第 29 环 · 别构酶

别构调节 allosteric regulation
华农 4 次 · 外校 4 校次

1. 定义 别构效应剂调节别构酶活性 **2.** 机制 结合别构中心 **3.** 机制 诱导构象改变 **4.** 机制 影响活性中心底物亲和力 **5.** 机制 酶活性增强或减弱 **6.** 特点 S形或表观双曲线 **7.** 意义 关键节点精准调控、适应代谢需求

反馈抑制 feedback inhibition
华农 5 次

1. 条件 终产物积累过多 **2.** 定义 抑制起始步骤关键酶 **3.** 定义 避免产物过量合成 **4.** 特点 快速可逆 **5.** 意义 节省代谢物和能量 **6.** 意义 维持代谢物浓度稳定

别构酶 allosteric enzyme
华农 1 次 · 外校 3 校次

1. 定义 具有别构调节特性的酶 **2.** 组成 多个亚基组成 **3.** 结构 活性中心和别构中心 **4.** 机制 诱导酶构象变化，影响亲和力 **5.** 特点 S 形或表观双曲线 **6.** 特点 灵敏响应效应剂浓度变化 **7.** 意义 关键节点精准调控反应速率

负反馈调节 negative feedback regulation
华农 1 次

1. 定义 产物积累到一定浓度 **2.** 定义 抑制上游关键酶或反应步骤 **3.** 定义 途径速度减慢、产物减少 **4.** 意义 避免物质过度合成与能量浪费 **5.** 意义 维持代谢稳态 **6.** 意义 最普遍、最重要的调节形式 **7.** 意义 广泛存在于酶活性、激素分泌等

大题 | 2019 生化 · 简答
真核细胞中酶的含量和活性受哪些途径调节

1. 活性①别构 PFK-1 ATP抑制 AMP激活
2. 活性②共价 糖原磷酸化酶磷酸化
3. 活性③酶原 胰蛋白酶原 肠激酶
4. 活性④调节蛋白 钙调蛋白 cAMP使PKA解离
5. 活性⑤寡聚体 寡聚体聚合与解聚
6. 活性⑥区隔化 底物产物浓度 区隔化
7. 含量①转录 转录水平诱导与阻遏 糖皮质激素诱导糖异生酶
8. 含量②mRNA mRNA加工与稳定性
9. 含量③翻译 翻译水平
10. 含量④降解 泛素-蛋白酶体 溶酶体途径

大题 | 2012 生化 · 问答
ATP 是 PFK 的底物，为什么 ATP 浓度高反而抑制它

1. 别构酶 PFK-1是别构酶，ATP有两种身份
2. 亲和力不同 活性中心亲和力高，别构部位亲和力低
3. 抑制机制 稳定低活性构象（T态），S形曲线右移
4. 激活物 AMP、ADP、果糖-2,6-二磷酸激活
5. 抑制剂 柠檬酸加强抑制
6. 能量充足 ATP多抑制PFK-1，避免浪费葡萄糖
7. 能量不足 AMP升高激活PFK-1，糖酵解加快
8. 限速酶 PFK-1糖酵解限速酶，能荷调节例子

大题 | 2012 生化 · 问答
ATP 是 PFK-1 的底物，为什么 ATP 多了反而抑制它

1. 结构基础 四聚体别构酶，两类 ATP 结合部位
2. 低 ATP 时 低 ATP 只占活性中心作底物
3. 高 ATP 时 高 ATP 结合别构部位
4. 别构效应 R 态转 T 态，F-6-P 亲和力降低，S 曲线右移
5. 调节物 AMP、ADP、果糖-2,6-二磷酸解除，柠檬酸加强
6. 生理意义 能量充足抑制糖酵解，AMP 升高激活
7. 地位 糖酵解限速酶，能荷调节典型例子

大题 | 2026 南开大学
举例说明变构酶结构特征及其在代谢调节中的作用。

1. 举例 磷酸果糖激酶-1（PFK-1）
2. 寡聚酶 四个亚基组成四聚体
3. 结合位点 两个ATP结合位点：活性中心、别构中心
4. 亲和力 与ATP亲和力不一样、活性中心高、别构中心低
5. 低能荷 能荷较低时ATP与活性中心结合、R态、糖酵解正常
6. 高能荷 能荷较高时ATP与别构中心结合、构象变化、T态
7. 亲和力降 T态与F-6-P亲和力降低
8. 动力学 S形曲线而非米氏双曲线
9. 快速调节 不消耗能量、不需共价修饰，反应迅速
10. 关键酶 位于起始或分支点，调控整条通路
11. 负反馈 ATP过多抑制，AMP升高激活，维持能量平衡
12. 协调途径 柠檬酸抑制糖酵解，促进糖异生与脂肪合成

第 30 环 · 共价修饰与酶原

共价修饰 covalent modification
外校 2 校次

1. 定义 酶蛋白分子上的氨基酸残基侧链 **2.** 定义 与特定化学试剂共价结合 **3.** 机制 改变活性部位结构和性质 **4.** 机制 活性与非活性互变 **5.** 意义 影响酶的催化活性 **6.** 分类 非特异性多个残基；特异性活性部位 **7.** 举例 活性部位丝氨酸羟基结合DFP失活

同工酶 isoenzyme
外校 1 校次

1. 定义 催化相同的化学反应 **2.** 特点 分子结构、理化性质、免疫性能差异
3. 特点 由不同基因编码 **4.** 特点 氨基酸序列、底物亲和性差异 **5.** 举例 乳酸脱氢酶
6. 意义 分布不同、研究代谢调节等重要作用

酶原激活 zymogen activation
外校 1 校次

1. 定义 生物体的一种调控机制 **2.** 定义 不具有生物活性的酶原
3. 条件 特定的蛋白水解酶作用 **4.** 机制 空间结构变化形成酶的活性部位
5. 过程 转变成具有生物活性的酶 **6.** 特点 过程不可逆 **7.** 意义 确保迅速有效发挥催化作用

大题｜2009 生化・问答
酶的化学修饰及其机理和在代谢调节中的意义（14 分）

1. 定义类型 在另一种酶催化下共价结合/脱去基团，活性转变，磷酸化/腺苷酰化/乙酰化/甲基化
2. 例一 糖原磷酸化酶Ser14磷酸化酶激酶ATP b→a；磷酸酶-1去磷酸化；糖原合酶相反
3. 例二 谷氨酰胺合成酶Tyr腺苷酰化活性降低
4. 机理一 修饰/去修饰由两种不同的酶催化，ATP提供磷酸基
5. 机理二 磷酸基改变电荷/空间位阻→构象改变→活性中心/亚基相互作用改变
6. 机理三 激素经第二信使cAMP启动级联
7. 意义一 不同的酶催化，各自受调控，开关灵活
8. 级联放大 少量激素信号→cAMP→PKA→磷酸化酶激酶→磷酸化酶，大量酶活性改变
9. 意义三 比合成新酶快；与别构调节配合迅速应答；ATP经济
10. 酶原激活 胰凝乳蛋白酶原切Arg15–Ile16，肽键不可逆
11. 构象调整 Ile16 N端与Asp194盐键，氧负离子洞/专一性口袋成形
12. 意义 保护分泌器官，特定时间部位，用于消化、凝血、凋亡

大题｜2017 生化・分析
怎样证明双功能酶的两种反应发生在同一催化部位（6 分）

1. 原则 同一部位同进同退
2. 底物竞争 底物竞争性抑制
3. 抑制剂 同时相同比例丧失且底物保护
4. 定点突变 定点突变催化必需残基
5. 蛋白酶解 两种活性分别保留在不同片段
6. 辅助证据 热失活速率与pH曲线一致

大题｜2026 郑州大学
酶原激活的本质是什么？以胰蛋白酶原激活为例，说明这一过程的机制及生理功能。

1. 本质 生物体的一种调控机制
2. 本质 无活性的酶原形式被合成
3. 本质 水解（其他蛋白酶或自我催化）
4. 本质 去除氨基酸序列后才有活性
5. 部位 胰腺细胞分泌进入小肠
6. 激活条件 有Ca2+受肠激酶激活
7. 水解位点 Lys6-Ile7肽键，从氨基端水解酸性6肽
8. 构象变化 构象变化形成活性部位
9. 生理功能 保护器官免受消化
10. 举例 消化胰腺自身组织，导致急性胰腺炎
11. 特定部位 保证酶在特定部位发挥作用
12. 消化过程 确保消化准确高效，防止过早或错误部位消化

第 31 环 · 辅酶

一碳单位 one-carbon unit
外校 5 校次

1. 定义 具有一个碳原子的基团 **2.** 定义 不包括CO2
3. 分类 亚氨甲基、甲基、羟甲基、亚甲基 **4.** 特点 不能游离存在，与四氢叶酸结合转运
5. 意义 与许多氨基酸的代谢直接有关 **6.** 意义 参与嘌呤和嘧啶及磷脂的生物合成

辅酶 coenzyme
外校 4 校次

1. 定义 辅因子中的小分子有机物质 **2.** 特点 与脱辅酶结合松弛 **3.** 特点 透析可除去
4. 举例 辅酶 I 、辅酶 II **5.** 机制 传递电子、基团或化学环境 **6.** 意义 许多酶活性所必需

烟酰胺腺嘌呤二核苷酸（NAD^+）
nicotinamide adenine dinucleotide
华农 1 次

1. 分类 辅酶 I （NAD、DPN） **2.** 组成 含有烟酰胺 **3.** 定义 腺嘌呤核苷酸的衍生物
4. 机制 氧化途径（分解代谢）中电子受体

TPP thiamine pyrophosphate
华农 1 次

1. 定义 焦磷酸硫胺素 **2.** 定义 维生素 B_1 的活性形式 **3.** 组成 丙酮酸脱氢酶辅酶
4. 组成 α-酮戊二酸脱氢酶辅酶 **5.** 组成 转酮酶辅酶 **6.** 过程 参与α-酮酸氧化脱羧
7. 过程 二碳单位转移

转氨酶 transaminase (aminotransferase)
华农 1 次

1. 定义 催化转氨基反应的酶 **2.** 组成 以磷酸吡哆醛为辅酶
3. 过程 氨基转移给另一个α-酮酸 **4.** 过程 生成新的氨基酸和α-酮酸
5. 举例 谷丙转氨酶、谷草转氨酶 **6.** 意义 参与氨基酸分解与合成代谢

辅基 prosthetic group

外校 1 校次

1. 定义 以共价键和脱辅酶结合的辅因子　**2.** 分类 松紧程度不同可分为辅酶和辅基

3. 特点 不能通过透析除去　**4.** 特点 化学处理才能与蛋白分开　**5.** 举例 铁卟啉、FAD

大题｜2022 生化・简答

缺硫胺素和生物素为什么使脂肪酸合成变慢

1. 合成原料 胞质合成，原料乙酰CoA

2. 缺硫胺素 TPP是丙酮酸脱氢酶复合体辅酶

3. 原料不足 TPP不足，乙酰CoA生成减少

4. TCA影响 α-酮戊二酸脱氢酶受影响，ATP下降

5. NADPH减少 柠檬酸减少，苹果酸酶产生NADPH减少

6. 限速步骤 乙酰CoA羧化酶羧化成丙二酸单酰CoA

7. 缺生物素 生物素是辅基，不足限速步骤变慢

8. 总结 一个断了原料，一个卡住限速酶

大题｜2013 生化・分析

^{14}C 标记甲硫氨酸的甲基怎样跑进 DNA（9 分）

1. 生成SAM 甲硫氨酸腺苷转移酶作用下生成SAM

2. 甲基供体 DNA甲基转移酶以SAM为甲基供体

3. 转移位点 ^{14}C甲基转移到GATC腺嘌呤N^6

4. 产物 SAM变为S-腺苷同型半胱氨酸

5. 结论 ^{14}C掺入DNA甲基而不是碱基骨架

6. 为什么快 子链半甲基化甲基转移酶补上

7. 错配修复 MutH识别半甲基化GATC切开新链

8. 限制修饰 甲基化保护自身DNA噬菌体DNA被切掉

9. 调控 oriC半甲基化抑制再起始

大题｜2022 生化・简答

缺硫胺素和生物素为什么使脂肪酸合成变慢（与 NADPH 的关系）

1. 缺硫胺素 缺B_1使PDH产生乙酰CoA减少

2. 缺生物素 缺生物素使乙酰CoA羧化酶失活

3. NADPH需求 每加二碳单位要2 NADPH

4. NADPH来源 NADPH主要来自戊糖磷酸途径和苹果酸酶

5. 缺硫胺素 转酮酶以TPP为辅酶影响戊糖磷酸途径

6. 乙酰CoA 柠檬酸运出减少使苹果酸酶NADPH减少

大题｜2022 生化・简答

缺硫胺素和生物素为什么使脂肪酸从头合成变慢

1. 硫胺素辅酶 TPP是丙酮酸脱氢酶复合体辅酶

2. 原料不足 丙酮酸不能生成乙酰CoA，缺少碳源

3. 转酮醇酶 TPP是戊糖磷酸途径转酮醇酶辅酶

4. 次要原因 缺TPP回路受阻，NADPH减少

5. 限速酶辅基 生物素是限速酶乙酰CoA羧化酶辅基

6. 限速步骤 乙酰CoA不能羧化成丙二酸单酰CoA

7. 丙酮酸羧化酶 生物素是丙酮酸羧化酶辅基

8. 草酰乙酸不足 草酰乙酸不足，柠檬酸减少，NADPH减少

9. 乙酰基运出 柠檬酸-丙酮酸循环运出乙酰CoA减少

大题｜精华例题

B 族维生素的辅酶形式与作用（小题汇总）

1. B_1辅酶 TPP；α-酮酸氧化脱羧、转移二碳；丙酮酸脱氢酶、α-酮戊二酸脱氢酶、转酮酶；脚气病

2. B_2辅酶 FMN、FAD传递氢（1或2个电子）；琥珀酸脱氢酶、脂酰CoA脱氢酶、复合体Ⅰ；口角炎

3. PP辅酶 NAD^+、$NADP^+$传递氢负离子；各种脱氢酶；糙皮病

4. 泛酸辅酶 CoA、ACP携带、活化酰基（硫酯键）；β-氧化、脂肪酸合成、PDH

5. B_6辅酶 PLP转氨、脱羧、消旋；氨基酸脱羧酶、糖原磷酸化酶

6. 生物素辅酶 生物胞素携带活化CO_2、羧化；丙酮酸羧化酶、乙酰CoA羧化酶；生吃蛋清

7. 叶酸辅酶 FH_4一碳单位（不搬CO_2）；嘌呤、胸苷酸合成；巨幼红细胞贫血

8. B_{12}形式与作用 5′-脱氧腺苷钴胺素、甲基钴胺素；转甲基、分子内重排；甲硫氨酸合酶、甲基丙二酸单酰CoA变位酶；恶性贫血

9. 陷阱① 脱下的氢先交给FAD（E3），最终交给NAD^+

10. 陷阱② FMN、TPP、PLP、生物素、FH_4不含腺苷酸；NAD^+、FAD、CoA含腺苷酸

11. 陷阱③ 生物素搬CO_2，FH_4搬一碳单位

12. 陷阱④ 体内直接甲基供体是SAM；叶酸和B_{12}参与甲硫氨酸再生

13. 陷阱⑤ 维生素C不是辅酶前体，是还原剂和羟化酶辅因子

大题｜2025 东北师范大学

请简述水溶性维生素及其相关辅酶。

1. 总述 B族构成辅酶，肝脏最丰富，不能储存自尿排出

2. B1 TPP是α-酮酸氧化脱羧酶及转酮酶辅酶

3. B2 FMN和FAD黄素蛋白辅基，氧化还原传递氢

4. PP 烟酸烟酰胺，NAD+和NADP+脱氢酶辅酶

5. B6 磷酸吡哆醛/胺是氨基酸代谢辅酶，转氨消旋脱羧

6. 泛酸 CoA和磷酸泛酰巯基乙胺传递酰基

7. 生物素 羧化酶辅基，活动性羧基载体，生物胞素

8. 叶酸 四氢叶酸是一碳单位受体和供体

9. B12 腺苷钴胺素/甲基钴胺素，重排、还原、甲基转移

10. 硫辛酸 硫辛酰胺残基，丙酮酸/α-酮戊二酸脱氢酶复合物

11. 硫辛酸作用 偶联酰基转移和电子转移

12. 维生素C 维生素C抗坏血酸，电子载体，羟化酶辅酶

大题｜2026 南开大学

叶酸在体内的活化形式是什么？简述叶酸的生化作用。

1. **活化形式** 四氢叶酸(THF)/辅酶F
2. **两步还原** 二氢叶酸还原酶连续还原叶酸
3. **一碳单位** 一碳单位受体和供体
4. **嘌呤合成** 提供嘌呤环C-2和C-8一碳单位
5. **dTMP合成** 胸苷酸合成酶催化dUMP甲基化为dTMP
6. **氨基酸代谢** 丝氨酸和甘氨酸相互转化、组氨酸分解

第 32 环 · 脂溶性维生素

脂溶性维生素 lipid-soluble vitamin

华农 1 次

1. **定义** 不溶于水、易溶于脂肪及脂溶剂
2. **举例** 维生素 A、D、E、K
3. **特点** 吸收伴随脂肪吸收、肝内储存
4. **特点** 过量易蓄积中毒
5. **意义** 维持视觉、骨骼代谢、抗氧化及凝血

大题｜2025 南开大学

一分子胡萝卜素转换成几分子维生素 A，为什么胡萝卜要和肉一起炒着吃?

1. **数量** 一分子β-胡萝卜素转化为2分子维生素A
2. **结构原因** 两个维生素A基本骨架对称连接
3. **裂解** 肠道黏膜加氧酶裂解为两分子视黄醛
4. **还原** 视黄醛还原为视黄醇
5. **脂溶性** 胡萝卜素是脂溶性物质
6. **吸收条件** 脂肪作为溶剂和载体帮助溶解在脂中
7. **肉的作用** 肉类提供脂肪
8. **吸收** 肠道上皮细胞吸收

大题｜2026 中国科学技术大学

缺乏维生素 A 导致夜盲症的生化机制是什么?

1. **成分** 维生素A是感光物质的成分
2. **感光物质** 视杆细胞内含有感光物质视紫红质
3. **组成** 视紫红质由11-顺视黄醛形成
4. **来源** 视黄醛是维生素A的氧化产物
5. **条件** 对弱光的感光性取决于视紫红质的合成
6. **原因** 11-顺视黄醛得不到足够的补充
7. **结果** 视紫红质合成受阻
8. **表现** 视网膜不能很好地感受弱光
9. **结论** 暗适应能力降低，出现夜盲症

第 33 环 · 脂质

必需脂肪酸 essential fatty acid

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 多不饱和脂肪酸
2. **定义** 自身无法合成、必须从食物获取
3. **机制** 不能向脂肪酸中引进超过△9的双键
4. **举例** 亚油酸和α-亚麻酸
5. **分类** ω-6和ω-3系列脂肪酸的前体
6. **意义** 参与细胞膜构成与活性脂质合成
7. **意义** 生长发育、视力、心血管健康

多不饱和脂肪酸 polyunsaturated fatty acid

外校 1 校次

1. **定义** 含有两个及以上双键的长链脂肪酸
2. **组成** 细胞膜磷脂的重要组成
3. **特点** 调节膜流动性与通透性
4. **分类** Omega-3、Omega-6
5. **意义** 抗炎、保护心血管
6. **意义** 维持视力与大脑功能
7. **条件** 自身无法合成，需从食物中获取

糖脂 glycolipid

外校 1 校次

1. **定义** 含有糖基的脂质
2. **结构** 糖苷键连接脂质极性头部
3. **结构** 非极性尾部伸入脂双层
4. **结构** 糖基暴露在细胞表面
5. **功能** 参与细胞识别、信号传递和免疫反应
6. **特点** 种类和分布反映组织器官特异性
7. **举例** 神经节苷脂

皂化值 saponification value

外校 1 校次

1. **定义** 油脂的碱水解称为皂化
2. **定义** 皂化1g油脂所需KOH mg数
3. **过程** 脂肪酸盐俗称皂
4. **意义** 三酰甘油中脂肪酸平均链长
5. **意义** 三酰甘油平均相对分子质量

结构脂质 structural lipid

外校 1 校次

1. **定义** 为生物膜提供结构框架和物理特性
2. **组成** 磷脂、糖脂和固醇
3. **特点** 两亲性：亲水基团+疏水脂肪酸链
4. **意义** 自发组装成脂质双分子层
5. **意义** 构成生物膜基本骨架
6. **意义** 分隔环境、维持独立内环境

脂类 lipids

外校 1 校次

1. **定义** 化学上多种多样的生物有机分子
2. **特点** 低溶或不溶于水、高溶于非极性溶剂
3. **组成** 脂肪酸和醇形成的酯及其衍生物
4. **分类** 简单脂质、复合脂质、衍生脂质
5. **分类** 贮存脂质、结构脂质、活性脂质

鞘磷脂 sphingomyelin
外校 1 校次

1. 定义 是一种磷脂　**2.** 结构 神经酰胺C1位含磷酸胆碱/磷酸乙醇胺　**3.** 结构 作为极性头基
4. 特点 一般性质、三维结构、头基净电荷　**5.** 特点 与磷脂酰胆碱和磷脂酰乙醇胺相似
6. 分类 跟甘油磷脂归于磷脂类　**7.** 场所 动物细胞质膜、髓鞘

鞘脂 sphingolipid
外校 1 校次

1. 组成 脂肪酸、鞘氨醇或衍生物、极性头醇　**2.** 特点 鞘氨醇是许多长链氨基醇母体
3. 特点 哺乳动物中较丰富　**4.** 结构 极性头基与鞘氨醇羟基结合
5. 结构 脂肪酸与氨基形成酰胺键　**6.** 意义 生物膜重要组成成分，神经组织丰富
7. 意义 维持细胞膜完整性和功能

大题｜2025 安徽大学
硬脂酸和油酸的熔点哪一个高?为什么?

1. 结论 硬脂酸熔点较高
2. 硬脂酸结构 硬脂酸饱和直链无碳碳双键
3. 油酸结构 油酸一个碳碳双键使链弯曲
4. 硬脂酸原因 硬脂酸紧密堆积，范德华力强
5. 油酸原因 油酸无法紧密堆积，范德华力减弱

大题｜2025 哈尔滨工业大学
根据生理功能不同，对脂质进行分类。

1. 贮存脂质 贮存脂质：三酰甘油和蜡
2. 贮存功能 三酰甘油主要贮能
3. 蜡功能 蜡是海洋浮游生物能量储库
4. 结构脂质 结构脂质：磷脂、糖脂、胆固醇
5. 结构功能 结构脂质是生物膜的结构成分
6. 活性脂质 活性脂质：小量但具专一生物活性
7. 活性举例 辅因子、吸光色素成分

大题｜2025 华东师范大学
很多人认为脂肪不好，说明脂肪的功能。

1. 能量功能 能量密度最高
2. 储能 多余能量储存脂肪组织
3. 供能 甘油和脂肪酸β-氧化产生ATP
4. 保护 物理结构提供保护
5. 原料 合成关键生理物质原料
6. 吸收 脂溶性维生素A、D、E、K依赖脂肪吸收

大题｜2025 南开大学
简述膜脂的基本类型、结构特征及其功能。

1. 基本类型 两亲性分子、甘油磷脂、胆固醇、鞘脂
2. 甘油磷脂含量 占膜脂50%以上
3. 甘油磷脂结构 极性头、两个非极性尾，心磷脂4个非极性尾部
4. 碳链与顺式 碳链偶数16/18/20，顺式双键约30°弯曲
5. 甘油磷脂功能 生物膜基本成分，PI信号转导
6. 鞘脂类型 鞘氨醇衍生物，高尔基体，分鞘磷脂和糖脂
7. 鞘脂结构 磷酸胆碱、寡糖链，脂双层厚度较甘油磷脂更大
8. 鞘脂功能 共同组成生物膜，细胞信号转导
9. 固醇结构 4个闭环碳氢化合物、羟基、刚性很强两性化合物
10. 固醇双分子层 不超过膜脂1/3，不能形成脂双层，插入磷脂分子之间
11. 固醇功能 调节流动性、增加稳定性、降低水溶性物质通透性
12. 固醇其他功能 脂筏、生物活性分子前体、细胞分裂

第 34 环 · 脂双层

脂质体 liposome
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 磷脂分子水相形成脂双层膜的人工膜　**2.** 机制 极性端插入水相、尾部面向空气
3. 过程 搅动后形成乳浊液、极性端向外微团　**4.** 结构 双层脂分子的球形脂质体
5. 意义 生物膜研究材料　**6.** 举例 裹DNA、包裹药物或酶
7. 意义 结合单克隆抗体靶向给药减少损伤

生物膜 biomembrane
华农 1 次

1. 定义 细胞质膜和细胞内各种膜总称　**2.** 组成 磷脂等极性脂和蛋白质组成
3. 结构 磷脂双分子层为基本骨架　**4.** 结构 蛋白质镶嵌或附着其上　**5.** 结构 厚度5～10nm
6. 特点 结构和功能不对称性　**7.** 意义 物质转运、能量转换等生命活动

膜相结构 membranous structure
华农 1 次

1. 定义 质膜与细胞器膜统称　**2.** 组成 脂质、蛋白质和糖类　**3.** 结构 细胞或细胞器界膜
4. 意义 维持内环境稳定　**5.** 意义 物质运输、能量转换、信息传递

疏水作用 hydrophobic interaction
外校 1 校次

1. 定义 介质水中疏水分子或分子基团聚集　**2.** 定义 非极性分子之间弱的非共价作用力
3. 特点 避开水而相互聚集的倾向　**4.** 机制 熵驱动的自发过程
5. 意义 维持生物大分子三维结构

大题｜2013 细胞・实验

用脂质体研究膜蛋白（以 ATP 酶为例）的功能

1. 原理 脂质体是封闭脂双层不透离子
2. 原理 蛋白脂质体没有其他膜蛋白干扰
3. 分离纯化 Triton X-100 溶解膜，纯化 ATP 酶
4. 重组 透析或凝胶过滤除去去污剂
5. 检测 外液加入 ATP 和待测离子
6. 检测 放射性同位素或荧光探针测内外离子浓度变化
7. 检测 同时测 ATP 水解速率
8. 对照 不加 ATP、空脂质体、哇巴因抑制
9. 结论 离子逆浓度梯度积累、被抑制剂阻断

大题｜2026 南京师范大学

脂双层的主要结构特点及功能。

1. 结构特点 磷脂双分子层构成基本骨架
2. 磷脂排列 亲水头部面向外侧，疏水尾部面向内侧
3. 膜蛋白 膜蛋白镶嵌形式与不对称性
4. 流动性 蛋白质和磷脂旋转和横向扩散
5. 糖被 糖蛋白/糖被和糖脂
6. 功能 控制跨膜离子浓度梯度和电位梯度
7. 物质运输 控制物质运输、调节细胞内代谢
8. 分隔作用 内膜系统分隔代谢途径、富集酶类
9. 可逆结合 膜与酶的可逆结合、双关酶
10. 信号调节 信号途径调节、G蛋白偶联受体、受体酪氨酸激酶

第 35 环 • 流动镶嵌模型

脂筏模型 lipid raft model
外校 2 校次

1. 定义 描述生物膜结构 **2.** 组成 甘油磷脂为主体 **3.** 结构 胆固醇鞘磷脂富集有序脂相
4. 过程 高尔基体形成转移质膜 **5.** 特点 与膜下细胞骨架蛋白交联
6. 意义 信号转导、跨膜运输、病原侵染

荧光漂白恢复 fluorescence recovery after photobleaching
华农 1 次

1. 定义 检测标记分子运动及迁移速率的技术 **2.** 场所 在活体细胞表面或细胞内部
3. 组成 荧光分子与蛋白或脂质偶联 **4.** 机制 分为光漂白与荧光恢复两步
5. 过程 高能激光照射使荧光不可逆淬灭 **6.** 过程 周围荧光分子向漂白区迁移恢复

脂筏 lipid raft
华农 1 次

1. 定义 富含鞘磷脂和胆固醇的膜脂微区 **2.** 特点 高度动态
3. 特点 分子排列紧密、流动性较低 **4.** 结构 直径10~200 nm
5. 功能 参与细胞信号传递、物质运输 **6.** 意义 与病毒感染、阿尔茨海默病、肿瘤相关

流动镶嵌模型 fluid mosaic model
外校 1 校次

1. 过程 水相中自发形成封闭膜系统 **2.** 结构 疏水性尾部相对、极性头部朝向水相
3. 结构 磷脂双分子层（小叶） **4.** 组成 蛋白质镶嵌在脂双层中或结合表面
5. 特点 蛋白质分布不对称性 **6.** 定义 蛋白质在脂双层中的二维溶液
7. 特点 相互作用限制膜脂与膜蛋白流动性

生物膜流动性 membrane fluidity
外校 1 校次

1. 定义 脂质分子和蛋白质分子不断运动 **2.** 特点 生物膜的基本特征之一
3. 特点 膜脂的流动性更强 **4.** 过程 侧向扩散、转动、伸缩、上下翻转
5. 机制 上下翻转需要亲水头穿过疏水核心 **6.** 特点 热力学不利、频率较低

细胞质膜 plasma membrane
外校 1 校次

1. 定义 围绕细胞最外层的生物膜 **2.** 组成 脂质、蛋白质和糖类 **3.** 特点 选择性通透屏障
4. 结构 作为细胞的界膜 **5.** 意义 稳定内环境、选择性运输物质
6. 意义 细胞识别与信息跨膜传导 **7.** 意义 为多种酶提供结合位点

大题｜2026 生化・问答

低温下细菌为何增加不饱和度；胆固醇的双相调节

1. 前提 膜要保持适当的流动性
2. 低温后果 液晶态转为凝胶态
3. 低温后果 载体、酶、受体难以工作
4. 结构原因 顺式双键弯折、不能紧密排列、范德华减弱
5. 低温时 增加不饱和脂肪酸、缩短链长、支链脂肪酸
6. 第一问结论 降低相变温度、保持流动、恒黏性适应
7. 高温时 增加饱和脂肪酸比例、防止过于流动
8. 高温时 甾环限制摆动、降低流动性、不过于流动
9. 低温时 插在脂肪酸链之间、防止凝胶态、维持流动性
10. 结果 相变平缓甚至消失、中等流动性、缓冲作用

大题｜2015 细胞・简答、2012 细胞・问答

膜的不对称性

1. 膜脂 外层磷脂酰胆碱和鞘磷脂，内层磷脂酰丝氨酸
2. 膜蛋白 膜蛋白固定方向不翻转，外周蛋白胞质侧
3. 膜糖 糖链全部朝向细胞外构成糖萼
4. 形成1 甘油磷脂内质网胞质侧合成，乱序酶分配
5. 形成2 翻转酶消耗ATP把PS、PE转到胞质侧
6. 形成3 鞘磷脂和鞘糖脂高尔基体腔面合成
7. 形成4 膜蛋白插入方向确定，糖基化在腔内
8. 意义1 膜功能方向性：物质单向运输、受体
9. 意义2 内层PI磷酸化成PIP_2供磷脂酶C
10. 意义3 PS外翻：凋亡被吞噬、凝血因子

大题｜2018 细胞・论述

脂筏模型

1. 概念 流动镶嵌模型基础上鞘脂胆固醇微区
2. 概念 像筏漂浮在液态脂双层、承载膜蛋白
3. 结构特征① 富含鞘脂（长而饱和脂肪酸链）和胆固醇
4. 结构特征① 更厚、更有序、流动性较低
5. 结构特征② GPI锚定蛋白、脂酰化信号蛋白、部分受体
6. 结构特征③④ 体积小动态、可聚集、低温去污剂抗性
7. 作用① 信号转导平台、受体与下游信号分子聚集
8. 作用② 膜泡运输、蛋白质分选、小窝蛋白介导胞吞
9. 作用③ 病原体（病毒）入侵、毒素进入
10. 作用④ 胆固醇稳态、神经退行性疾病

大题｜精华例题

膜的流动性：方式、影响和实验证明

1. 方式① 侧向扩散：同一层内与邻近分子交换位置，最快主要方式
2. 方式②③ 绕自身长轴旋转；脂肪酸链的摆动和弯曲
3. 方式④ 翻转：翻到另一层，极慢，靠翻转酶
4. 影响举例 载体、通道构象变化；受体与G蛋白在膜中相遇
5. 影响举例 细胞融合与分裂、胞吞胞吐、膜蛋白聚集与脂筏形成
6. 流动性大小 过大或过小受损；低温增加不饱和脂肪酸
7. 融合实验 不同颜色荧光抗体分别标记人和小鼠膜蛋白，融合
8. 融合结果 刚融合时两种颜色各占一半
9. 融合结果 37°C、40分钟混匀，低温变慢；膜蛋白侧向运动
10. FPR原理 荧光染料标记膜脂或膜蛋白，激光不可逆漂白一小块
11. FPR原理 未漂白分子扩散进来，荧光恢复；速度反映侧向扩散速率
12. FPR原理 恢复不到原水平的是被膜骨架固定、不能移动的分子
13. 受体标记 受体基因与GFP融合表达；荧光抗体或配体标记
14. 漂白拍摄 显微镜下选定一小块膜强激光漂白，定时拍摄测恢复曲线
15. 计算比较 计算扩散系数和可移动部分；配体前后比较判断聚集锚定

大题｜2025 中国科学院大学

请阐述生物膜的组成成分及其分子结构模型，并对目前最被广泛认可的分子结构模型的介绍。

1. 组成成分 蛋白质、极性脂质和糖质
2. 糖的存在 糖只作为糖蛋白和糖脂的一部分
3. 比例 相对比例因膜类型不同变动
4. 结构模型 流动镶嵌、三夹板、单位膜、脂双层模型
5. 基本骨架 磷脂双分子层构成基本骨架
6. 磷脂排列 亲水头部向外、疏水尾部向内
7. 镶嵌形式 膜蛋白各种镶嵌形式体现不对称性
8. 结合方式 疏水相互作用结合
9. 流动性 旋转和横向扩散
10. 外表面糖被 糖蛋白/糖被和糖脂

大题｜2025 东北师范大学

简述生物膜的主要成分及作用。

1. 主要成分 蛋白质、极性脂质和糖质
2. 质量占比 蛋白质和脂质几乎全部质量
3. 糖存在 糖只作为糖蛋白和糖脂一部分
4. 特定组成 每种类型生物膜含有特定脂质和蛋白质
5. 比例变动 脂质和蛋白质比例因膜的类型变动
6. 分隔屏障 原生质与外界环境分隔开形成相对稳定细胞内环境
7. 物质运输 跨膜运输满足营养摄取和废物排出
8. 信息传递 受体蛋白特异性识别结合信号分子传递到细胞内
9. 细胞识别 糖蛋白和糖脂识别同种细胞异种细胞或异物
10. 细胞连接 特定结构连接维持组织完整性和协调作用
11. 能量转换 某些特殊细胞膜参与能量转换

大题｜2025 中国科学技术大学

请简述流动镶嵌模型的核心内容。

1. 结论 蛋白质和磷脂组成的动态结构
2. 基本骨架 磷脂双分子层基本骨架和蛋白质二维溶剂
3. 磷脂排列 亲水头部面向外侧疏水尾部面向内侧脂双层核心
4. 蛋白分布 有的分布表面有的横跨整个脂双层自由浮动
5. 镶嵌形式 脂双层表面全部或部分嵌入或贯穿整个脂双层
6. 不对称性 膜内外结构的不对称性
7. 结合方式 脂质与蛋白质疏水结构域疏水相互作用
8. 流动性 蛋白和磷脂旋转和横向扩散运动
9. 糖蛋白糖被 生物膜外表面膜蛋白与糖类结合糖蛋白/糖被
10. 糖脂 糖类和脂质分子结合形成糖脂

大题｜2026 中国科学技术大学

分别举例说明膜蛋白和膜脂质的不对称性分布，并结合生命过程说明其生理学意义。

1. **蛋白举例** 膜蛋白两侧不对称，受体在外侧
2. **信号转导** 外侧受体结合激素启动信号通路
3. **运输能量** Na+-K+ATP酶方向性建立离子梯度
4. **识别黏附** 外侧糖蛋白构成细胞身份证
5. **脂质举例** PC、SM外层；PS、PE内层
6. **结构稳定** 外层PC和SM维持机械强度
7. **凋亡识别** PS外翻被吞噬细胞识别清除凋亡
8. **电荷环境** 内侧PE、PS带负电结合正电蛋白因子

大题｜2025 合肥工业大学

阐述细胞膜的化学组成以及结构特点。

1. **化学组成** 脂质、蛋白质和糖类
2. **膜脂类型** 甘油磷脂、鞘脂和固醇，甘油磷脂最丰富
3. **甘油磷脂种类** PC、PS、PE、PI
4. **磷脂分子** 亲水的头部和两条疏水的尾部
5. **双分子层排列** 头部朝向水相尾部朝向膜的内部，内部疏水、外部亲水
6. **蛋白质占比** 占膜总重量的约50%
7. **内在膜蛋白** 贯穿整个磷脂双分子层，跨膜螺旋结构
8. **外周膜蛋白** 仅附着在膜的表面，非共价键，细胞识别、信号传递
9. **脂锚定蛋白** 共价键与膜脂结合，膜的外表面，信号传导
10. **糖类形式** 糖蛋白或糖脂存在于细胞膜的外表面形成糖萼
11. **糖萼功能** 细胞识别、免疫反应和细胞黏附
12. **糖蛋白糖脂** 通过共价键连接而成的复合分子

大题｜2026 郑州大学

简述目前对生物膜结构的认识

1. **基本成分** 磷脂双分子层为基本结构成分
2. **自发形成** 磷脂极性头部非极性尾部在水相自发形成封闭膜系统
3. **排布** 疏水性尾部相对、极性头部朝向水相
4. **膜蛋白** 膜蛋白镶嵌于脂双层或结合表面
5. **特性功能** 类型分布不对称及与脂分子协同作用赋予特性功能
6. **二维溶液** 蛋白质在脂双层分子中的二维溶液
7. **流动性** 膜蛋白与膜脂等复杂相互作用限制膜脂和膜蛋白流动性
8. **微结构** 脂筏、纤毛和微绒毛
9. **动态变化** 弯曲、折叠、延伸及非脂双层状态
10. **功能** 保证细胞运动、增殖等代谢活动

大题｜2026 山东师范大学

细胞膜流动性受什么因素影响,维持流动性有什么生物学意义

1. **概念** 膜脂和膜蛋白持续动态运动
2. **膜脂运动** 膜脂流动性主要指脂分子侧向运动
3. **温度影响** 相变温度不同、越低越强越高越弱、温度越高流动性越高
4. **链长度** 脂肪酸链越短流动性越大
5. **不饱和度** 不饱和程度越高膜脂流动性越大
6. **脂质成分** 鞘脂或卵磷脂较小、磷脂酰乙醇胺较大
7. **胆固醇** 与磷脂疏水尾部结合增强有序性
8. **胆固醇** 隔开磷脂分子使其更易流动
9. **胆固醇** 最终效应取决于胆固醇相对含量及双重调节综合效果
10. **膜蛋白** 膜蛋白热运动、温度影响、细胞骨架限制、膜脂相互作用
11. **意义** 生长、增殖等生理功能必需条件

第 36 环 · 膜蛋白

脂锚定蛋白 lipid-anchored membrane protein

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 共价相连的脂分子　2. **定义** 插入脂双层锚定的膜蛋白
3. **特点** 水溶性蛋白部分位于膜外　4. **分类** 脂肪酸、烃链、GPI三类

血影蛋白 spectrin

华农 1 次

1. **组成** 四条多肽链组成　2. **特点** 细长而容易弯曲　3. **场所** 细胞膜的内侧
4. **机制** 将微丝交联成二维网络　5. **机制** 与细胞质膜相连
6. **特点** 结实而富有弹性的细胞皮层　7. **意义** 机械支撑作用

大题｜2026 生化・问答

确定跨膜蛋白的膜内外结构域；GPCR 七次跨膜的意义

1. **预测** 约20残基窗口疏水峰→跨膜α螺旋
2. **方向** 跨膜段两侧带正电残基Lys、Arg多的一侧朝胞质
3. **实验①** 表位标签抗体染色：完整细胞膜外，打孔后膜内
4. **实验②** 蛋白酶保护：只在膜外加蛋白酶，膜内部分受保护
5. **实验③** 糖基化位点：N-连接糖链朝胞外，带糖链环在膜外
6. **实验④** 不能透过膜的化学试剂标记只有膜外残基
7. **结构** 7段跨膜α螺旋围成口袋，N端和3个环膜外，C端和另3个环膜内
8. **配体结合** 配体结合膜外或口袋内，几段螺旋相对位置改变
9. **构象传递** 构象变化经跨膜螺旋传到膜内环，胞内侧结合并激活G蛋白
10. **意义** 膜外接收信号和膜内启动反应连成一体，不需配体进入细胞
11. **多样性** 识别激素、神经递质、光、气味等多种信号

大题｜2022 细胞・简答

膜骨架的组成、联系和功能

1. **组成** 血影蛋白、肌动蛋白、锚蛋白、带4.1蛋白
2. **位置** 质膜胞质一侧
3. **网格连接** 血影蛋白四聚体与肌动蛋白丝连成网格
4. **锚定带3** 锚蛋白把血影蛋白连到跨膜的带3蛋白上
5. **锚定糖蛋白** 带4.1蛋白把网格连到血型糖蛋白
6. **功能一** 维持形状、膜弹性和变形能力，通过毛细血管
7. **功能二** 限制膜蛋白侧向扩散；参与细胞运动、胞吞
8. **举例** 遗传性球形红细胞增多症（膜骨架蛋白缺陷）
9. **证据一** 离子强度洗下血影蛋白和肌动蛋白，血影变形
10. **证据二** 溶去带3蛋白和血型糖蛋白后保持原形

第 37 环 · 被动运输

通道蛋白 channel protein

华农 3 次 · 外校 1 校次

1. **分布** 真核细胞质膜及细胞内膜　2. **机制** 形成亲水性通道
3. **分类** 离子通道、孔蛋白、水孔蛋白　4. **特点** 以协助扩散方式运输
5. **特点** 有选择性、不直接与溶质结合

水孔蛋白 aquaporin

华农 1 次

1. **定义** 水分子跨膜通道的通道蛋白　2. **结构** 4个亚基组成四聚体
3. **结构** 每个亚基6个跨膜α螺旋　4. **特点** 对水分子高度特异性
5. **特点** 不允许离子或其他小分子通过　6. **功能** 渗透压调节、水分重吸收
7. **举例** 肾小管和集合管重吸收水

配体门控通道 ligand-gated channel

华农 1 次

1. **定义** 离子通道的一种　2. **机制** 小分子配体结合通道蛋白　3. **机制** 通道蛋白构象改变
4. **过程** 离子通道开启或关闭　5. **分类** 细胞内配体和细胞外配体
6. **举例** 神经递质门控离子通道　7. **意义** 离子通过改变细胞兴奋性

大题｜2021 细胞・问答

水孔蛋白的发现与功能

1. **发现** Agre 从红细胞膜分离 28 kDa 的 CHIP28
2. **实验** 注射 mRNA 的卵母细胞低渗下迅速吸水膨胀破裂
3. **证明** 可被 Hg^{2+} 抑制，证明是水通道
4. **第一问结论** 表达水孔蛋白的细胞膨胀快
5. **原因** 水孔蛋白提供专一的水通道，水顺渗透梯度快速进入
6. **优点一** 细胞大，便于显微注射和观察体积变化
7. **优点二** 自身膜对水的通透性很低，本底小
8. **优点三** 高效翻译外源 mRNA 并正确定位到质膜
9. **结构** 四聚体，6 段跨膜螺旋，NPA 阻止 H^+
10. **功能** 肾小管重吸收水、红细胞渗透调节、植物水分运输

大题｜2025 中国科学技术大学

简述小分子离子的跨膜运输类型。

1. **简单扩散** 顺电化学梯度或浓度梯度、直接通过脂双层
2. **简单扩散条件** 不需要能量、无需膜转运蛋白
3. **简单扩散速率** 浓度差、分子大小、脂溶性、膜通透性
4. **简单扩散举例** 疏水性小分子、不带电荷的极性小分子
5. **协助扩散** 顺梯度、膜转运蛋白协助、不需代谢能量
6. **协助扩散特点** 特异性、饱和性和竞争性抑制
7. **协助扩散例** 葡萄糖通过GLUT协助扩散
8. **主动运输** 载体蛋白介导、逆梯度、消耗能量
9. **能量来源** ATP水解、离子电化学梯度、光能
10. **主动运输特点** 方向性、选择性和可调节性
11. **主动运输例** 钠钾泵、钙泵、质子泵、ABC超家族
12. **协同转运例** 小肠、肾小管吸收葡萄糖或氨基酸，伴Na^+流入

大题｜2025 华东师范大学

细胞膜上的膜蛋白作为物质跨膜运输的通道蛋白，膜蛋白参与哪些方式的物质运输？各举一个例子简述膜蛋白以这些方式跨膜运输有哪些物质和对细胞产生的作用。

1. **运输方式** 协助扩散和主动运输
2. **协助扩散** 顺浓度梯度，不需要细胞提供能量
3. **协助扩散** 通道蛋白或载体蛋白
4. **举例和物质** 水孔蛋白Glpf，水分子或甘油
5. **作用** 维持渗透压平衡，提供必要的营养物质
6. **主动运输** 载体蛋白介导，逆浓度梯度，ATP水解
7. **举例** 钠-钾泵
8. **物质和比例** 泵出3Na^+，泵入2K^+
9. **作用** 维持细胞内高K^+、低Na^+的离子浓度梯度
10. **作用** 动作电位的基础，维持渗透压稳定

大题｜2025 华中科技大学

质膜中的水通道在许多细胞的水代谢和渗透调节中起着重要作用。请问采取何种方法可以快速检测膜上是否存在水通道，并确定他们在细胞膜中的分布情况?

1. **方法一** 免疫荧光标记和共聚焦显微镜
2. **免疫荧光** 特异性一抗和荧光标记的二抗
3. **方法二** 膜片钳技术
4. **膜片钳步骤** 高阻封接、施加电压、记录电流变化
5. **电流变化** 离子或水分子通过膜蛋白引起的电流变化
6. **方法三** 冷冻电子显微镜
7. **冷冻电镜步骤** 快速冷冻、二维投影图像、计算重构
8. **结果** 高分辨率的蛋白质三维结构图像

大题｜2026 湖南师范大学

载体蛋白与离子通道的主要区别是什么？从转运方式，特异性和速率等方面对比说明

1. **共同点** 都是膜蛋白，依赖电化学或浓度梯度
2. **跨膜机制** 通道亲水性通道，载体一系列构象改变
3. **饱和性** 通道没有饱和值，载体饱和动力学
4. **溶质修饰** 通道不对其修饰；载体不作共价修饰
5. **转运速率** 每秒107~108个离子；载体转运速率较低
6. **通道调控** 受膜电位变化、化学信号或压力刺激
7. **载体调控** 无门控性，不依赖膜电位变化，似酶调节
8. **能量需求** 通道通常不需能量，开放关闭可能需；载体主动需能量
9. **运输类型** 通道协助扩散；载体主动运输和协助扩散
10. **选择性** 通道取决于直径/形状/带电氨基酸；载体特定溶质

第 38 环 · 泵

Ca^{2+} 泵 Ca^{2+} pump (Ca^{2+}-ATPase)
华农 3 次

1. **定义** Ca2+-ATP酶，P型泵　**2.** **场所** 质膜和内质网、叶绿体、液泡膜
3. **结构** 10个跨膜α螺旋　**4.** **机制** 每消耗1分子ATP泵出2个Ca2+
5. **过程** 输出细胞或泵入内质网腔　**6.** **意义** 细胞质基质低浓度游离Ca2+
7. **意义** 调节肌细胞收缩运动

主动运输 active transport
华农 2 次

1. **定义** 载体蛋白介导　**2.** **定义** 逆着电化学梯度或浓度梯度　**3.** **定义** 跨膜转运方式
4. **特点** 需要消耗能量　**5.** **分类** ATP驱动泵、协同转运、光驱动泵

ABC 超家族 ABC superfamily
华农 1 次

1. **定义** ATP驱动泵、ABC转运蛋白　**2.** **分布** 细菌到人类广泛分布
3. **分类** 最大一类转运蛋白　**4.** **结构** 2个跨膜结构域、2个ATP结合域
5. **特点** 对底物或基团有特异性　**6.** **意义** 与细胞抗药性、人类遗传病相关

大题｜精华例题

Na^+-K^+ 泵与 Na^+ 浓度差

1. **结构** α有Na^+、K^+、ATP、哇巴因结合部位；β帮助α折叠定位
2. **E1结合** E1构象结合3个Na^+，ATP末端磷酸转到Asp
3. **E2转运** E2放出3个Na^+、结合2个K^+，去磷酸化恢复E1
4. **化学计量** 每水解1分子ATP泵出3Na^+泵入2K^+，逆浓度梯度
5. **原理** 磷酸化去磷酸化驱动构象变化，交替改变朝向和亲和力
6. **生电泵** 生电泵参与形成静息电位，维持渗透平衡和体积
7. **形成** Na^+-K^+泵消耗ATP泵出Na^+，胞外Na^+远高于胞内
8. **协同运输** 借Na^+顺梯度：SGLT1同向转运葡萄糖、Na^+-氨基酸同向
9. **其他利用** Na^+/H^+交换调节胞内pH，Na^+/Ca^{2+}交换排出Ca^{2+}
10. **动作电位** 电压门控Na^+通道开放，Na^+内流产生动作电位
11. **钙库** 内质网（肌质网）主要钙库，胞质Ca^{2+}约0.1μmol/L
12. **意义** Ca^{2+}作第二信使，IP_3受体或兰尼碱受体开放触发收缩分泌

大题｜2025 湖南师范大学

简述 ABC 转运蛋白的结构和工作模式。

1. **结构组成** 4个核心结构域：2个跨膜结构域+2个ATP结合域
2. **跨膜结构域** 6个跨膜α螺旋、形成底物运输通路、决定底物特异性
3. **ATP结合域** ATP结合域具ATP酶活性、凸向胞质
4. **多肽链组成** 一条多肽链或2条或多条装配成相似结构
5. **ATP结合前** 底物结合位点暴露于胞外（原核）或胞质（真核）
6. **ATP结合后** ATP结合诱导二聚化、构象改变、底物暴露另一侧
7. **ATP水解** ATP水解、ADP解离→ATP结合域解离、构象恢复
8. **完成转运** ATP结合与水解完成跨膜转运
9. **举例** 细菌逆浓度梯度摄取营养物
10. **功能** 哺乳类排出毒物、代谢废物等维持细胞内环境稳定
11. **抗药性** 异常表达将抗癌药物泵出细胞、降低药物浓度

大题｜2025 合肥工业大学

P 型、V 型、F 型质子泵以及 ABC 超家族在结构、转运物质等方面的不同之处。

1. **定义分类** ATP水解供能转运；4类，前三离子，ABC小分子
2. **Na-K泵** 动物细胞质膜离子泵，维持Na+和K+浓度梯度
3. **Na-K结构** 2α2β四聚体，β糖基化助α折叠
4. **Ca2+分布** 真核质膜/内质网/叶绿体/液泡；肌质网90%
5. **Ca2+结构** 1000个氨基酸，10个跨膜α螺旋
6. **P型H+泵** 植物真菌细菌质膜，H+泵出建立梯度驱动溶质
7. **V型分布** 胞内体膜、溶酶体膜、破骨细胞和肾小管质膜、液泡膜
8. **V型功能** ATP水解逆H+梯度泵入，维持基质中性细胞器酸性
9. **F型** 细菌、线粒体内膜、类囊体膜；H+顺梯度合成ATP
10. **ABC结构** 细菌到人类最大类；2T各6α螺旋，2个胞质侧A
11. **结合前** 结合前：位点暴露胞外（原核）或胞质（真核）
12. **工作模式** ATP结合二聚化暴露另一侧；水解ADP解离恢复

大题｜2025 首都师范大学

跨膜时Ca2+离子通道和Ca2+离子泵、涉及蛋白质的异同点。

1. **相同点** 由特定的膜蛋白构成
2. **相同点** 高度选择性，区分离子大小和电荷特性
3. **相同点** 维持细胞内Ca2+浓度稳态、比细胞外低10,000倍
4. **通道机制** 门控蛋白、顺电化学梯度、协助扩散
5. **通道能量** 不需要直接消耗能量
6. **泵机制** ATP驱动泵、逆浓度梯度、主动运输
7. **泵去向** 转运到细胞外或储存于肌质网或内质网
8. **运输速率** 通道10^7~10^8个离子/秒，泵速率较低
9. **调控机制** 电压门控、配体门控、应力激活；依赖ATP和Ca2+浓度
10. **结构特征** 多个亚基、选择性孔道；多次跨膜、ATP和Ca2+结合位点
11. **通道功能** 神经元动作电位、肌肉收缩、内耳听觉毛细胞
12. **泵功能** 维持细胞内Ca2+低浓度，恢复静息状态

第 39 环 · 协同运输

协同运输 cotransport

华农 1 次

1. **过程** 离子顺电化学梯度流动
2. **过程** 另一种物质逆梯度跨膜
3. **特点** 不直接水解 ATP
4. **机制** 泵事先存下的离子梯度
5. **分类** 继发性主动运输

第 40 环 · 胞吞与胞吐

胞吐作用 exocytosis

华农 3 次 · 外校 2 校次

1. **定义** 分泌泡与质膜融合
2. **定义** 内含物分泌到细胞外
3. **分类** 组成型胞吐
4. **分类** 调节型胞吐
5. **意义** 质膜表面积增加
6. **意义** 与胞吞动态平衡
7. **意义** 更新质膜成分

吞噬作用 phagocytosis

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 一类特殊的胞吞作用
2. **定义** 胞吞泡叫作吞噬体
3. **过程** 胞外营养物摄取到吞噬体
4. **过程** 溶酶体中消化降解成小分子物质
5. **场所** 巨噬细胞和中性粒细胞
6. **意义** 清除病原体及衰老或凋亡的细胞

大题｜精华例题

以 LDL 为例说明受体介导的胞吞（五年）

1. **特异结合** apoB-100与LDL受体特异结合
2. **有被小窝** 受体集中在有被小窝，覆盖AP2和网格蛋白
3. **衔接蛋白** 衔接蛋白识别受体胞质尾信号、结合网格蛋白
4. **网格蛋白** 三腿复合体组装成笼状结构使膜内陷
5. **小窝作用** 富集受体及配体、选择性浓缩货物
6. **发动蛋白** 发动蛋白在颈部水解GTP形成有被小泡
7. **脱被与内体** 脱去外被、与早期内体融合、酸化解离
8. **分选去向** 受体回到质膜、LDL溶酶体水解胆固醇酯
9. **调节** SREBP抑制LDL受体和HMG-CoA还原酶
10. **意义** 受体缺陷导致家族性高胆固醇血症、特异高效

第 41 环 · 自由能与ATP

氧化磷酸化 oxidative phosphorylation

华农 6 次 · 外校 5 校次

1. **过程** 还原型辅酶经呼吸链传给O2
2. **过程** 释放能量使ADP磷酸化形成ATP
3. **定义** 氧化与磷酸化偶联过程
4. **场所** 真核线粒体内膜或原核质膜
5. **意义** 需氧生物产生ATP的主要方式
6. **意义** 与细胞对ATP的需要相适应

激酶 kinase

华农 3 次

1. **定义** 催化高能磷酸基团转移的转移酶类
2. **机制** 以 ATP 为磷酸供体
3. **机制** 使靶分子磷酸化修饰
4. **功能** 共价修饰改变底物活性与功能
5. **功能** 参与信号传导、代谢调控

底物水平磷酸化 substrate-level phosphorylation

华农 1 次 · 外校 3 校次

1. **定义** 物质代谢中形成高能代谢物
2. **过程** 高能磷酸基团转移到ADP/GDP
3. **产物** 生成ATP/GTP
4. **条件** 不需氧
5. **特点** 不依赖电子传递链或质子梯度
6. **举例** 甘油酸-1,3-二磷酸生成ATP

代谢组学 metabonomics (metabolomics)
华农 2 次

1. 定义 研究生物体内所有代谢物的总体组分 **2.** 定义 动态变化及与生理机能的关系
3. 机制 色谱、质谱定性定量分析 **4.** 意义 揭示代谢网络与生命活动关联
5. 意义 医疗诊断、药物开发、营养保健

能荷 energy charge
华农 1 次

1. 定义 ATP-ADP-AMP系统中 **2.** 定义 含高能磷酸基团的摩尔分数
3. 定义 腺苷酸总池中ATP及其能量等效物 **4.** 特点 0~1之间波动
5. 意义 产能和需能代谢的信号分子 **6.** 意义 调节ATP生成与利用
7. 意义 维持ATP处于相对稳定状态

三磷酸腺苷 adenosine triphosphate
外校 1 校次

1. 定义 主要贮能化合物、能量代谢中心分子 **2.** 组成 一个腺苷基、三个磷酸基
3. 机制 β和γ磷酸酐键水解断裂释放能量 **4.** 意义 提供生物合成、肌肉收缩所需能量
5. 意义 营养物跨膜运输所需能量 **6.** 意义 保证基因信息正确传递

高能键 high-energy bond
外校 1 校次

1. 定义 水解释放大量自由能的化学键 **2.** 特点 通常≥20.92 kJ/mol
3. 举例 常见于ATP、磷酸肌酸 **4.** 特点 水解后产物比反应物稳定
5. 功能 释放能量驱动合成代谢、主动运输 **6.** 意义 能量传递与利用的关键形式

大题 | 2020 生化 • 问答
ATP 的三种合成途径

1. 定义 底物水平磷酸化：高能磷酸基团转移给ADP
2. 条件 可溶性酶催化，不需要氧，不需要膜
3. 糖酵解例 磷酸甘油酸激酶、丙酮酸激酶
4. TCA例 琥珀酰CoA合成酶生成GTP或ATP
5. 氧化磷酸化 NADH、$FADH_2$呼吸链传递给氧生成水
6. 泵质子 释放的能量把质子泵到膜间隙
7. 化学渗透 质子经ATP合酶回流，驱动ADP磷酸化
8. 特点 需氧、需膜，主要来源
9. 光合磷酸化 光能驱动类囊体膜质子梯度，非循环和循环
10. 比较 化学能与光能、线粒体内膜与类囊体膜

大题 | 2022 生化 • 简答
怎样研究新陈代谢途径

1. 抑制剂法 专一抑制剂堵某一步，中间物堆积确定顺序
2. 举例 碘乙酸处理肌肉提取液，1,6-二磷酸果糖堆积
3. 举例 丙二酸抑制琥珀酸脱氢酶，琥珀酸堆积
4. 突变体遗传病 酶缺陷突变体或遗传病人，看缺哪步、积累补充什么
5. 举例 Beadle和Tatum红色面包霉营养缺陷型
6. 同位素示踪 放射性或稳定同位素标记底物，追踪原子去向
7. 举例 ^{14}C乙酰基追踪三羧酸循环中CO_2放出
8. 离体研究 组织切片、匀浆、亚细胞组分、纯化酶重建反应，确定酶和部位
9. 组学方法 质谱、核磁共振全面测定细胞内小分子代谢物
10. 组学方法 结合基因组学、蛋白质组学分析整个代谢网络变化

第 42 环 • 单糖

还原糖 reducing sugar
外校 2 校次

1. 定义 还原Fehling或Benedict试剂 **2.** 机制 含有自由的醛基或酮基
3. 分类 所有单糖（二羟丙酮除外） **4.** 分类 含有还原性末端的二糖（麦芽糖等）
5. 意义 参与糖酵解、食品工业检测分析

半缩醛 hemiacetal
外校 1 校次

1. 条件 酸或碱催化 **2.** 组成 醛类化合物羰基 **3.** 组成 另一分子醇类化合物
4. 机制 亲核加成反应 **5.** 意义 单糖环状半缩醛稳定存在并参与代谢

异头物 anomer
外校 1 校次

1. 条件 单糖的环状结构 **2.** 机制 羰基碳成为新的手性中心 **3.** 定义 羰基碳差向异构体
4. 定义 半缩醛碳原子也称异头碳 **5.** 分类 Fischer投影式中异头中心的羟基
6. 分类 最远手性中心的羟基同一侧为α

差向异构体 epimer
外校 1 校次

1. 定义 非对映体 **2.** 结构 仅有一个手性碳原子的构型不同
3. 举例 D-葡萄糖、D-甘露糖、D-半乳糖 **4.** 特点 物理和化学性质不同
5. 分类 同一类单糖的异构体

旋光性 optical activity
外校 1 校次

1. 定义 引起平面偏振光偏振面旋转 **2.** 过程 平面偏振光通过手性化合物溶液
3. 特点 与浓度和路径长度乘积成正比

第 43 环 · 二糖与多糖

糖原 glycogen
华农 1 次

1. 定义 动物细胞葡萄糖贮存形式　**2.** 结构 与支链淀粉相同、分支更密
3. 组成 α(1→4)主链、α(1→6)分支　**4.** 特点 遇碘红褐色　**5.** 场所 存在肝和肌肉
6. 意义 餐间和剧烈运动时最先动用　**7.** 机制 分支由分支酶实现

多糖 polysaccharide
外校 1 校次

1. 定义 又称聚糖，10个以上单糖单位　**2.** 过程 糖苷键连接成线形/分支聚合物
3. 分类 同多糖水解一种单糖；杂多糖一种以上　**4.** 特点 非还原糖、无变旋、有旋光性
5. 特点 不能成胨、无甜味、不结晶　**6.** 意义 能量储存：淀粉、糖原
7. 意义 结构：纤维素、壳多糖；细胞外支撑：肽聚糖

纤维素 cellulose
外校 1 校次

1. 定义 常见同多糖　**2.** 特点 生物圈最丰富有机物　**3.** 特点 占植物界碳素50%以上
4. 结构 不分支线型同多糖链　**5.** 过程 葡萄糖经β-1,4-糖苷键连接
6. 特点 不易被α-淀粉酶和糖苷酶水解　**7.** 特点 不溶于水、十分稳定

同多糖 homopolysaccharide
外校 1 校次

1. 定义 高聚糖的一种　**2.** 定义 一种单糖缩合形成　**3.** 举例 淀粉和纤维素
4. 过程 葡萄糖经糖苷键连接　**5.** 意义 能量储存（淀粉）　**6.** 意义 结构支持（纤维素）

杂多糖 heteropolysaccharide
外校 1 校次

1. 定义 两种或两种以上单糖或其衍生物经糖苷键连接的多聚体
2. 定义 水解产生一种以上单糖或单糖衍生物
3. 举例 透明质酸：D-葡萄糖醛酸和N-乙酰-D-葡萄糖胺
4. 举例 果胶、半纤维素、肽聚糖和糖胺聚糖
5. 功能 细胞外支撑；细胞表面多糖作为信息传递分子　**6.** 特点 分子量不均一

大题｜精华例题

淀粉、糖原、纤维素：同一个葡萄糖，三种结构

1. 共同点 都由D-葡萄糖、一个还原端、同多糖
2. 直链淀粉 α(1→4)左手螺旋、每圈6个残基、遇碘蓝色
3. 支链淀粉 α(1→4)主链、24～30残基α(1→6)、紫红色
4. 淀粉功能 植物的储能形式
5. 糖原结构 分支更密每8～12残基、链更短、遇碘红褐色
6. 糖原功能 非还原端多、糖原磷酸化酶和糖原合酶、动员储存快
7. 糖原分布 动物（肝、肌肉）储能形式、增加溶解度
8. 纤维素结构 β(1→4)直链、相邻残基相对翻转180°
9. 纤维素功能 氢键微纤维、植物细胞壁主要成分
10. α决定 α(1→4)松散易水解、适合储能
11. β决定 β(1→4)伸直紧密堆积、抗张、难水解、结构材料
12. 举例 人只有淀粉酶、瘤胃微生物纤维素酶

大题｜2025 暨南大学

为什么应用蔗糖储存食品而不用葡萄糖?

1. 葡萄糖结构 葡萄糖是醛糖含游离醛基
2. 蔗糖结构 蔗糖是葡萄糖和果糖通过糖苷键连接的二糖
3. 不易氧化 没有游离醛基或酮基，不易氧化
4. 储存期 保持色泽和风味稳定性，延长储存期
5. 吸湿性 吸湿性低，维持干燥，保持酥脆坚实口感
6. 甜度稳定 甜度稳定性高，保证风味一致性
7. 渗透压 同等浓度蔗糖渗透压略高于葡萄糖
8. 非还原性 非还原性减少与微生物代谢产物反应
9. 防腐 防腐效果更持久

大题｜2026 南方科技大学

纤维素和淀粉结构的异同点，以及其影响的功能。

1. 相同点 基本单位葡萄糖，糖苷键连接
2. 不同点 淀粉直链α-1,4；支链α-1,6
3. 不同点 纤维素β-1,4线性无分支
4. 功能 α-淀粉酶水解α-1,4→消化供能
5. 功能 缺β-葡萄糖苷酶→膳食纤维促蠕动不供能
6. 功能 平行排列氢键→微纤丝支撑、不溶于水
7. 功能 α型葡萄糖螺旋→空隙大易酶解供能

第 44 环 · 糖缀合物

蛋白聚糖 proteoglycan
华农 2 次 · 外校 3 校次

1. 定义 糖胺聚糖与核心蛋白形成的大分子　**2.** 场所 结缔组织、细胞外基质及细胞表面
3. 组成 糖胺聚糖除透明质酸外　**4.** 组成 核心蛋白丝氨酸残基共价连接
5. 特点 不同核心蛋白及长度成分不同多糖链　**6.** 意义 软骨凝胶样特性与抗变形能力
7. 意义 结合生长因子、完成信号转导

细胞外被（糖萼） cell coat (glycocalyx)
华农 2 次 · 外校 2 校次

1. 定义 质膜外表面覆盖的黏多糖 **2.** 定义 质膜的正常结构组分
3. 组成 整合膜蛋白及膜脂与糖链共价相连 **4.** 组成 形成糖蛋白和糖脂
5. 组成 突出于细胞表面的糖链分子 **6.** 功能 保护细胞膜 **7.** 功能 细胞识别中发挥作用

糖蛋白 glycoprotein
华农 1 次 · 外校 2 校次

1. 定义 寡糖链与蛋白质共价连接形成的糖缀合物 **2.** 结构 N-糖苷键或O-糖苷键与肽链相连
3. 特点 结构多样、分支较多、含糖量差异较大 **4.** 组成 大多是膜蛋白和分泌蛋白
5. 场所 存在于细胞膜、胞外基质及血液 **6.** 意义 参与细胞识别、黏附与免疫应答

结合糖 glycoconjugate
华农 1 次

1. 定义 糖与蛋白质、脂质等非糖物质 **2.** 定义 共价结合形成的化合物
3. 分类 糖蛋白、蛋白聚糖、糖脂、脂多糖 **4.** 意义 糖链作为信息分子参与细胞识别

复合多糖 complex polysaccharide
华农 1 次

1. 定义 两种以上多糖组分的混合物 **2.** 组成 主要由碳水化合物组成
3. 结构 不同单糖经糖苷键连接 **4.** 特点 结构复杂、高度分支、分子量大
5. 意义 免疫、抗肿瘤、调节血糖、抗氧化

凝集素 lectin
华农 1 次

1. 定义 能与糖结合的蛋白质 **2.** 定义 动物细胞和植物细胞合成和分泌
3. 结构 一个以上同糖结合的位点 **4.** 意义 细胞识别和粘着中起重要作用
5. 机制 促进细胞间的粘着 **6.** 机制 将不同细胞联系起来

糖肽键 glycopeptide bond
外校 1 校次

1. 定义 糖链与多肽链共价连接形成糖蛋白的化学键 **2.** 分类 N-糖肽键和O-糖肽键两种
3. 结构 N-乙酰葡糖胺氨基—天冬酰胺酰胺基
4. 结构 N-乙酰半乳糖胺羟基—丝/苏氨酸羟基

大题｜2019、2021 生化・简答
糖的生物学功能

1. 能源 葡萄糖主要燃料；糖原/淀粉储存
2. 结构成分 蛋白聚糖、纤维素、肽聚糖、几丁质
3. 转变物质 中间产物提供碳骨架；核糖、NADPH
4. 信息分子 寡糖链参与识别、黏附、免疫、信号转导
5. 信息举例 ABO血型抗原、选择素白细胞黏附
6. 糖链功能 糖链参与折叠、分选和寿命决定

大题｜精华例题
糖蛋白和蛋白聚糖的区别及生物学作用（880 三处考过）

1. 共同点 糖缀合物；糖蛋白以蛋白质为主；蛋白聚糖可达95%
2. 糖链 糖蛋白短分支寡糖；蛋白聚糖长不分支、重复二糖单位糖胺聚糖
3. 组成糖 糖蛋白N-乙酰葡糖胺、甘露糖、半乳糖、岩藻糖、唾液酸
4. 组成糖 蛋白聚糖氨基糖和糖醛酸、硫酸化、带大量负电荷
5. 连接方式 糖蛋白N-糖苷键连Asn、O-糖苷键连Ser/Thr
6. 连接方式 木糖为还原端四糖连接桥、O-糖苷键连核心蛋白Ser
7. 分布 细胞膜表面、血浆和分泌物；细胞外基质和结缔组织
8. 识别 ABO血型糖链；选择素白细胞黏附；血凝素唾液酸
9. 免疫及功能 免疫球蛋白、补体、黏蛋白；激素受体酶运输蛋白
10. 折叠分选 内质网N-糖链折叠；溶酶体酶的甘露糖-6-磷酸分选
11. 增溶和寿命 增加溶解度、抗蛋白酶降解；唾液酸脱落清除
12. 支持抗压 聚集蛋白聚糖挂透明质酸、吸水成凝胶
13. 滤过屏障 硫酸乙酰肝素参与肾小球滤过
14. 信号调节 黏结蛋白聚糖递生长因子；黏附迁移增殖分化
15. 抗凝 肝素与抗凝血酶结合、加速凝血酶失活

大题｜2026 陕西师范大学
简述糖蛋白和蛋白聚糖的区别及各自的生物学作用。

1. 定义不同 糖蛋白定义为蛋白，蛋白聚糖定义为糖
2. 蛋白糖比重 蛋白质重量百分比大于糖；多糖链一半以上
3. 分布位置 细胞内外皆有；结缔组织基质
4. 糖蛋白糖链 大多为分支寡糖链，N-糖苷键、O-糖苷键
5. 蛋白聚糖糖链 己糖胺和糖醛酸二糖重复单位，长而不分支
6. 大小不同 糖蛋白分子质量较小；蛋白聚糖远大于糖蛋白
7. 折叠转运 稳定性、折叠、定向转运、物质转运
8. 识别代谢 识别；信号、免疫；胞外基质；唾液酸去向
9. 软骨功能 软骨主要成分；抗张强度和复原能力
10. 支持信号 支持保护；黏附迁移增殖分化；信号传递

第 45 环 · 糖酵解

糖酵解 glycolysis
华农 6 次 · 外校 1 校次

1. 条件 无氧条件 **2.** 场所 细胞溶胶 **3.** 过程 1分子葡萄糖→2分子丙酮酸
4. 过程 净生成2ATP、2NADH **5.** 过程 10步酶促反应 **6.** 意义 葡萄糖分解代谢的前期途径
7. 意义 供氧不足时供能

磷酸烯醇式丙酮酸（PEP）

phosphoenolpyruvate

华农 1 次

1. 条件 丙酮酸激酶的作用下　**2.** 机制 高能磷酸基团转移给ADP

3. 过程 形成1分子ATP和丙酮酸　**4.** 过程 羧化反应　**5.** 过程 形成草酰乙酸

6. 意义 复杂分支代谢的共同第一步

大题｜2025 东北师范大学

试比较糖酵解与有氧分解进行的部位、反应条件、关键酶、产物、能量生成及生理意义的异同。

1. 相同点1 葡萄糖为初始代谢底物、丙酮酸为有氧起始物质

2. 相同点2 底物水平磷酸化产生少量ATP

3. 相同点3 产生还原当量NADH

4. 相同点4 变构调节、共价修饰响应能量状态

5. 部位 细胞质基质；线粒体（基质+内膜）

6. 反应条件 有氧/无氧均可；必须有氧

7. 糖酵解关键酶 PFK-1、己糖激酶、丙酮酸激酶

8. 有氧关键酶 丙酮酸脱氢酶复合体、异柠檬酸脱氢酶、柠檬酸合酶

9. 终产物 丙酮酸（有氧）/乳酸（无氧）；CO_2、H_2O

10. 糖酵解能量 2ATP（底物水平磷酸化）

11. 有氧能量 30-32ATP（主要为氧化磷酸化）

12. 生理意义 快速供能、应急代谢；高效供能、代谢枢纽

大题｜2025 浙江师范大学

糖酵解过程中与 ATP 直接相关的步骤有几种，并写出其反应方程式。

1. 结论 与ATP相关四步

2. 第一步酶 己糖激酶

3. 第一步反应 葡萄糖+ATP→6-磷酸葡萄糖+ADP

4. 第二步酶 磷酸果糖激酶-1

5. 第二步反应 6-磷酸果糖+ATP→1,6-二磷酸果糖+ADP

6. 第三步酶 磷酸甘油酸激酶

7. 第三步反应 1,3-二磷酸甘油酸+ADP→3-磷酸甘油酸+ATP

8. 第四步酶 丙酮酸激酶

9. 第四步反应 磷酸烯醇式丙酮酸+ADP→丙酮酸+ATP

大题｜2026 云南大学

1,3-二磷酸甘油酸在糖酵解中生成 ATP 的过程属于底物水平磷酸化，请解释其氧化磷酸化的区别。并结合糖代谢解释肿瘤细胞中糖酵解的生理意义。

1. 作用部位 底物水平细胞质和线粒体，氧化磷酸化线粒体

2. 能量来源 高能底物；NADH、FADH2化学能

3. 对氧需求 底物水平不需氧；氧化磷酸化需氧

4. 过程和机制 底物磷酸基团转移；氧化与电子传递链偶联

5. 速度 底物水平更快，氧化磷酸化较慢但产能更多

6. 快速供能 糖酵解速率远快于氧化磷酸化，迅速产生ATP

7. 提供原料 糖酵解中间产物合成核苷酸、脂质、氨基酸

8. 适应缺氧 肿瘤内部缺氧，糖酵解不依赖氧保证能量

9. 酸性微环境 乳酸分泌降低胞外pH，利于侵袭转移

第 46 环 · 糖酵解的调节

大题｜2025 生化・问答

葡萄糖以外的单糖怎样进入糖酵解

1. 果糖肌脂 己糖激酶→果糖-6-磷酸

2. 果糖肝 果糖激酶→果糖-1-磷酸；醛缩酶B→磷酸二羟丙酮和甘油醛

3. 肝汇入 磷酸丙糖异构酶/丙糖激酶→甘油醛-3-磷酸

4. 绕过PFK-1 绕过磷酸果糖激酶-1不受控制

5. 半乳糖激酶 半乳糖激酶→半乳糖-1-磷酸

6. 转移酶交换 转移酶交换UDP-葡萄糖→UDP-半乳糖和葡萄糖-1-磷酸

7. 差向异构酶 UDP-半乳糖4-差向异构酶变回UDP-葡萄糖循环

8. 变位酶 磷酸葡萄糖变位酶→葡萄糖-6-磷酸

9. 甘露糖 己糖激酶→甘露糖-6-磷酸，磷酸甘露糖异构酶→果糖-6-磷酸

10. 补充 二糖先水解；糖原淀粉磷酸解→葡萄糖-1-磷酸

11. 疾病 转移酶缺乏半乳糖血症；醛缩酶B缺乏遗传性果糖不耐受

大题｜2008 生化・简答

己糖激酶与葡萄糖激酶

1. 定义 催化磷酸基团从ATP转移到底物

2. 分布 己糖激酶广泛；葡萄糖激酶肝脏和胰岛β细胞

3. 亲和力 Km很低约0.1；对葡萄糖亲和力高

4. 亲和力 表观Km高约10；亲和力低

5. 血糖动力学 双曲线；接近饱和；S形；随血糖变化

6. 专一性 较低；果糖、甘露糖；专一作用于葡萄糖

7. 调节 G-6-P抑制；不受G-6-P抑制

8. 调节 胰岛素诱导；调节蛋白结合；移入细胞核失活

9. 生理意义 保证各组织血糖较低时摄取葡萄糖供自身使用

10. 饭后意义 肝糖原；β细胞分泌胰岛素；缓冲血糖波动

大题｜2025 生化・问答

葡萄糖以外的单糖怎样进入糖酵解

1. **果糖肌肉** 己糖激酶→果糖-6-磷酸
2. **果糖肝** 果糖激酶、醛缩酶B→甘油醛-3-磷酸
3. **果糖特点** 绕过磷酸果糖激酶-1，大量果糖易转脂肪
4. **半乳糖活化** 半乳糖激酶→半乳糖-1-磷酸
5. **半乳糖交换** 尿苷酰转移酶交换UDP-葡萄糖
6. **半乳糖循环** 4-差向异构酶变回UDP-葡萄糖
7. **半乳糖汇入** 磷酸葡萄糖变位酶→葡萄糖-6-磷酸
8. **甘露糖** 己糖激酶、磷酸甘露糖异构酶→果糖-6-磷酸
9. **补充来源** 二糖酶水解；糖原磷酸解→葡萄糖-1-磷酸
10. **疾病举例** 半乳糖血症、遗传性果糖不耐受

大题｜2025 西南大学

ATP 是果糖磷酸激酶 1 的底物，但高浓度的 ATP 会抑制该酶的活性，请说明原因。除了 ATP 外，果糖磷酸激酶 1 还受到哪些分子的调控，简述调控方式。

1. **抑制剂** ATP、柠檬酸、pH（H+）、胰高血糖素
2. **柠檬酸** 生物合成前体丰富，葡萄糖无需降解；加强ATP的抑制作用
3. **pH** pH下降时H+抑制该酶，防止缺氧时乳酸形成
4. **胰高血糖素** 葡萄糖缺乏时启动cAMP级联，cAMP依赖的蛋白激酶使双重功能酶磷酸化
5. **共价修饰** 二磷酸果糖磷酸酶-2激活、磷酸果糖激酶-2抑制，2,6-二磷酸果糖减少
6. **激活剂** AMP、ADP、2,6-二磷酸果糖、6-磷酸果糖、胰岛素
7. **AMP、ADP** ATP消耗超过合成时增加，别构调节减弱ATP造成的抑制
8. **联合** ADP、AMP与6-磷酸果糖联合产生更高的酶活性
9. **2,6-二磷酸果糖** 最强别构激活剂，磷酸果糖激酶-2催化生成，前馈
10. **6-磷酸果糖** 加速2,6-二磷酸果糖合成、抑制其水解
11. **胰岛素** 葡萄糖过剩时激活蛋白磷酸酶，激活磷酸果糖激酶-2，2,6-二磷酸果糖上升，糖酵解加速