

二、糖的有氧氧化

在有氧条件下，糖酵解的产物丙酮酸进一步氧化分解成二氧化碳和水，同时释放出大量的能量。

北京化工大学
王炳武

糖有氧氧化的三个阶段

- * 丙酮酸的生成（细胞液，EMP）
- * 乙酰辅酶A的生成（线粒体）
- * 三羧酸循环（线粒体）

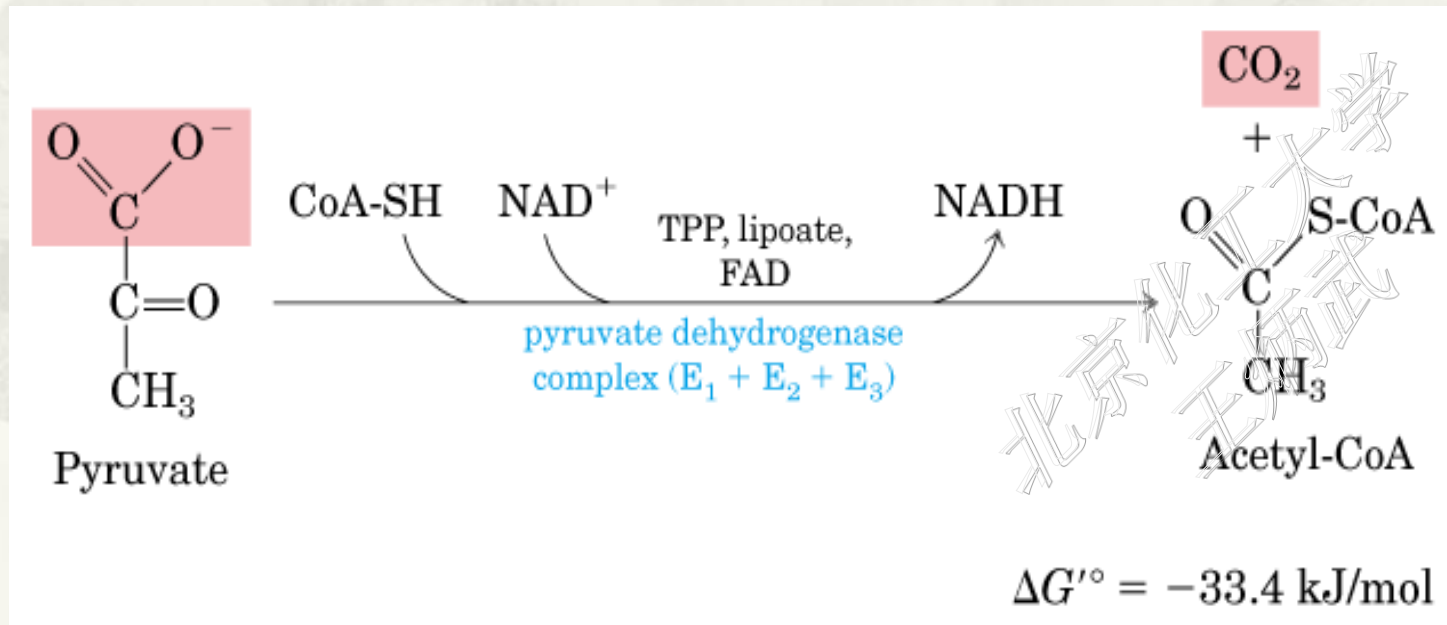
北京化工大学
王炳武

1、乙酰辅酶A的生成

* 丙酮酸脱氢酶系（不可逆）

* 三种酶

* 六种辅因子



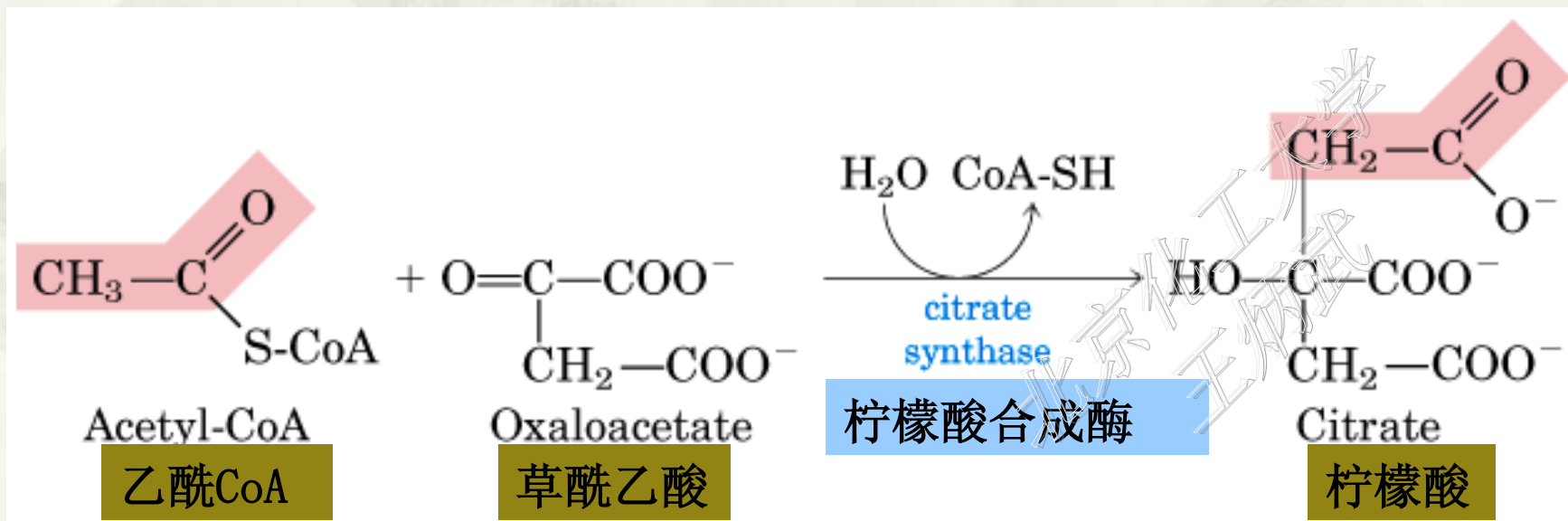
2、三羧酸循环

- * 又称TCA循环 (**tricarboxylic acid cycle**)、柠檬酸循环、Krebs循环
- * **主要**位于线粒体基质中
- * 由8步反应组成

北京化工大学
王炳武

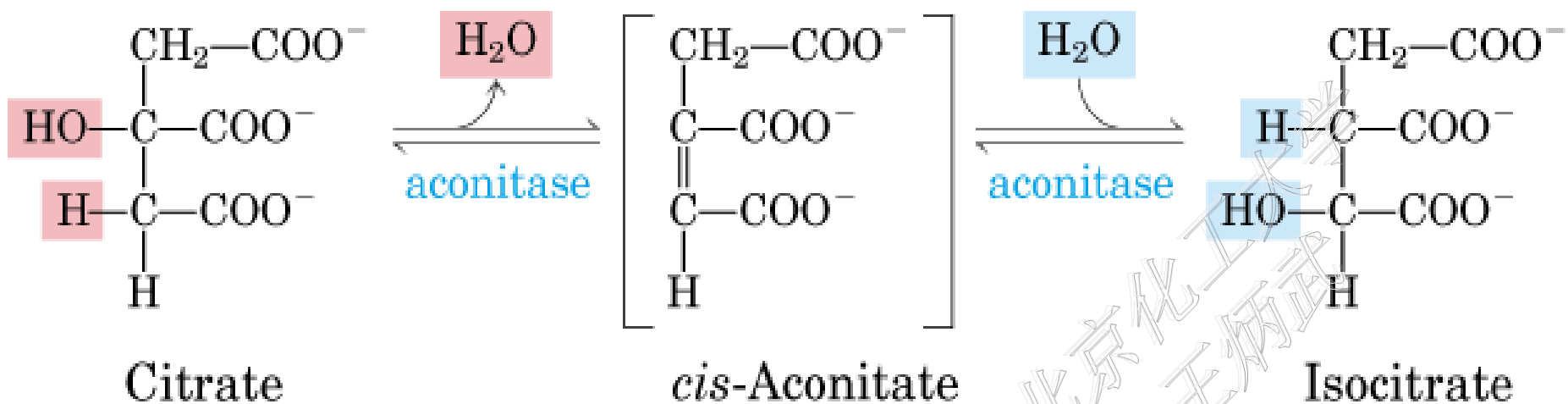
1) 柠檬酸的生成

- * 缩合反应生成六碳三羧酸
- * TCA循环的第一个调节酶
- * 不可逆



2) 异柠檬酸的生成

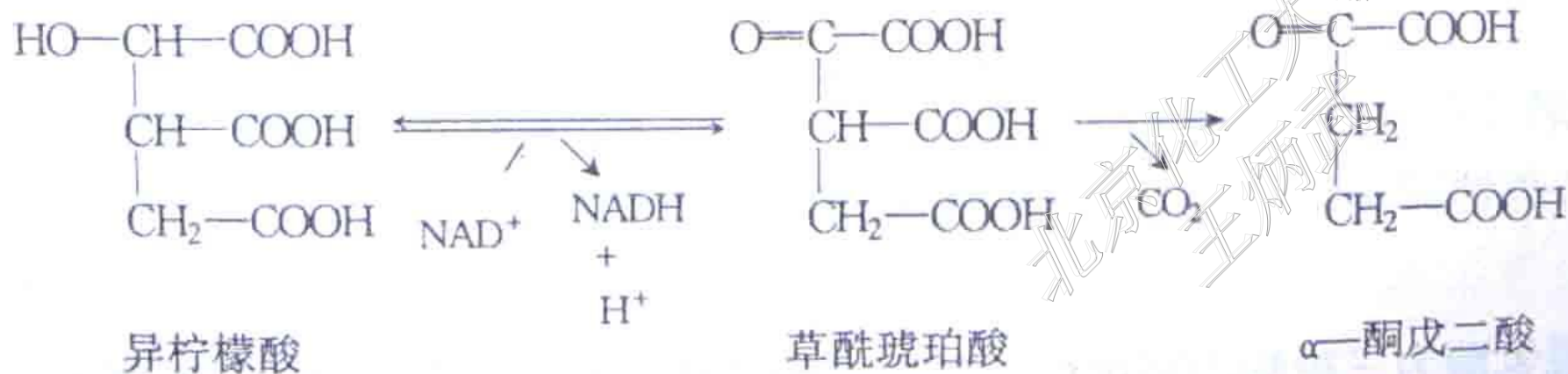
- * 顺乌头酸酶
- * 失水、加水；反应可逆



$$\Delta G'^{\circ} = 13.3 \text{ kJ/mol}$$

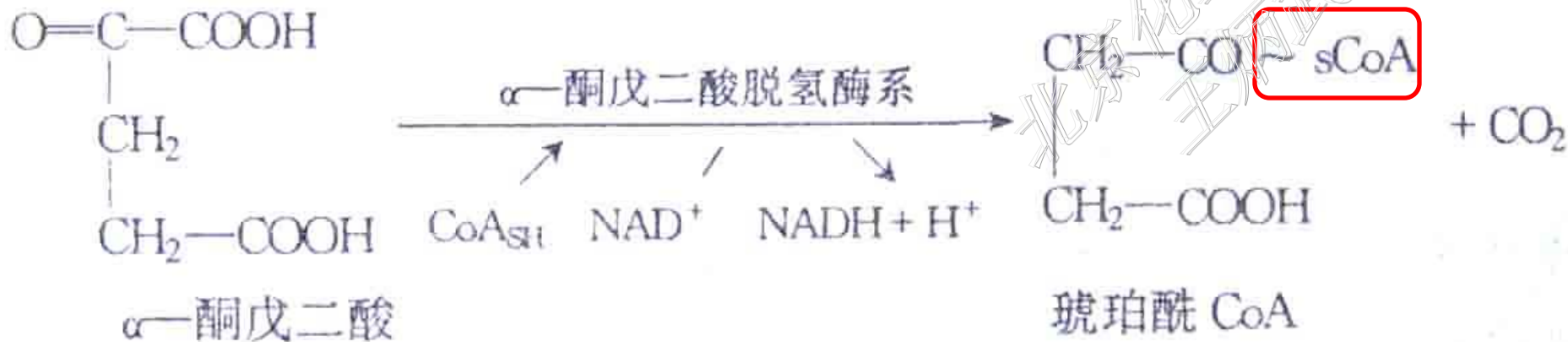
3) α -酮戊二酸的生成

- * 异柠檬酸脱氢酶
- * 第一次脱羧、第一次氧化
- * 三羧酸变成二羧酸
- * 不可逆



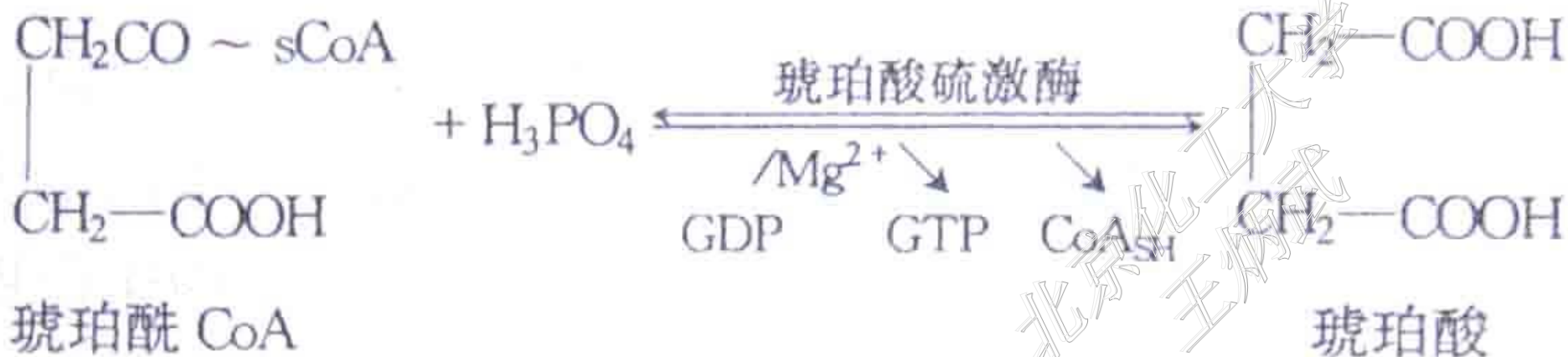
4) 琥珀酰辅酶A的生成

- * α -酮戊二酸脱氢酶系
 - * 三种酶
 - * 六种辅因子
- * 第二次氧化，第二次脱羧，生成高能化合物
- * 不可逆反应



5) 琥珀酸的生成

- * 唯一一次底物水平磷酸化
- * 琥珀酰CoA合成酶（琥珀酸硫激酶）
- * **GTP**可用于蛋白质合成或生成ATP



6) 延胡索酸的生成

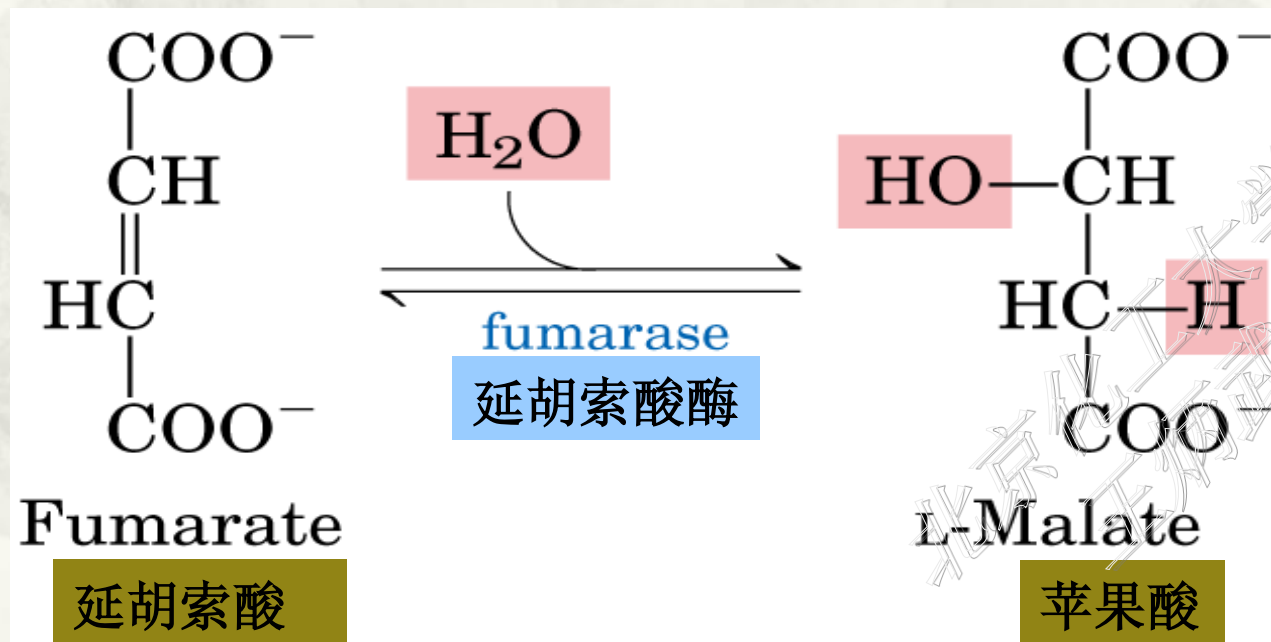
- * 第三次氧化
- * 延胡索酸又称富马酸、反丁烯二酸；
- * 丙二酸、戊二酸为其竞争性抑制剂
- * 琥珀酸脱氢酶是TCA中唯一嵌入线粒体内膜上的酶



7) 苹果酸的生成

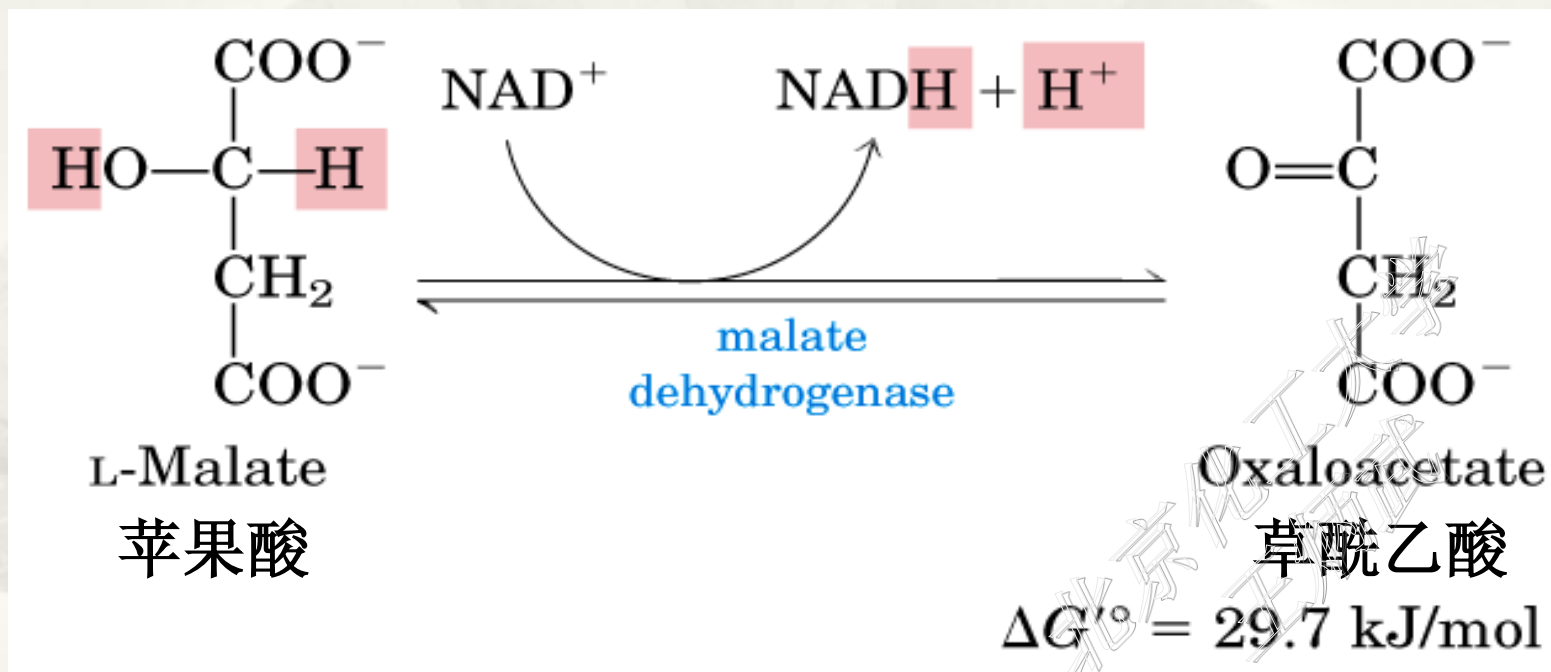
* 加水

* 只催化反式双键，生成L-苹果酸



8) 重新生成草酰乙酸

* 第四次氧化



3、小结

- * 循环一圈，消耗一分子乙酰CoA
- * 生成两个 CO_2
- * 生成三个 NADH 、一个 FADH_2
- * 生成一个 GTP
- * 总能量？

北京化工大学
王炳武

表 8-3 1mol 葡萄糖在有氧分解时所产生的 ATP mol 数

反应阶段	反 应	ATP 的消耗与合成			
		消耗	合 成		净得
			底物磷酸化	电子传递磷酸化	
酵 解	葡萄糖 \rightarrow 葡糖-6-磷酸	1			-1
	果糖-6-磷酸 \rightarrow 果糖-1,6-二磷酸	1			-1
	甘油醛-3-磷酸 \rightarrow 甘油酸-1,3-二磷酸			3×2	6
	甘油酸-1,3-二磷酸 \rightarrow 甘油酸-3-磷酸		1×2		2
	烯醇丙酮酸 2-磷酸 \rightarrow 烯醇丙酮酸		1×2		2
丙酮酸氧化 脱 羧	丙酮酸 \rightarrow 乙酰辅酶 A			3×2	6
三羧酸循环	异柠檬酸 \rightarrow 草酰琥珀酸			3×2	6
	α -酮戊二酸 \rightarrow 琥珀酰辅酶 A			3×2	6
	琥珀酰辅酶 A \rightarrow 琥珀酸		1×2		2
	琥珀酸 \rightarrow 延胡索酸			2×2	4
	苹果酸 \rightarrow 草酰乙酸			3×2	6
总 计			38		

补充：巴斯德效应

* 法国科学家Pastuer发现在有氧存在的时候酵母细胞的乙醇发酵受到抑制，为什么？

* 理论解释：

由 $\text{NADH} + \text{H}^+$ 去路决定。

有氧时， $\text{NADH} + \text{H}^+$ 进入线粒体氧化，丙酮酸氧化成 H_2O ，不生成乳酸或乙醇，从而表现为抑制。

北京化工大学
王炳武

4、三羧酸循环的调节

- * 三个限速酶

- * 柠檬酸合成酶

- * 异柠檬酸脱氢酶

- * α -酮戊二酸脱氢酶系

- * 抑制剂：ATP、长链脂肪酸

- * 激活剂：ADP、AMP

北京化工大学
王炳武

5、糖需氧分解的意义

- * 机体获取能量的主要途径

- * 无氧：2ATP

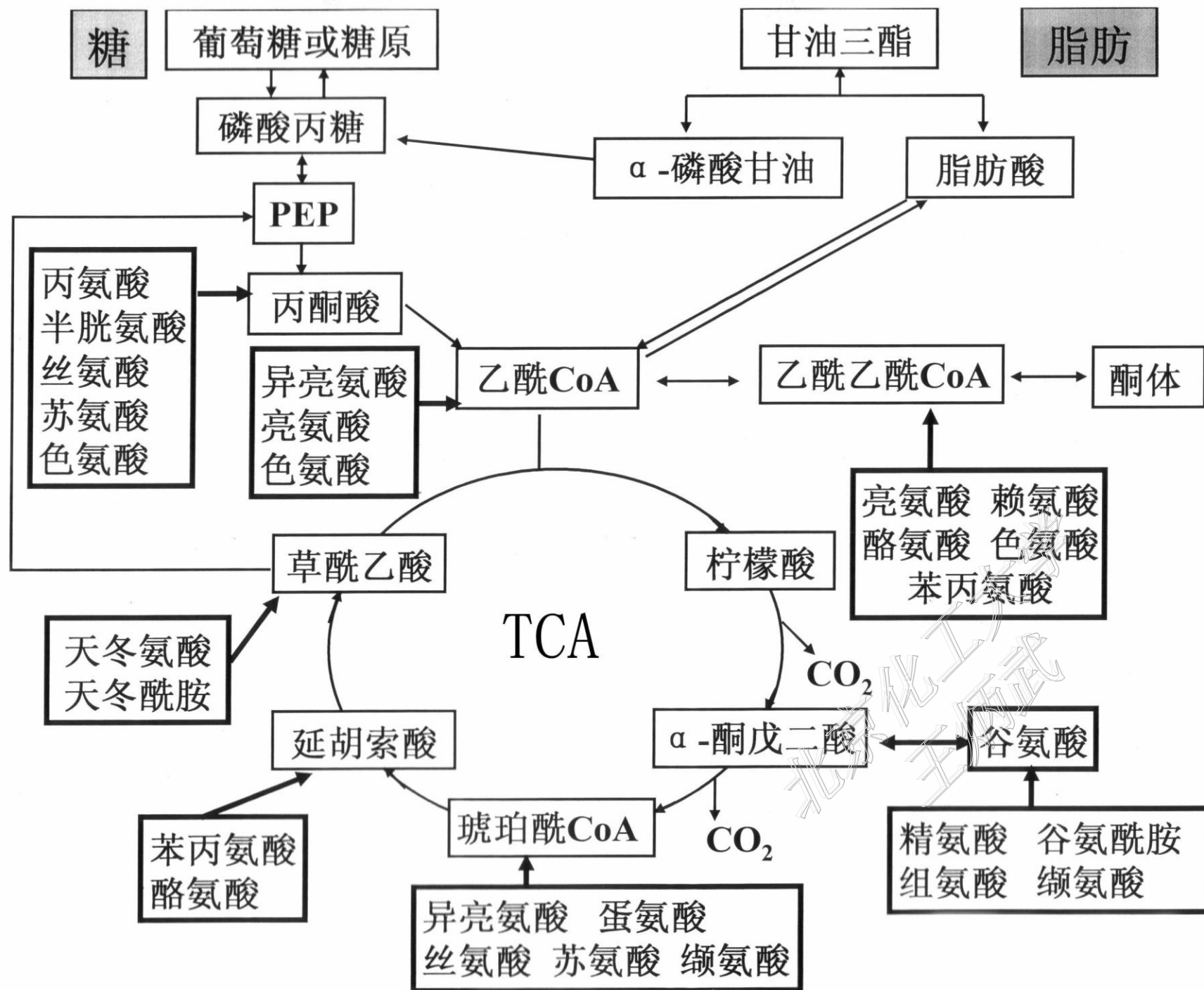
- * 有氧：38ATP

- * 三大物质代谢的枢纽

- * 分解代谢

- * 合成代谢

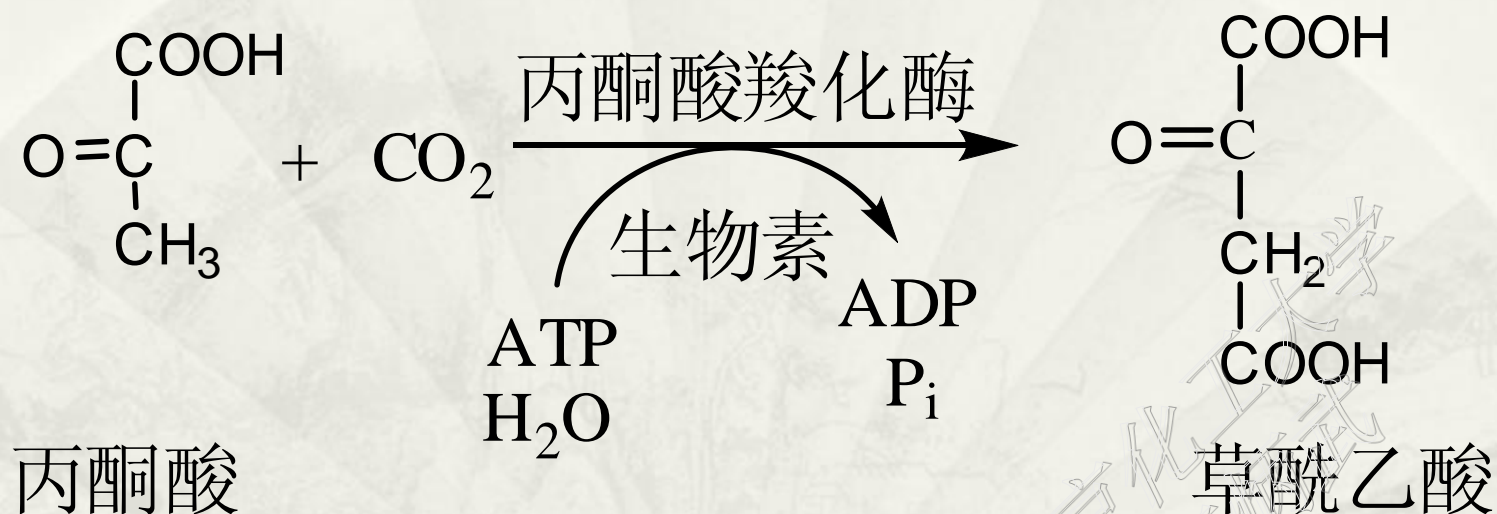
北京化工大学
王炳武



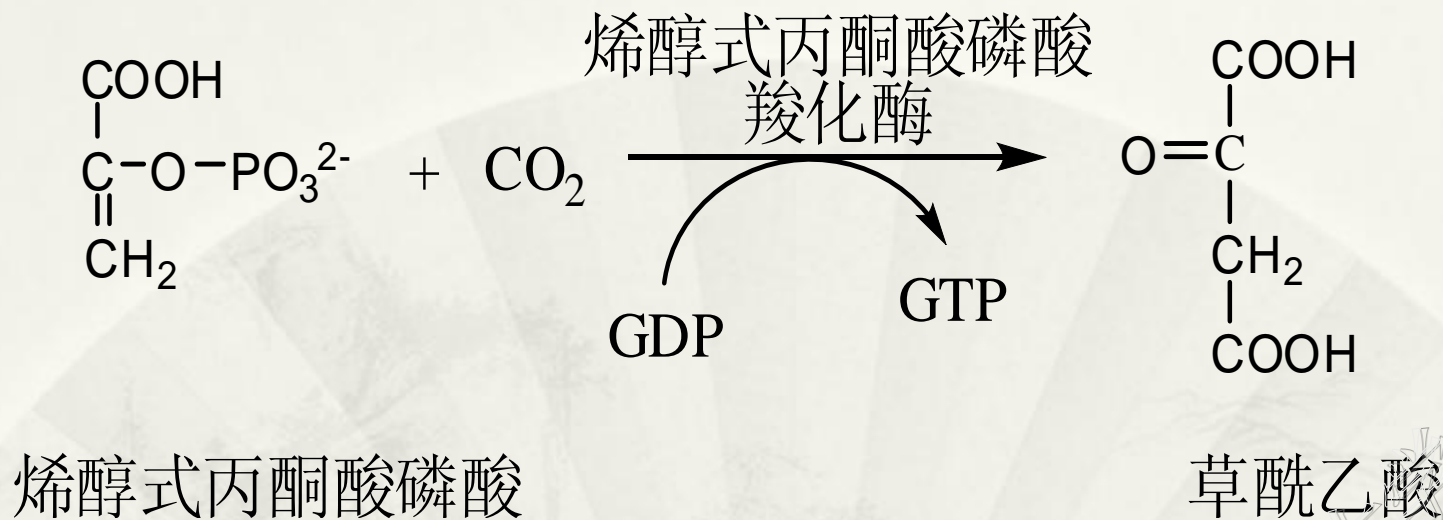
三、草酰乙酸的回补途径

* 1) 主要途径

* 人、动物



* 2) 其他途径



北京化工大学
王炳武

填空题

* 糖酵解是在_____中进行，而三羧酸循环是在_____中进行。

■ 一分子葡萄糖彻底氧化产生_____分子ATP

北京化工大学
王炳武

选择题

- * 关于三羧酸循环，下列的叙述哪条**不正确**()
- * A、产生NADH和FADH₂
- * B、有GTP生成
- * C、氧化乙酰C₂A
- * D、提供草酰乙酸净合成
- * E、在无氧条件下不能运转

北京化工大学
王炳武

选择题

- 下列酶中不是TCA循环中的酶是（ ）
- A、顺乌头酸酶 B、延胡索酸酶
- C、琥珀酰CoA合成酶 D、丙酮酸脱氢酶

北京化工大学
王炳武

判断题

- * 在无氧条件下酵母菌可以使葡萄糖发酵产生乙醇，而在人体中则不可能产生乙醇，因此乙醇在人体内一般是不能被利用的。

北京化工大学
王炳武

选择题

* 下列酶催化反应中，可通过底物水平磷酸化生成GTP的是（ ）

* A、己糖激酶

B、烯醇化酶

C、琥珀酰CoA合成酶

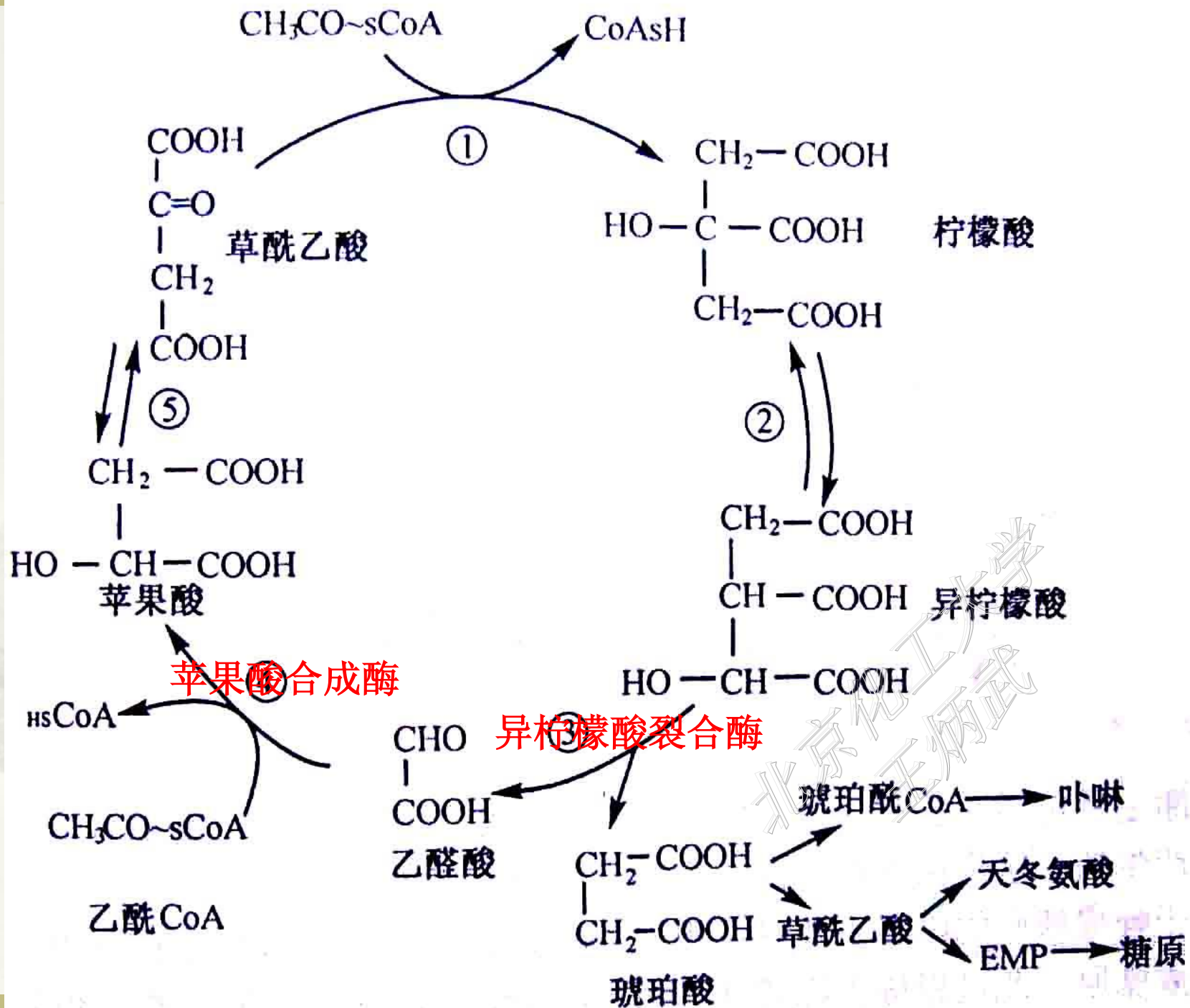
D、琥珀酸脱氢酶

北京化工大学
王炳武

四、乙醛酸循环

- * 某些微生物以乙酸为唯一碳源
- * 油料植物种子萌发时以脂肪酸为主要物质和能量来源





生理意义

- * TCA循环产生能量
- * 将乙酰辅酶A合成四碳二羧酸、六碳三羧酸
 - * 合成糖类、氨基酸

北京化工大学
王炳武

选择题

- 1mol葡萄糖有氧氧化时总共发生几次底物水平磷酸化 ()
- A、3 B、4 C、5 D、6

北京化工大学
王炳武

判断题

- * 由1mol异柠檬酸转变成1mol琥珀酸，同时伴有电子传递过程可产生7molATP的能量。

北京化工大学
王炳武

问答题

- * 丙酮酸脱氢酶系包括哪五种由维生素构成的辅因子？分别由哪种维生素构成？
- 三羧酸循环中并没有氧的参与，为什么称为糖的有氧分解？

北京化工大学
王炳武

五、磷酸己糖旁路HMS

——又称磷酸戊糖途径

除糖酵解和TCA代谢途径外, 在细胞内还存在糖的其它分解途径, 这些途径称为支路或旁路。

磷酸戊糖途径是这些支路中较为重要的一种, 动物体中有30%的葡萄糖通过此途径分解。

该旁路存在于细胞液中。

反应历程

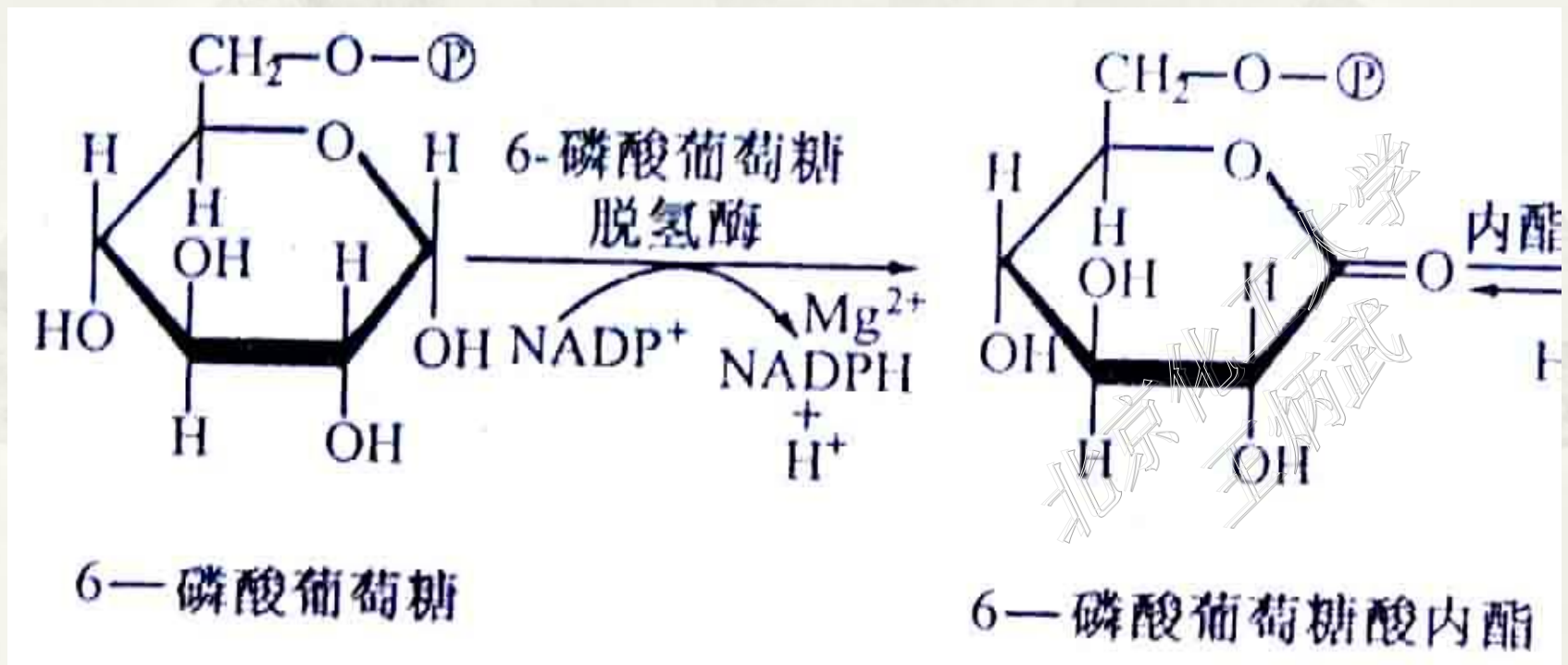
- * 起始物：G-6-P
- * 分为两个阶段
 - * 氧化阶段：脱氢、脱羧
 - * 非氧化阶段：基团转移

北京化工大学
王炳武

1) 氧化脱氢

* 6-磷酸葡萄糖脱氢酶

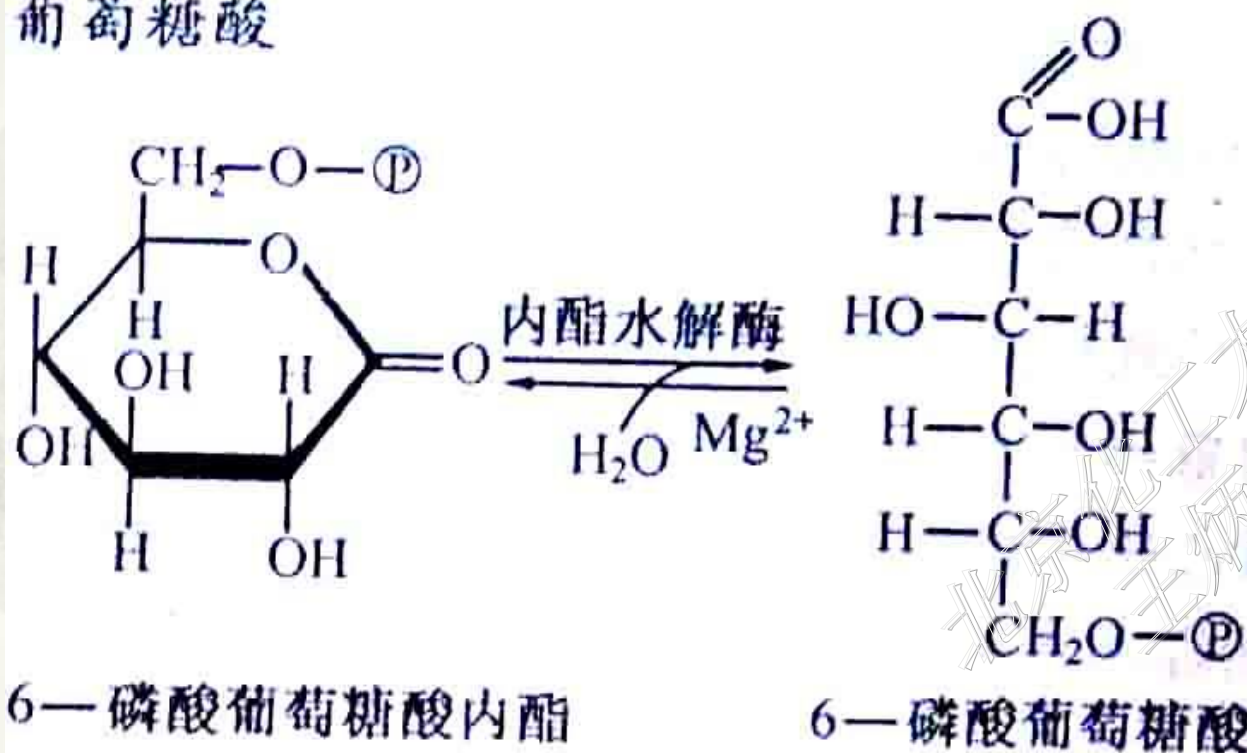
* NADPH



2) 开环

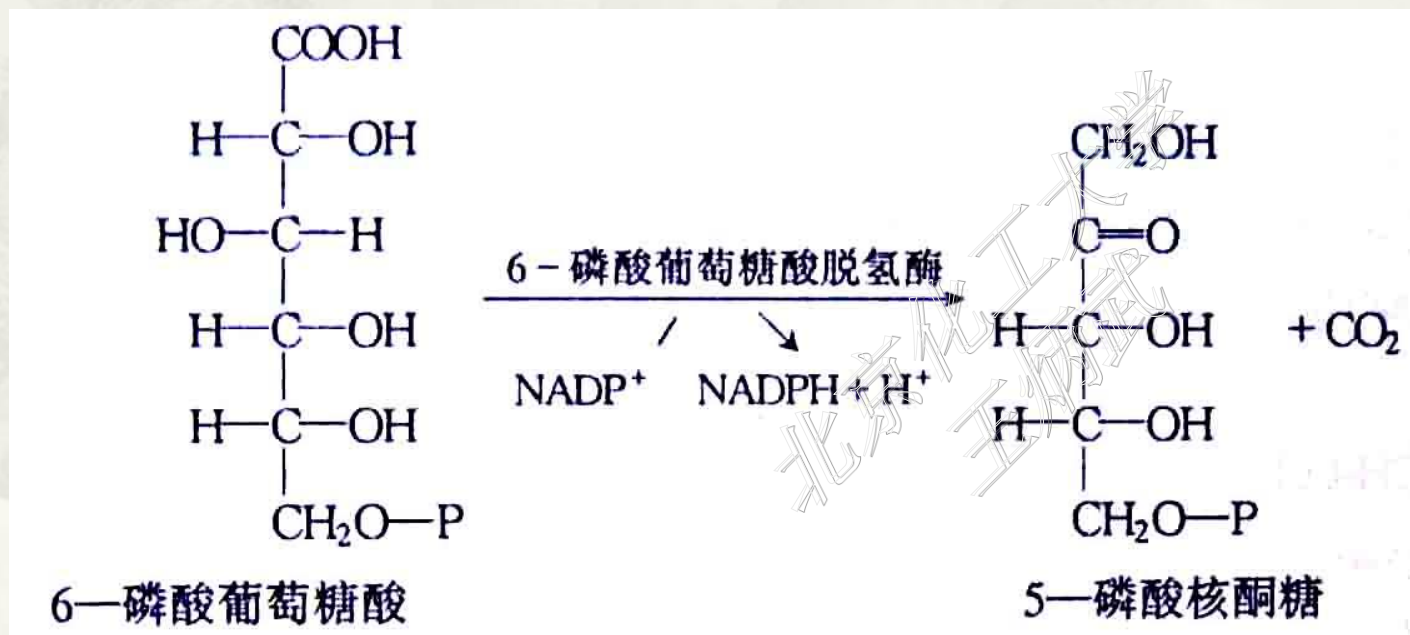
* 葡萄糖酸内酯水解酶

葡萄糖酸



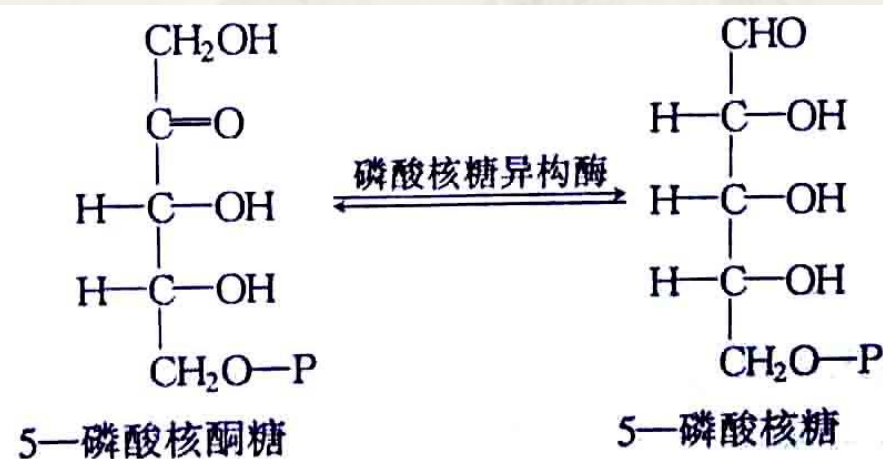
3) 氧化脱羧

- * 6-磷酸葡萄糖酸脱氢酶
- * 脱羧、第二次脱氢
- * NADPH
- * Mg^{2+}



4) 异构化

- * 磷酸核糖异构酶
- * 磷酸戊酮糖差向异构酶（表异构酶）
- * 从该步起均为可逆反应

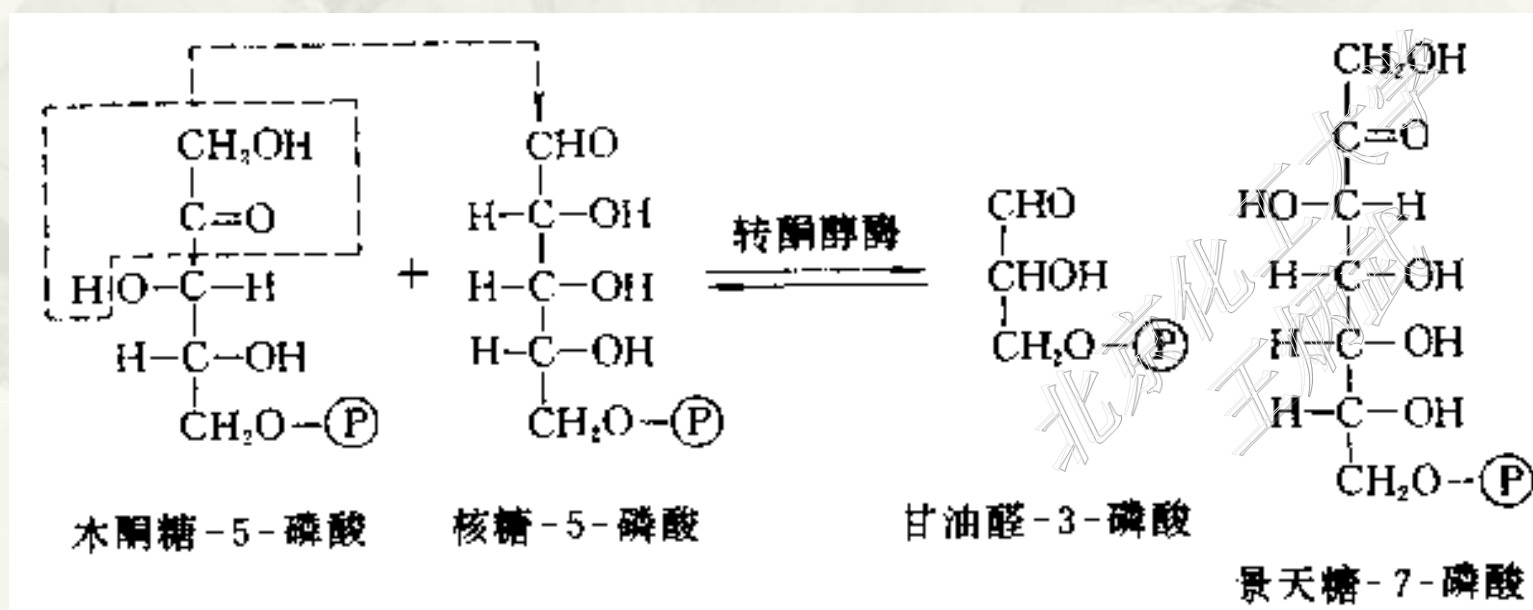


5) 二碳单元转移

* 转酮酶

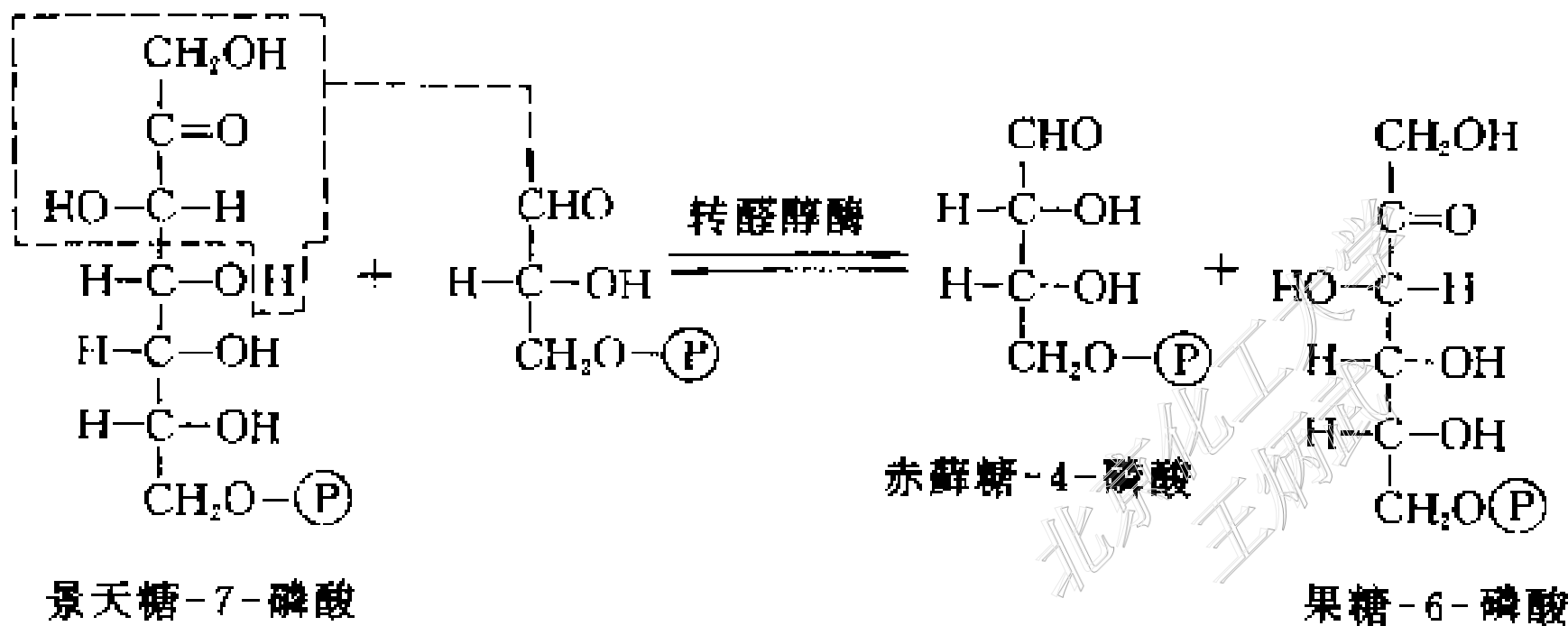
* TPP为辅酶

* L-构型



6) 三碳单元转移

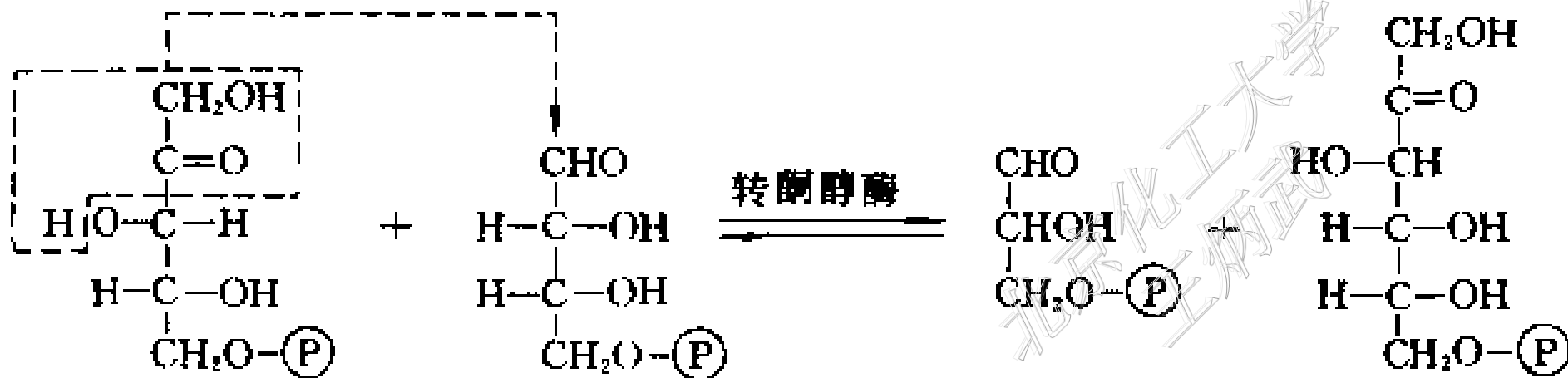
* 转醛酶



7) 二碳基团的转移

* 转酮酶

* TPP、 Mg^{2+}



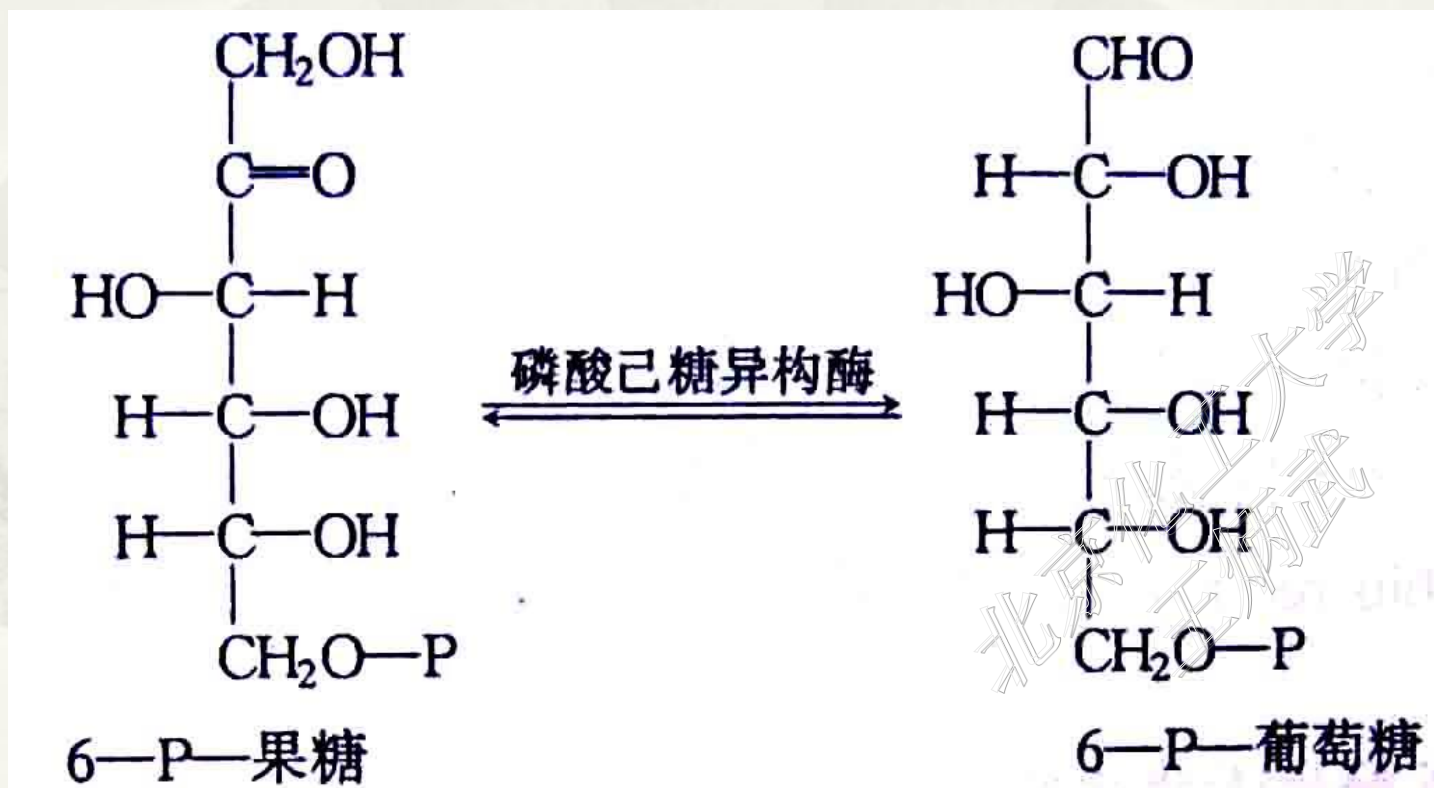
木酮糖-5-磷酸

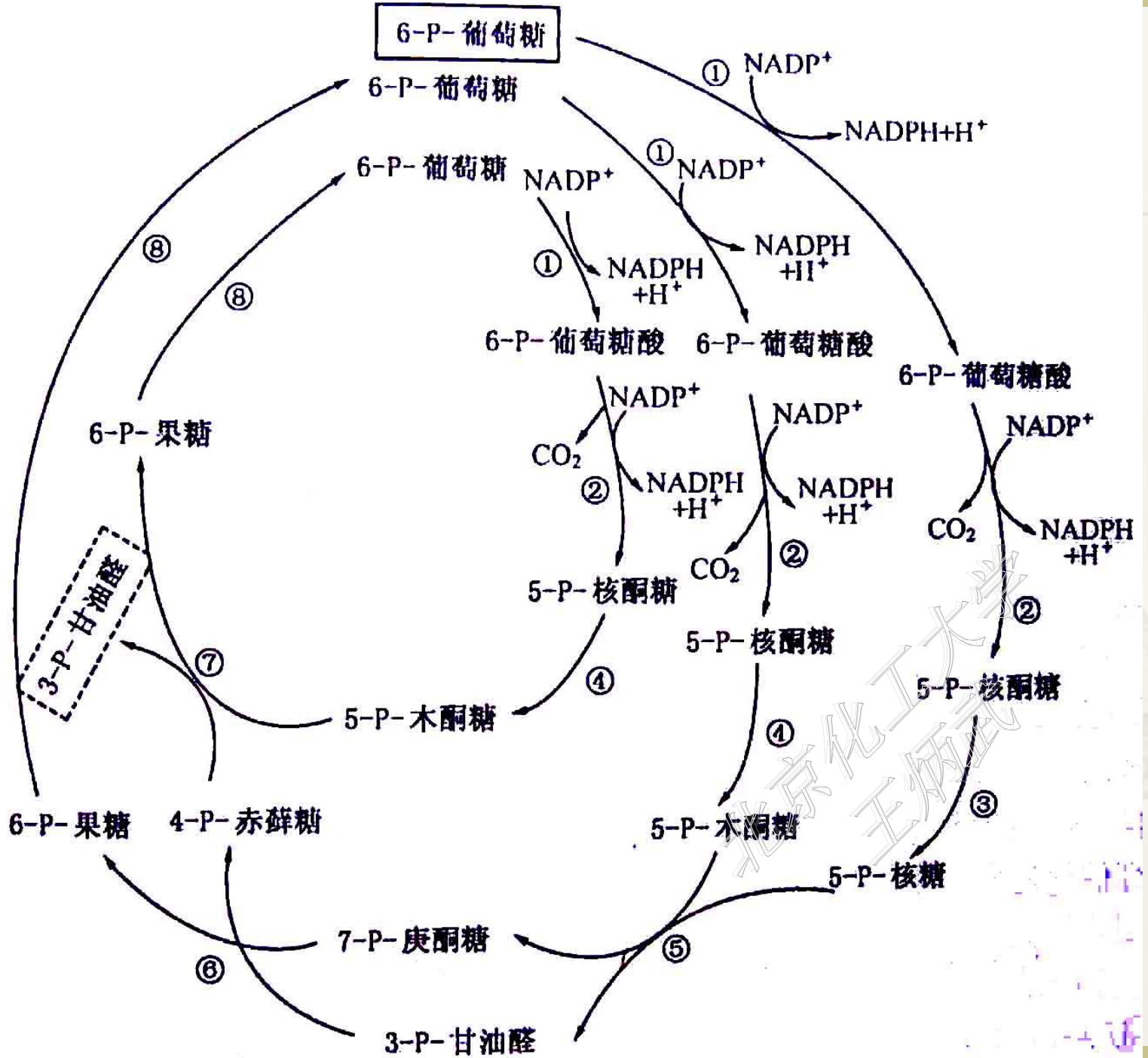
赤藓糖-4-磷酸

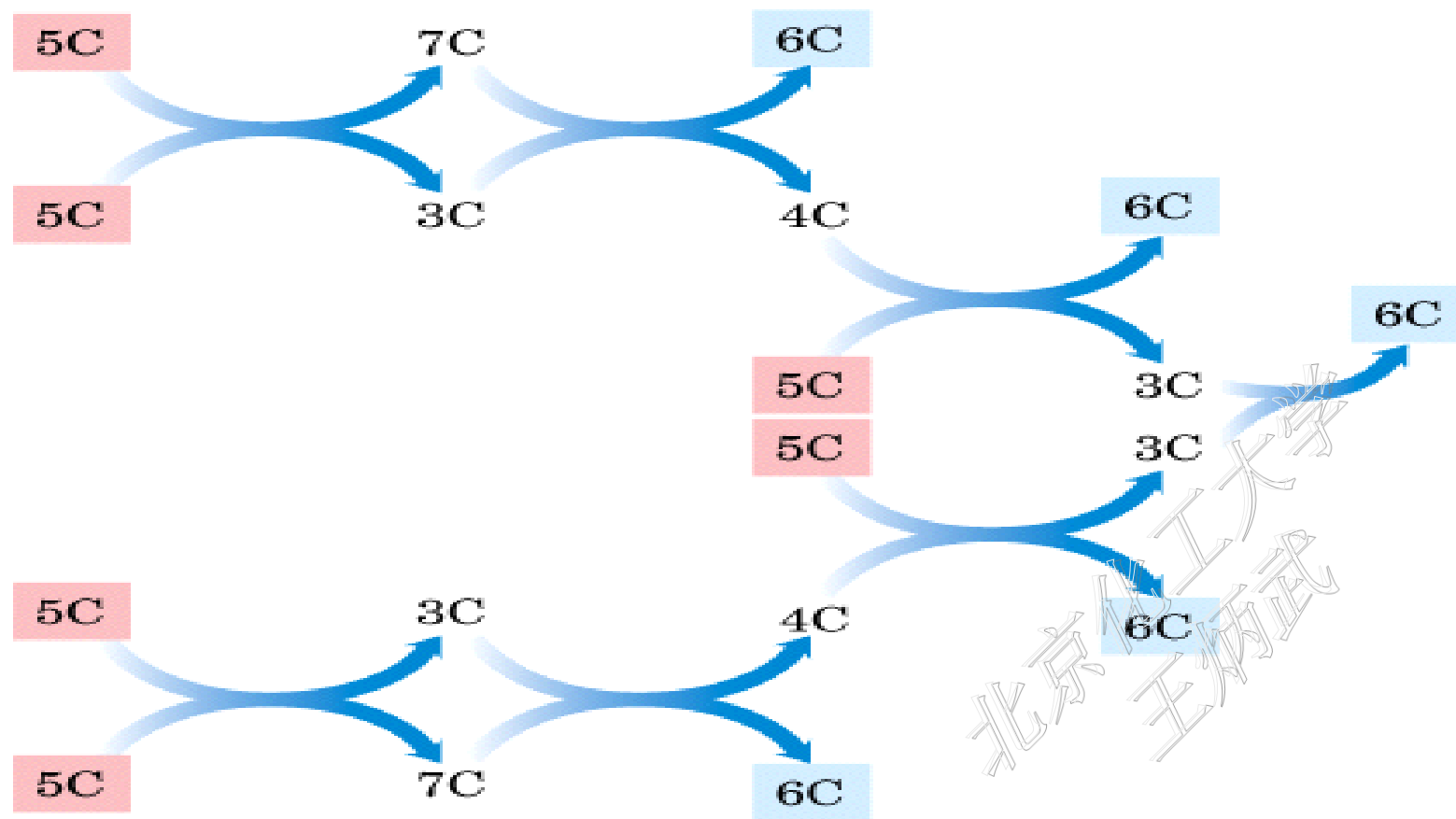
果糖-6-磷酸

8) 第二次异构化

* 磷酸己糖异构酶







(b)

生理意义

- * 为生物大分子合成提供还原剂NADPH
- * 还原谷胱甘肽，保护血红蛋白和巯基酶

北京化工大学
王炳武

- * 与戊糖代谢相联系
- * 特殊情况下提供能量 (G-6-P)
 - * $6 \times 2 \times 3 = 36\text{ATP}$

北京化工大学
王炳武

选择题

- 以NADPH形式贮存的氢主要来源于（ ）
- A、糖酵解 B、脂肪酸分解
- C、TCA循环 D、HMS途径

北京化工大学
王炳武

选择题

* 乙酰辅酶A彻底氧化，该过程的P/O为（ ）

* A、 2 B、 2.5 C、 3 D、 3.5

北京化工大学
王炳武

填空题

TCA循环中，异柠檬酸生成琥珀酸的P/O为____，
琥珀酸生成草酰乙酸的P/O为____。

北京化工大学
王炳武

选择题

- 下列酶催化反应中与二氧化碳的生成或者消耗无关的是（ ）
- A、6-P-葡萄糖酸脱氢酶
- B、异柠檬酸脱氢酶
- C、 α -酮戊二酸脱氢酶系
- D、苹果酸脱氢酶

北京化工大学
王炳武

选择题

- 磷酸戊糖途径以下说明**错误**的是（ ）
- A、6-P-葡萄糖可经此途径转变为磷酸戊糖
- B、此途径可提供四碳糖和七碳糖
- C、6-P-葡萄糖转变为磷酸戊糖时生成相同摩尔数的二氧化碳和NADPH
- D、6-P-葡萄糖经此途径分解不消耗ATP

北京化工大学
王炳武

第三节 糖类的合成代谢

植物：淀粉

动物：糖原、糖异生

北京化工大学
王炳武

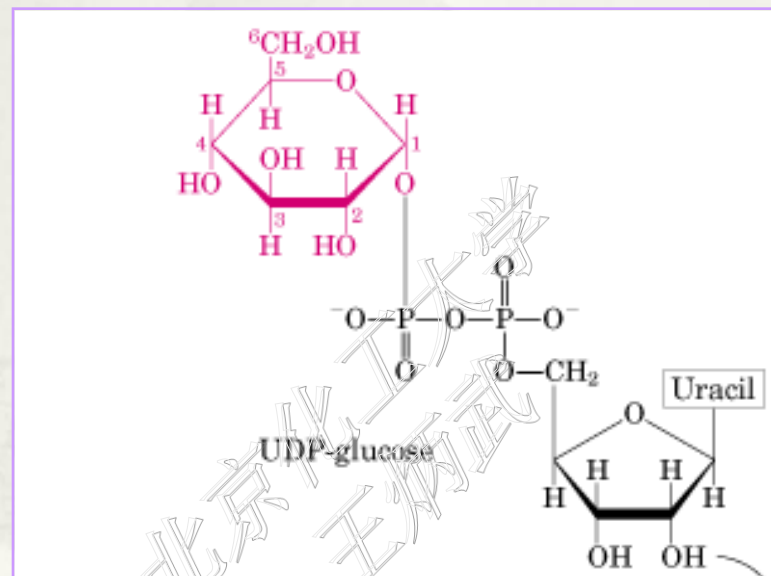
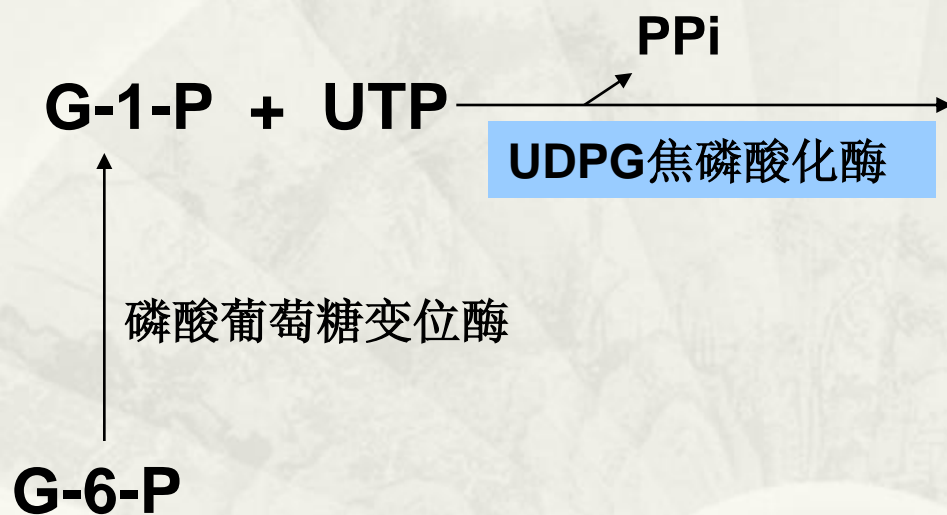
一、糖原的合成

- * 场所：细胞液
- * 原料：G
- * 消耗UTP
- * 反应历程
 - * 磷酸化生成G-6-P
 - * 磷酸变位生成G-1-P



* UDPG的生成

* UDPG焦磷酸化酶



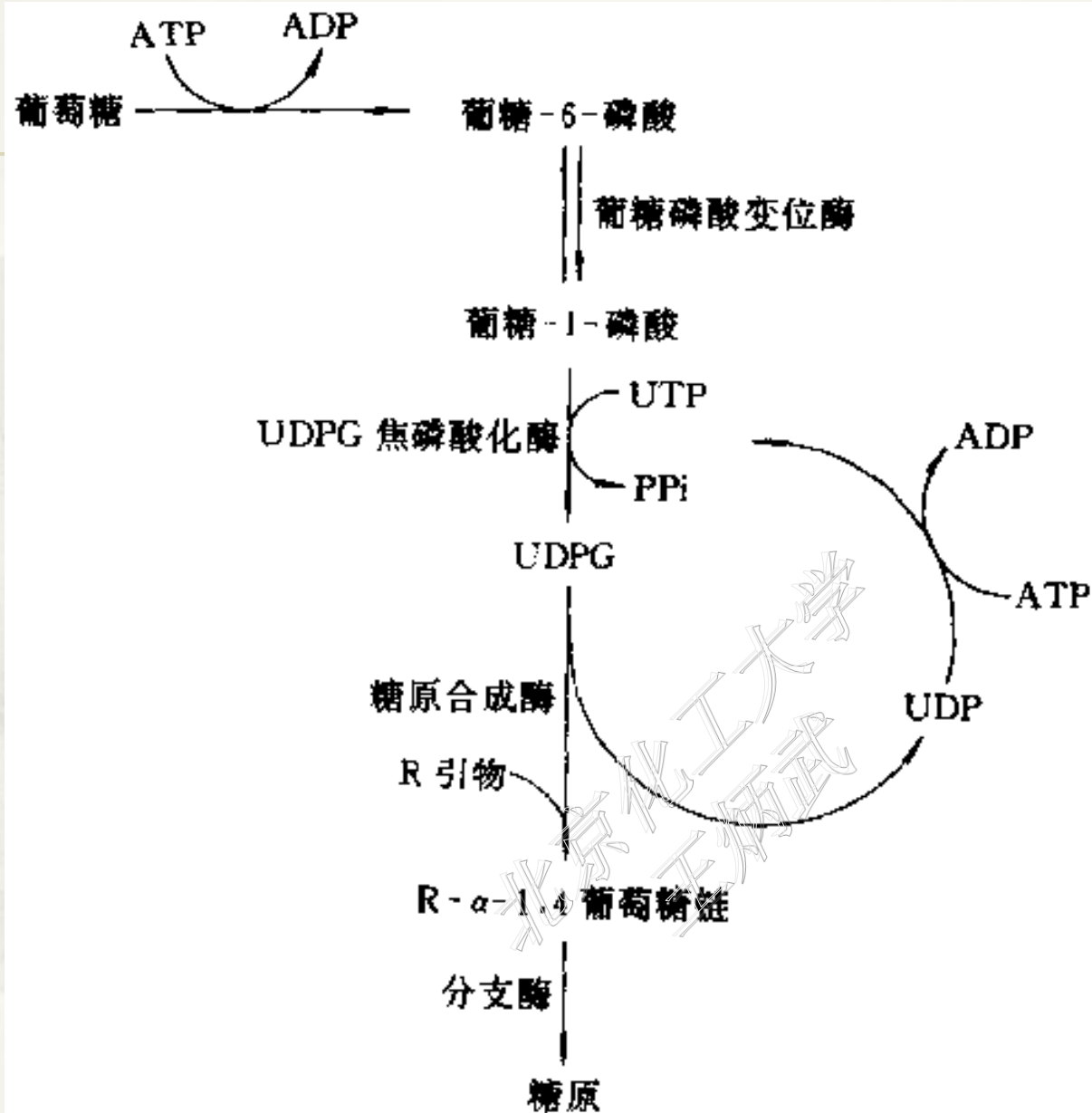
UDPG(尿苷二磷酸葡萄糖)

(活化的G)

* 糖链的延长

* 引物

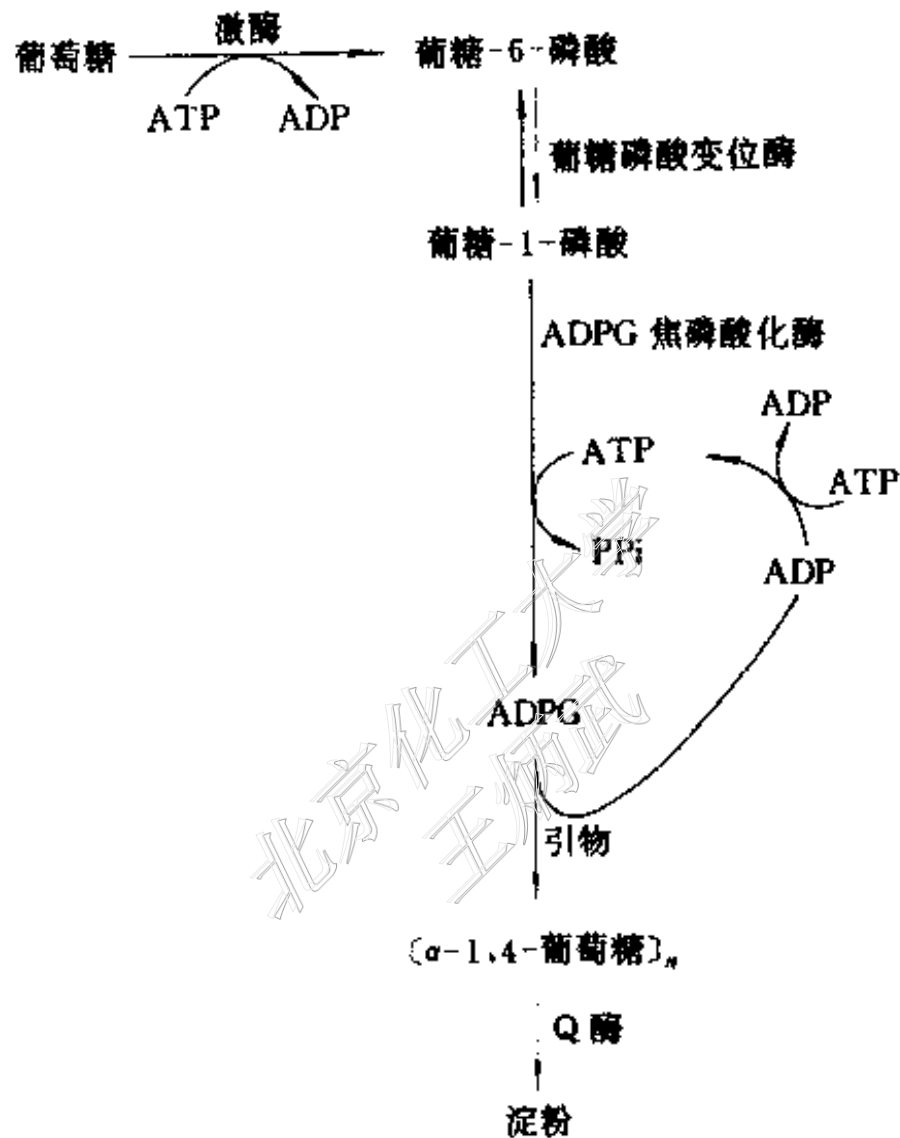
* 糖原合成酶



二、淀粉的合成

* 消耗ATP

* ADPG 焦磷酸化酶



三、糖异生作用

- * 基本上为糖酵解的逆行
- * 场所：主要在肝脏细胞的线粒体及细胞液
 - * 丙酮酸羧化酶位于线粒体内
- * 原料：乳酸、丙酮酸、甘油、某些氨基酸（生糖氨基酸、生糖兼生酮氨基酸）

北京化工大学
王炳武

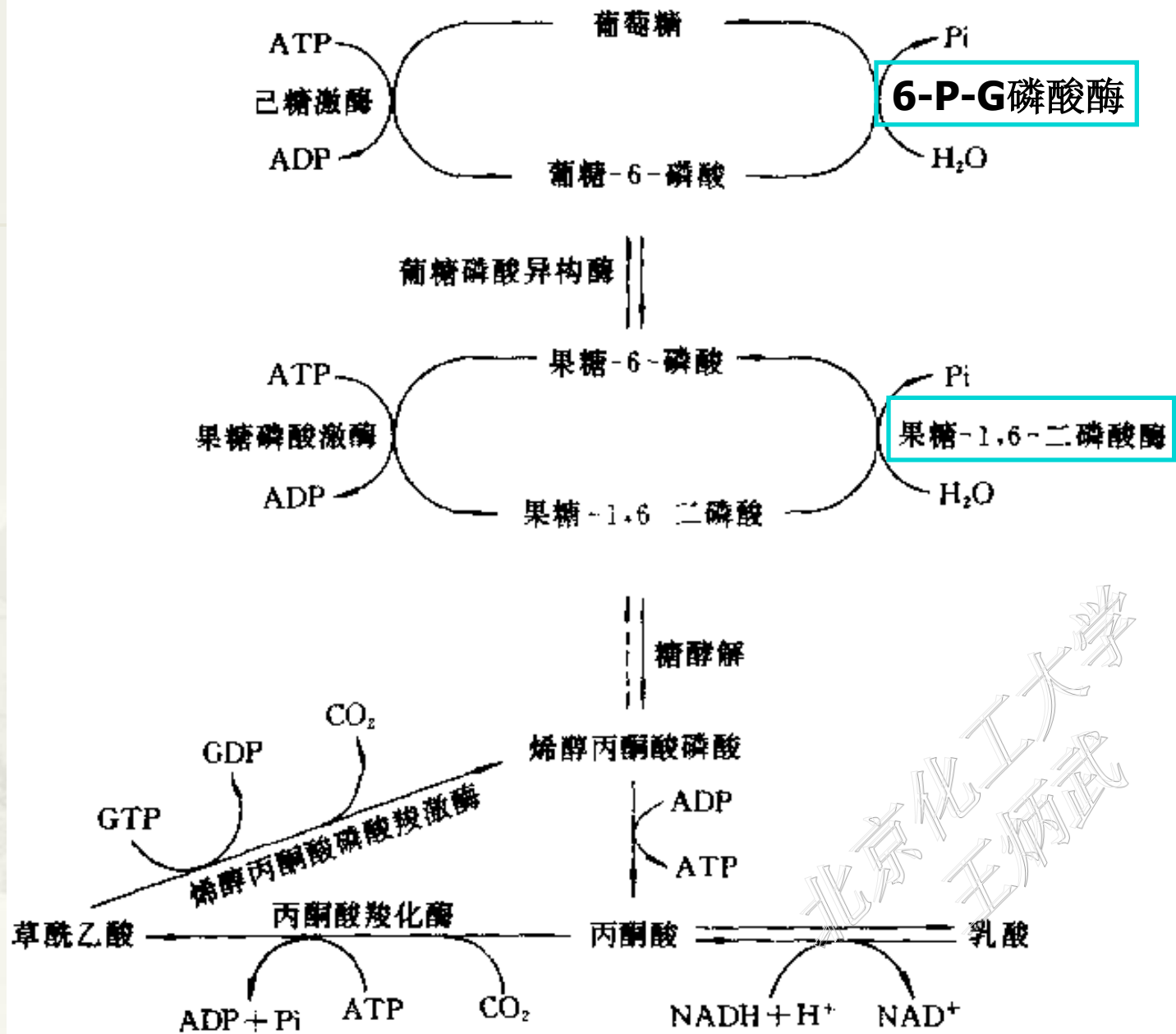


图 8-15 糖原异生作用

小结

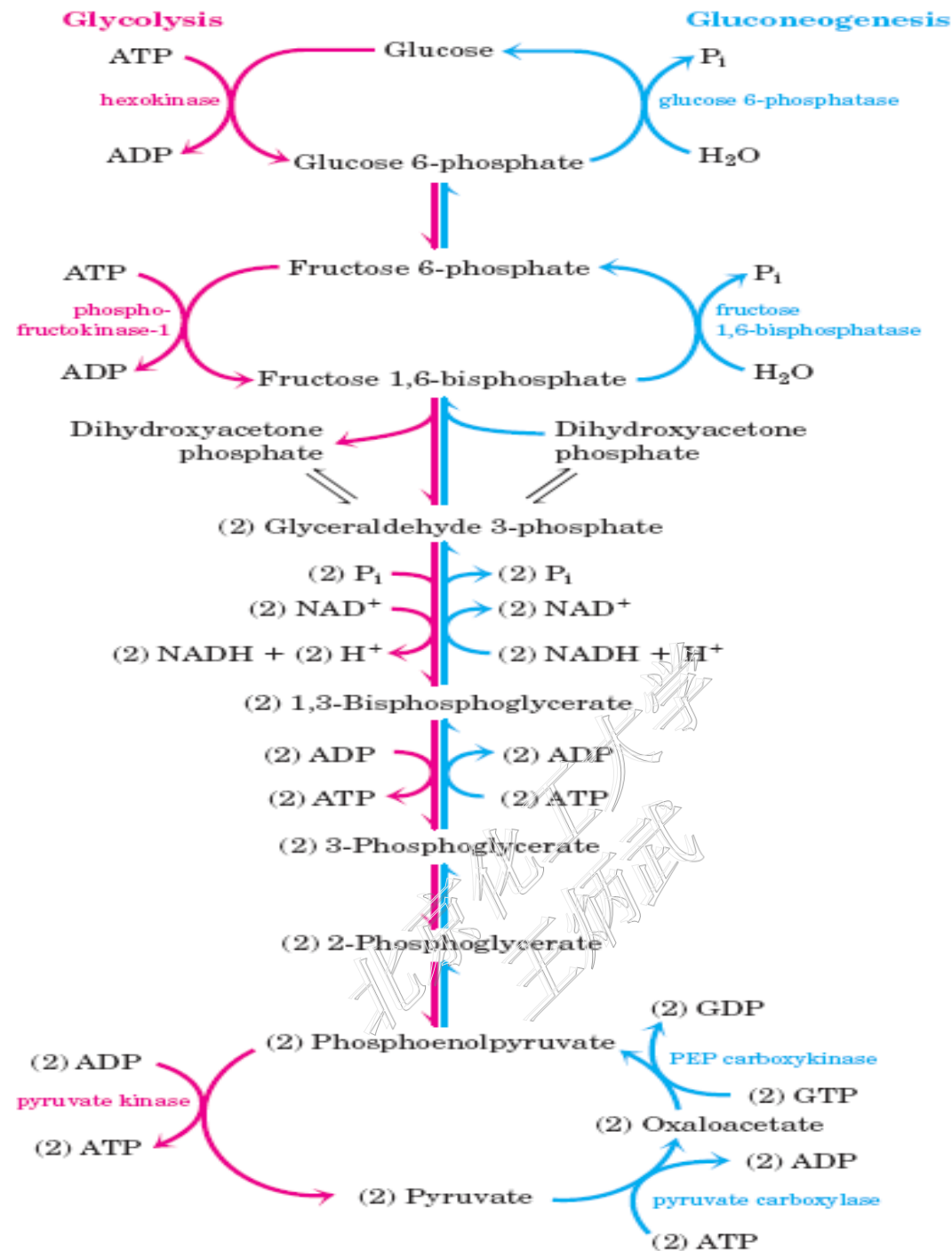
克服糖酵解的三步不可逆反应

- ① 丙酮酸转变成磷酸烯醇式丙酮酸
- ② 果糖1, 6-二磷酸水解为果糖-6-磷酸
- ③ 葡萄糖-6-磷酸水解为葡萄糖

糖酵解在细胞液中进行，糖异生则在线粒体和细胞液中进行。

北京化工大学
王炳武

能量变化?



意义

- * 人脑和红细胞对葡萄糖有高度依赖性，尤其在饥饿状态下葡萄糖异生尤为重要；
- * 回收乳酸分子中的能量：葡萄糖在肌肉组织中经糖的无氧酵解产生的乳酸，由于**肌肉内糖异生的能力很低**，乳酸不能生成葡萄糖，但可经血循环转运至肝脏，经糖异生作用生成葡萄糖后转运至肌肉组织加以利用，这一循环过程称为乳酸循环（Cori循环，1947年诺贝尔生理学或医学奖）

本章总结

- * 糖的消化和吸收
- * 糖酵解：步骤、能量变化、关键节点
- * TCA循环：步骤、能量变化、关键节点
- * 磷酸戊糖途径：能量变化、主要步骤
- * 乙醛酸循环
- * 糖原和淀粉的合成
- * 糖异生：关键节点

北京化工大学
王炳武

需要掌握的单词

- * glycolysis
- * fermentation
- * lactic acid
- * alcohol
- * ethanol
- * tricarboxylic acid cycle
- * citrate cycle
- * glyconeogenesis
- * metabolism
- * catabolism
- * anabolism

北京化工大学
王炳武

填空题

- * 糖异生的关键酶是____、____和____、____。
- * 1mol葡萄糖掺入糖原分子中，然后重新转变成游离葡萄糖，这一过程能量的净变化数是____mol。
- 两分子丙酮酸通过糖异生转变为一分子葡萄糖共消耗____分子ATP。

北京化工大学
王炳武

选择题

- 下列酶中催化糖酵解和糖异生过程的共同酶是
()
- A、己糖激酶 B、1,6-2P-果糖激酶
C、3-P-甘油醛脱氢酶 D、丙酮酸激酶

北京化工大学
王炳武

选择题

磷酸戊糖途径是在细胞的哪个部位进行的()

- A、细胞核 B、线粒体 C、细胞浆
D、微粒体 E、内质网

下列哪种途径在线粒体中进行()

- A、糖的无氧酵解 B、糖原的分解
C、糖原的合成 D、糖的磷酸戊糖途径
E、三羧酸循环

选择题

由糖原合成酶催化合成糖原的原料NDP-葡萄糖是指 ()

A、CDP-葡萄糖

B、UDP-葡萄糖

C、ADP-葡萄糖

D、GDP-葡萄糖

北京化工大学
王炳武

判断题

- * 乙醛酸循环是生物体内普遍存在的一条代谢途径，该循环可作为TCA循环的辅助途径之一。
- * 糖原合成中，葡萄糖的活化形式是UTPG。
- * 生物素是丙酮酸脱氢酶系的辅酶之一。

北京化工大学
王炳武

作业题

- * 如果人体细胞内无6-P-F激酶存在，葡萄糖如何转变为丙酮酸？写出详细反应顺序。
- * 在人体内， α -酮戊二酸彻底氧化生成二氧化碳和水，可以生成多少ATP？写明详细计算过程。

北京化工大学
王炳武

完毕!

北京化工大学
王炳武