

## 第三章 物质代谢 糖代谢-酵解

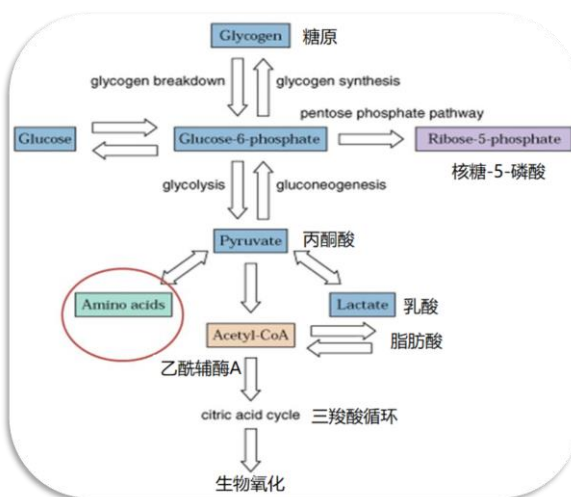
孔宇 教授

西安交通大学生命科学与技术学院

2022年9月30日



## 代谢总览- Metabolism of Carbohydrates



### 1. 糖代谢总论

### 2. 糖酵解

### 3. 三羧酸循环

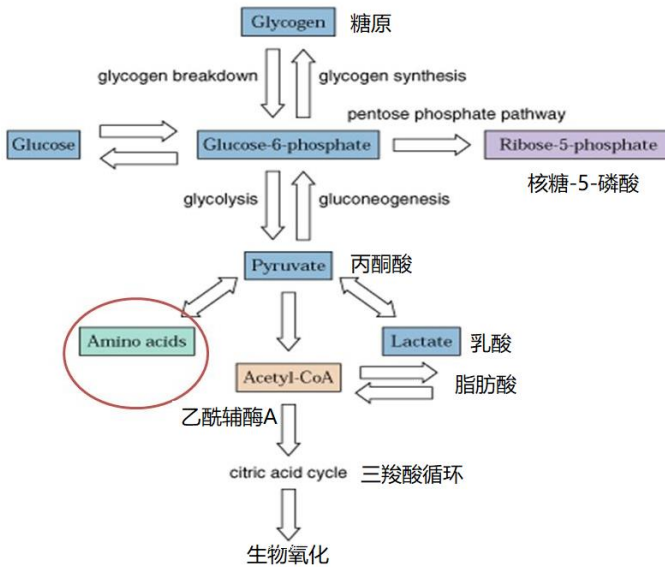
### 4. 生物氧化

### 5. 其他途径

### 6. 糖类的合成代谢



# 1.糖代谢总论



6 生命科学基础1

## 1. 氧化供能(共有途径)

## 2. 提供合成体内其他物质的原料

合成氨基酸、脂肪、胆固醇、核苷等物质的原料。

## 3. 作为机体的组成成分

糖是糖蛋白、蛋白聚糖、糖脂等的组成成分。

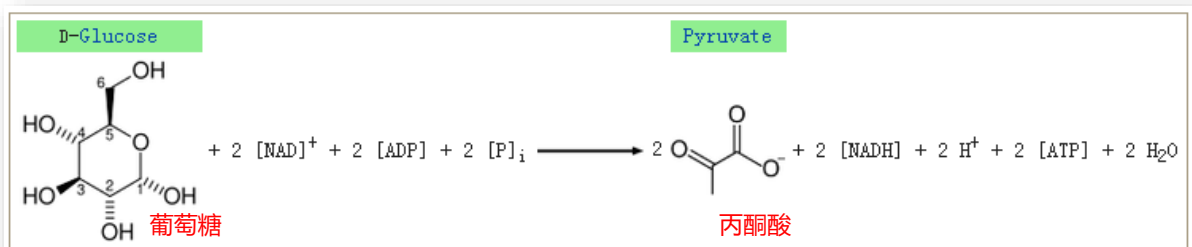
西安交通大学



# 2. 糖酵解- glycolysis-来源于glykos-甜, lysis-解开

❖ 没有氧分子参与的情况下，**葡萄糖**降解为**丙酮酸**，并产生**2分子ATP**；

❖ 普遍存在！也称作Embden-Meyerhof-Parnas途径，简称**EMP**途径，**细胞质中进行**；



7 生命科学基础1

西安交通大学



脱氢:

$\text{NAD}^+/\text{NADP}^+$

$\text{FAD}/\text{FMN}$

$\text{NADH}+\text{H}^+$

$\text{FADH}_2$

酰基载体:

$\text{CoA-SH}$

脱羧:

TPP

羧化:

Biotin

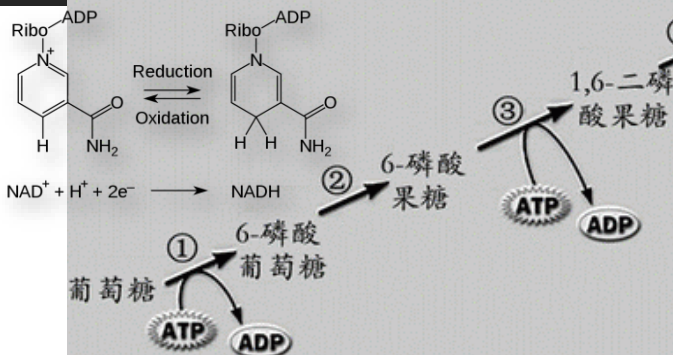
转氨:

PLP

## 糖酵解 -反应过程

8 生命科学基础1

### 吸能反应阶段

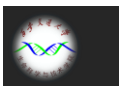
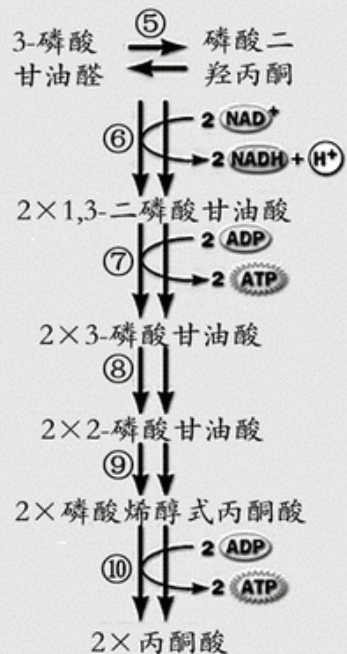


◆ ①~⑤通过消耗2个ATP使1分子6碳糖裂解为2分子3碳糖

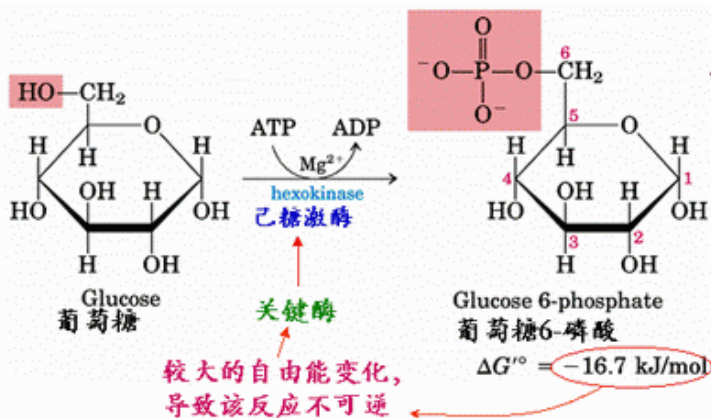
◆ ⑥~⑩产生2分子乳酸、2分子NADH和4分子ATP

从糖酵解中净产生2分子ATP

### 放能反应阶段



## 第一阶段



### 1. 葡萄糖的磷酸化激活

- ◆ 通过己糖激酶 (或葡萄糖激酶) 活化
- ◆ 第一个ATP消耗
- ◆ 活化葡萄糖以进行后续反应

- 己糖激酶主要分布在肝肾以外的不能合成糖原的组织中, 它对葡萄糖的 $K_m = 0.1 \text{ mmol}$ , 专一性不强, 可活化六碳糖
- 葡萄糖激酶主要存在于肝细胞,  $K_m_{\text{葡萄糖}} = 5 \sim 10 \text{ mmol}$ , 专一性很强
- 一般情况下细胞内葡萄糖浓度 $= 4 \text{ mmol}$ , 因此己糖激酶是一般情况下激活葡萄糖的酶
- 当血糖浓度很高时, 葡萄糖激酶在肝脏中活化葡萄糖, 随后通过生成UDPG而合成糖原
- 己糖激酶是变构酶, 6-磷酸葡萄糖和ADP是它的变构抑制剂

10 生命科学基础1

西安交通大学

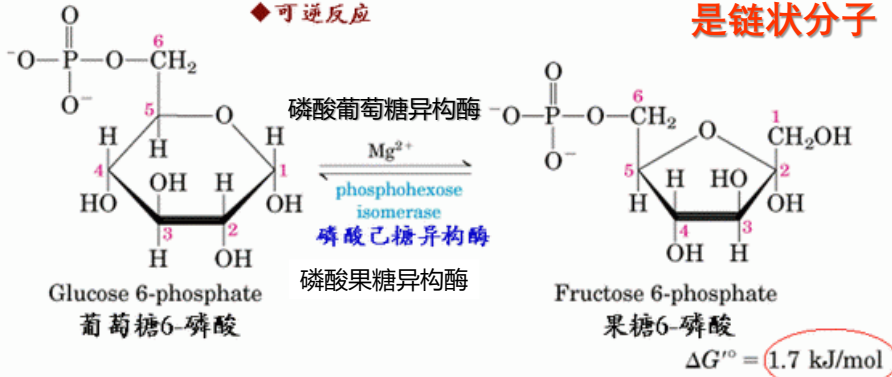


## G-6-P异构为果糖-6-P

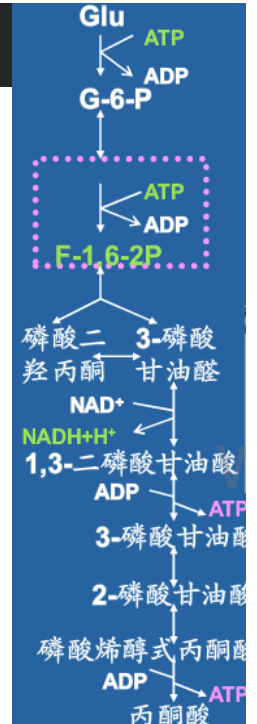
### 2. 葡萄糖6-磷酸异构为果糖6-磷酸

- ◆ 通过磷酸己糖异构酶催化
- ◆ 酮糖与醛糖的转化
- ◆ 可逆反应

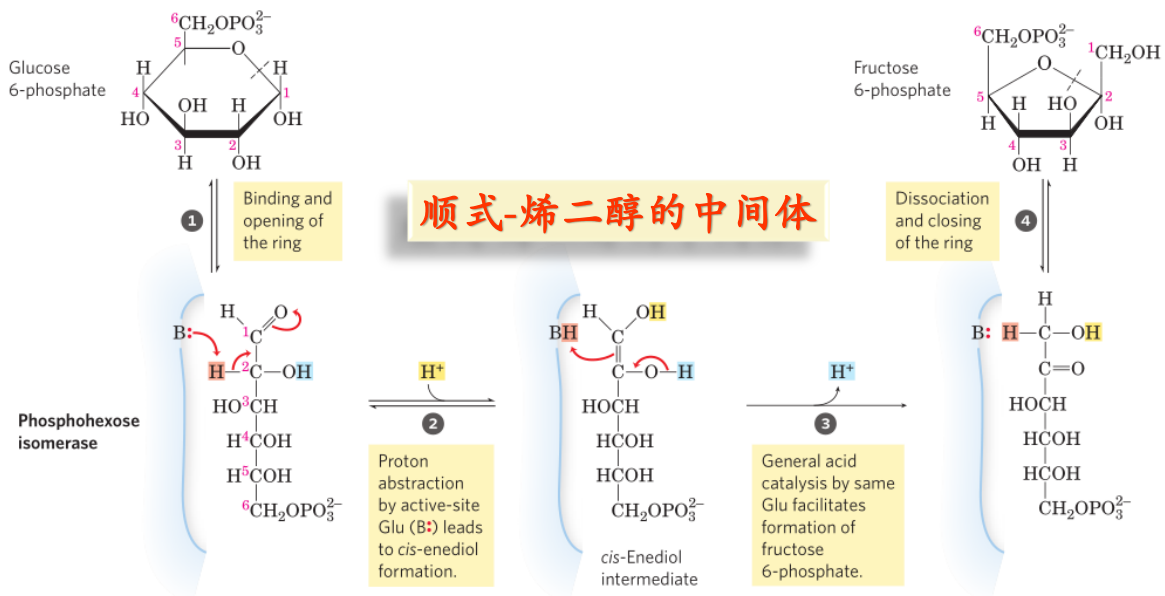
异构化过程中  
是链状分子



很小的自由能变化，因此  
该反应是可逆的



## 磷酸葡萄糖异构酶催化-课后自学



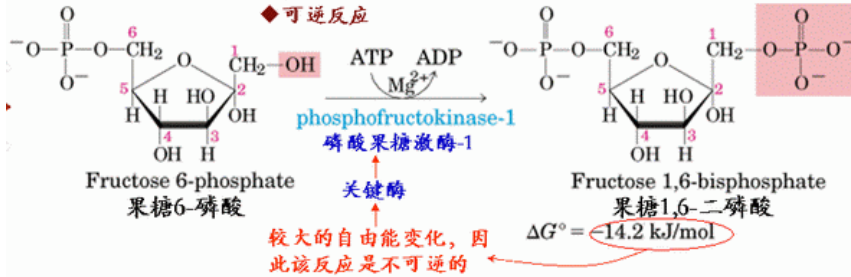




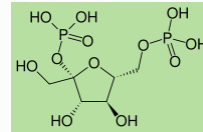
## 果糖-6-磷酸→果糖-1, 6-2磷酸

### 3.第2步活化反应：果糖6-磷酸磷酸化

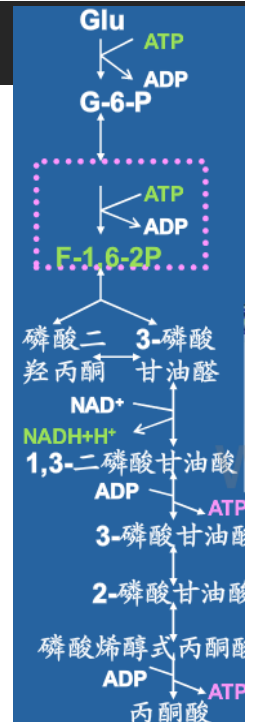
- ◆通过磷酸果糖激酶-1激活
- ◆第2个ATP消耗
- ◆可逆反应



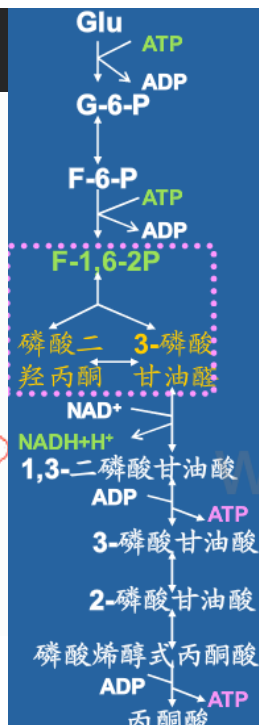
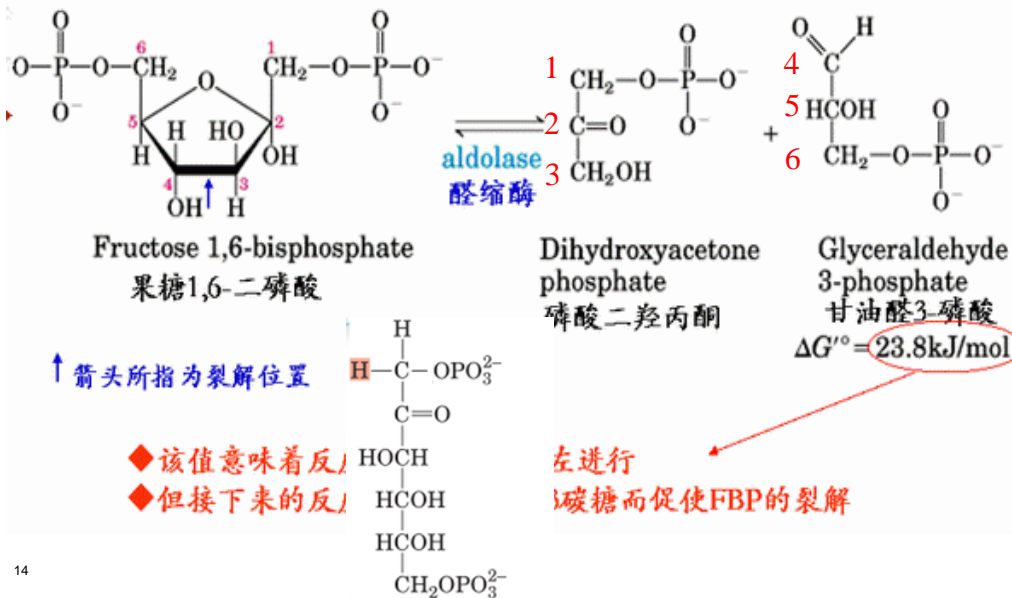
- ◆磷酸果糖激酶(PFK)是变构酶, 该步反应是糖酵解关键步骤
- ◆ATP抑制, AMP解除抑制
- ◆柠檬酸也是一种变构抑制剂
- ◆果糖2,6-二磷酸是变构激活剂
- ◆低的能量状态(ATP浓度小)激活PFK
- ◆高的能量状态(ATP浓度高)抑制PFK



13 生命科学



## 果糖-1, 6-2磷酸的裂解

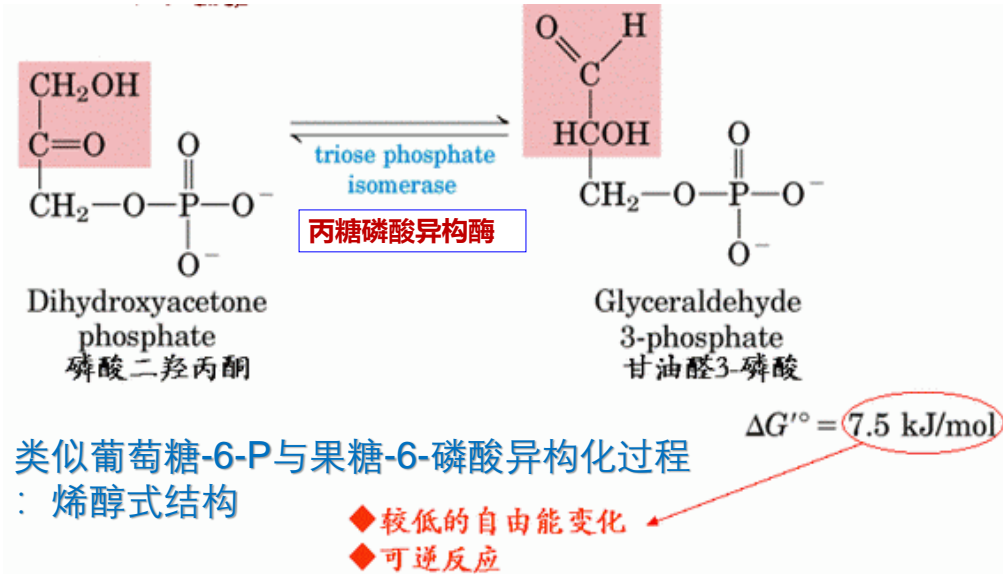


14

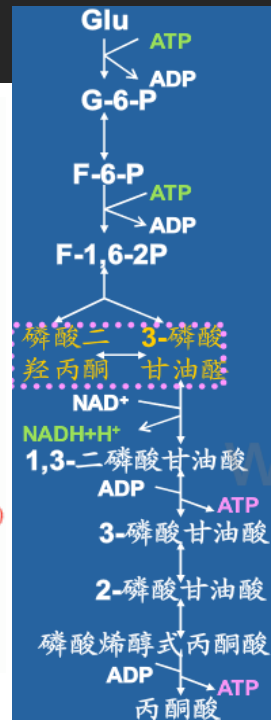
生命科学基础1



## 丙糖磷酸的异构



16 生命科学基础1



## 总结-酵解途径的耗能阶段

❖ 5 步反应

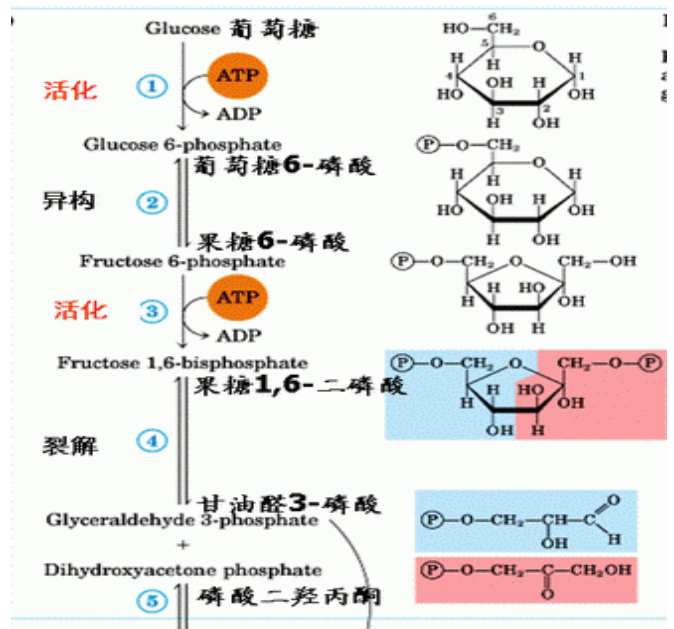
❖ 1 分子葡萄糖

→ 2 分子 3-磷酸甘油醛

❖ 消耗了 2 分子 ATP

● 两个不可逆调节部位;

● 限速步;



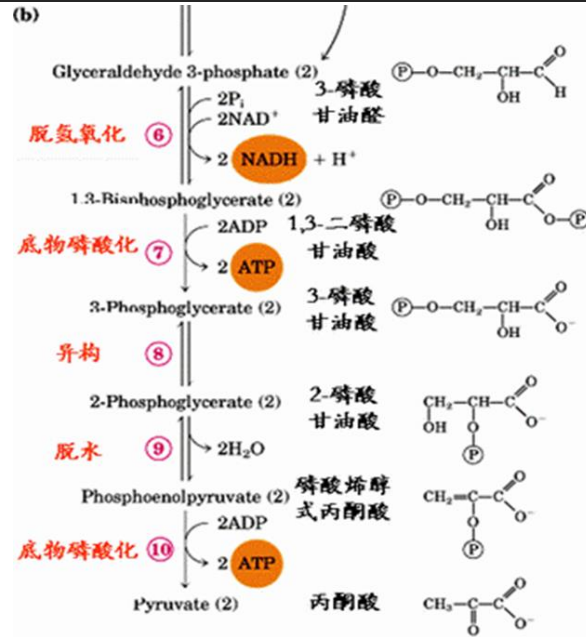
18 生命科学基础1



## 糖酵解第二阶段

-放能阶段

Pay-off phase

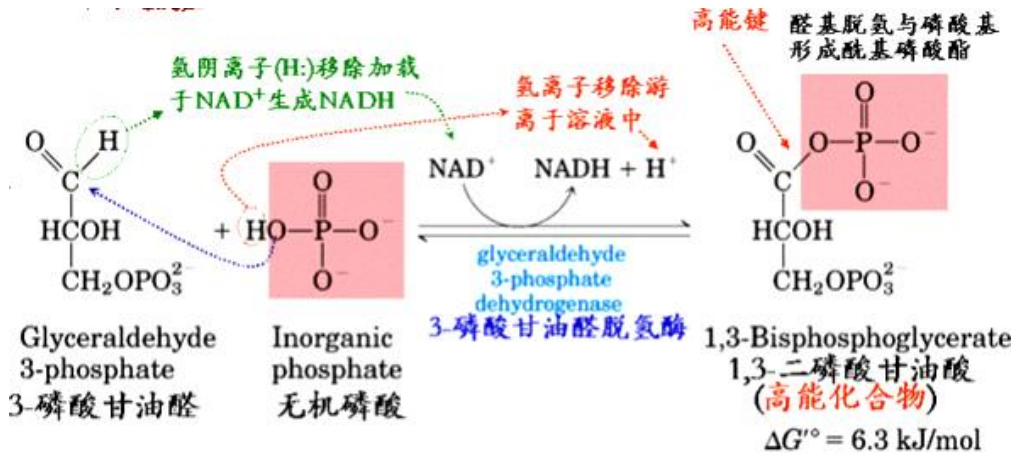


19 生命科学基础1

西安交通大学

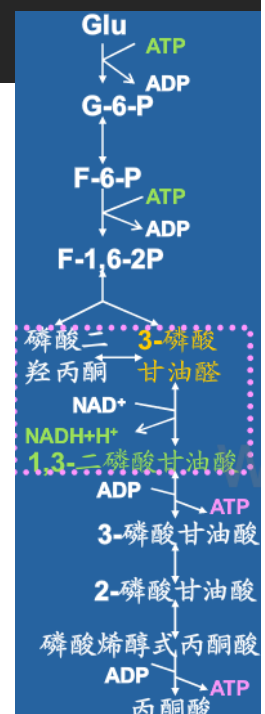


## 1, 3-二磷酸甘油酸的生成



- ◆ 酰基磷酸酯具有很高的自由能 (-11.8 Kcal/mol), 可转移至ADP生成ATP
- ◆ 很多醛基氧化产生的高自由能通常在C-1位以酰基磷酸酯形式而贮存
- ◆ 砷酸可替代磷酸与3-磷酸甘油酸反应生成1-砷酸-3-磷酸甘油酸 (p75)

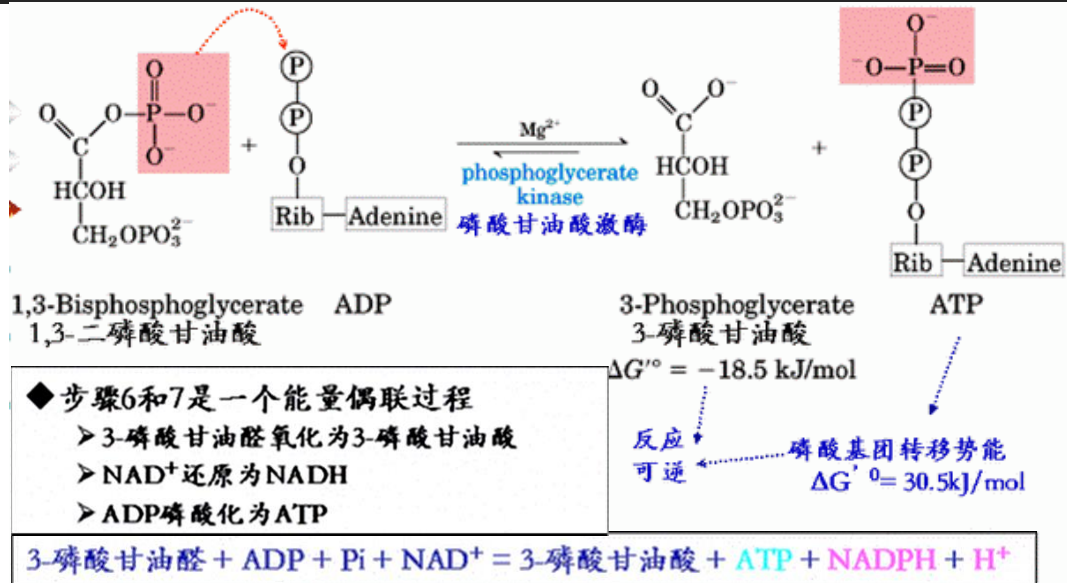
20





## 1, 3-二磷酸甘油酸→3-P-甘油酸

### 底物水平磷酸化



21 生命科学基础1

1-磷酸-3-磷酸甘油酸 +  $H_2O$  = 3-磷酸甘油酸 + 磷酸 无ATP产生!!!

西安交通大学



## 底物水平磷酸化(substrate-level phosphorylation)。

- ❖ 酵解过程中第一次产生ATP的反应，将底物的高能磷酸键直接转移给ADP生成ATP；
- ❖ 这种ADP或其他核苷二磷酸的磷酸化作用与底物的脱氢作用直接相偶联的反应称为底物水平磷酸化 (底物磷酸化)

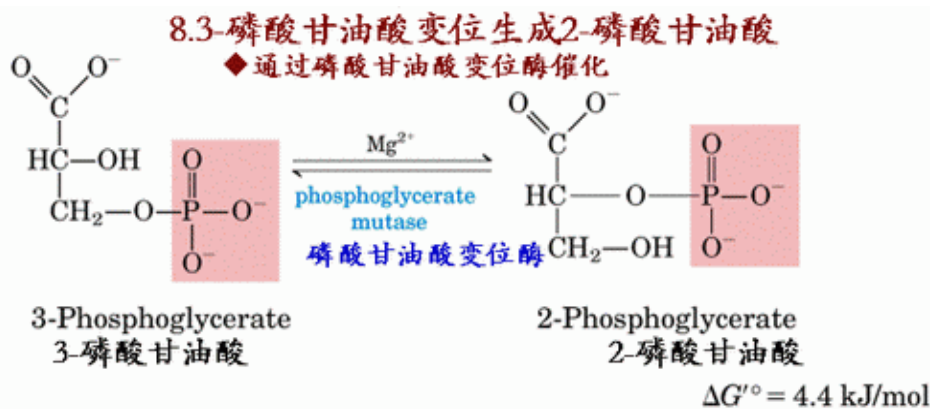
22 生命科学基础1

西安交通大学

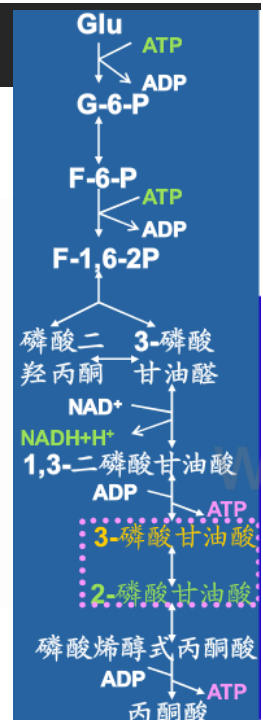




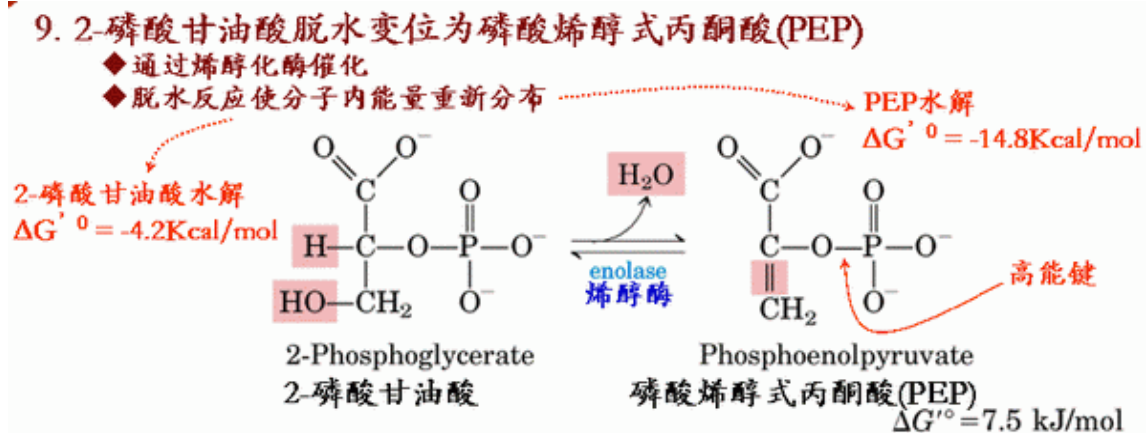
## 3-P-甘油酸→2-P-甘油酸



23 生命科学基础1



## 2-P-甘油酸→烯醇式丙酮酸磷酸PEP



分子量：85kD，氟化物抑制-与镁和磷酸形成复合物，  
影响镁的作用；

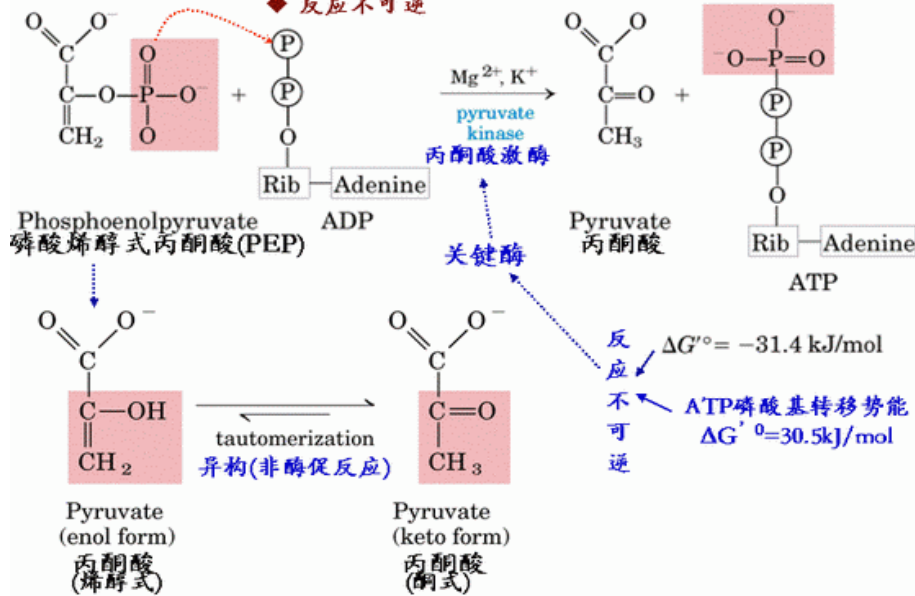
24 生命科学基础1

西安交通大学

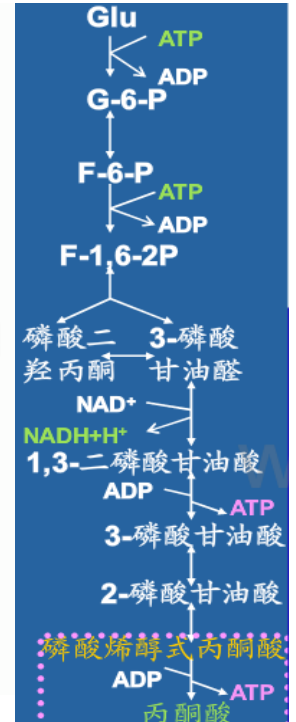


## 10. PEP的磷酸基转移至ADP生成ATP

- ◆ 通过丙酮酸激酶催化
- ◆ 第2次底物磷酸化
- ◆ 反应不可逆



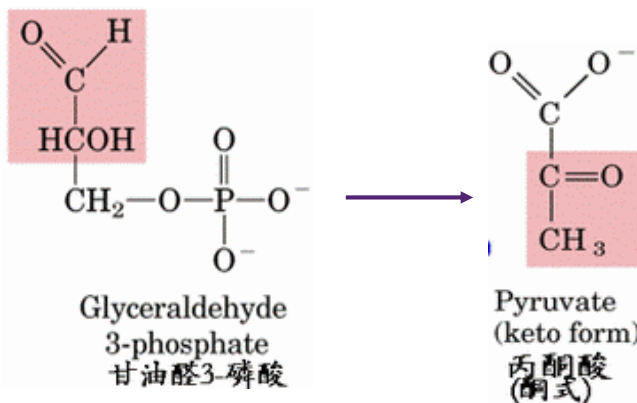
25 生命科学基础1



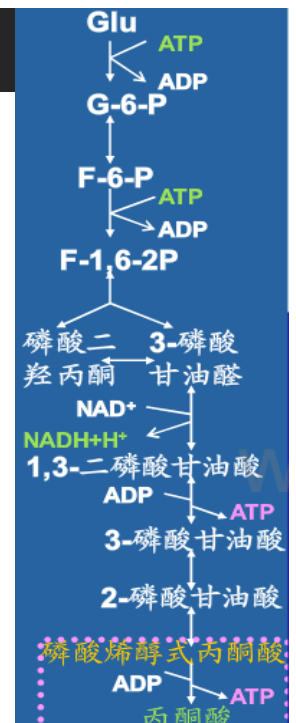
## 第二阶段总结

❖ 2分子3-磷酸甘油醛 → 2丙酮酸

❖ 生成4个ATP, 2个NADH+H<sup>+</sup>



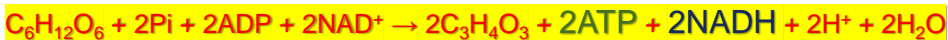
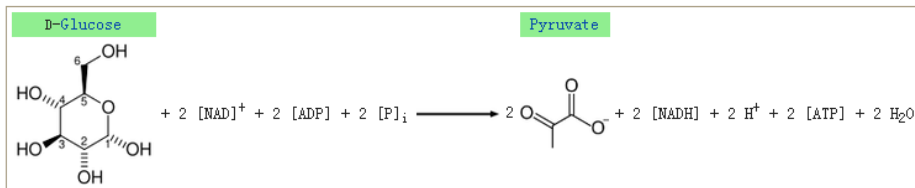
26 生命科学基础1





## 总结

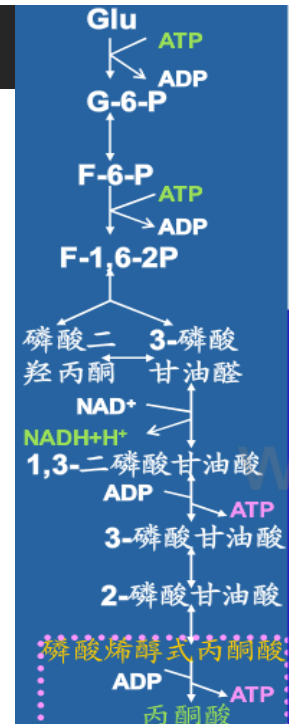
- ❖ 葡萄糖: 679kCal/mol
- ❖ Glc → 2 丙酮酸: 70kCal/mol
- ❖ 2ATP: 14.6kCal/mol



葡萄糖

丙酮酸

27 生命科学基础1



## 糖酵解的意义

### 1. 为机体供能

生成2ATP，如果是从糖原分解开始，生成3ATP。

### 2. 某些厌氧生物及组织细胞生活所必需

所需要的能量完全依靠糖的无氧代谢

少数组织：视网膜、肾髓质及**成熟红细胞**  
 主要依靠葡萄糖的酵解作用。

32 生命科学基础1

西安交通大学



## 基本要求

- ❖ 熟悉糖酵解过程的概况。
- ❖ 掌握糖酵解过程的能量计算（重点）。
- ❖ 丙酮酸命运
- ❖
- ❖



## 输液为什么直接用果糖

- ❖ 果糖-1-磷酸醛缩酶：活性有限，果糖浓度过高，引起果糖-1-磷酸积累，无机磷酸大量消耗，ATP浓度下降，进而酵解增强，产生大量乳酸，降低生理pH值；
- ❖ 果糖不耐症(fructose intolerance);



