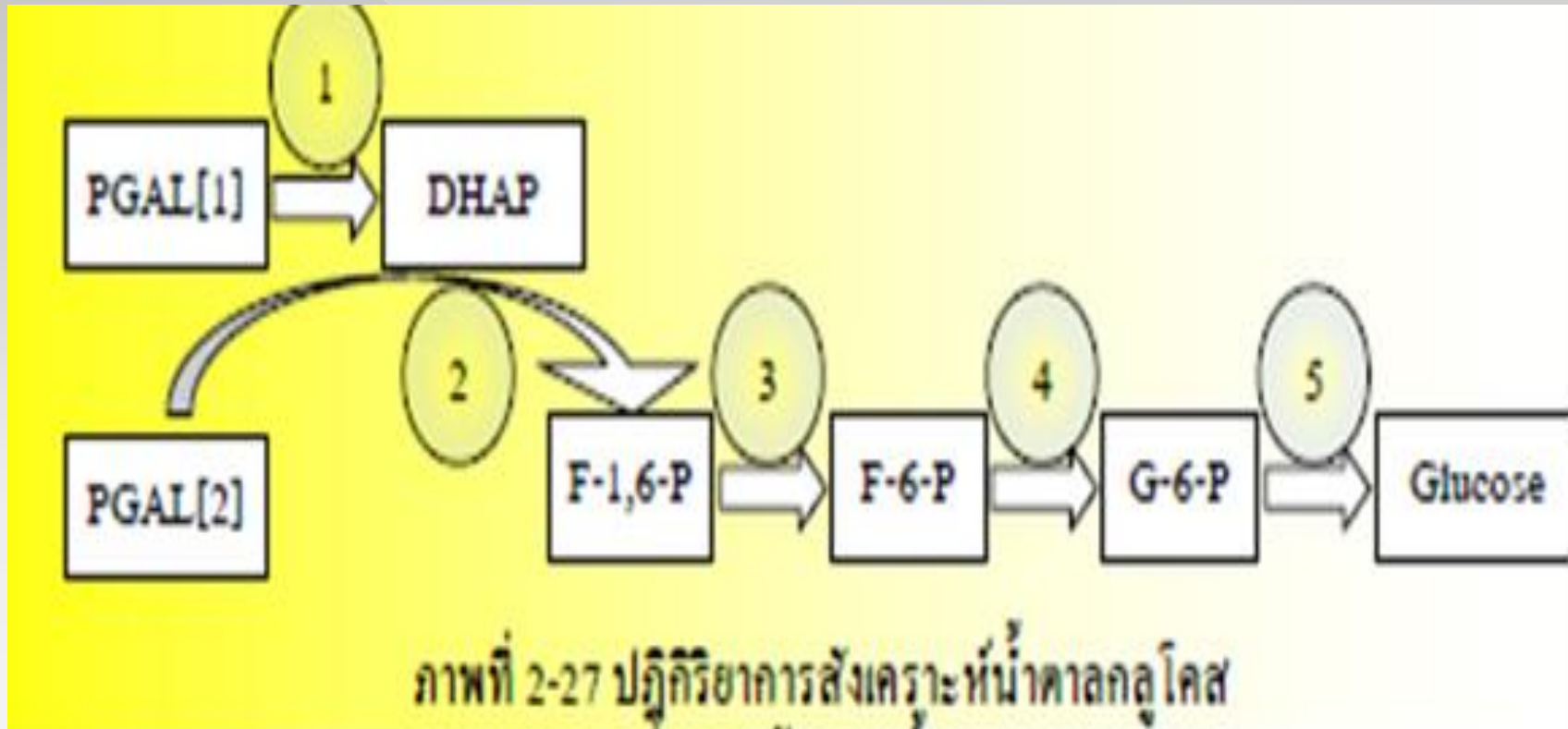
ขั้นตอนที่ 3 รีเจนเนอเรชัน (Regeneration)



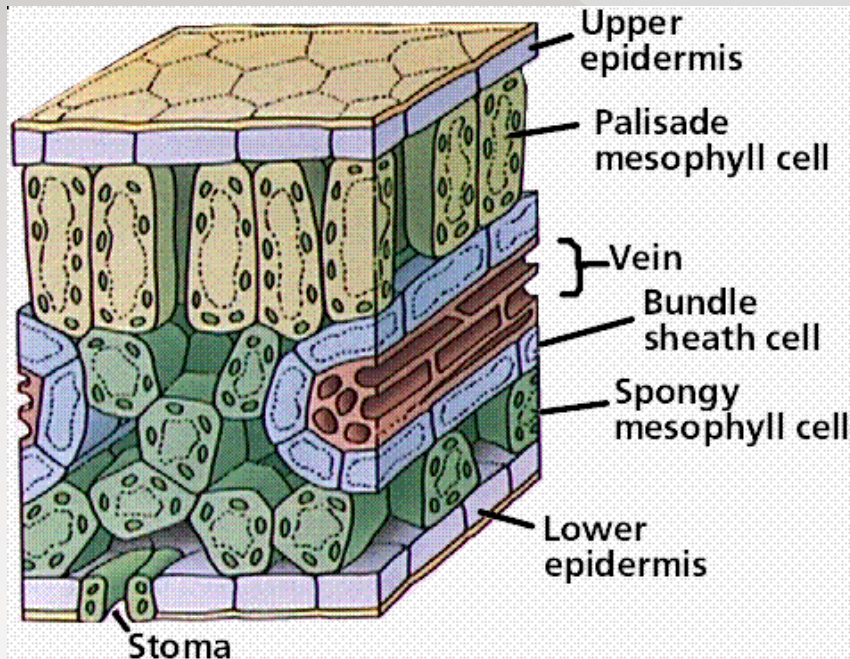
ภาพที่ 2-26 ปฏิกริยาริเจนเนอเรชัน
(ที่มา : Tiffickjian, J., Online, n.d.)

รายละเอียดเพิ่มเติม

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคส



C3 Photosynthesis

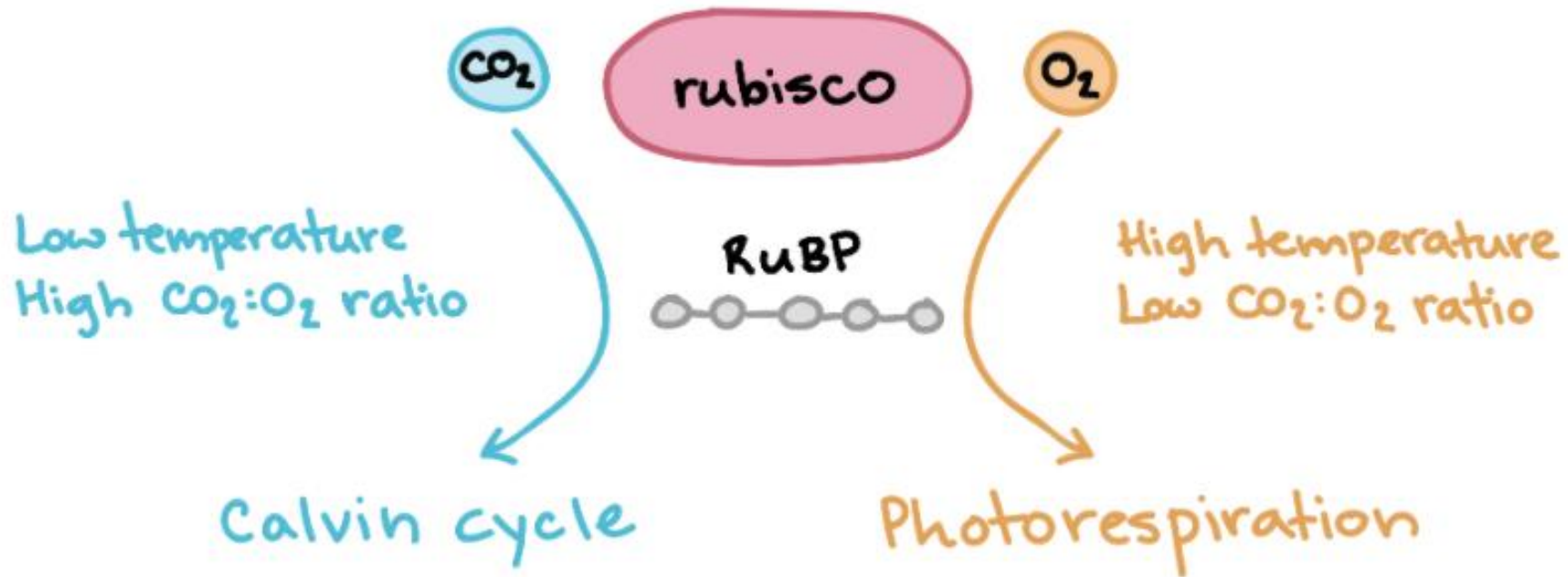


- พืช C3 เป็นพืชที่มีเยื่อหุ้มท่อลำเลียงน้ำและอาหาร (Bundle sheath) ไม่มีคลอโรพลาสต์
- ตัวอย่างได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ถั่ว และพืชทั่วไป
- การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เนื้อใบชั้นมีโซฟิลล์ (Mesophyll) เท่านั้น

พืช C3

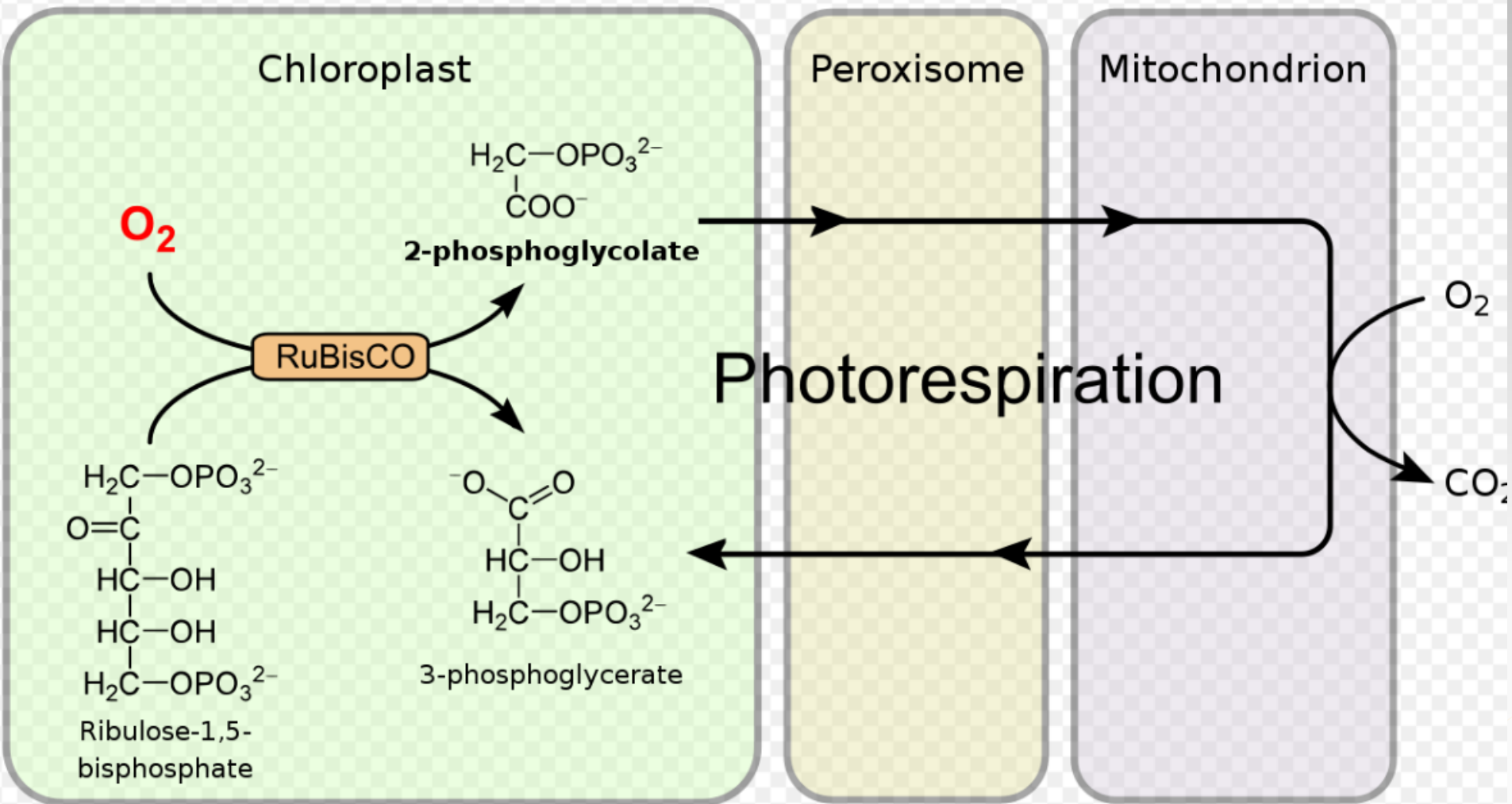


Problem of "Photo-respiration" from O_2

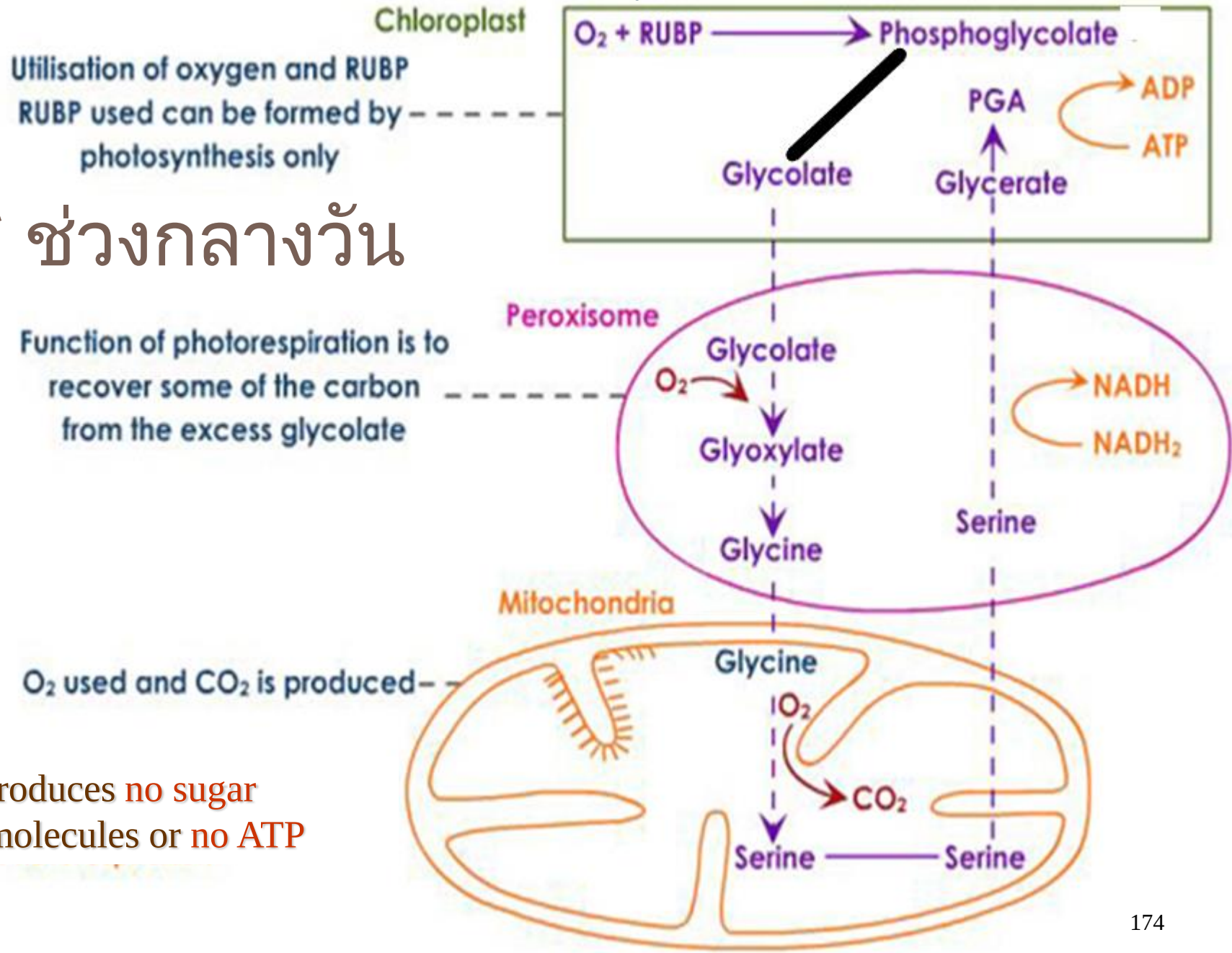


Copyright from <https://www.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-cam-plants>

Problem of "Photo-respiration" from O_2



Problem of "Photo-respiration" from O_2



C4 Photosynthesis (Hatch-Slack pathway)

- To limit the amount of photorespiration
 - > C4 Pathway*
 - > CAM Pathway*
- * Both convert CO_2 into a 4 carbon intermediate → **C4 Photosynthesis**

CAM plants take in carbon dioxide during the night through pores in their leaves. During the day, the pores close and the stored carbon dioxide is used for photosynthesis

- In C₃ plants all processes occur in the mesophyll cells.

- In C₄ plants photosynthesis occurs in both the mesophyll and the bundle sheath cells.
 - 15% of plants (grasses, corn, sugarcane)

- Almost plants

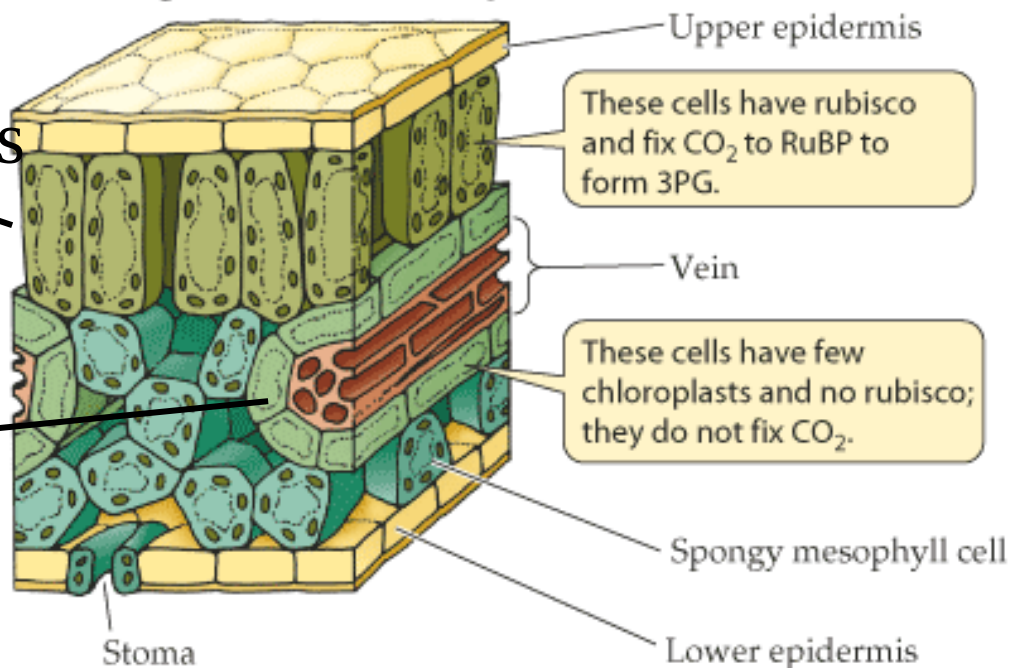
Mesophyll cells

Bundle sheath cells

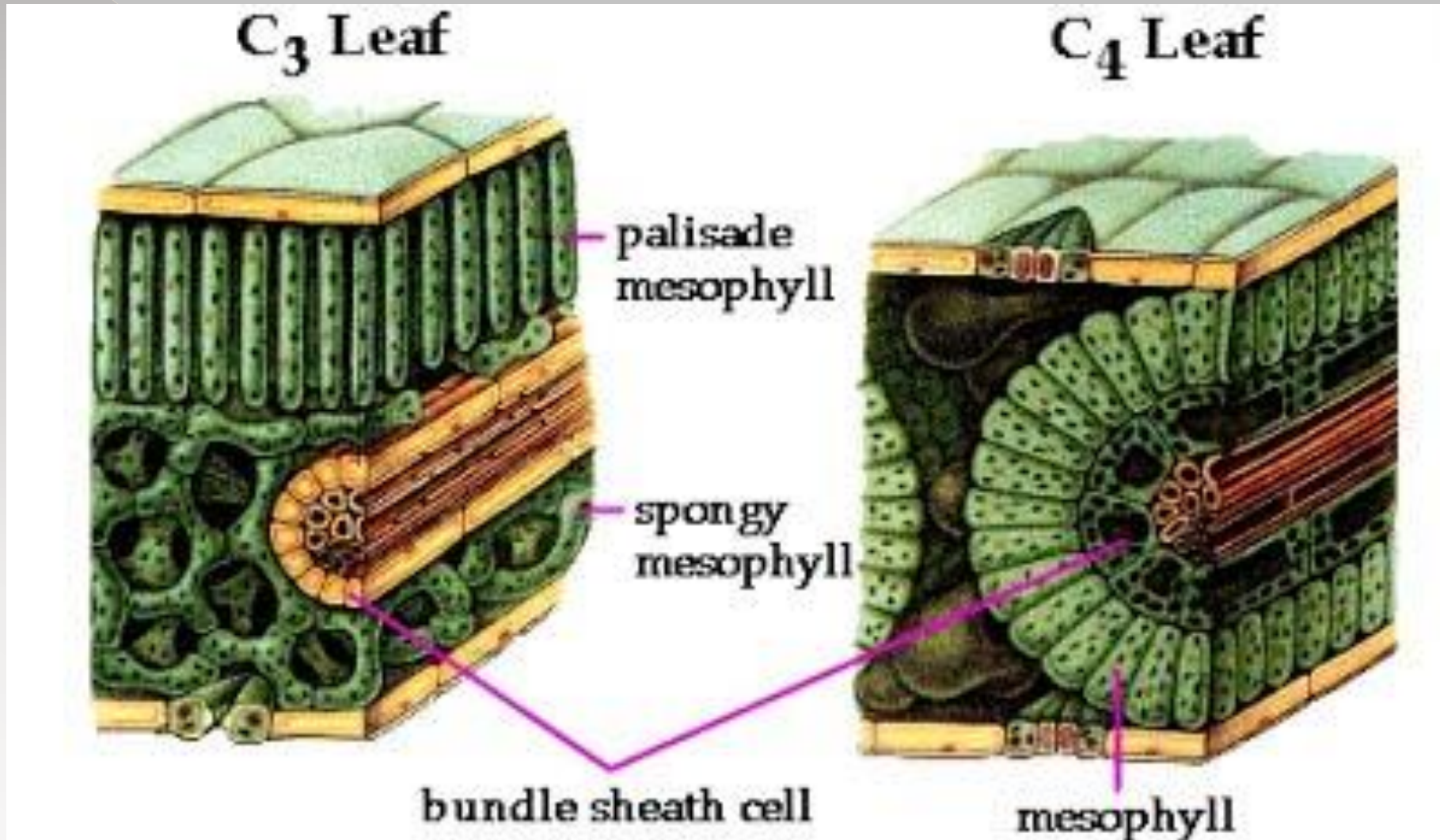
In CAM plants

- 5% of plants กระบองเพชร สับปะรด สับปะรดสี ศรนารายณ์ กุหลาบหิน กล้วยไม้

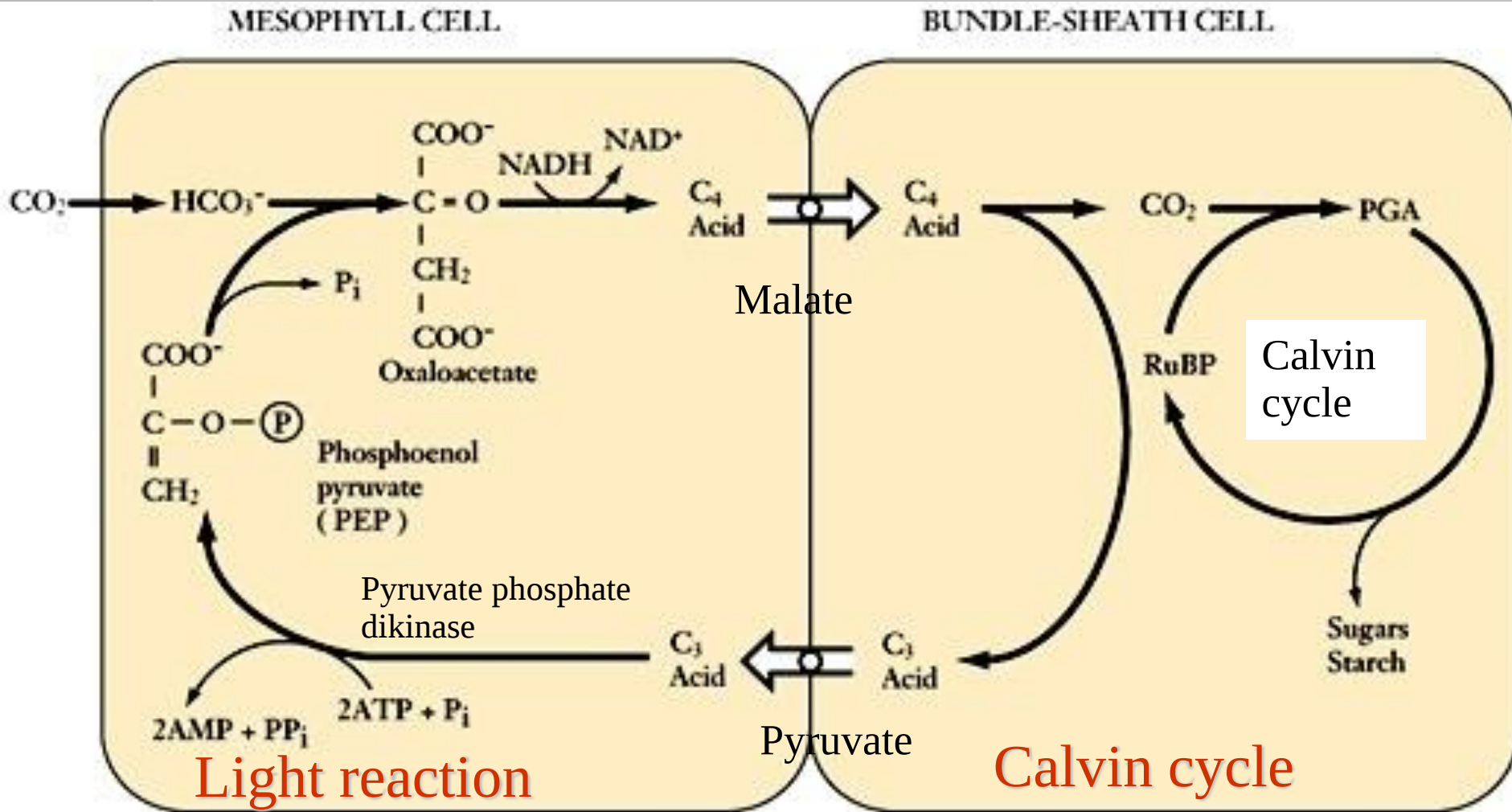
(a) Arrangement of cells in a C₃ leaf



C4



C4 Photosynthesis



Copyright from <http://www.doctortee.com/dsu/tiftickjian/plant-phys/ps-variations.html>

หมายเหตุ เพราะไม่ได้รับ CO_2 จากบรรยากาศโดยตรงจึงไม่ได้นรบกวนจาก O_2

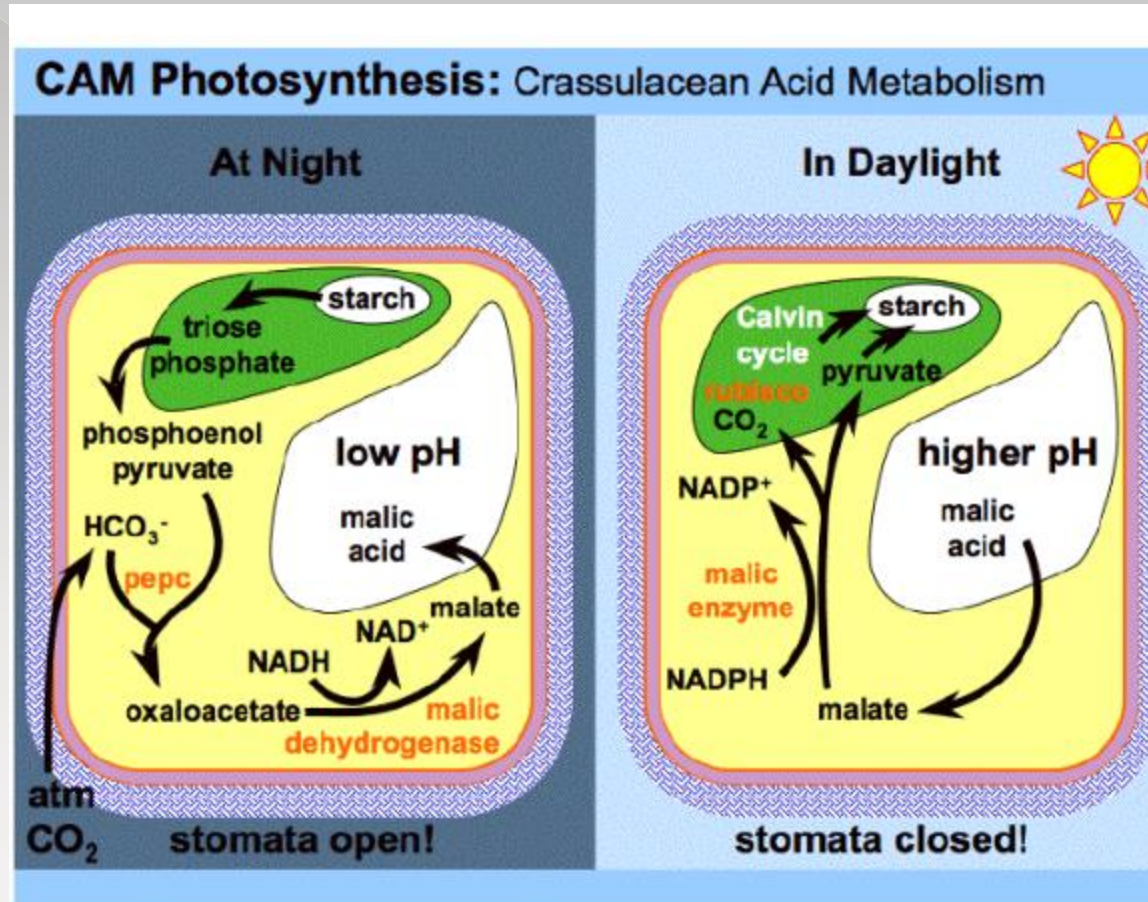
พืช C4



พืช C4

ลักษณะของพืช CAM

1. Stomata เปิดเวลากลางคืนและปิดในเวลากลางวันซึ่งตรงข้ามกับพืชชนิดอื่น
2. การตรึง CO_2 เกิดขึ้นในเวลากลางคืนโดยคลอโรพลาสต์ได้ Malic acid
3. Malic acid ถูกเก็บอยู่ใน Vacuole ขนาดใหญ่ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของพืช CAM
4. กรด Malic จะถูก decarboxylation ในเวลาที่มีแสงปล่อย CO_2 ออกมาสู่คลอโรพลาสต์เข้าสู่วัฏจักร คัลวิน แบบพืช C3



พืช CAM



ตารางที่ เปรียบเทียบลักษณะบางประการของพืช C₃ พืช C₄ และพืช CAM

Characteristic ลักษณะที่ เปรียบเทียบ	พืช C ₃ (C ₃ Species)	พืช C ₄ (C ₄ Species)	พืช CAM (CAM Species)
โครงสร้างของใบ	ไม่พบ Bundle sheath cells	พบ Bundle sheath cells	ไม่พบ Bundle sheath cells
ปากใบ (Stomata)	เปิดในเวลากลางวัน	เปิดในเวลากลางวัน	ส่วนมากเปิดในเวลา กลางคืน และปิดในเวลา กลางวัน
อัตราการคายน้ำ*	350 - 1000	150 - 300	50 to 100
ช่วงอุณหภูมิ เหมาะสม (°C)	15 - 25	25 - 35	25 - 35

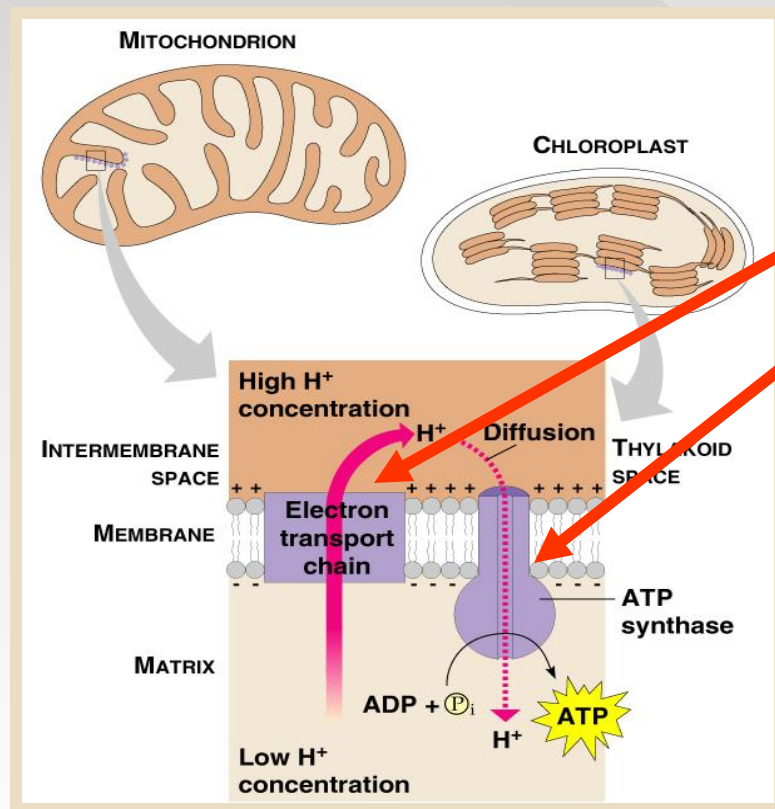
Characteristic ลักษณะที่เปรียบเทียบ	พืช C3 (C3 Species)	พืช C4 (C4 Species)	พืช CAM (CAM Species)
ผลผลิตแรก จากการตรึง CO ₂	3-Phosphoglyceric acid (PGA)	Oxaloacetic acid (OAA) (เปลี่ยนไปเป็น Malic หรือ Aspartic acid)	Oxaloacetic acid (OAA) (เปลี่ยนเป็น Malic acid)
บริเวณที่เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	มีโซฟิลล์ (Entire leaf)	มีโซฟิลล์ และเซลล์บันเดิลชีท	มีโซฟิลล์ (Entire leaf)
การตอบสนองต่อแสง **	อิมตัวที่ 1/2 ของความเข้มแสงสูงสุด	ยังไม่อิมตัวที่ความเข้มแสงสูงสุด	อิมตัวที่ 1/4 ของความเข้มแสงสูงสุด
Photorespiration และ CO ₂ Compensation point	มี 50 ppm	ไม่มี 10 ppm หรือน้อยกว่า	มี 50 ppm ช่วงที่มีแสง
อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที)	6 - 40	14 - 64	1.5 - 6
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	34 - 39	50 - 54	~15-20
การเจริญเติบโตเฉลี่ย (ตัน/เฮกตาร์/ปี)	~40	60 - 80	>40
การปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศ	เขตอบอุ่นและ เขตร้อน	เขตร้อน	เขตร้อนแห้งแล้ง จนถึงเขตเมอริดิเตอร์เรเนียน

Similarities between photosynthesis and cellular respiration...

Chemiosmosis

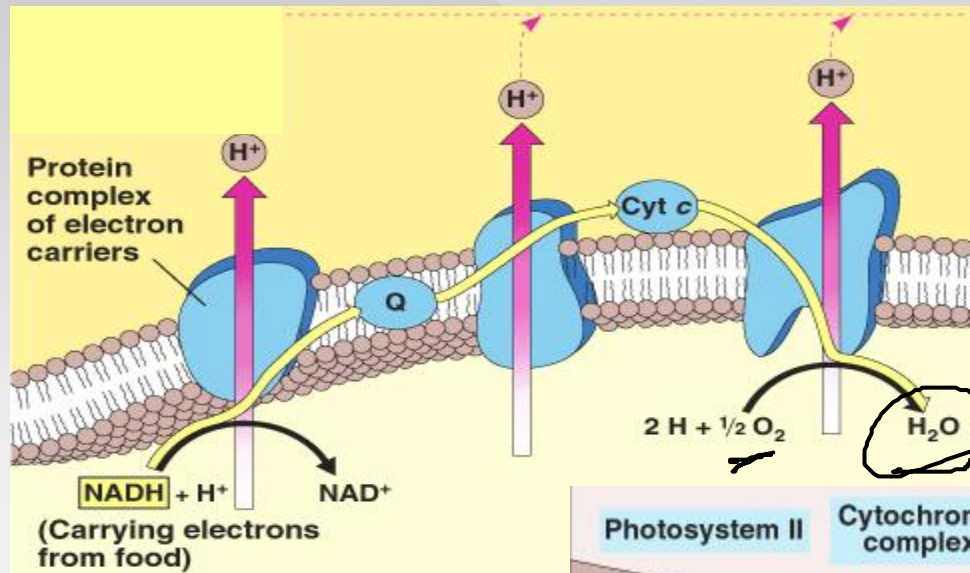
Energy Coupling

Examples



Differences between cellular respiration and photosynthesis.

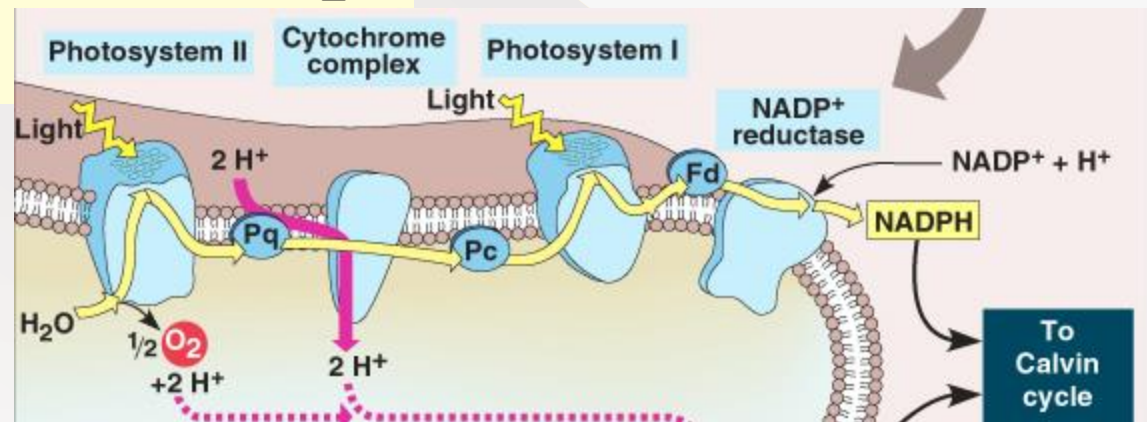
Cellular Respiration



O₂ finally accepts electron to produce H₂O.

H₂O brings electrons to the ETC and becomes O₂

Photosynthesis





ขอให้นักศึกษาทำข้อสอบได้ตามความตั้งใจ
และทุ่มเท ที่มีให้ นะครับ