

第九章 糖代谢

北京化工大学
王炳武

本章内容

糖的降解、吸收和转运

● 糖的分解代谢

糖的无氧氧化

糖的有氧氧化

糖的合成代谢

糖代谢的调节

糖代谢的应用

北京化工大学
王炳武

第一节 糖类的降解、 吸收和转运

北京化工大学
王炳武

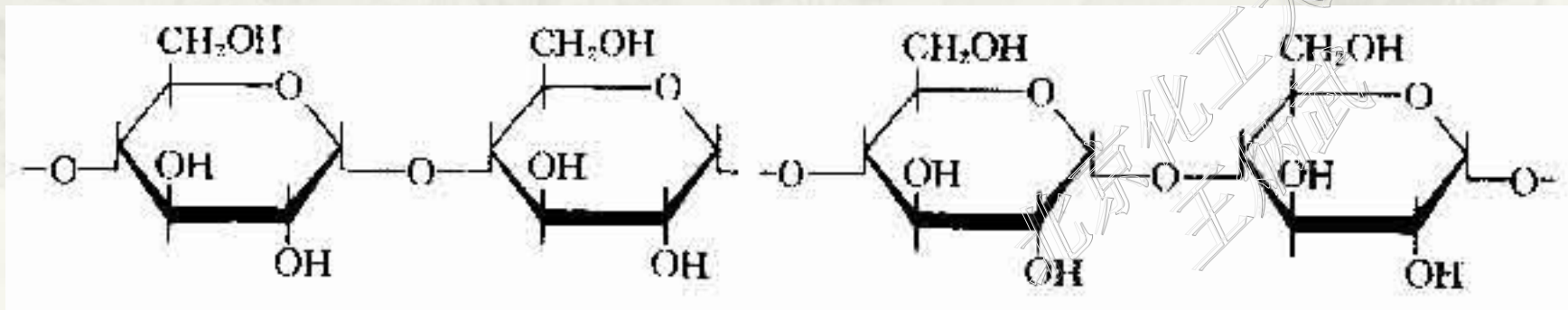
一、多糖和寡糖的降解

- * α - 淀粉酶
- * β - 淀粉酶
- * γ - 淀粉酶
- * 纤维素酶
- * 糖原磷酸化酶
- * 糖原脱支酶

北京化工大学
王炳武

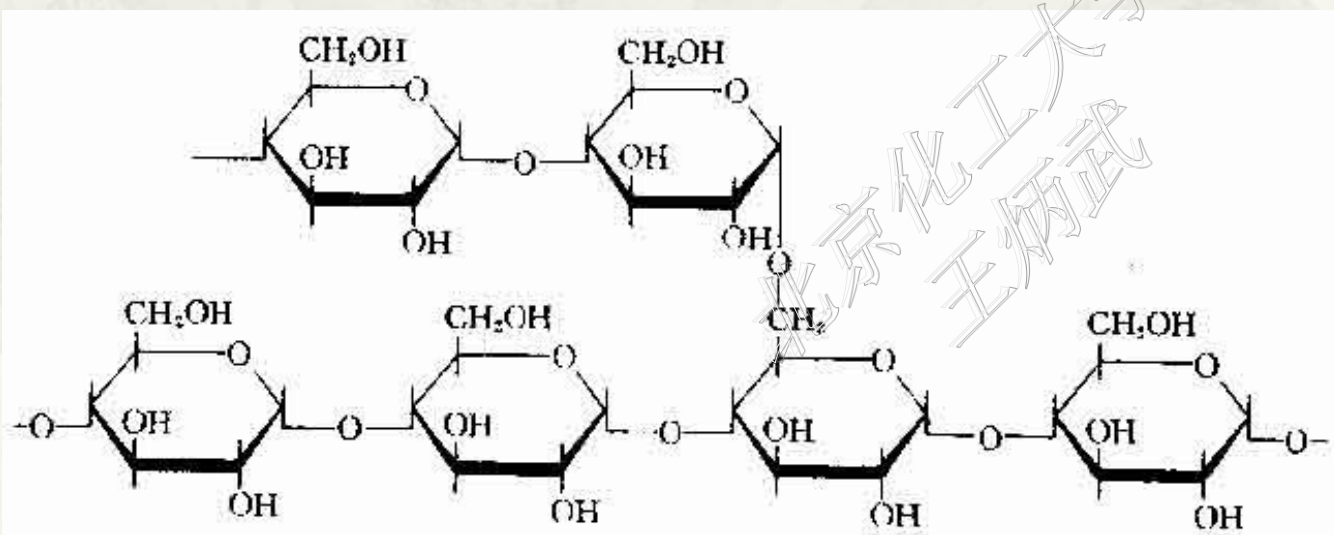
1、 α -淀粉酶 (E.C. 3.2.1.1)

- * 又称淀粉-1,4-糊精酶、 α -糊精酶
- * 随机水解淀粉 α (1-4) 糖苷键, 生成糊精
- * 存在于唾液、胰液、微生物中
- * 该酶作用于粘稠的淀粉糊时, 能使粘度迅速下降成稀溶液状态, 工业上称此为“液化”。



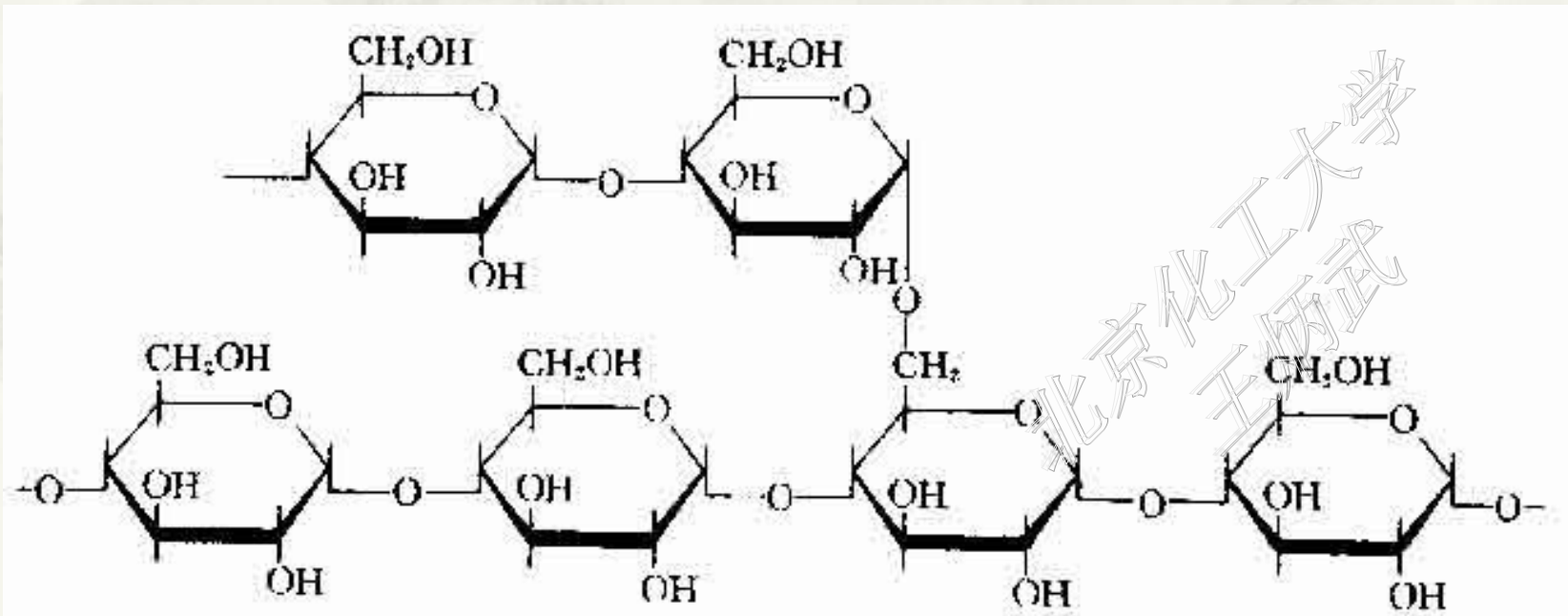
2、 β - 淀粉酶 (E. C. 3. 2. 1. 2)

- * 又称淀粉-1, 4-麦芽糖苷酶
- * 从淀粉**非还原端**以二糖为单位水解 **α (1-4)**糖苷键并将 **α** 型转变为 **β** 型
- * 产物为 **β - 麦芽糖**



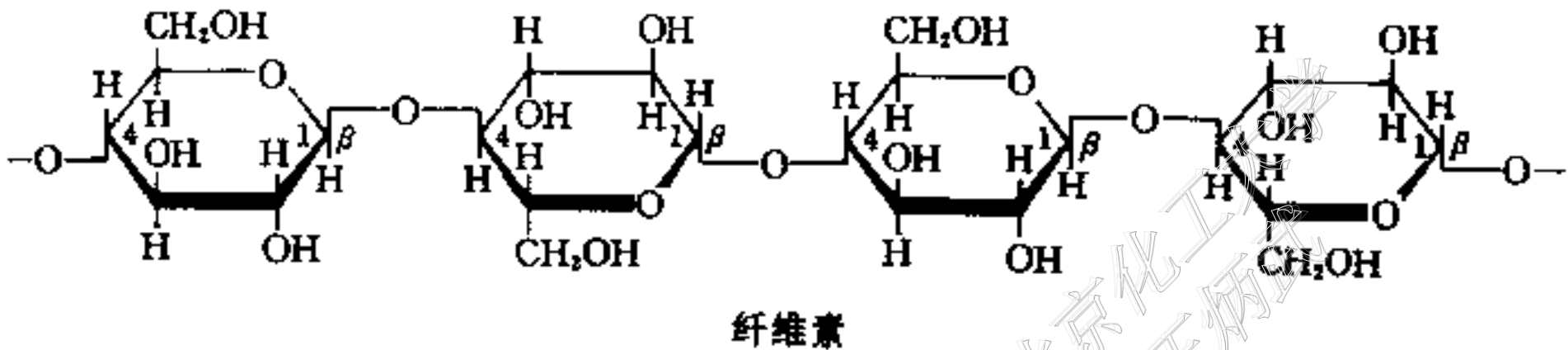
3、 γ -淀粉酶 (E.C. 3.2.1.3)

- * 作用于 α (1-4) 糖苷键和 α (1-6) 糖苷键
- * 从非还原端逐个切下葡萄糖，产物为 β -葡萄糖



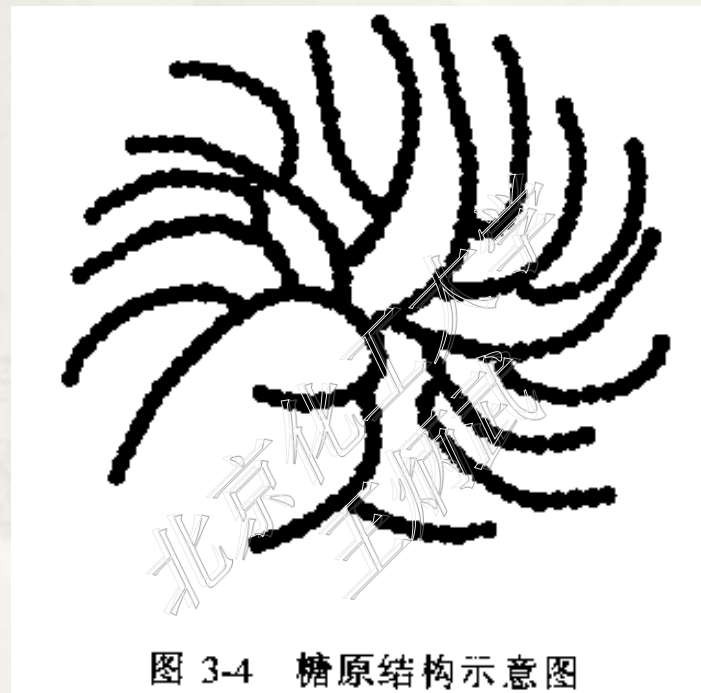
4、纤维素酶

- * 作用于 β (1-4) 糖苷键
- * 产物为纤维二糖、葡萄糖



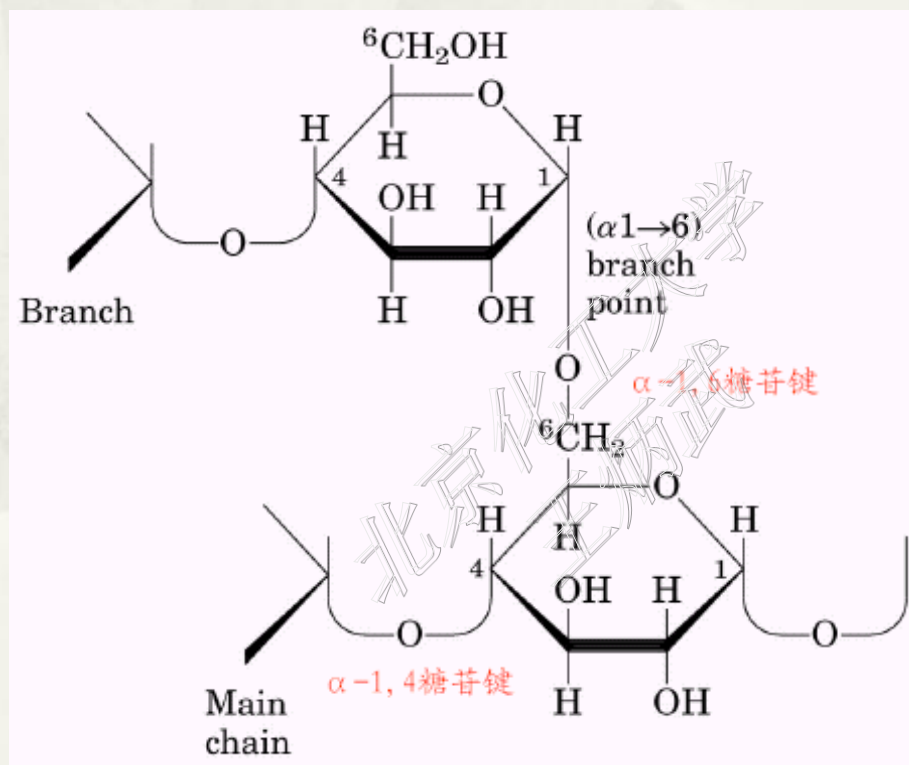
5、糖原磷酸化酶

- * 从非还原末端作用于糖原的 α (1-4) 糖苷键
- * 产物为1-磷酸葡萄糖



6、糖原脱支酶

- * 作用于糖原的 α (1-6) 糖苷键
- * 产物为1-磷酸葡萄糖



二糖的降解

麦芽糖 $\xrightarrow{\text{麦芽糖酶}}$ 2 分子葡萄糖

蔗糖 $\xrightarrow{\text{蔗糖酶}}$ 葡萄糖 + 果糖

乳糖 $\xrightarrow{\text{乳糖酶}}$ 葡萄糖 + 半乳糖

- * 食物中糖类物质水解的终产物为单糖和少量寡糖

二、单糖的吸收、转运和贮存

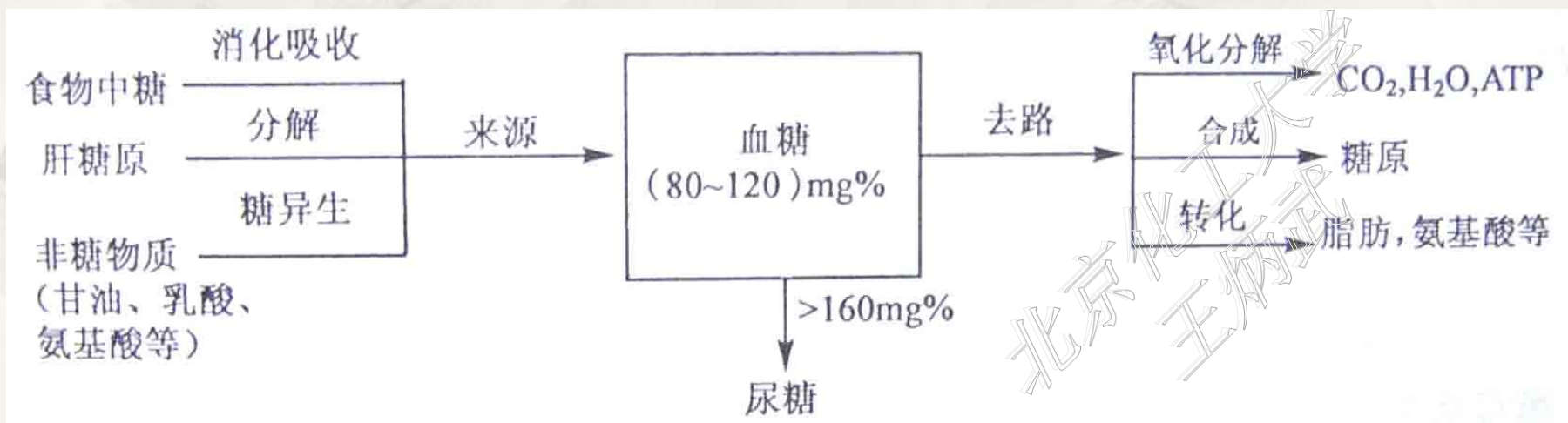
- * 小肠粘膜细胞
- * 以单糖的形式被吸收

D—半乳糖 (110) > D—葡萄糖 (100) > D—果糖 (43) >
D—甘露糖 (19) > L—木酮糖 (15) > L—阿拉伯糖 (9)

北京化工大学
王炳武

血糖在体内的代谢

- * 高血糖: $>160\text{mg}/100\text{mL}$
- * 低血糖: $<70\text{mg}/100\text{mL}$



* 分解代谢

- * 无氧氧化 (50kJ/mol)
- * 有氧氧化 (2870kJ/mol)

* 合成代谢

- * 葡萄糖合成为糖原
- * 非糖物质转化为糖 (糖异生)

北京化工大学
王炳武

第二节 糖类的分解代谢

无氧氧化

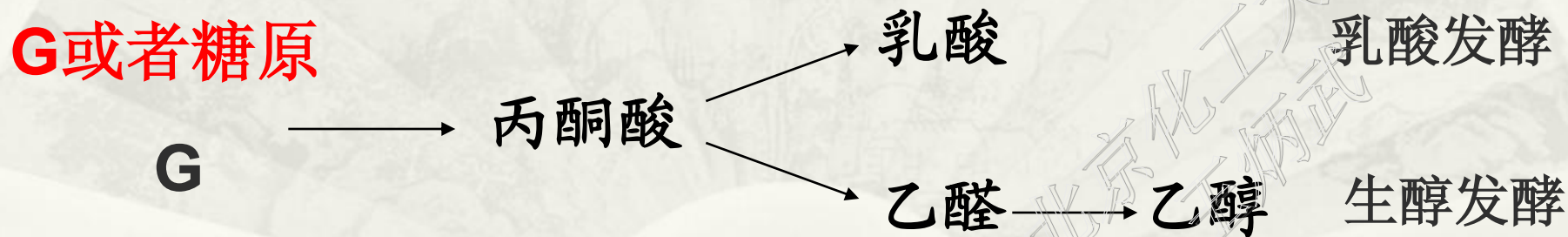
有氧氧化

北京化工大学
王炳武

一、糖的无氧氧化

糖的无氧分解又称为糖酵解（**glycolysis**）：

无氧条件下，酶将葡萄糖分解成丙酮酸，并释放**ATP**的过程。



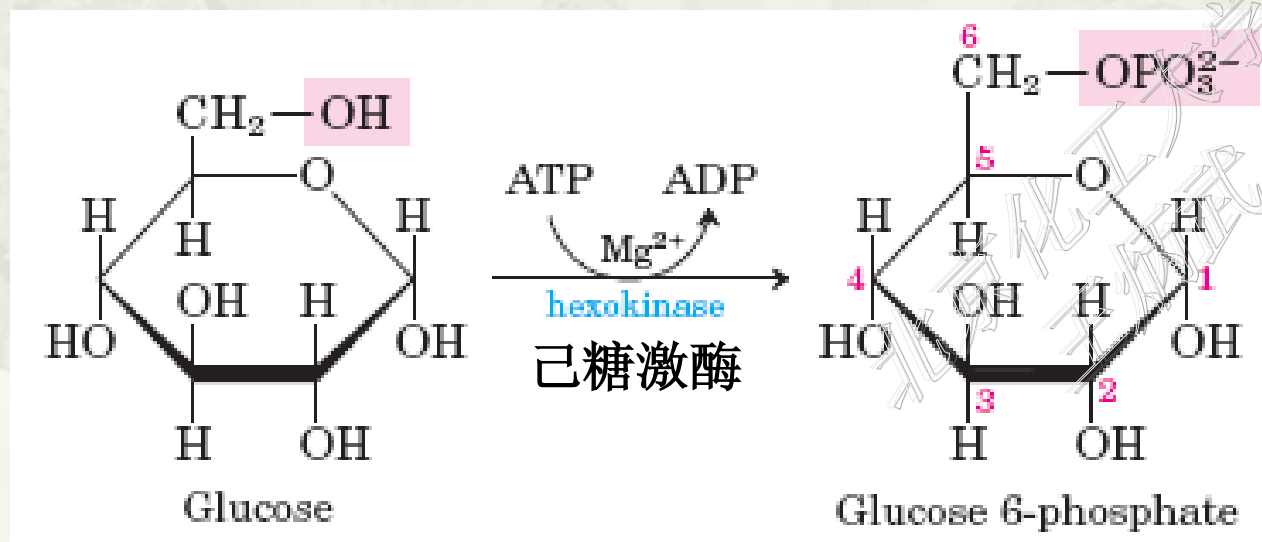
1、糖酵解途径的反应历程

- * 场所：细胞液
- * 包括十步反应
 - * 准备阶段：磷酸化，消耗能量
 - * 贮能阶段：代谢物脱氢并产生ATP

北京化工大学
王炳武

1) 葡萄糖的磷酸化

- * 消耗一分子ATP
- * 活化；保糖
- * 不可逆
- * 第一个**限速步骤**

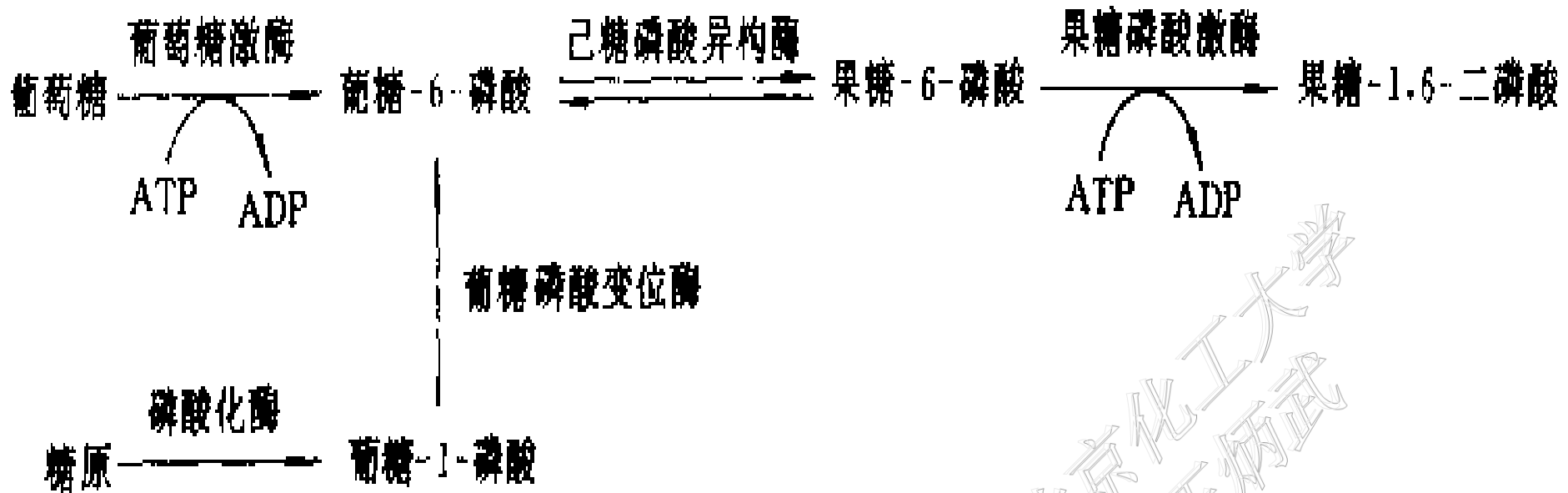


己糖激酶

- * 专一性不强
- * Mg^{2+} 或者 Mn^{2+}
- * 糖酵解的第一个调节酶
- * 其逆反应由磷酸（酯）酶催化

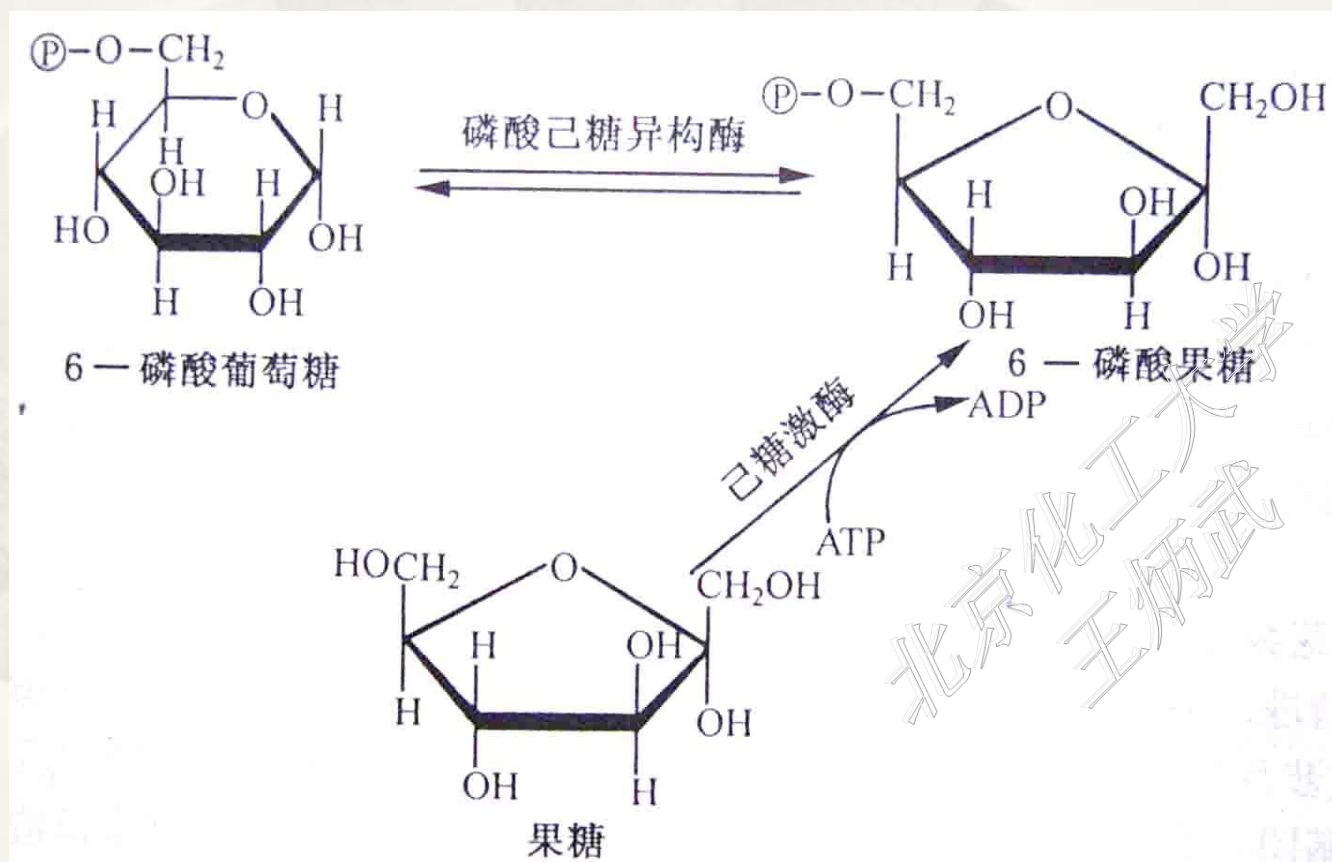
北京化工大学
王炳武

以糖原为起始物



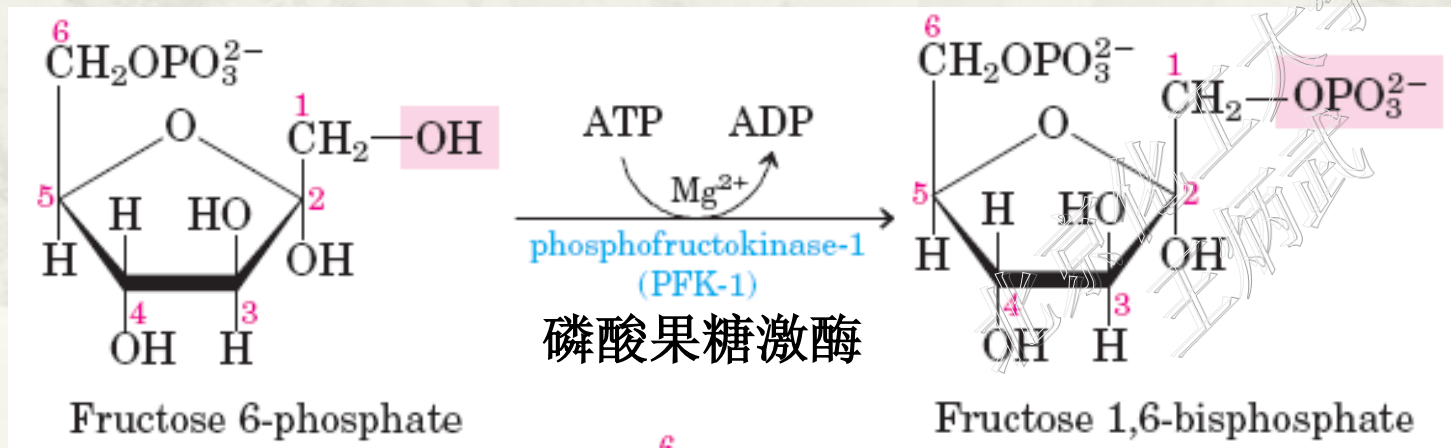
2) 异构化

* 可逆反应



3) 生成F-1,6-2P

- * 第二次磷酸化
- * 消耗一分子ATP
- * Mg^{2+}
- * 不可逆，第二个限速步骤



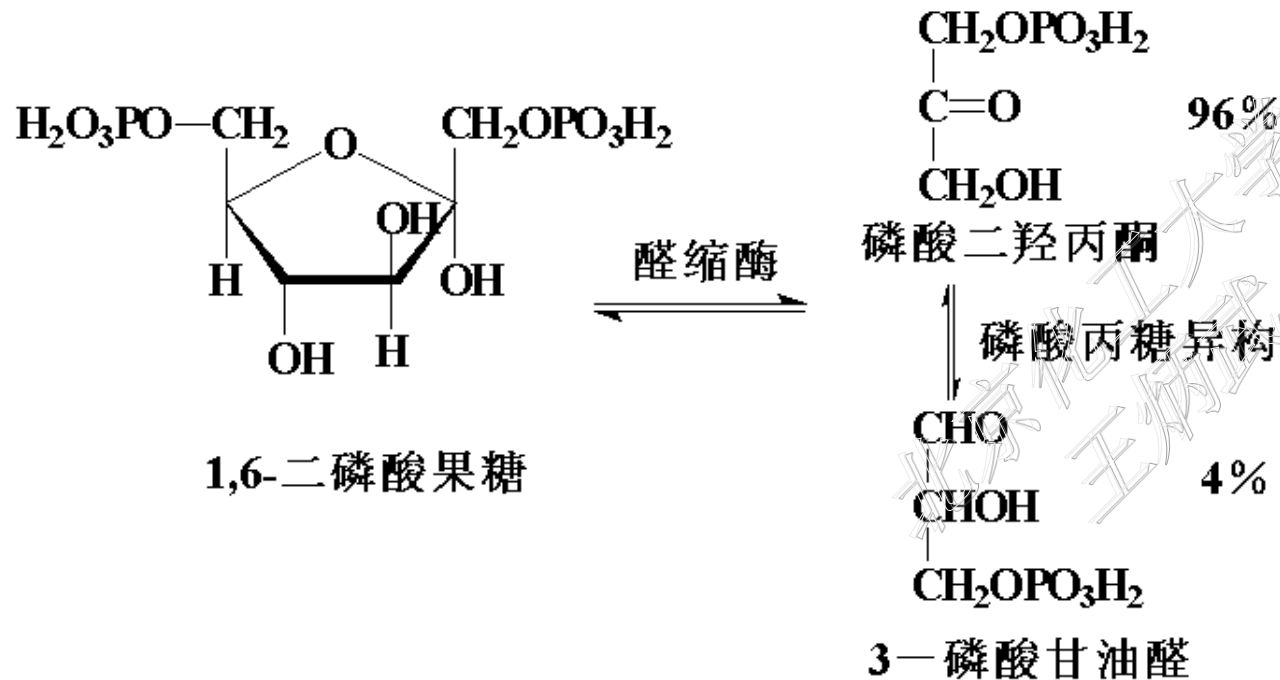
磷酸果糖激酶

* 变构酶

- * 磷酸果糖激酶有两个ATP结合位点，一个处于活性中心内，ATP作为底物与之结合；另一个位于活性中心外，为变构效应物结合部位，此位点与ATP亲和力较低，只有高浓度ATP存在时它才与ATP结合，从而使酶变构失活。
- * 抑制剂：ATP、柠檬酸、长链脂肪酸
- * AMP和ADP可与ATP竞争变构结合部位，抵消ATP的抑制作用（激活）。

4) 裂解与异构化

- * 可逆反应
- * 磷酸二羟丙酮占96%



5) 第一次氧化

* 受碘乙酸抑制，与-SH发生反应

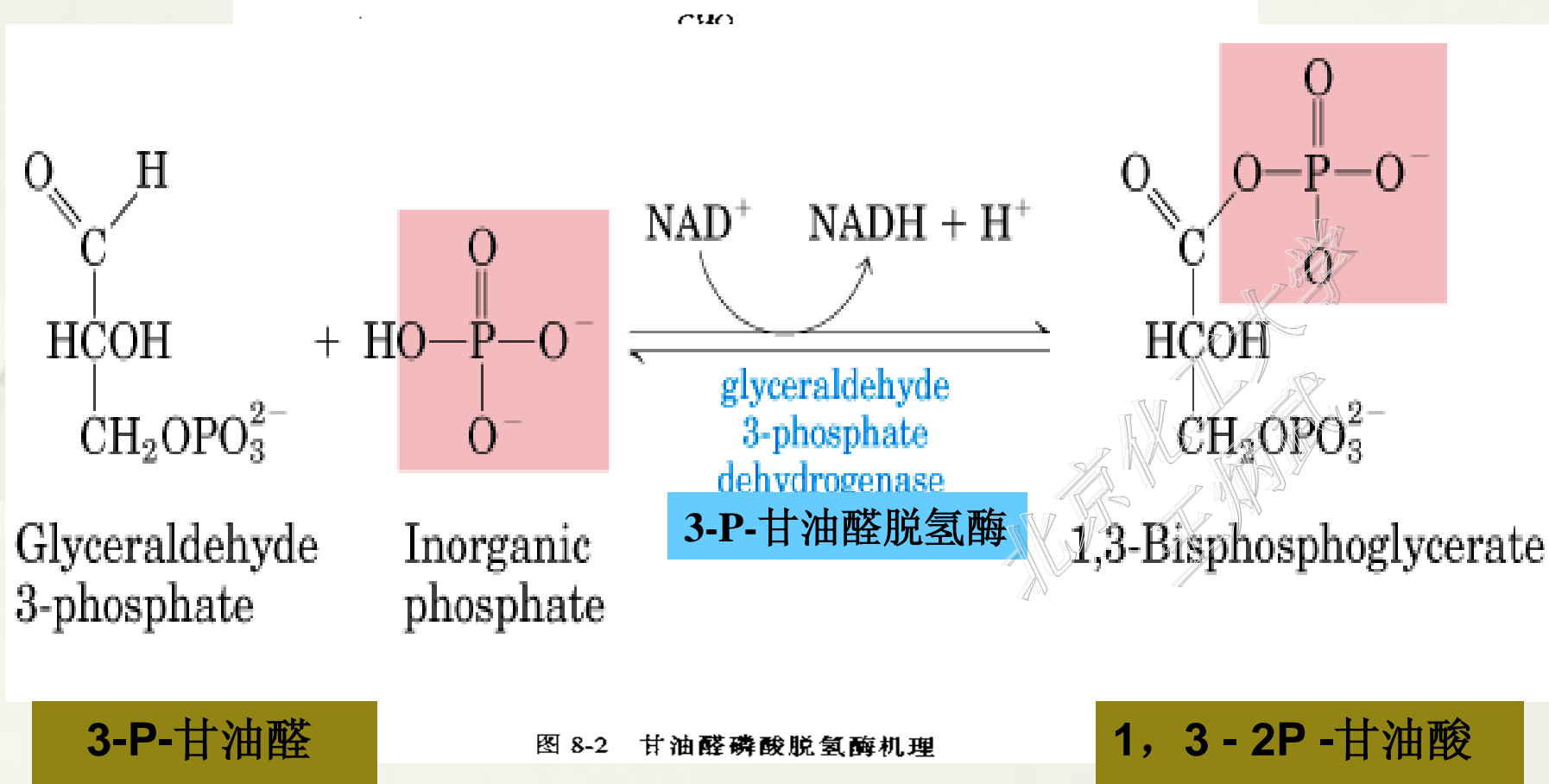
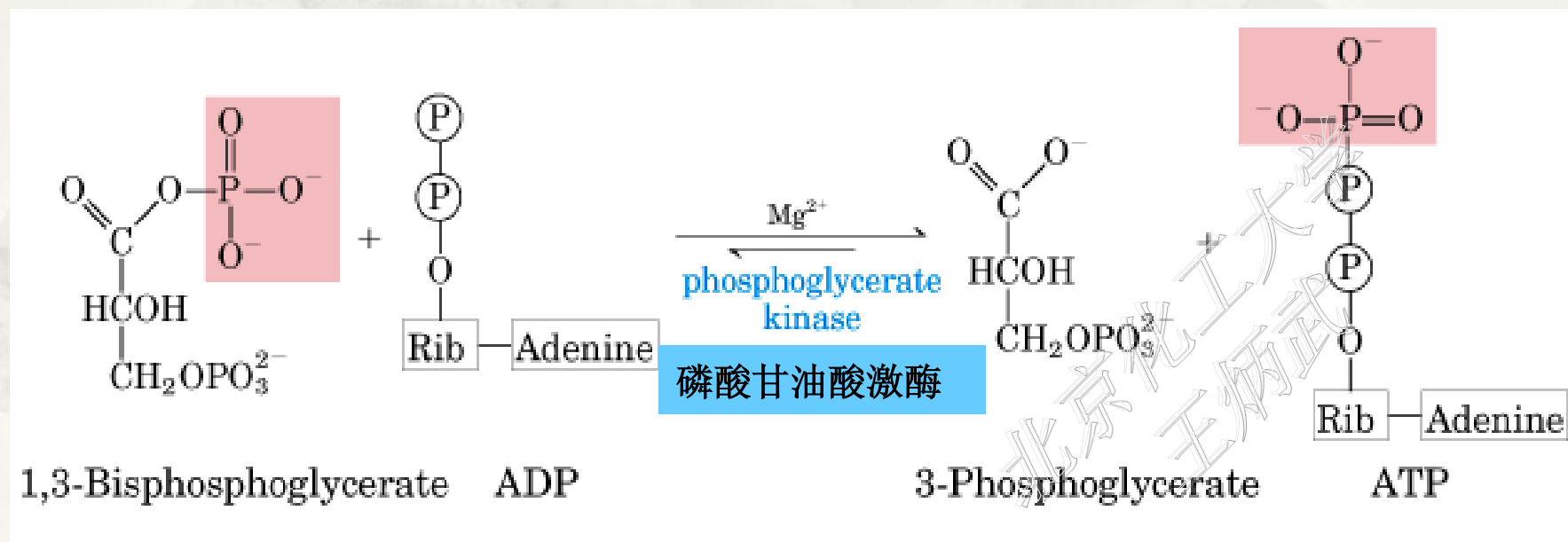


图 8-2 甘油醛磷酸脱氢酶机理

6) 第一次底物水平磷酸化

- * 可逆反应
- * 产生一分子ATP

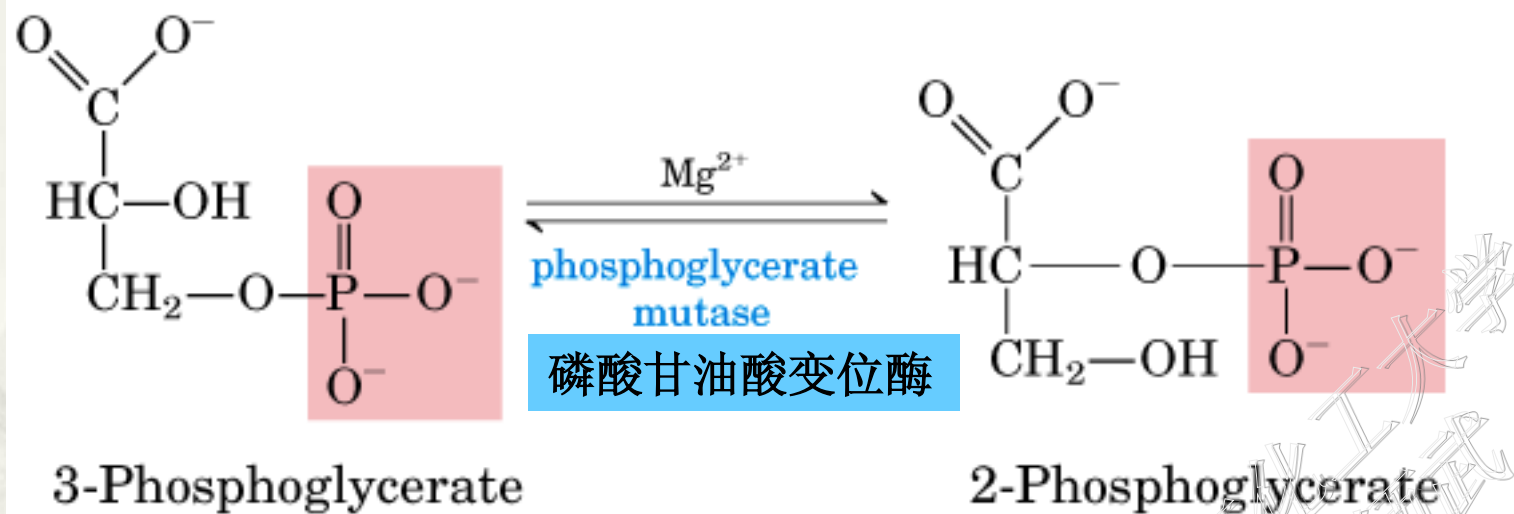


1, 3 - 2P - 甘油酸

3 - P - 甘油酸

7) 磷酸变位

* 需要 Mg^{2+}

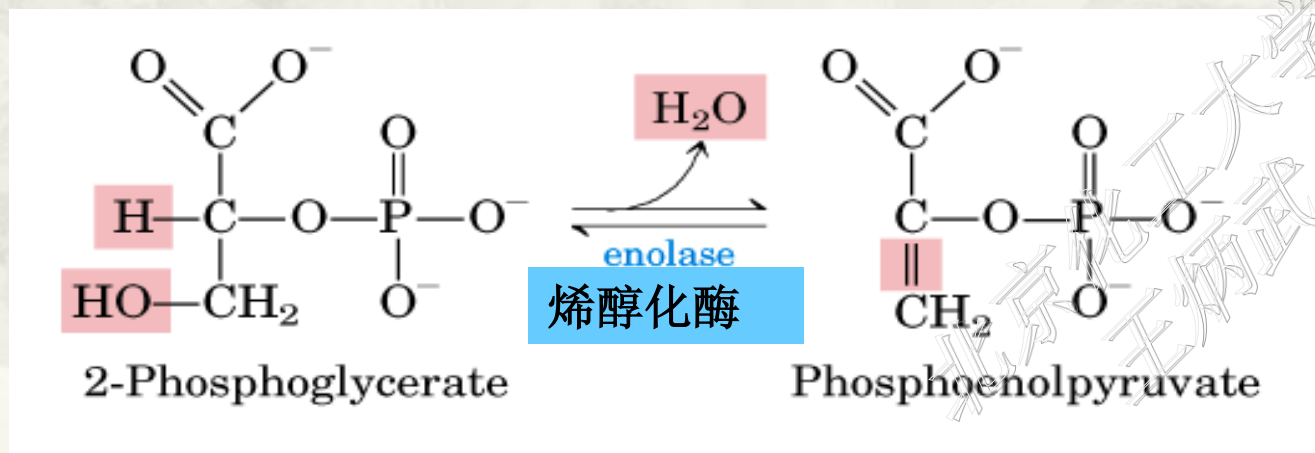


3 - P - 甘油酸

2 - P - 甘油酸

8) 脱水

- * 需要 Mg^{2+} 或者 Mn^{2+}
- * 分子内能量重新分配，生成高能键
- * 氟化物与镁和无机磷酸形成复合物，取代酶分子上镁离子的位置，从而使酶失活。

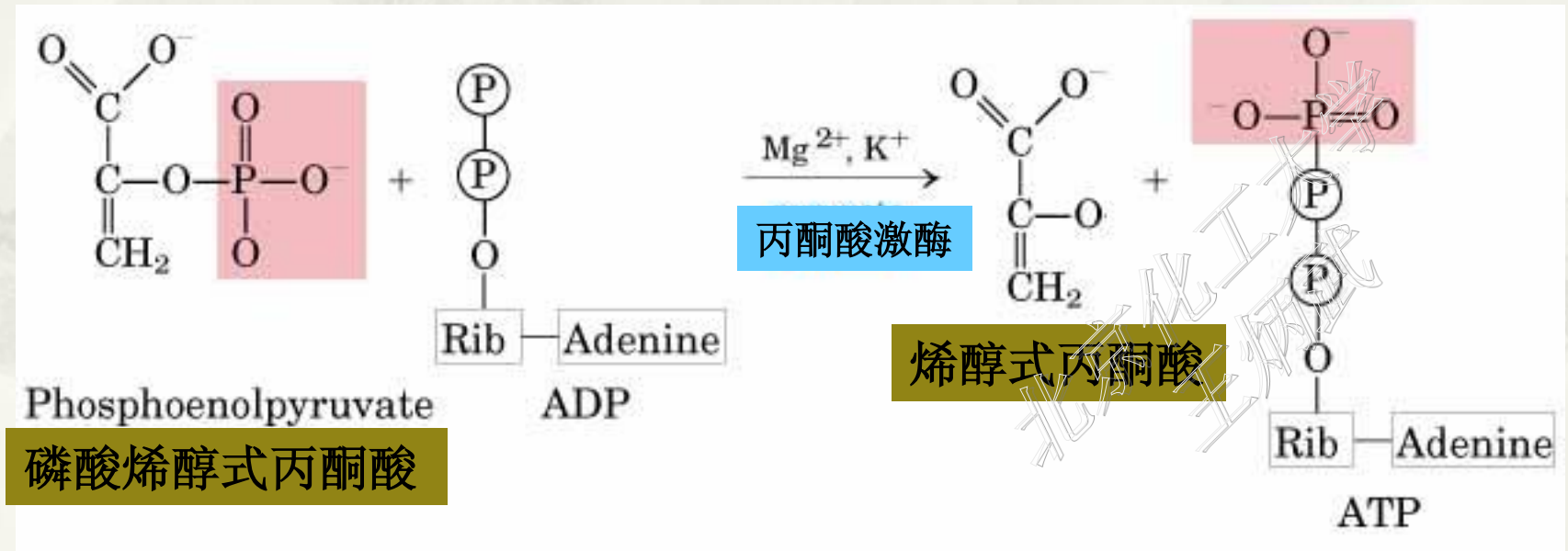


2 - P - 甘油酸

磷酸烯醇式丙酮酸 (PEP)

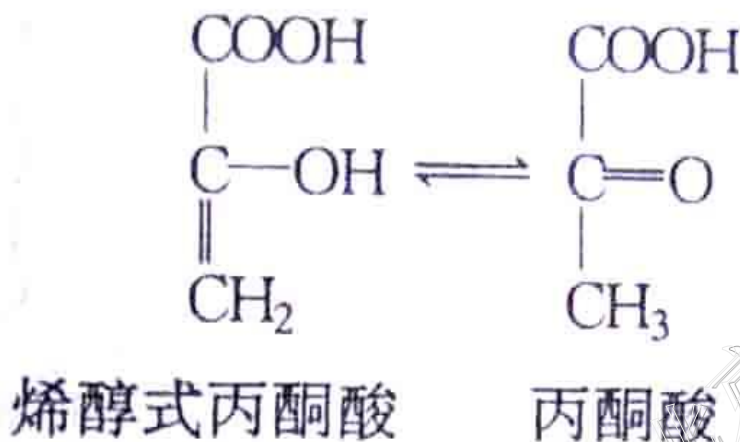
9) 第二次底物水平磷酸化

- * 由 Mg^{2+} 或者 K^{+} 激活
- * 第三个**限速步骤**
- * 不可逆反应



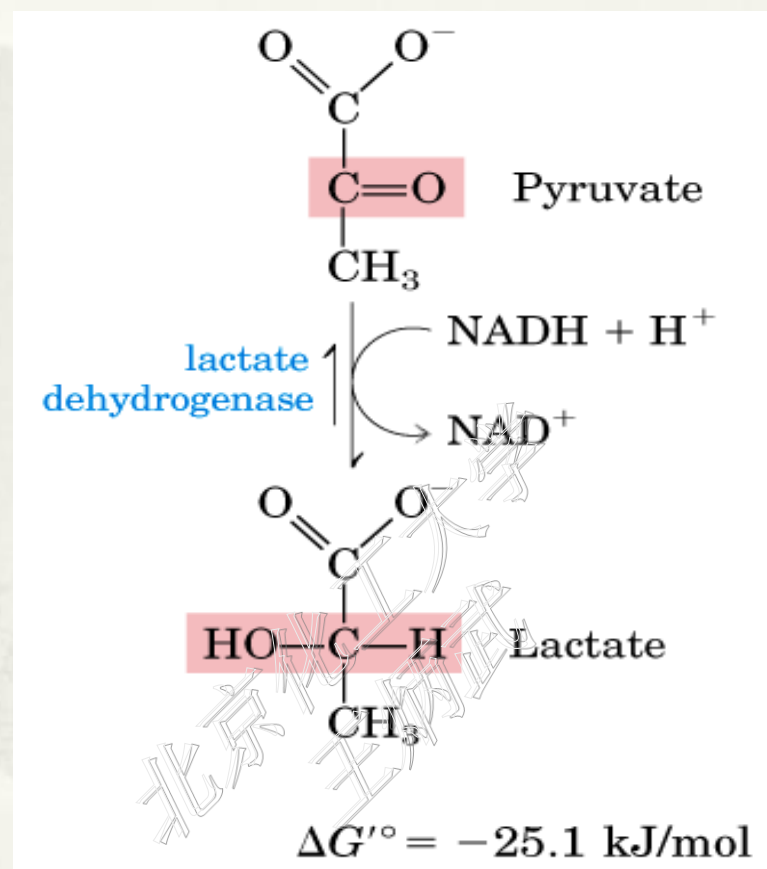
10) 丙酮酸的生成

* 自发进行



丙酮酸的去路1： 乳酸

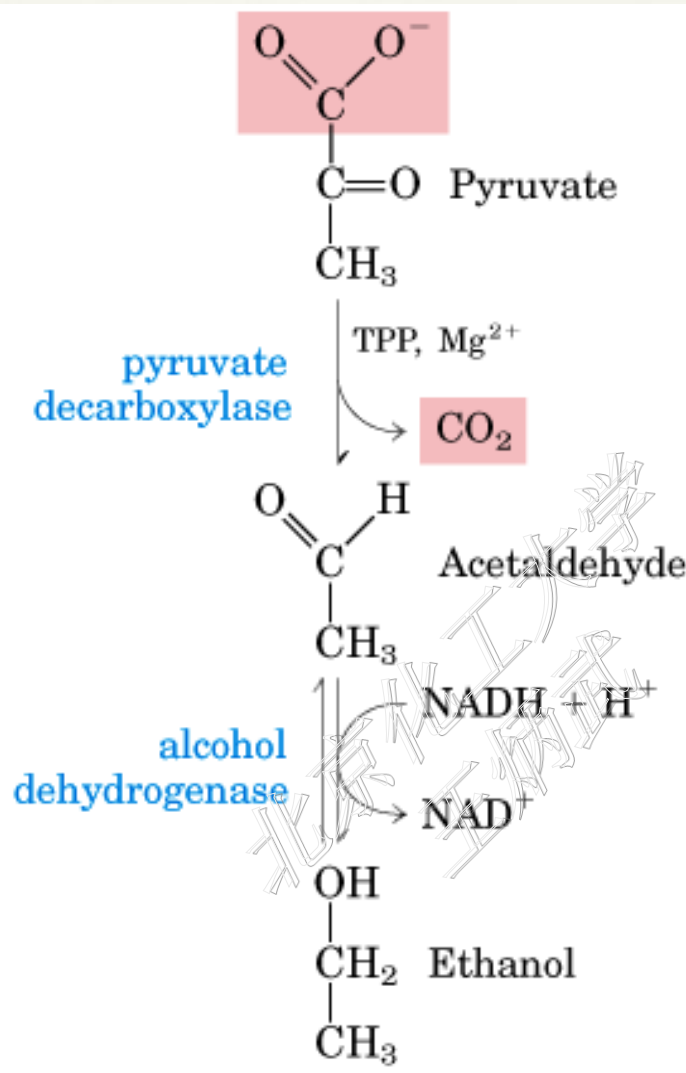
- * 乳酸脱氢酶
- * NADH供氢
- * 剧烈运动后肌肉酸痛
- * 乳酸是酸性物质，若细胞或血液中过量堆积可导致酸中毒。



丙酮酸的去路2: 乙醇

* 丙酮酸脱羧酶

* 乙醇脱氢酶



2、糖酵解的能量变化

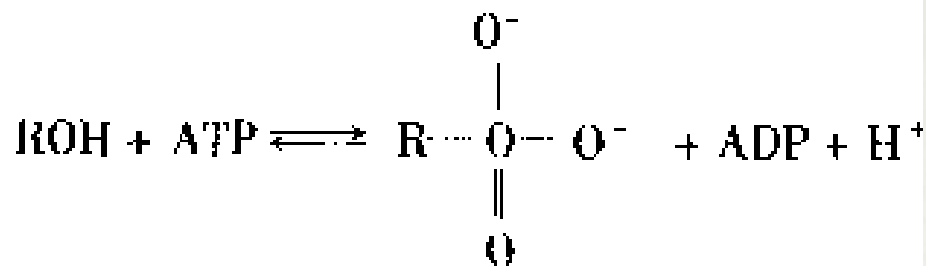
- * 一分子葡萄糖生成两分子乳酸或乙醇
- * 生成2mol ATP
- * 如果从糖原开始，则生成3个ATP

表 8-1 1mol 葡萄糖酵解所产生的 ATP mol 数

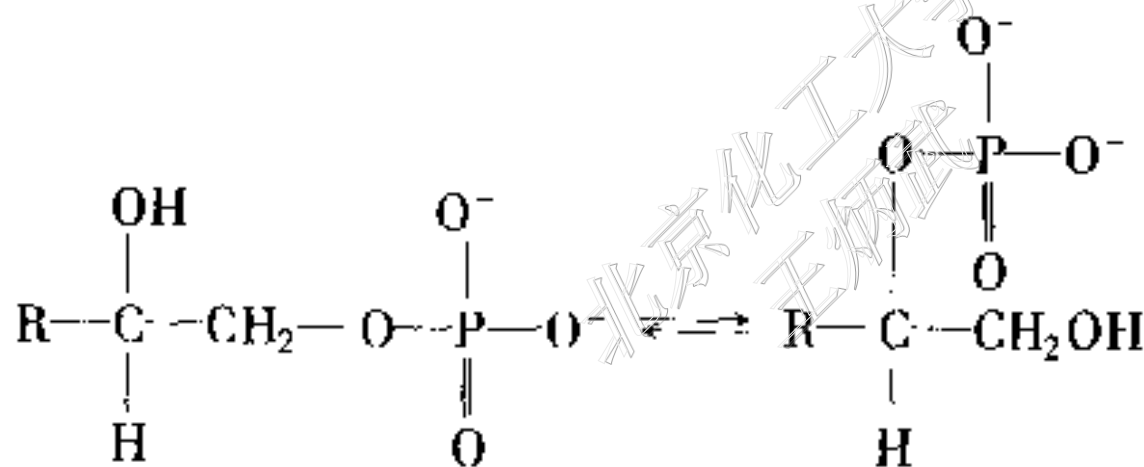
反 应	ATP mol 数的增减
葡萄糖→葡糖-6-磷酸	- 1
果糖-6-磷酸→果糖-1,6-二磷酸	- 1
甘油酸-1,3-二磷酸→甘油酸-3-磷酸	+ 1 × 2
烯醇丙酮酸磷酸→丙酮酸	+ 1 × 2
每 mol 葡萄糖净增 ATP mol 数	+ 2

3、糖酵解涉及的反应类型

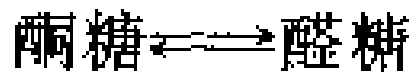
* 磷酸基团的转移



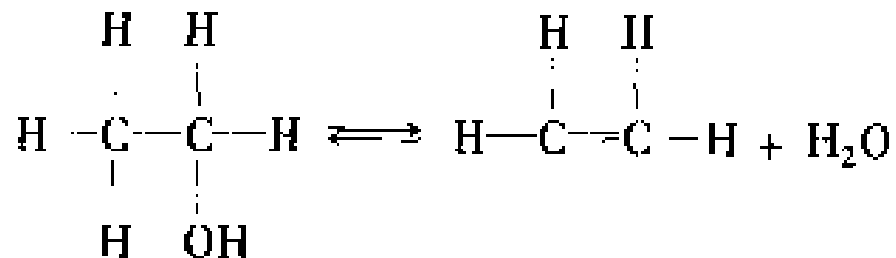
* 磷酸移位



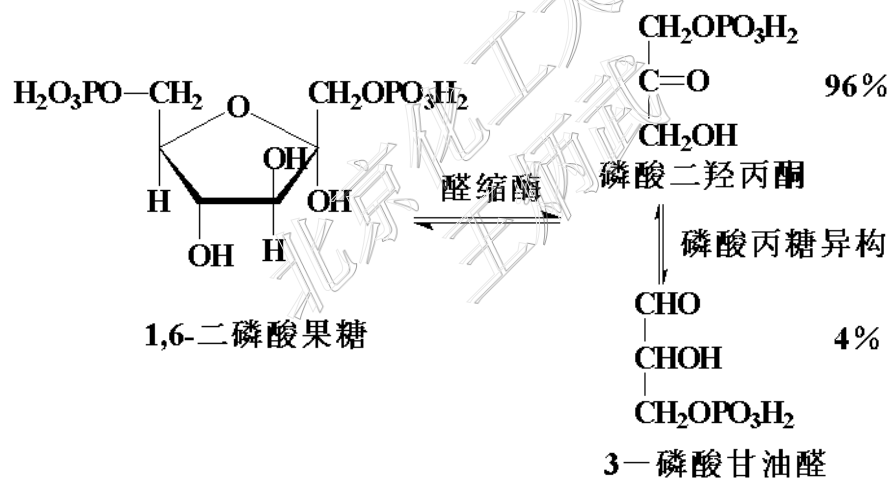
* 异构化



* 脱水（烯醇化酶）



* 醇醛断裂（醛缩酶）



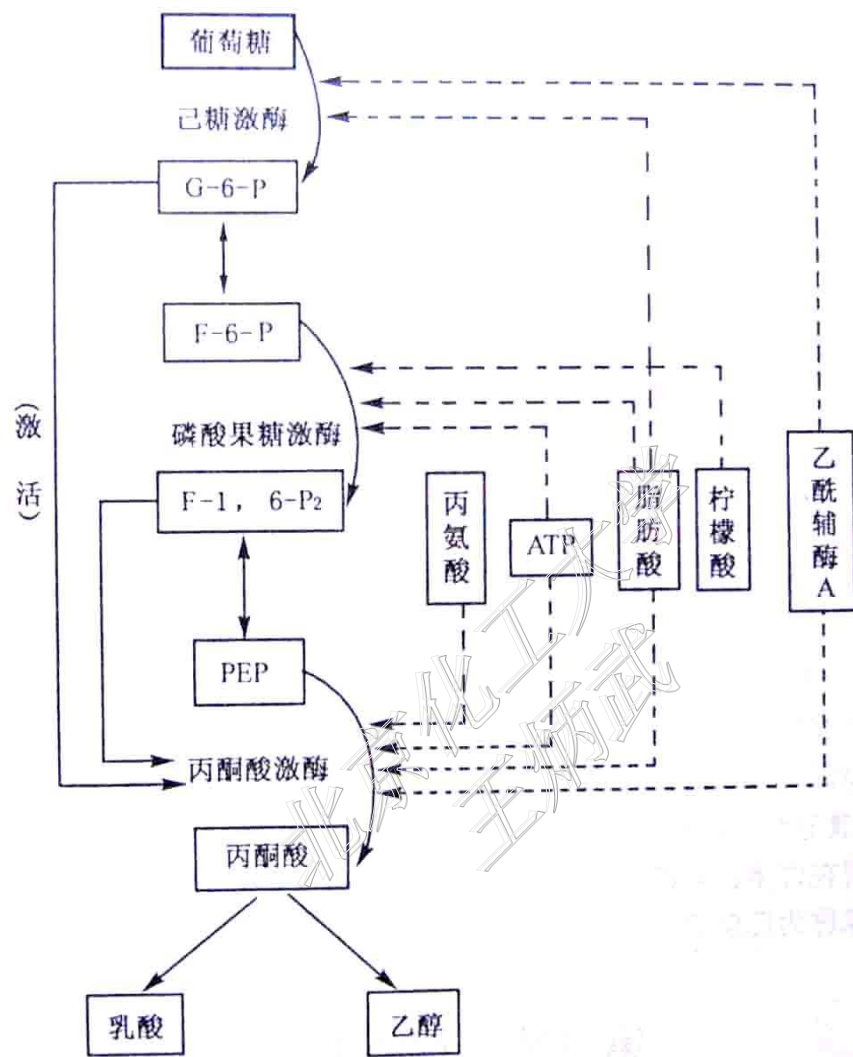
4、糖酵解的调节

- * 三个调节酶

- * 己糖激酶

- * 磷酸果糖激酶

- * 丙酮酸激酶



填空题

* 在酵母提取物和葡萄糖混合反应生成乙醇的体系中加入碘乙酸可抑制_____酶的活性，造成_____的积累；加入氟化钠可抑制_____酶的活性，造成_____的积累。

糖酵解过程中有三个不可逆的酶催化反应，这三个酶分别是_____、_____、_____。

北京化工大学
王炳武

选择题

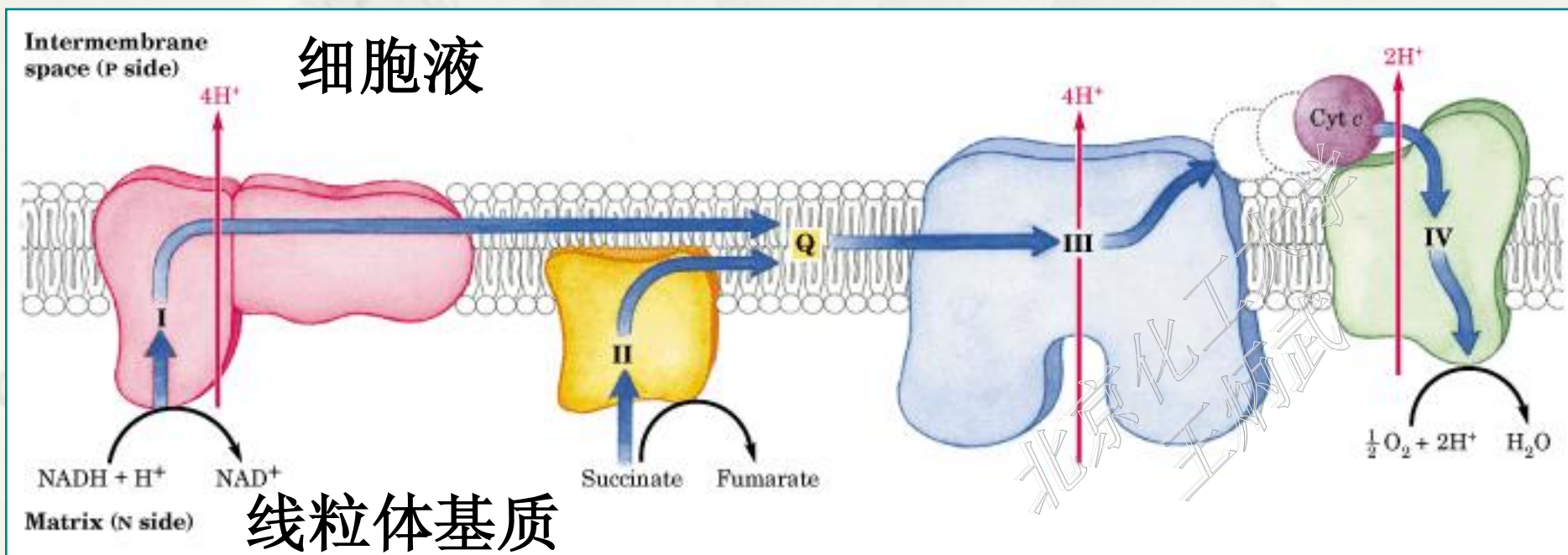
- 醛缩酶催化以下哪种反应 ()
- A、1,6-二磷酸果糖分解为两个三碳糖及其逆反应
- B、1,6-二磷酸葡萄糖分解为1-和6-磷酸葡萄糖及其逆反应
- C、乙酰与草酰乙酸生成柠檬酸
- D、两分子3-磷酸甘油醛缩合生成葡萄糖

北京化工大学
王炳武

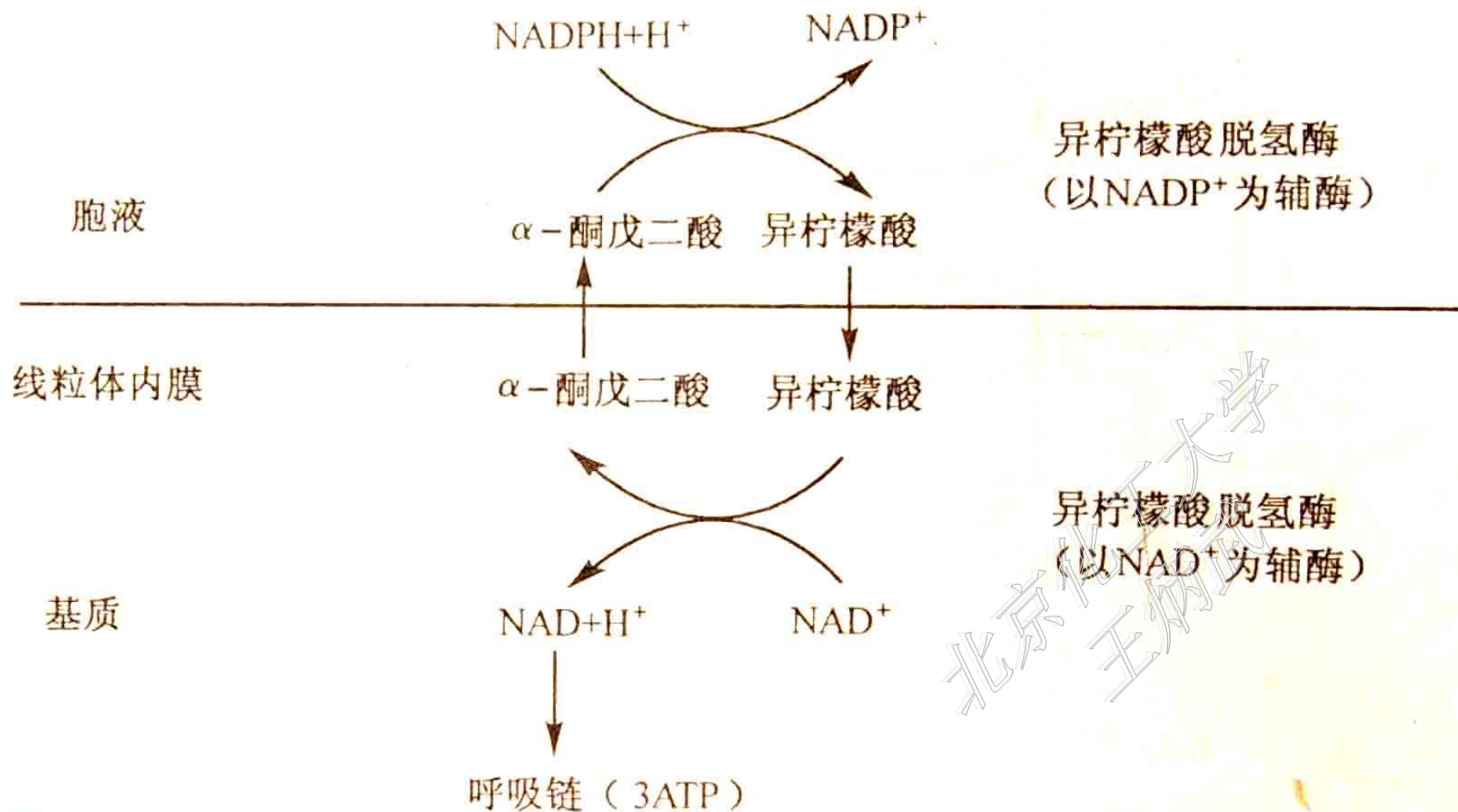
5、氢的跨膜运输

糖酵解：细胞液

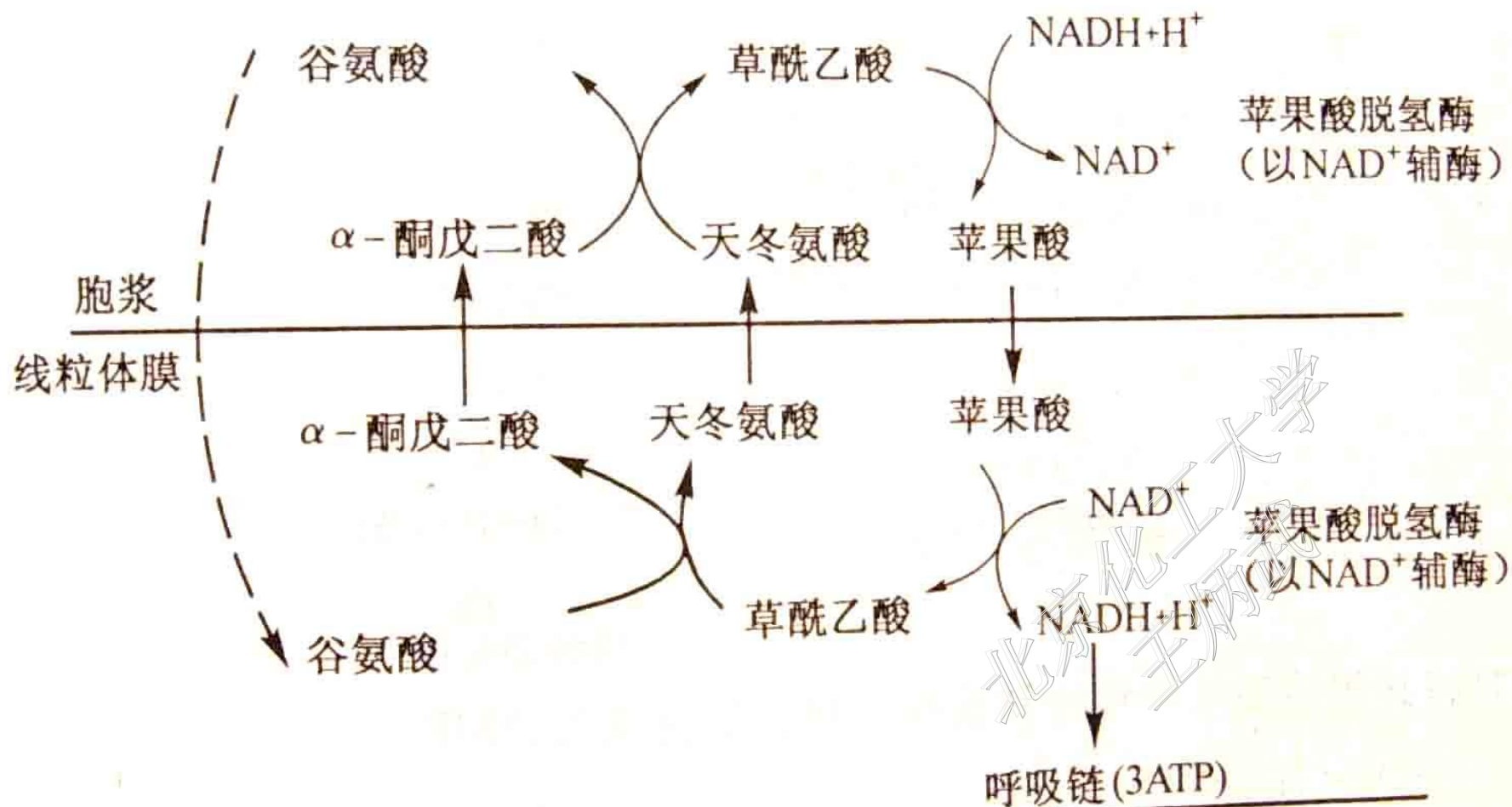
呼吸链：线粒体内膜



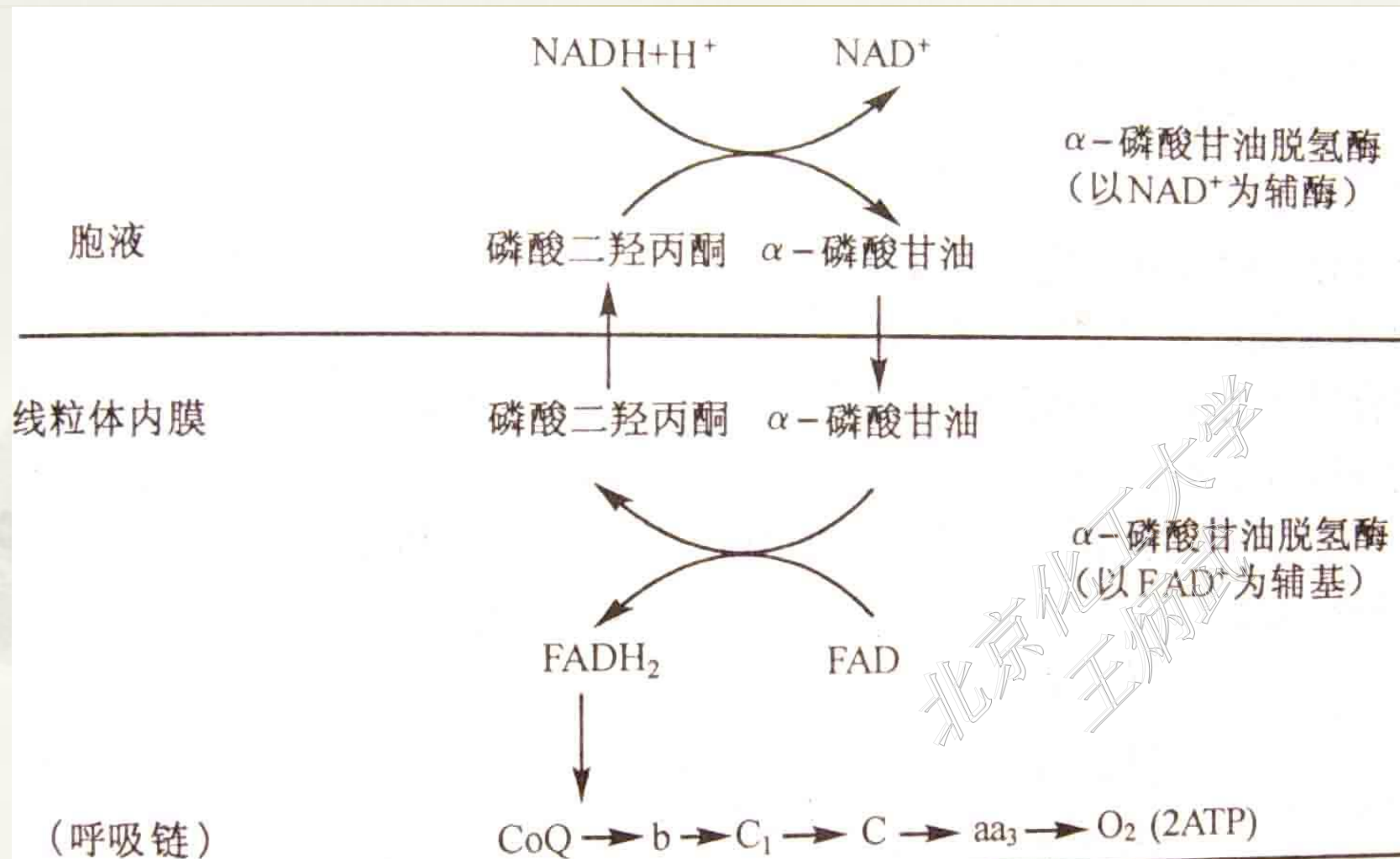
1) 异柠檬酸穿梭作用



2) 苹果酸穿梭作用

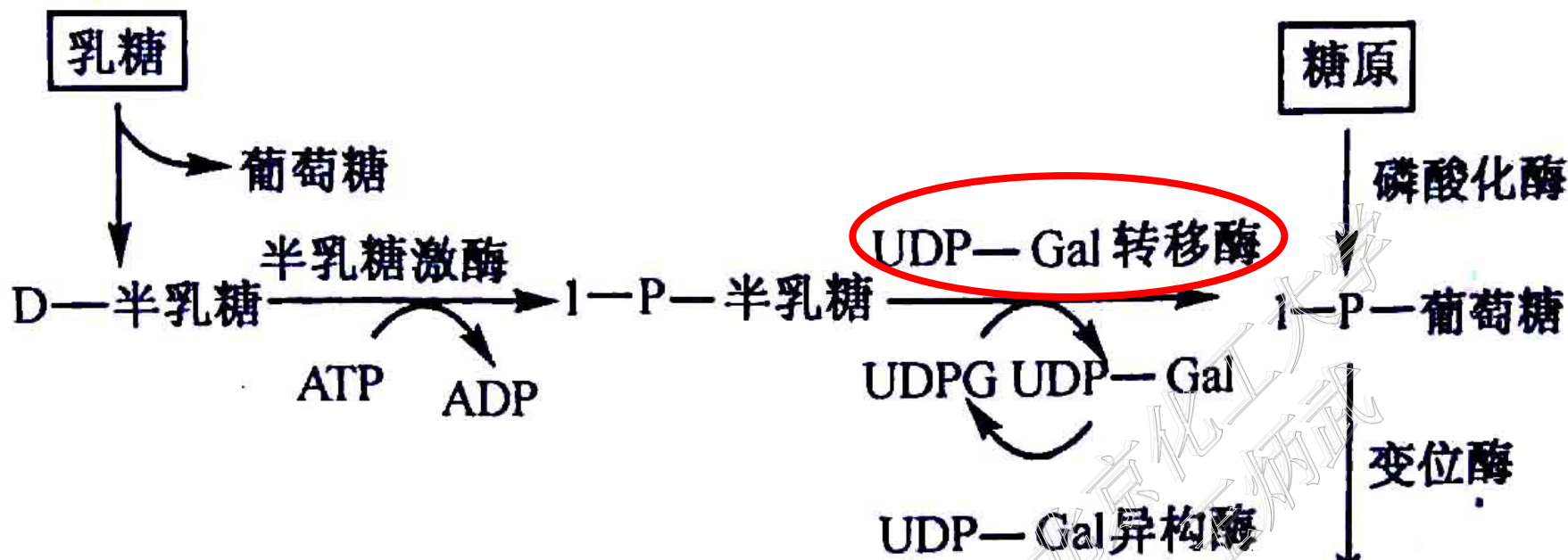


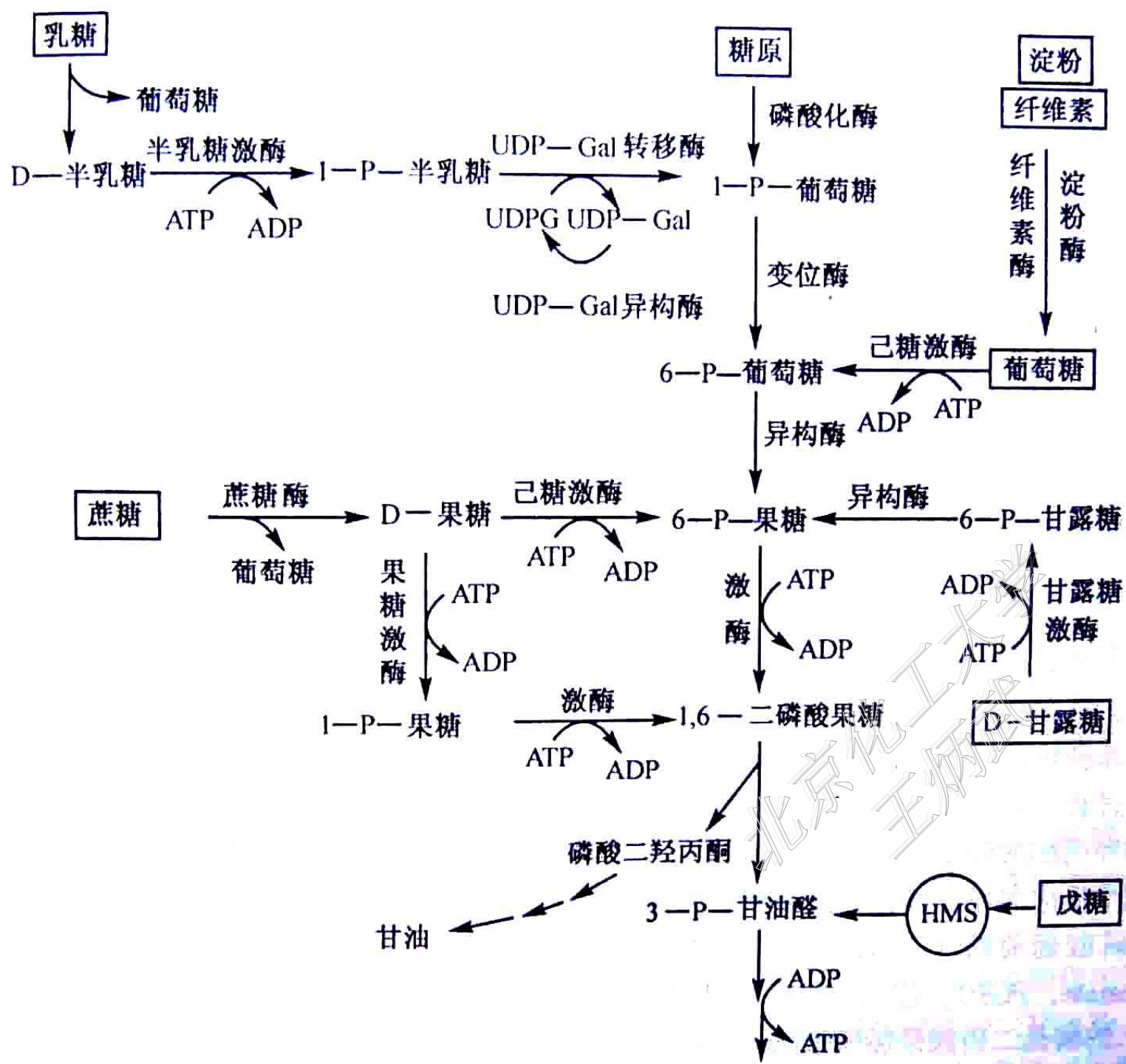
3) 磷酸甘油穿梭作用



6、其他己糖的分解代谢

* 半乳糖





7、糖酵解的意义和应用

1. 糖酵解是单糖分解代谢的基本途径，是葡萄糖完全氧化分解成二氧化碳和水的必要准备阶段
2. 糖酵解途径是某些组织或细胞（红细胞）的主要获能方式。
3. 糖酵解途径能提供能量使机体或组织能有效地适应缺氧情况

北京化工大学
王炳武

填空题

* 丙酮酸被还原为乳酸时，反应中的NADH来源于_____的氧化

北京化工大学
王炳武

待续

北京化工大学
王炳武