第 47 环 · 丙酮酸的去路

乳酸循环（Cori 循环） Cori cycle
华农 2 次 · 外校 5 校次

1. 定义 肌肉与肝脏之间乳酸转运再利用循环 **2.** 过程 丙酮酸通过乳酸脱氢酶转变为乳酸 **3.** 机制 NAD+ 再生保证糖酵解持续进行 **4.** 过程 肝细胞摄取乳酸、糖异生为葡萄糖 **5.** 过程 回到血液供应肌肉和脑 **6.** 意义 避免乳酸堆积导致酸中毒 **7.** 意义 回收能量、维持血糖

乙醇发酵 ethanol fermentation
外校 2 校次

1. 条件 无氧条件下酵母菌等微生物 **2.** 过程 葡萄糖经糖酵解生成丙酮酸 **3.** 过程 丙酮酸脱羧生成乙醛 **4.** 过程 乙醛被还原为乙醇 **5.** 意义 NADH氧化为NAD+维持糖酵解 **6.** 意义 发面、面包馒头、酿酒工业

乳酸循环 Cori 循环，Cori cycle
华农 1 次

1. 定义 肌肉与肝脏之间乳酸转运再利用 **2.** 过程 激烈运动时肌肉糖酵解产生丙酮酸 **3.** 机制 乳酸脱氢酶转变乳酸、NAD+ 再生 **4.** 过程 肝细胞摄取后经糖异生转变为葡萄糖 **5.** 过程 回到血液供应肌肉和脑 **6.** 意义 避免乳酸堆积导致酸中毒 **7.** 意义 回收能量、维持血糖

乳酸发酵 lactic acid fermentation
外校 1 校次

1. 定义 微生物以底物葡萄糖 **2.** 过程 经过EMP途径 **3.** 过程 产生两分子乳酸 **4.** 机制 丙酮酸作为NADH受氢体 **5.** 机制 乳酸脱氢酶作用 **6.** 机制 NADH重新氧化为NAD· **7.** 意义 保证糖酵解继续进行

大题｜精华例题

运动时肌肉的能量从哪里来；运动后为什么还要大口喘气

1. 头几秒 现成ATP只够1～2秒
2. 磷酸肌酸 肌酸激酶把磷酸转给ADP
3. 十几秒到一两分钟 肌糖原在肾上腺素和Ca^{2+}作用下迅速分解
4. 中长跑 糖酵解无氧生成ATP和乳酸，产ATP少
5. 疲劳 乳酸堆积使pH下降、肌肉疲劳
6. 长跑 主要靠氧化磷酸化，越往后脂肪酸占比越大
7. 氧债 多吸入的氧大部分用于肝的氧化磷酸化
8. Cori循环 乳酸经糖异生变回葡萄糖（Cori循环）
9. 补充肌糖原 葡萄糖再送回肌肉补充肌糖原
10. 肌肉自身 肌肉自身氧化磷酸化合成磷酸肌酸和ATP

大题｜2025 四川大学

糖酵解中有唯一一步生成 NADH 的氧化还原反应，催化这步反应的酶是什么？在有氧条件和无氧条件下，这步反应生成的 NADH 如何进一步代谢？利用生成的 NADH 的生理学意义是什么？

1. 酶 3-磷酸甘油醛脱氢酶
2. 原核有氧 质膜呼吸链，NAD+再生
3. 真核有氧 3-磷酸甘油或苹果酸-天冬氨酸穿梭
4. 有氧意义 呼吸链彻底氧化成H2O，产生更多ATP
5. 无氧目的 保证NAD+再生
6. 乳酸发酵 乳酸脱氢酶，丙酮酸→乳酸
7. 乙醇发酵 丙酮酸脱羧酶→乙醛，乙醇脱氢酶→乙醇
8. 人体 有乙醇脱氢酶，无丙酮酸脱羧酶

大题｜2025 中国科学院大学

请说明在厌氧条件下和有氧条件下，糖酵解途径产物丙酮酸的主要代谢途径及催化反应的酶。为什么厌氧条件下糖酵解途径不能以丙酮酸为代谢终产物。

1. 有氧转运 丙酮酸转运蛋白进入线粒体基质
2. 有氧脱氢 丙酮酸脱氢酶系氧化成乙酰-CoA
3. 有氧TCA 乙酰CoA进行TCA循环
4. 厌氧原因 NADH与丙酮酸命运关联再生NAD+
5. 乳酸发酵 乳酸脱氢酶催化丙酮酸还原成乳酸
6. 乙醇第一步 依赖于TPP的丙酮酸脱羧酶→乙醛
7. 乙醇第二步 乙醇脱氢酶催化乙醛还原成乙醇
8. 人体举例 人体无丙酮酸脱羧酶不能乙醇发酵

大题｜2026 湖南大学

糖酵解过程中 NADH 和丙酮酸的去向？在糖代谢途径中，丙酮酸有哪些去路。

1. 有氧NADH 呼吸链氧化成H2O产生ATP
2. 原核NADH 原核NADH进入质膜呼吸链氧化成NAD+
3. 真核穿梭 3-磷酸甘油或苹果酸-天冬氨酸穿梭
4. 转运进线粒体 线粒体内膜丙酮酸转运蛋白与质子进基质
5. 有氧丙酮酸 丙酮酸脱氢酶复合体→乙酰CoA→三羧酸循环/脂肪
6. 无氧目的 保证NAD+再生
7. 乳酸去路 乳酸脱氢酶催化丙酮酸还原成乳酸
8. 乙醇发酵 TPP丙酮酸脱羧酶→乙醛，乙醇脱氢酶→乙醇
9. 人体乙醇 人体有乙醇脱氢酶无丙酮酸脱羧酶不能乙醇发酵
10. 羧化 丙酮酸羧化酶→草酰乙酸
11. 糖异生 磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶→糖异生→葡萄糖→糖原
12. 氨基酸 生成丙氨酸等氨基酸

第 49 环 · 三羧酸循环

三羧酸循环 tricarboxylic acid cycle
外校 3 校次

1. 定义 柠檬酸循环、Krebs循环　**2.** 场所 原核细胞的细胞质、真核细胞的线粒体基质
3. 条件 有氧条件下　**4.** 过程 丙酮酸氧化脱羧形成乙酰CoA
5. 过程 乙酰CoA与草酰乙酸结合形成柠檬酸　**6.** 过程 柠檬酸转化为草酰乙酸完成循环
7. 特点 产生NADH和$FADH_2$　**8.** 意义 线粒体内膜上电子传递链和ATP合酶产生大量ATP
9. 机制 底物可获得性、产物积累、能量需求调节

氟代柠檬酸 fluorocitrate
外校 1 校次

1. 定义 氟乙酸经三羧酸循环生成毒性代谢物　**2.** 机制 特异性抑制顺乌头酸酶
3. 过程 阻断三羧酸循环　**4.** 过程 柠檬酸堆积、能量代谢障碍
5. 特点 心脏、中枢神经系统等耗能组织　**6.** 分类 呼吸链抑制剂、生化实验工具药

大题｜2022 生化・简答
草酰乙酸被抽去合成氨基酸，循环怎样维持

1. 问题所在 草酰乙酸是载体，乙酰CoA缩合进入
2. 原因 2个碳、2个CO_2不能使中间物净增加
3. 后果 中间物被抽走后循环会变慢
4. 回补①最重要 丙酮酸羧化酶：生物素、乙酰CoA别构激活
5. 回补①反应 丙酮酸+CO_2+ATP→草酰乙酸
6. 回补②植物细菌 PEP羧化酶：PEP+CO_2→草酰乙酸
7. 苹果酸酶 丙酮酸+CO_2+NADPH→苹果酸
8. 回补④ α-酮戊二酸、琥珀酰CoA、延胡索酸
9. 回补④奇数碳 奇数碳脂肪酸产生琥珀酰CoA
10. 植物微生物补四碳 乙醛酸循环：两分子乙酰CoA净生成琥珀酸

大题｜2026 云南大学、2025 中山大学、2025 山东大学 等
简述三羧酸循环和生理意义。

1. 第1-2步 柠檬酸合酶、顺乌头酸酶→柠檬酸→异柠檬酸
2. 第3步 异柠檬酸脱氢酶、NADH+CO2+H+
3. 第4步 α-酮戊二酸脱氢酶复合体、NADH+CO2+H+
4. 第5步 琥珀酰CoA合成酶、GTP
5. 第6步 琥珀酸脱氢酶、FADH2
6. 第7-8步 延胡索酸酶、苹果酸脱氢酶→草酰乙酸+NADH
7. 能量 最有效方式：30/32 ATP、40%
8. 共同途径 EMP、β-氧化、脱氨→乙酰CoA→CO_2H2O
9. 合成前体1 草酰乙酸糖异生、乙酰CoA软脂酸
10. 合成前体2 转氨Asp/Glu、嘌呤嘧啶
11. 别构1 柠檬酸调节PFK-1、1,6-二磷酸果糖磷酸酶
12. 别构2 柠檬酸调节乙酰CoA羧化酶

大题｜2026 合肥工业大学
简述柠檬酸循环的一般过程，并标注关键酶，ATP，NADH， FADH2 产生步骤。

1. 第1步 柠檬酸合酶：草酰乙酸+乙酰-CoA→柠檬酸
2. 第2步 顺乌头酸酶：柠檬酸→异柠檬酸
3. 第3步 异柠檬酸脱氢酶→α-酮戊二酸+NADH+CO2
4. 第4步 α-酮戊二酸脱氢酶复合体→NADH、琥珀酰-CoA、CO2
5. 第5步 琥珀酰CoA合成酶→琥珀酸+GTP
6. 第6步 琥珀酸脱氢酶→延胡索酸+FADH2
7. 第7步 延胡索酸酶→L-苹果酸
8. 第8步 苹果酸脱氢酶→草酰乙酸+NADH

大题｜2026 南开大学
在三羧酸循环中如果缺少某种酶，病人尿中将会出现大量 α-酮戊二酸，琥珀酸，延胡索酸，这种缺失的酶是什么？为什么？

1. 结论 缺失的酶是延胡索酸酶
2. 位置关系 连续上游产物，同一个步骤之前
3. 反应步骤 延胡索酸→苹果酸，延胡索酸酶催化
4. 完全阻断 该酶缺失，此步完全阻断
5. 延胡索酸堆积 延胡索酸不能继续代谢，大量堆积
6. 逆流压力 逆流压力使琥珀酸、α-酮戊二酸大量积累
7. 尿液排出 随尿液大量排出

第 50 环 · 代谢的枢纽

乙醛酸循环 glyoxylate cycle
华农 5 次 · 外校 1 校次

1. 定义 植物、微生物使用乙酸为唯一碳源和生物合成前体
2. 定义 其他转化为乙酰-CoA的物质　**3.** 机制 异柠檬酸裂解酶、苹果酸合成酶
4. 机制 乙酰CoA生成琥珀酸与苹果酸　**5.** 机制 最终使脂肪酸转化为葡萄糖
6. 意义 萌发的种子三酰甘油通过乙酰CoA转变为葡萄糖
7. 意义 微生物生长提供碳源与糖异生前体

回补反应 anaplerotic reaction

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 补充柠檬酸循环中间代谢物　**2.** 定义 中间代谢物被用于合成其他生物分子

3. 定义 保证循环持续进行　**4.** 意义 维持中间产物浓度在一定水平

5. 意义 支持细胞的能量代谢和生物合成需求

6. 举例 丙酮酸羧化酶催化丙酮酸形成草酰乙酸

两用代谢途径、丙酮酸脱氢酶复合体、乙醛酸循环体 amphibolic pathway, pyruvate dehydrogenase complex, glyoxysome

外校 2 校次

1. 两用代谢途径 · 定义 生物体中既参与分解代谢也参与合成代谢

2. 两用代谢途径 · 分解 柠檬酸循环是所有需氧生物核心分解途径

3. 两用代谢途径 · 分解 燃料分子氧化提供自由能、为ATP合成准备

4. 两用代谢途径 · 合成 柠檬酸循环中间产物是生物分子前体

5. 两用代谢途径 · 合成出的分子 葡萄糖、脂肪酸和胆固醇、氨基酸、卟啉类

6. 两用代谢途径 · 意义 代谢反应核心通路

7. 丙酮酸脱氢酶复合体 · 定义 多种酶和辅助因子组成大型多酶复合物

8. 丙酮酸脱氢酶复合体 · 功能 丙酮酸转化为乙酰CoA、起始柠檬酸循环

9. 丙酮酸脱氢酶复合体 · 酶 丙酮酸脱氢酶（E1）

10. 丙酮酸脱氢酶复合体 · 酶 二氢硫辛酰转乙酰酶（E2）

11. 丙酮酸脱氢酶复合体 · 酶 二氢硫辛酰脱氢酶（E3）

12. 丙酮酸脱氢酶复合体 · 辅因子 焦磷酸硫胺素（TPP）、硫辛酸、辅酶A

13. 丙酮酸脱氢酶复合体 · 辅因子 FAD、NAD+

14. 乙醛酸循环体 · 定义 伴随乙醛酸循环反应的过氧化物酶体

15. 乙醛酸循环体 · 过程 种子萌发降解脂肪酸产生乙酰辅酶A

16. 乙醛酸循环体 · 过程 形成琥珀酸、离开过氧化物酶体转变成葡萄糖

17. 乙醛酸循环体 · 特点 动物没有乙醛酸循环、不能将脂肪酸转化成糖

大题 | 2011、2012 生化 · 问答

为什么说三羧酸循环是三大物质代谢的共同通路（两年）

1. 糖生成 糖酵解和PDH生成乙酰CoA

2. 脂肪 脂肪酸β-氧化生成乙酰CoA

3. 甘油 甘油经磷酸二羟丙酮进入糖代谢

4. 蛋白质 氨基酸脱氨后碳骨架转变为中间物

5. 最终产能 三羧酸循环氧化为CO_2、呼吸链生成ATP

6. 枢纽 三羧酸循环中间物是合成原料

7. 合成糖/氨基酸 草酰乙酸糖异生、转氨基生成天冬氨酸

8. 合成脂肪酸 柠檬酸裂解出乙酰CoA合成脂肪酸胆固醇

9. 合成血红素 琥珀酰CoA合成血红素

10. 回补 丙酮酸羧化酶等回补反应补充

大题 | 精华例题

油料种子怎样把脂肪变成糖：乙醛酸循环

1. β-氧化 脂肪酸β-氧化生成乙酰CoA

2. PDH不可逆 乙酰CoA不能变回丙酮酸

3. 不能净生成 进2碳放2CO_2，草酰乙酸没有净增加

4. 多两个酶 比三羧酸循环多两个酶，绕过两次脱羧

5. 裂合酶 异柠檬酸裂合酶把异柠檬酸切成琥珀酸和乙醛酸

6. 合酶 苹果酸合酶把乙醛酸与第二个乙酰CoA缩合成苹果酸

7. 净生成 两分子乙酰CoA净生成一分子琥珀酸

8. 区室分工 乙醛酸循环体β-氧化并就地乙醛酸循环

9. 后续 琥珀酸进线粒体变苹果酸，运到胞质氧化成草酰乙酸

10. PEPCK 草酰乙酸经PEPCK生成PEP

11. 糖异生 糖异生合成葡萄糖、蔗糖

12. 意义 植物、细菌、真菌以脂肪酸或乙酸为唯一碳源合成糖

大题 | 2025 山东大学

乙醛酸循环的意义。

1. 条件 油料植物种子发芽时

2. 脂肪转糖 脂肪酸→乙酰CoA→乙醛酸途径→琥珀酸→葡萄糖

3. 作用 提供能量和碳架、促进生长发育

4. 利用乙酸 微生物利用乙酸作为碳源

5. 作用 扩大生存范围和适应性

6. 最终结果 两分子乙酰辅酶A四个碳→草酰乙酸

7. 补充TCA 作为TCA循环的补充

大题｜2026 陕西师范大学、2025 暨南大学

TCA 循环在三大代谢中的作用。

1. 共同途径 糖类、脂类、蛋白质彻底氧化的共同途径

2. 乙酰-CoA来源 丙酮酸氧化脱羧、β-氧化、氨基酸脱氨产生乙酰-CoA

3. 彻底氧化 乙酰-CoA氧化成CO_2和H_2O

4. 提供前体 中间产物是合成糖、氨基酸、脂肪的原料

5. 举例 草酰乙酸经糖异生生成葡萄糖

6. 举例 丙二酸单酰-CoA参与软脂酸合成

7. 举例 草酰乙酸和α-酮戊二酸转氨基生成Asp和Glu

8. 举例 代谢物质参与嘌呤和嘧啶合成

9. 供能 大量能量供生物合成使用

10. 别构效应物 柠檬酸调节PFK-1和1,6-二磷酸果糖磷酸酶

11. 别构效应物 柠檬酸调节乙酰CoA羧化酶活性

12. 结论 最终代谢通路和代谢联系的枢纽

大题｜2025 厦门大学

什么是两用代谢途径？柠檬酸循环为何被认为是两用代谢途径，请举例说明。

1. 定义 既可参与分解代谢又能参与合成代谢

2. 枢纽 分支反应或中间产物的分流

3. 原因 中间产物可作为合成代谢前体

4. 分解功能 氧化乙酰-CoA生成NADH、FADH2、GTP

5. 糖异生 磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶催化草酰乙酸

6. 脂肪酸合成 柠檬酸裂解酶生成乙酰-CoA

7. 氨基酸合成 α-酮戊二酸转氨基生成谷氨酸

8. 氨基酸合成 草酰乙酸转氨基生成天冬氨酸

9. 卟啉合成 琥珀酰-CoA与甘氨酸合成卟啉

第 51 环 · 氧化还原电位

生物氧化 biological oxidation

外校 1 校次

1. 场所 需氧细胞　**2.** 组成 糖、脂肪、蛋白质等有机物　**3.** 条件 体温、酶催化

4. 过程 氧化还原逐步分解为二氧化碳和水　**5.** 意义 能量主要储存于ATP等化合物

6. 定义 又称细胞氧化或细胞呼吸　**7.** 特点 区别于体外燃烧的一次性放能

大题｜2026 湖南师范大学

什么是生物氧化？与非生物氧化相比，生物氧化有哪些相同点和自身特点？

1. 定义 需氧细胞酶催化逐步分解为二氧化碳和水

2. 能量 能量主要储存于ATP

3. 相同点 都属于氧化反应

4. 相同点 都需消耗O_2产生CO_2和H_2O释放能量

5. 场所 真核细胞线粒体或原核细胞质膜；体外

6. 条件 酶催化、37°C、pH接近中性；干燥高温

7. 能量释放 分多步缓慢逐步释放；一次性释放

8. 能量转化 稳定化学能贮存NAD+、FAD、ATP

9. CO2产生 脱羧产生；碳和氧直接化合

10. 氢结合水 氧化呼吸链与氧结合成水；氢与氧直接反应

第 52 环 · 呼吸链

呼吸链（电子传递链） respiratory chain (electron transport chain)

华农 2 次 · 外校 4 校次

1. 定义 递氢体和递电子体　**2.** 过程 电子从还原型辅基传递到O2

3. 特点 按电子亲和力递增顺序排列　**4.** 组成 NADH-Q/琥珀酸-Q还原酶

5. 组成 细胞色素还原酶和细胞色素氧化酶　**6.** 场所 真核线粒体内膜、原核质膜

7. 意义 自由能驱动ADP磷酸化生成ATP

电子传递抑制剂 electron transport inhibitor

外校 1 校次

1. 定义 阻断呼吸链某部位电子传递的物质　**2.** 过程 测定各组分氧化还原态

3. 意义 研究电子传递链顺序　**4.** 举例 鱼藤酮、安密妥抑制 I 向辅酶Q

5. 举例 抗霉素A抑制QH_2向复合体III　**6.** 举例 CN^-、N_3^-、CO抑制IV向O_2

大题｜2014 生化・分析

加氰化物、抗霉素 A 时各载体的氧化还原状态（8 分）

1. 原则 阻断点之前还原、之后氧化

2. 氰化物机理 CN^-与a_3高铁形式结合

3. 氰化物前 NADH→a全部还原态

4. a_3与O_2 a_3还原态，CuB同处阻断点，O_2不还原

5. 抗霉素机理 抗霉素A阻断b到c_1

6. 抗霉素前 NADH、FMN、铁硫中心、Q、b还原态

7. 后段氧化 Rieske、c_1、c、a、a_3氧化态

8. 后段氧化 CuA、CuB氧化态

大题｜2025 湖南师范大学

柠檬酸循环是否必须有氧气参加，为什么？

1. 结论 需要有氧气参加

2. 电子传递 NADH/$FADH_2$电子传递链给氧生成水

3. 质子梯度 跨线粒体内膜质子梯度驱动ATP合成

4. 无氧后果 电子传递链受阻，NAD^+和FAD无法再生

5. 循环需要 柠檬酸循环不断消耗NAD^+和FAD

6. 最终原因 NAD^+和FAD再生受阻，辅酶不足

大题｜2026 南方科技大学

TCA 循环过程不涉及氧气，但为什么不能离开氧气进行。

1. 原因 NADH和FADH2将电子传递给氧气
2. 质子梯度 质子泵到线粒体内膜外形成质子梯度
3. 氧气高 氧气含量高电子传递链顺利进行
4. 再生成 NADH和FADH2再生成NAD+和FAD
5. 保证运转 提供足够NAD+和FAD保证三羧酸循环运转
6. 氧气低 氧气含量低限制电子传递链速度
7. 积累 NADH和FADH2积累
8. 抑制 NAD+和FAD供应不足抑制三羧酸循环
9. 结论 不能离开氧气进行

大题｜2025 湖南师范大学

呼吸链主要有哪几种复合物构成，并简述其功能。

1. 种类 NADH呼吸链和FADH2呼吸链，Ⅰ和Ⅱ不同
2. 复合体Ⅰ 复合体Ⅰ：NADH-Q还原酶，以NAD+为辅酶
3. 电子传递 NADH两个高势能电子→FMN→铁硫中心→Q
4. 复合体Ⅱ 琥珀酸-Q还原酶：FADH2→铁硫中心→Q
5. Ⅱ不驱动 标准氧还电势变化不能驱动质子跨膜转运
6. 辅酶Q 辅酶Q：脂溶性，唯一非蛋白质，Ⅰ和Ⅱ→Ⅲ
7. 细胞色素 细胞色素是一类含血红素辅基的电子传递蛋白质
8. Ⅲ组成 复合体Ⅲ含bH、bL、2Fe-2S、c1
9. 复合体Ⅲ 复合体Ⅲ：QH2→细胞色素c
10. 细胞色素c 细胞色素c：唯一溶于水，内膜外侧，Ⅲ/Ⅳ间传电子
11. 递电子 Fe3+和Fe2+互变，每次传递一个电子
12. 复合体Ⅳ 复合体Ⅳ：细胞色素c→O2生成H2O

大题｜2026 西南大学

简述 2 条呼吸链途径。

1. NADH链 NADH→Ⅰ→CoQ→Ⅲ→Cytc→Ⅳ→O2
2. 复合体Ⅰ 复合体Ⅰ（FMN、Fe-S）
3. 复合体Ⅲ 复合体Ⅲ（Cytb、Fe-S、c1）
4. 复合体Ⅳ 复合体Ⅳ（Cytaa3）
5. 3个偶联 NADH→CoQ、CoQ→Cytc、Cytaa3→O2
6. 偶联复合体 复合体Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ
7. 琥珀酸链 FADH2→Ⅱ→CoQ→Ⅲ→Cytc→Ⅳ→O2
8. 复合体Ⅱ 复合体Ⅱ（FAD、Fe-S、Cytb）
9. 2个偶联 CoQ→Cytc、Cytaa3→O2
10. 偶联复合体 复合体Ⅲ、Ⅳ

大题｜2026 南方科技大学

电子传递复合物 I 和复合物 II 的区别。

1. 电子供体 复合物Ⅰ NADH，复合物Ⅱ $FADH_2$
2. 质子泵 复合物Ⅰ是质子泵，复合物Ⅱ不是质子泵
3. ATP Ⅰ生成2.5 ATP，Ⅱ只生成1.5 ATP
4. 功能Ⅰ Ⅰ接受NADH电子属NADH呼吸链
5. 功能Ⅱ Ⅱ是琥珀酸脱氢酶，TCA与呼吸链连接点

大题｜2026 南开大学

为什么说在呼吸链中，辅酶 Q 是一种特殊且灵活的载体?

1. 特殊性 唯一非蛋白质结合游离小分子，膜内自由扩散
2. 传递电子 同时接受氢和电子，既可传递$2e^-$也可传递$1e^-$
3. 枢纽载体 中心汇集，Ⅰ、Ⅱ及其他脱氢酶电子统一→Ⅲ

第 53 环 · 化学渗透

化学渗透偶联学说 chemiosmotic coupling hypothesis

外校 2 校次

1. 定义 电子传递与ATP合成偶联
2. 场所 跨线粒体内膜质子梯度
3. 过程 自由能转化为质子梯度
4. 机制 电化学势能驱动ATP合成

化学渗透学说 chemiosmotic theory

华农 1 次

1. 定义 氧化磷酸化偶联机制的核心理论
2. 机制 电子传递释放自由能与 ATP 合成偶联
3. 过程 自由能先转化为质子梯度
4. 场所 跨线粒体内膜或细菌质膜
5. 过程 电化学势能驱动 ATP 合成

大题｜2023 生化・问答

亚线粒体泡“渗透”后为什么不能合成 ATP

1. 正常机制 电子传递把质子泵进小泡内
2. 渗透后 膜上出现漏洞，质子立即从漏洞漏出
3. 后果 建立不起质子梯度
4. 电子传递 电子传递照常进行、照常耗氧
5. ATP合酶 ATP合酶失去驱动力
6. 结论 偶联靠完整膜两侧的质子梯度
7. 非中间物 不是高能化学中间物
8. 膜条件 完整的、对质子不通透的封闭膜
9. 举例 人为造跨膜梯度、解偶联剂、去掉F_1

大题｜2025 中国科学院大学、2025 四川大学、2025 湖南大学 等

由 Peter Mitchell 提供的化学渗透学说的主要内容是什么？有哪些主要的证据支持化学渗透学说？

1. **电子传递** 电子经电子传递链传递到氧，与质子结合成水
2. **氢泵作用** 递氢体氢泵作用将氢质子泵出膜外
3. **不能自由通过** 氢质子不能自由通过，电位差驱动ATP合酶
4. **质子回流** 逆向回流，偶联ADP和Pi合成ATP
5. **证据①** 氧化磷酸化需要封闭的线粒体内膜存在
6. **证据②** 内膜对H+、OH-、K+、Cl-不通透
7. **证据③** 破坏H+浓度梯度，破坏氧化磷酸化
8. **证据④** 电子流将H+逐出到膜间隙
9. **证据⑤** 膜表面滞留大量质子、迅速地转移
10. **证据⑥** F1Fo-ATP合酶质子梯度合成ATP

第 54 环 · ATP合酶

ATP 合酶“结合变构”模型 binding change model

华农 1 次

1. **机制** 质子梯度使ATP解脱不直接生成　2. **结构** 3个β亚基氨基酸序列相同构象不同
3. **特点** 3种构象对核苷酸亲和性不同　4. **过程** F0通道质子流c亚基环γ亚基旋转
5. **过程** F1转子质子流驱动旋转依次3β　6. **过程** 调节β亚基催化位点构象
7. **过程** 旋转360°3ATP从酶表面释放

大题｜2010 细胞・简答

线粒体 ATP 合酶的结构和合成 ATP 的机制

1. **F_1位置** 突出在内膜基质一侧的球形头部
2. **F_1组成** $\alpha_3\beta_3\gamma\delta\varepsilon$，三个α三个β交替，β催化，γ轴插中心
3. **F_o结构** 嵌在内膜中质子通道，a、两个b、一圈c亚基
4. **转子定子** c环γ ε转子，a b_2 δ定子
5. **结合变化机制** 结合变化机制：L结合ADP和Pi、T合成ATP、O释放ATP
6. **γ轴** c环带γ轴旋转，γ轴不对称改变β构象
7. **360°** γ每转360°，三个β各合成一个ATP
8. **能量** T构象平衡常数接近1，能量用于ATP释放
9. **证据** 同位素交换、F_1晶体、荧光肌动蛋白丝

第 55 环 · 解偶联与呼吸控制

解偶联作用 uncoupling

外校 3 校次

1. **机制** 消除跨膜质子梯度　2. **定义** 电子传递和ATP形成分离　3. **特点** 不抑制电子传递过程
4. **特点** 自由能变为热能　5. **特点** 消耗氧和燃料底物但能量不贮存
6. **举例** 弱酸性亲脂试剂DNP

解偶联剂 uncoupler

华农 1 次

1. **定义** 消除跨膜质子梯度　2. **定义** 电子传递与ATP生成分离
3. **机制** 质子不经ATP合酶回流　4. **特点** 不抑制电子传递、能量以热能散失
5. **特点** 耗氧和燃料底物但能量不贮存　6. **举例** 2,4-二硝基苯酚

大题｜2011 生化・分析

解偶联剂对电子传递和 P/O 比的影响；DNP 为什么不能作减肥药（9 分）

1. **作用方式** 脂溶性弱酸使质子不经ATP合酶回流
2. **电子转移** 电子转移加快、耗氧增加
3. **P/O比** ATP合成减少、P/O比下降
4. **产热** 能量不能储存ATP，大部分以热散失
5. **出汗** 靠大量出汗散热
6. **减肥** 加速分解糖和脂肪、加快呼吸
7. **停用原因** 产热超过散热、ATP严重不足
8. **对比** UCP1受调控的天然解偶联

大题｜2025 合肥工业大学

呼吸链抑制剂和氧化磷酸化抑制剂原理上的相同点和不同点。

1. **相同点** 干扰ATP生成影响能量供应
2. **位置1** 呼吸链特定环节直接抑制电子传递
3. **位置2** 偶联机制作用于ATP合酶或破坏质子梯度
4. **机制1** 影响电子传递导致中断
5. **机制2** 影响更直接显著，不直接抑制电子传递

第 56 环 · ATP的总账

磷酸甘油穿梭系统 glycerol phosphate shuttle

外校 3 校次

1. **定义** 细胞内穿梭机制，携带NADH电子入线粒体
2. **过程** NADH电子→磷酸二羟丙酮→3-磷酸甘油　3. **场所** 细胞溶胶甘油-3-磷酸脱氢酶
4. **组成** 线粒体内膜线粒体3-磷酸甘油脱氢酶　5. **过程** 3-磷酸甘油转变为磷酸二羟丙酮
6. **过程** FAD→FADH2　7. **过程** 磷酸二羟丙酮释放到细胞溶胶

磷氧比 P/O ratio

外校 2 校次

1. **定义** 一对电子传至O2产生ATP数　2. **定义** 每消耗1mol原子氧生成ATP量
3. **举例** NADH的P/O值约2.5　4. **举例** FADH2的P/O值约1.5

苹果酸穿梭 malate shuttle

外校 1 校次

1. 定义 细胞内穿梭机制　**2.** 场所 肝脏、肾脏和心脏线粒体

3. 过程 胞质中NADH还原草酰乙酸生成苹果酸

4. 过程 经苹果酸-α-酮戊二酸转运体穿过线粒体内膜

5. 过程 线粒体内苹果酸氧化回草酰乙酸、释放NADH

6. 意义 NADH进入电子传递链氧化磷酸化

大题｜2021 生化・简答

1 分子葡萄糖和 1 分子乙酸彻底氧化产生多少 ATP

1. 算法 NADH 2.5、$FADH_2$ 1.5

2. 糖酵解 净2 ATP、2 NADH

3. 胞质NADH 苹果酸-天冬氨酸5、甘油-3-磷酸3

4. 丙酮酸 2 NADH，5 ATP

5. 三羧酸循环 6 NADH、2 $FADH_2$、2 GTP共20

6. 葡萄糖总量 32或30 ATP

7. 乙酸活化 乙酰CoA合成酶，耗2高能磷酸键

8. 乙酸循环 3 NADH、1 $FADH_2$、1 GTP共10

9. 乙酸净得 10−2=8 ATP

大题｜2025 华南师范大学

肝匀浆液中，1mol 3-磷酸甘油完全氧化生成二氧化碳和水，生成多少 ATP。

1. 第一步 3-磷酸甘油→磷酸二羟丙酮+NADH

2. 第二步 磷酸二羟丙酮→甘油醛-3-磷酸

3. 糖酵解 甘油醛-3-磷酸→甘油酸-3-磷酸+NADH+ATP

4. 继续糖酵解 甘油酸-3-磷酸→丙酮酸+ATP

5. 丙酮酸氧化 丙酮酸→乙酰辅酶A+NADH+CO2

6. 三羧酸循环 4次脱氢：3NADH、1FADH2、1GTP

7. ATP折算 NADH 2.5ATP，FADH2 1.5ATP

8. 穿梭途径 甘油-3-磷酸途径或苹果酸穿梭

9. 结论 甘油-3-磷酸途径17.5、苹果酸穿梭19.5

大题｜2025 中山大学

为什么脑和骨骼产生的 NADH 最终只能产生 1.5 分子 ATP?

1. 部位/途径 肌肉和脑中3-磷酸甘油穿梭途径

2. 电子载体 3-磷酸甘油起电子载体作用

3. 胞质反应 磷酸二羟丙酮在磷酸甘油脱氢酶催化下还原

4. 传递H+ 2个H+传递给磷酸二羟丙酮

5. 转运 3-磷酸甘油到达膜间隙侧

6. 同工酶 膜间隙侧结合磷酸甘油脱氢酶同工酶

7. 脱氢 此酶含FAD辅基生成FADH2

8. 电子传递 FADH2将一对电子直接传递给Q

9. 结论 1分子NADH经此穿梭产生1.5 ATP

大题｜2025 四川大学

经糖原磷酸解作用生成的 1 分子 1-磷酸葡萄糖在有氧情况下经过彻底氧化分解可以生成多少分子的 ATP？（写出计算过程，包括能量产生和消耗的每一步骤，不要求写物质结构式，但要写出名称或缩写）

1. 第一步 磷酸葡萄糖变位酶

2. 耗能 磷酸果糖激酶-1，-1 ATP

3. 糖酵解脱氢 3-磷酸甘油醛脱氢酶→NADH

4. 底物水平 磷酸甘油酸激酶、丙酮酸激酶→4 ATP

5. 丙酮酸氧化 丙酮酸脱氢酶→NADH+乙酰CoA

6. TCA产NADH 异柠檬酸、α-酮戊二酸、苹果酸脱氢酶

7. TCA产能 琥珀酰CoA合成酶→GTP

8. TCA脱氢 琥珀酸脱氢酶→FADH2

9. 磷酸甘油穿梭 -1+1.5×2+4+25=31

10. 苹果酸穿梭 -1+2.5×2+4+25=33

大题｜2025 华南师范大学、2025 西北大学

在一个具有完全细胞功能的哺乳动物肝脏细胞匀浆体系中，当 1mol 甘油作为底物完全氧化生成 CO_2、和 H_2O 功时，能产生多少 mol ATP？写出计算过程？

1. 第一步 甘油+ATP→α-磷酸甘油+ADP

2. 脱氢 α-磷酸甘油+NAD+→NADH

3. 第三步 磷酸二羟丙酮→甘油醛-3-磷酸

4. 脱氢 甘油醛-3-磷酸+NAD+→NADH

5. 底物水平 甘油酸-1,3-二磷酸+ADP→ATP

6. 转变 甘油酸-3-磷酸→磷酸烯醇式丙酮酸

7. 底物水平 磷酸烯醇式丙酮酸→丙酮酸+ATP

8. 氧化 丙酮酸+NAD+→乙酰辅酶A+NADH

9. 三羧酸循环 3NADH、1FADH2、1GTP

10. 计算 6×2.5+1×1.5+3-1=18.5

第 57 环 · 线粒体

mtDNA mitochondrial DNA

华农 2 次

1. 定义 存在于线粒体内的DNA　**2.** 结构 双链环状　**3.** 过程 半保留方式自我复制

4. 条件 细胞周期的S期及G2期进行复制

线粒体 mitochondria

华农 1 次

1. 结构 内外两层单位膜包裹　**2.** 功能 将有机物能量转换为ATP

3. 场所 内膜是氧化磷酸化关键场所　**4.** 特点 半自主性　**5.** 意义 起源于内共生

半自主性 semiautonomous

华农 1 次

1. 定义 线粒体的一种特性　**2.** 机制 细胞核和自身基因组调控

3. 组成 拥有自身遗传物质DNA　**4.** 过程 编码一小部分RNA和蛋白质

5. 特点 更多蛋白质由核基因编码　**6.** 特点 非孟德尔方式遗传

7. 特点 既相对独立又相互依存

大题｜2016 细胞・简答、2024 细胞・简答

线粒体的半自主性；两套遗传系统的相互作用

1. 自主DNA 16.6 kb双链环状DNA不与组蛋白结合

2. 编码蛋白 13种呼吸链和ATP合酶亚基

3. 编码RNA 2种rRNA、22种tRNA

4. 自主系统 核糖体、复制转录翻译；分裂增殖不能从头产生

5. 半自主 大部分蛋白质由核基因编码，细胞质输入

6. 核基因产物 包括DNA聚合酶、RNA聚合酶

7. 结论 功能受核基因组和自身基因组双重控制

8. 核控制 核基因编码所需酶和核糖体蛋白，决定增殖分裂

9. 共同组装 复合体Ⅰ Ⅲ Ⅳ、ATP合酶共同组装；Ⅱ 全核基因编码

10. 反馈 ATP、活性氧、代谢物逆行信号调节核基因；凋亡

11. 核质冲突 线粒体病、植物细胞质雄性不育

12. 遗传特点 母系遗传、异质性、脑视神经心肌骨骼肌

大题｜2025 云南大学

人类线粒体内的新陈代谢可能的道路。

1. 三羧酸循环 丙酮酸脱氢酶复合体脱羧生成乙酰-CoA

2. 缩合 乙酰-CoA与草酰乙酸缩合生成柠檬酸

3. 柠檬酸异构化 异柠檬酸、α-酮戊二酸氧化脱羧重新生成草酰乙酸

4. 产物 产生CO_2、NADH、$FADH_2$和少量ATP

5. 意义 糖、脂类和氨基酸等物质最终代谢通路和枢纽

6. 质子梯度 电子传递能量使氢离子从线粒体基质侧转移到膜间隙侧

7. 氧化磷酸化 质子顺浓度梯度回流驱动ADP磷酸化生成ATP

8. β-氧化 从羧基端断下二碳物，β位碳首先氧化

9. β-氧化产物 生成乙酰CoA、NADH、$FADH_2$和大量ATP

10. 脱氨作用 细胞溶胶转氨酶产物谷氨酸进入线粒体基质直接脱氨基

11. 形成天冬氨酸 线粒体天冬氨酸转氨酶转移氨基给草酰乙酸

12. 意义 天冬氨酸是尿素氨基供给者和腺苷酸代琥珀酸形成物质

大题｜2025 山东大学

为什么说线粒体和叶绿体是半自主性细胞器?

1. 半自主性定义 自身含有遗传表达系统

2. 遗传信息有限 编码的遗传信息十分有限

3. 依赖核基因组 必须依赖核基因组编码的遗传信息

4. 自身遗传物质 存在自己的DNA

5. 自身可编码 编码一些必需的RNA和蛋白质

6. 相对独立 独立于细胞核进行基因表达和蛋白质合成

7. 依赖核蛋白 功能依赖数以千计的核基因编码的蛋白质

大题｜2025 南京师范大学

细胞内线粒体变化的动态特征？调节机制是?

1. 形态变化 形态变化：点状、碎片状、条状、线状

2. 分布变化 依赖细胞骨架和马达蛋白向能量需求集中区域

3. 数量变化 随着细胞分化、生理状态及环境变化而改变

4. 融合分裂 颗粒状融合成线条状或片层状，片层状分裂成小颗粒状

5. 外膜融合 mfn1/2 GTP水解和二聚体促外膜融合

6. 内膜融合 opa1异构体维持线粒体嵴结构和功能、参与内膜融合

7. 修饰 磷酸化/去磷酸化修饰mfn1/2和opa1

8. drp1激活 drp1磷酸化募集到线粒体外膜启动分裂

9. 受体 fis1、mff、mid49和mid51等受体

10. fis1作用 fis1稳定drp1结合、促寡聚化环状结构压缩分裂

11. 信号通路 钙离子影响drp1磷酸化；生长因子、应激调控表达活性

大题｜2025 东北林业大学

简述线粒体融合与分裂的生物学意义。

1. 意义1 氧化自由基导致DNA损伤，融合分裂平衡损伤

2. 意义2 线粒体大小、数目及分布调控的基础

3. 意义3 遗传信息不均等分布，融合分裂实现共享

大题｜2025 华中农业大学

怎样理解线粒体和叶绿体是细胞能量转换的细胞器。

1. **结论** 有氧呼吸的主要场所

2. **糖酵解与氧化分解** 糖酵解产生丙酮酸，基质氧化分解二氧化碳氢少量能量

3. **呼吸链** 氢在线粒体内膜经过呼吸链传递与氧气结合生成水

4. **合成ATP** ADP磷酸化合成ATP，化学能转化为活跃化学能

5. **意义** 为物质运输、肌肉收缩、细胞分裂供能，动力工厂

6. **叶绿体** 光合作用将光能转化为化学能

7. **光反应** 色素吸收光能，水分子光解氧气和氢，光能转化电能

8. **电能转化** 电能转化为活跃化学能储存在ATP和NADPH

9. **暗反应** 五碳结合二氧化碳，ATP和NADPH还原糖类

10. **储存** 活跃化学能转化为稳定化学能储存在有机物

11. **自身意义** 为自身生长、发育、繁殖提供能量和物质基础

12. **生态意义** 几乎所有生物食物和氧气，物质循环能量流动关键环节

大题｜2026 河南师范大学

线粒体和叶绿体内共生起源学说的主要内容，并列出支持该学说的细胞生物学证据（至少四种）

1. **学说** 起源于原始真核细胞内共生

2. **线粒体祖先** 具备三羧酸循环和电子传递链系统的革兰氏阴性细菌

3. **叶绿体祖先** 进行光能自养的原核生物蓝细菌

4. **共生** 被原始真核细胞吞噬后形成互利共生

5. **证据①** 基因组与细菌基因组具有明显的相似性

6. **证据①** 单条环状双链DNA，无组蛋白结合，独立复制转录

7. **证据②** 独立完整的蛋白质合成系统，合成机制与细菌类似

8. **证据③** 缢裂的方式增殖，分裂方式与细菌相似

9. **证据④** 外膜与真核细胞内膜系统相似，来源于宿主

10. **证据④** 内膜与细菌质膜相似，内陷折叠形成嵴和类囊体

11. **证据④** 内膜蛋白质/脂质比接近细菌质膜

12. **证据⑤** 能在异源细胞内长期生存，具自主性和共生性

第 58 环 · 光反应

叶绿体分裂环 chloroplast division ring

外校 2 校次

1. **定义** 多蛋白聚合形成的环状结构　**2.** **组成** 内膜和外膜周围组装FtsZ两层环

3. **机制** GTP水解供能产生收缩力　**4.** **机制** 召集膜融合相关因子促融合

5. **过程** 驱动叶绿体从中间缢缩　**6.** **过程** 一个叶绿体分裂为两个子代叶绿体

7. **意义** 维持叶绿体数量稳定、保障光合作用

非循环式光合磷酸化 photophosphorylation

华农 1 次

1. **过程** 电子从水分子开始　**2.** **过程** PS II →Cyt b,f→PSI　**3.** **过程** 最终传递给$NADP^+$

4. **特点** 两个光系统、单方向传递　**5.** **产物** ATP　**6.** **产物** NADPH（绿色植物）

7. **产物** NADH（光合细菌）

大题｜2011 细胞・简答、2025 细胞・简答

氧化磷酸化与光合磷酸化；能量转换细胞器

1. **相同点** 膜上电子传递建立质子梯度；化学渗透

2. **相同点** F型ATP合酶质子回流合成ATP

3. **能量来源** 有机物氧化化学能；光能

4. **电子供受体** NADH、$FADH_2$→O_2生成水

5. **电子供受体** 光激发叶绿素从水夺电子→$NADP^+$

6. **场所方向** 线粒体内膜基质→膜间隙；类囊体膜叶绿体基质→腔

7. **质子动力势** 线粒体膜电位为主；叶绿体几乎全ΔpH

8. **产物去向** ATP供全细胞；ATP、NADPH暗反应固定CO_2

9. **线粒体** 有机物化学能→ATP；动力工厂

10. **叶绿体** 光能→ATP、NADPH→糖

11. **结构** 双层膜、内膜系统发达、电子传递链、半自主

12. **起源** 内共生学说：好氧细菌和蓝细菌

大题｜2007 细胞・简答

光合作用的主要反应及其产物

1. **三步** 原初反应、电子传递和光合磷酸化、碳同化

2. **第一步** P680、P700电荷分离，光能转变为电能，高能电子

3. **水裂解** 类囊体膜，PS II 裂解水放出O_2和质子

4. **电子传递链** PQ、b_6f、PC、铁氧还蛋白、FNR生成NADPH

5. **泵质子与能量** b_6f把质子泵进类囊体腔，电能转变为活跃的化学能

6. **ATP合成** CF_0CF_1-ATP合酶回流合成ATP

7. **碳固定** Rubisco固定CO_2到RuBP生成3-磷酸甘油酸

8. **还原** ATP和NADPH还原成3-磷酸甘油醛

9. **再生及其他** 叶绿体基质，大部分再生RuBP，淀粉或蔗糖

10. **第三步产物** 活跃的化学能转变为稳定的化学能，产物糖类

大题｜2007 细胞・论述

造淀粉体怎样发生、发育，怎样积累淀粉（以禾谷类胚乳为例）

1. **发生** 前质体不发育类囊体，双层被膜、环状DNA和核糖体

2. **发育** 缢裂增殖；水稻复粒、小麦单粒，大A型粒、小B型粒

3. **成熟** 被淀粉粒充满、基质薄层，程序性死亡，淀粉粒保留

4. **原料运输** 磷酸丙糖经P_i-磷酸丙糖反向转运体→蔗糖→韧皮部

5. **蔗糖合酶** 蔗糖合酶把蔗糖分解为UDP-葡萄糖和果糖

6. **葡萄糖-1-磷酸** UDP-葡萄糖焦磷酸化酶、磷酸葡萄糖变位酶

7. **ADP-葡萄糖** 禾谷类胚乳胞质ADP-葡萄糖焦磷酸化酶

8. **限速步骤** ADP-葡萄糖焦磷酸化酶限速

9. **调控** 3-磷酸甘油酸激活、无机磷酸抑制

10. **运入** ADP-葡萄糖转运蛋白（Brittle-1）

11. **双子叶** 双子叶运葡萄糖-6-磷酸，质体合成ADP-葡萄糖

12. **直链淀粉** 颗粒结合型淀粉合酶延长α(1→4)链合成直链淀粉

13. **支链淀粉** 可溶性淀粉合酶、淀粉分支酶、去分支酶修整支链淀粉

14. **沉积与品质** 直链/支链比例决定品质，有序沉积成半结晶淀粉粒

15. **意义**
缺颗粒结合型淀粉合酶只含支链淀粉（糯稻、糯玉米）

第 59 环 · 卡尔文循环

光呼吸 photorespiration
华农 1 次

1. **定义** 与光有关　**2.** **组成** Rubisco加氧酶+乙醇酸抢救　**3.** **过程** 消耗O2、产生CO2过程
4. **特点** 不产ATP和NADPH、耗能　**5.** **特点** 光合碳代谢副反应
6. **特点** 与CO2浓度、温度相关　**7.** **意义** C3生物量减少50%、进化适应

卡尔文循环 Calvin cycle
外校 1 校次

1. **定义** 光反应同化力还原CO2成糖　**2.** **分类** 碳同化的基本途径
3. **特点** 最初产物3-磷酸甘油酸　**4.** **分类** 也称C3途径　**5.** **过程** CO2固定→还原→RuBP再生
6. **特点** 合成1分子葡萄糖需6CO2　**7.** **特点** 18ATP、12NADPH

大题｜2024 生化・名词

光呼吸，以及 C_4 植物、CAM 植物怎样避开它

1. **原因与条件** Rubisco 加氧酶，O_2 与 CO_2 竞争，温度越高、CO_2/O_2 越低越强

2. **产物** O_2 加到 RuBP 生成 3-磷酸甘油酸和 2-磷酸乙醇酸

3. **途径** 叶绿体去磷酸，过氧化物酶体氧化成乙醛酸、转氨成甘氨酸

4. **线粒体** 两分子甘氨酸在线粒体生成一分子丝氨酸，放出 CO_2 和 NH_3

5. **回收** 甘油酸回叶绿体磷酸化成 3-磷酸甘油酸进卡尔文循环

6. **能量与碳损失** 光下耗 O_2 放 CO_2 不产生 ATP，25% 碳以 CO_2 损失

7. **C_4固定** 叶肉 PEP 羧化酶不与 O_2 反应，生成草酰乙酸、苹果酸

8. **C_4脱羧** 维管束鞘脱羧升高 CO_2 抑制光呼吸，高温强光下划算

9. **PEP再生** 丙酮酸磷酸双激酶再生 PEP，多花 2 个 ATP

10. **CAM气孔** 白天关闭气孔防止失水

11. **CAM固定脱羧** 夜里 PEP 羧化酶固定 CO_2 储苹果酸，白天脱羧进卡尔文循环

12. **比较** C_4 空间分开，CAM 时间分开

第 60 环 · 糖原

钙调蛋白（CaM） calmodulin
华农 3 次

1. **定义** 真核细胞中钙离子应答蛋白　**2.** **结构** 4个结构域每个结合一个Ca2+
3. **特点** 本身无活性　**4.** **机制** 形成活化Ca2+-CaM复合体
5. **机制** 与靶酶如钙调蛋白激酶结合并活化　**6.** **条件** Ca2+浓度控制的可逆反应
7. **意义** 调节多种酶活性和细胞骨架功能

糖原蛋白 glycogenin
外校 1 校次

1. **定义** 带α-1,4葡萄糖单位的寡糖　**2.** **功能** 自动催化寡聚G，供体UDPG
3. **过程** 连接8个G残基　**4.** **机制** 与糖原合酶紧密结合延长糖链
5. **意义** 大小取决于两者相互作用　**6.** **意义** 糖原颗粒数量取决于生糖原蛋白数量

糖原合成 glycogen synthesis
外校 1 校次

1. **定义** 葡萄糖转化为糖原　**2.** **场所** 细胞溶胶　**3.** **过程** 催化形成尿苷二磷酸葡萄糖
4. **过程** 糖原合酶催化α-1,4-糖苷键　**5.** **过程** 糖原分支酶催化α-1,6-糖苷键
6. **特点** 不是糖原降解逆过程　**7.** **意义** 有效储存并迅速动员葡萄糖

大题｜2014 细胞・问答

光面内质网在肝细胞糖原代谢和解毒中的作用

1. 转运入腔 G-6-P 转运体运进腔内

2. 水解 葡萄糖-6-磷酸酶水解成葡萄糖和磷酸

3. 出细胞 经转运体回胞质、GLUT2 出细胞维持血糖

4. 原因 肌肉和脑没有这个酶，肌糖原不能补充血糖

5. 酶系统 细胞色素 P450 等单加氧酶系统

6. 羟基化 NADPH 和 O_2 把脂溶性药物毒物羟基化

7. 结合排出 与葡糖醛酸结合、水溶性增加易排出

8. 诱导 苯巴比妥诱导光面内质网增生和 P450 合成

大题｜2026 吉林大学

糖原脱支酶和糖原分支酶作用及区别。

1. 所属过程 分支酶糖原合成，脱支酶糖原分解

2. 作用对象 直链糖原α-1,4，极限糊精α-1,6

3. 反应方向 分支形成，脱支消除α-1,6

4. 功能性质 分支酶α-1,4断裂α-1,6形成

5. 脱支性质 脱支酶α-1,6水解

6. 反应步骤 脱支两步反应，分支1步反应

7. 最终产物 分支糖原，葡萄糖和延长α-1,4链

第 61 环 ・ 糖异生

糖异生 gluconeogenesis

华农 4 次 ・ 外校 5 校次

1. 定义 非糖物质为前体 **2.** 定义 转化为葡萄糖 **3.** 场所 肝细胞线粒体和细胞溶胶

4. 举例 丙酮酸、乳酸、甘油等 **5.** 场所 主要发生在肝和肾 **6.** 意义 维持血糖恒定

7. 意义 保障脑、红细胞需求

大题｜2011、2012、2018 生化・问答

何谓糖酵解；糖异生与糖酵解的差异（三年）

1. 定义 糖酵解→2丙酮酸净2ATP、无氧乳酸；糖异生非糖→葡萄糖

2. 绕行1/2 己糖激酶/葡萄糖-6-磷酸酶；PFK-1/果糖-1,6-二磷酸酶

3. 绕行3 丙酮酸羧化酶+PEPCK，线粒体草酰乙酸→PEP

4. 部位 糖酵解细胞质；糖异生跨线粒体/细胞质、内质网，肝、肾

5. 能量 净2ATP；消耗4ATP、2GTP、2NADH

6. 调节总 相反调节，避免无效循环

7. 调节 AMP、果糖-2,6-二磷酸激活PFK-1

8. 调节 抑制果糖-1,6-二磷酸酶；ATP、柠檬酸相反

9. 调节 乙酰CoA激活丙酮酸羧化酶

10. 激素 胰岛素促进糖酵解，胰高血糖素促进糖异生

11. 意义 快速供能、提供中间产物

12. 意义 维持血糖，保证脑和红细胞供能，回收乳酸、防止酸中毒

大题｜2025 云南大学

简述乳酸循环。

1. 原因 NADH超出氧化呼吸链再形成NAD+能力

2. 肌肉 乳酸脱氢酶转变丙酮酸为乳酸再生NAD+

3. 继续 糖酵解继续提供ATP

4. 转运 乳酸扩散到血液并随着血流进入肝脏细胞

5. 肝脏 肝脏细胞内通过糖异生转变为葡萄糖

6. 回血 回到血液随血流供应肌肉和脑

7. 名称 可立氏循环又称乳酸循环

大题｜2025 云南大学

简述糖异生三步重要反应。

1. 总述 绕过EMP 3个不可逆反应

2. 第一步a 丙酮酸羧化酶(生物素)耗ATP形成草酰乙酸

3. 第一步b PEPCK耗GTP形成磷酸烯醇式丙酮酸

4. 第二步 1,6-二磷酸果糖磷酸酶形成6-磷酸果糖

5. 第三步 葡萄糖-6-磷酸酶水解6-磷酸葡萄糖

大题｜2026 云南大学

简述糖异生途径的生理意义要点。

1. 结论 饥饿时糖异生维持血糖浓度相对恒定

2. 依赖供能 大脑、红细胞依赖葡萄糖供能

3. 非糖物质 糖异生利用乳酸、甘油、生糖氨基酸等合成葡萄糖

4. 回收能量 乳酸循环：糖酵解产乳酸→血→肝糖异生→糖回肌供能

5. 酸碱平衡 乳酸→葡萄糖减轻或消除代谢性酸中毒

6. 葡萄糖来源 草食动物特别反刍动物葡萄糖主要来源

7. 意义 协助氨基酸代谢

8. 举例 生糖氨基酸经三羧酸循环生成磷酸烯醇式丙酮酸合成糖

第 62 环 ・ 戊糖磷酸途径

戊糖磷酸途径 pentose phosphate pathway (PPP)

华农 1 次 ・ 外校 1 校次

1. 定义 糖代谢的第二条重要途径 **2.** 定义 葡萄糖分解的另一种机制

3. 意义 形成 NADPH 和 5-磷酸核糖

大题｜2025 生化・问答

戊糖磷酸途径的生物学意义

1. **提供还原力** 脂肪酸、胆固醇、类固醇激素等还原性合成
2. **抗氧化** 维持谷胱甘肽的还原态，G6PD缺乏导致蚕豆病
3. **生物转化** 细胞色素P450单加氧酶需要NADPH
4. **杀菌** NADPH氧化酶产生超氧阴离子
5. **5-磷酸核糖** 合成核苷酸、核酸和NAD^+、FAD、CoA等辅酶
6. **糖相互转变** 三碳、四碳、五碳、六碳、七碳糖相互转变
7. **芳香族氨基酸** 4-磷酸赤藓糖
8. **与糖酵解相连** 调节NADPH和核糖的比例
9. **与卡尔文循环** 再生阶段相通
10. **调节** 限速酶G6PD受NADPH/$NADP^+$比值调节

大题｜精华例题

蚕豆病：G6PD 缺乏的人为什么吃蚕豆会溶血（GSH 考过四年）

1. **GSH是什么** 还原型谷胱甘肽三肽，起作用的是半胱氨酸巯基
2. **组成** γ-谷氨酰-半胱氨酰-甘氨酸
3. **保护机制** 谷胱甘肽过氧化物酶还原H_2O_2
4. **氧化与循环** GSH氧化成二硫键GSSG，还原酶用NADPH还原
5. **溶血原因** 戊糖磷酸途径是NADPH唯一来源，G6PD是限速酶
6. **氧化剂多** 缺乏时NADPH生成不足，大量氧化剂时GSH耗尽
7. **溶血后果** 膜脂过氧化、血红蛋白巯基被氧化，膜破裂
8. **无线粒体** 没有线粒体，苹果酸酶和NADP-异柠檬酸脱氢酶断了
9. **直接接触氧** 直接接触大量氧，不断产生活性氧
10. **无核糖体** 没有核糖体，不能合成新的G6PD，酶活性随老化下降

大题｜2025 云南大学

磷酸戊糖途径存在的必要性是什么？

1. **总述** 产生NADPH的途径
2. **生物合成** 脂肪酸 胆固醇 核苷酸 神经递质
3. **解毒** 细胞色素P450 单加氧酶 羟基化
4. **免疫** NADPH氧化酶 超氧阴离子
5. **产生ATP** 吡啶核苷酸转氢酶 NADH 呼吸链
6. **维持红细胞膜** 谷胱甘肽还原酶 GSH 红细胞膜
7. **5-磷酸核糖** 5-磷酸核糖 单糖相互转变
8. **合成需要** 4-磷酸赤藓糖 芳香族氨基酸 维生素B6

大题｜2025 郑州大学

磷酸戊糖途径氧化阶段第 1 步反应在生理条件下不可逆，属于限速反应。第 1 步反应是什么？它的调控酶是什么？调控酶缺乏会引起贫血症，说明其发病机制。

1. **第1步反应** 6-磷酸葡萄糖脱氢生成内酯和NADPH
2. **调控酶** 6-磷酸葡萄糖脱氢酶
3. **NADPH不足** 酶缺乏使NADPH生成不足
4. **GSH不足** GSSG不能还原为GSH
5. **氧化损伤** GSH不能清除过氧化氢
6. **结果** 红细胞膜损伤破裂引发溶血

第 63 环 · 区室与穿梭

大题｜2025 山东大学

糖异生、脂肪酸分解、脂肪酸合成涉及的穿过线粒体的途径（外校，880）

1. **前提** 内膜不让草酰乙酸、脂酰CoA、乙酰CoA通过
2. **糖异生** 丙酮酸羧化酶生成草酰乙酸，胞质PEPCK生成PEP
3. **穿梭** 苹果酸脱氢酶还原成苹果酸，运到胞质再氧化回草酰乙酸
4. **还原力** 供1,3-二磷酸甘油酸还原
5. **其他** 也可转氨成天冬氨酸运出
6. **乳酸原料** 乳酸为原料，乳酸脱氢酶产NADH，线粒体PEPCK生成PEP
7. **活化** 脂肪酸在胞质活化成脂酰CoA
8. **肉碱穿梭** 外膜肉碱脂酰转移酶 I，内膜转位酶，内侧转移酶 II
9. **限速/意义** 转移酶 I 限速，丙二酸单酰CoA抑制，互不冲突
10. **合成穿梭** 缩合成柠檬酸，柠檬酸转运体，ATP-柠檬酸裂解酶
11. **NADPH** 草酰乙酸还原成苹果酸，苹果酸酶产NADPH，丙酮酸回线粒体
12. **耗能/激活** 每运乙酰基耗2ATP，柠檬酸激活乙酰CoA羧化酶

大题｜2025 暨南大学

什么是细胞膜？细胞膜结构有哪些功能？简述一下细胞中的各种膜结构对代谢的调节和控制作用有哪些？

1. **定义** 质膜；磷脂分子、蛋白质分子、糖类分子
2. **特点** 不对称性和流动性
3. **屏障与运输** 分隔与屏障、物质运输功能
4. **信息与识别** 信号转导、细胞识别、细胞连接
5. **能量转换** 能量转换功能
6. **离子梯度** 控制跨膜离子浓度梯度和电位梯度
7. **运输调节** 运输系统控制底物进入细胞或细胞器
8. **内膜分隔** 内膜系统分隔区，富集的酶类和辅助因子
9. **双关酶** 双关酶，膜结合型和可溶型互变
10. **信号途径** G 蛋白偶联受体、受体酪氨酸激酶

大题｜2025 山东大学

糖异生、脂肪酸分解、脂肪酸合成涉及的穿过线粒体体的途径。

1. 进线粒体 丙酮酸转运蛋白入线粒体；丙酮酸羧化酶→OAA

2. 无法透内膜 OAA无法透内膜；苹果酸脱氢酶接受NADH氢→苹果酸

3. 进细胞质 苹果酸-α-酮戊二酸转运蛋白进细胞质

4. 重新氧化 细胞质苹果酸脱氢酶→OAA，同时生成NADH

5. 转运总起 脂酰-CoA从胞质转运至线粒体；10碳以下渗透

6. 长链穿梭

肉毒碱穿梭：肉碱脂酰移位酶 I （内膜外，限速酶）

7. 透内膜 脂酰-肉碱经肉碱/脂酰肉碱移位酶透过内膜

8. 释放肉碱 肉碱脂酰移位酶 II： 游离肉碱运出，脂酰基回CoA

9. 转运至胞液 乙酰-CoA从线粒体转运至胞液；柠檬酸作乙酰基载体

10. 柠檬酸合酶 乙酰-CoA和草酰乙酸经柠檬酸合酶→柠檬酸

11. 裂解 柠檬酸裂解酶→乙酰-CoA和草酰乙酸

12. 重新转变 OAA经苹果酸和丙酮酸重新转变为线粒体OAA

第 64 环 · β氧化

β-氧化 β-oxidation

华农 5 次 · 外校 3 校次

1. 定义 脂肪酸在细胞中的降解过程 **2.** 场所 主要在线粒体发生

3. 过程 β位碳首先氧化，断下二碳物 **4.** 过程 乙酰CoA、NADH、FADH2

5. 过程 氧化、水合、氧化、硫解 **6.** 意义 脂肪酸氧化分解的主要途径

7. 意义 产生大量ATP

脂肪动员 fat mobilization

外校 1 校次

1. 定义 脂肪组织甘油三酯水解为游离脂肪酸和甘油 **2.** 过程 释放进入血液

3. 场所 脂肪酸线粒体氧化分解，甘油细胞溶胶代谢 **4.** 机制 关键酶为三酰甘油脂肪酶

5. 机制 还需脂酶、磷脂酶作用 **6.** 特点 过度脂肪动员导致脂肪肝

大题｜2011、2012 生化・问答

以软脂酸为例计算 β-氧化产生的能量（两年）

1. 活化 脂酰CoA合成酶，ATP→AMP+PPi，−2

2. 转运 肉碱穿梭进入线粒体基质

3. β-氧化 7轮：脱氢、加水、再脱氢、硫解

4. 产物 7 $FADH_2$、7 NADH、8 乙酰CoA

5. $FADH_2$ 7 $FADH_2$×1.5=10.5

6. NADH 7 NADH×2.5=17.5

7. 乙酰CoA 3NADH、1$FADH_2$、1GTP→10ATP

8. 8个乙酰CoA 8个乙酰CoA得80

9. 净得 合计108，减活化2，净得106 ATP

大题｜2013 生化・问答

骆驼峰中的脂肪怎样变成水（6 分）

1. 脂肪分解 甘油三酯经脂肪酶水解为甘油和脂肪酸

2. 脂肪酸氧化 β-氧化生成乙酰CoA，三羧酸循环氧化

3. 甘油氧化 甘油经糖代谢途径氧化

4. 水的来源 NADH、$FADH_2$经呼吸链传O_2生成水

5. 定量举例 三软脂酰甘油 72.5 O_2 → 49 H_2O

6. 数量 1 kg 脂肪约产生 1.1 L 水

7. 原因 脂肪还原程度高，产生水和能量比等重糖多

8. 结论 驼峰既是能量库又是水库，骆驼长时间不饮水

9. 举例 冬眠的熊也靠脂肪氧化同时得到能量和水

大题｜精华例题

14 碳饱和脂肪酸彻底氧化产生多少 ATP（四年）

1. 活化 脂酰CoA合成酶活化，消耗2个高能磷酸键

2. 转运 肉碱穿梭进入线粒体基质

3. β-氧化 14÷2−1=6轮

4. 产物 6 $FADH_2$、6 NADH、7 乙酰CoA

5. $FADH_2$计算 6 $FADH_2$×1.5+6 NADH×2.5=24

6. 乙酰CoA 每个乙酰CoA经三羧酸循环得10 ATP

7. 总ATP 24+70−2=92个ATP

大题｜2026 南京师范大学、2025 湖南大学

计算 1 mol 软脂酸在体内氧化分解成 CO_2 和 H_2O 后，产生 ATP 的摩尔数，并给出计算数据。

1. β-氧化① 脂酰-CoA脱氢酶→反-△2-烯酰-CoA、FADH2

2. β-氧化② L-3-羟脂酰-CoA脱氢酶→β-酮脂酰-CoA、NADH

3. TCA① 异柠檬酸脱氢酶→α-酮戊二酸、NADH、CO2

4. TCA② α-酮戊二酸脱氢酶复合体→琥珀酰-CoA、NADH、CO2

5. TCA③ 琥珀酰CoA合成酶→琥珀酸、GTP

6. TCA④ 琥珀酸脱氢酶→延胡索酸、FADH2

7. TCA⑤ 苹果酸脱氢酶→草酰乙酸、NADH

8. β-氧化统计 7次β-氧化、7 FADH2、7 NADH、8乙酰辅酶A

9. FADH2与NADH产能 1.5×7+2.5×7=28 mol ATP

10. 乙酰CoA产能 乙酰辅酶A彻底氧化10×8=80 mol ATP

11. 活化消耗 生成软脂酰辅酶A消耗2 mol ATP

12. 净生成 28+80-2=106 mol ATP

大题｜2025 中山大学

简述 10 分子的饱和脂肪酸产生乙酰辅酶 A 的过程。

1. **第一步** 脂酰-CoA脱氢酶生成双键反-△2-烯酰-CoA、FADH2
2. **第二步** 羟脂酰-CoA脱氢酶生成β—酮脂酰-CoA、NADH
3. **终产物** 乙酰-CoA进入TCA循环
4. **TCA①** 异柠檬酸脱氢酶生成α-酮戊二酸、NADH
5. **TCA②** α-酮戊二酸脱氢酶复合体生成琥珀酰-CoA、NADH
6. **TCA③** 琥珀酰CoA合成酶生成琥珀酸、GTP
7. **TCA④** 琥珀酸脱氢酶生成延胡索酸、FADH2
8. **TCA⑤** 苹果酸脱氢酶生成草酰乙酸、NADH
9. **β-氧化统计** 4次β-氧化、4 FADH2、4 NADH、5乙酰-CoA
10. **16 ATP** 1.5×4+2.5×4=16 mol ATP
11. **50 ATP** 10×5=50 mol ATP
12. **净ATP** 消耗2 mol ATP、净合成64 mol ATP

大题｜2025 云南大学

脂肪酸降解有几条通道，主要是哪条通道，步骤。

1. **通道** β-氧化、α-氧化、ω-氧化，主要β-氧化
2. **活化** 脂酰-CoA合酶催化形成脂酰-CoA
3. **耗能** 消耗ATP和Mg2+，2个高能磷酸键
4. **转移** 短或中长链（10碳以下）渗透；长链需肉毒碱穿梭系统
5. **酶定位** 肉碱脂酰转移酶I和 II 位于内膜外侧及内侧
6. **转运** 酶 I 转化为脂酰肉碱，转位酶转运，酶 II 转变为脂酰-CoA
7. **总述** 线粒体生成乙酰-CoA、NADH、FADH2
8. **氧化** 脂酰CoA脱氢酶，FAD→FADH2，反-△2-烯酰CoA
9. **水合** 烯酰-CoA水合酶，生成L-3-羟脂酰-CoA
10. **再氧化** L-3-羟脂酰-CoA脱氢酶，NAD+→NADH
11. **硫解** 硫解酶，β-酮脂酰-CoA→乙酰-CoA+C-2脂酰-CoA

大题｜2026 哈尔滨工业大学

脂肪酸储能相比其他化合物的优势。

1. **能量密度** 脂肪能量密度高、疏水性强
2. **长期储能** 更适合作为长期的储能物质
3. **能量平衡** 摄入过剩储存、不足缓慢释放、维持能量平衡
4. **原子组成** 原子组成主要是C和H
5. **能量效率** β-氧化能量效率远远高于多糖氧化分解
6. **产物** NADH、FADH2和乙酰CoA
7. **产水** 彻底氧化时会产生水，为机体提供水

第 65 环 · 酮体

酮体 ketone bodies

华农 2 次

1. **定义** 脂肪酸氧化分解的中间产物　2. **定义** 乙酰乙酸、β-羟丁酸、丙酮统称
3. **场所** 肝的线粒体基质内合成　4. **条件** 饥饿、低糖或糖尿病等糖代谢不足
5. **意义** 肝外组织的重要替代能源　6. **意义** 酮血症、酮尿症、酸中毒

大题｜2024 生化・简答

酮体的生成和生物学意义

1. **部位** 肝细胞线粒体
2. **第一步** 硫解酶缩合成乙酰乙酰CoA
3. **限速酶** HMG-CoA合酶
4. **裂解** HMG-CoA裂解酶→乙酰乙酸
5. **丙酮** 自发脱羧成丙酮
6. **还原与组成** D-β-羟丁酸脱氢酶还原；三者合称酮体
7. **大量生成原因** 草酰乙酸抽去糖异生
8. **放出CoA** 生成酮体放出CoA，β-氧化继续
9. **活化** β-酮脂酰CoA转移酶借琥珀酰CoA活化乙酰乙酸
10. **肝内外** 肝缺转移酶，肝内生成肝外利用
11. **意义** 肝输出脂肪酸能源，水溶性好
12. **透过屏障** 易透过毛细血管壁和血脑屏障
13. **长期饥饿** 脑60%由酮体供给，节省葡萄糖
14. **保护** 减少肌肉蛋白分解
15. **代价** 酮症酸中毒

大题｜2026 中国海洋大学

在长期禁食下，脂肪酸如何通过 β 氧化、柠檬酸循环、酮体生成提供能量及酮体生成的生理学意义。

1. **前提** 血糖降低、胰岛素下降、胰高血糖素升高、脂肪动员增强
2. **β-氧化** NADH、$FADH_2$进入呼吸链产生ATP
3. **柠檬酸循环** 乙酰-CoA进入柠檬酸循环彻底氧化供能
4. **酮体生成** 肝内乙酰-CoA过剩生成乙酰乙酸、β-羟丁酸、丙酮
5. **肝外供能** 酮体运往肝外组织氧化供能
6. **正常产物/输出** 肝内正常产物肝输出容易运输和利用的优质能源物质
7. **肝外利用** 肾和心肌酶系较强其次是大脑
8. **避免消耗** 肌肉组织利用酮体抑制蛋白质分解
9. **应急/血脑屏障** 应急能源节省葡萄糖供脑和红细胞血脑屏障
10. **数据** 饥饿时酮体可占脑能量来源的25%到75%

大题｜2026 吉林大学

酮体是怎么合成的？为什么重症糖尿病患者会出现酮血症和酸中毒？

1. **第一步** 硫解酶缩合2分子乙酰-CoA成乙酰乙酰-CoA
2. **第二步** HMG-CoA合酶催化形成HMG-CoA
3. **第三步** HMG-CoA裂解酶裂解形成乙酰-CoA和乙酰乙酸
4. **第四步** D-β-羟丁酸脱氢酶生成D-β-羟丁酸
5. **丙酮** 乙酰乙酸自身脱羧生成丙酮
6. **原因** 糖的贮存耗尽，肝外组织不能获取葡萄糖
7. **加速** 肝中糖异生和脂肪酸氧化加速，产生大量乙酰-CoA
8. **草酰乙酸** 糖异生使草酰乙酸供应耗尽
9. **转向酮体** 乙酰-CoA不能正常进入柠檬酸循环，转向生成酮体
10. **结果** 酮体超过利用限度，血液中酮体升高引起酮中毒
11. **酮症** 血液和尿中酮体显著增高称为酮症

大题｜2025 南京师范大学

不吃肉吃糖也能长肥肉，为什么？生酮饮食的弊端是什么？

1. **糖酵解** 葡萄糖经酵解生成磷酸二羟丙酮及丙酮酸
2. **甘油来源** 磷酸二羟丙酮还原为3-磷酸甘油
3. **合成脂肪酸** 丙酮酸氧化脱羧生成乙酰-CoA缩合脂肪酸
4. **形成脂肪** 脂肪酸和3-磷酸甘油形成脂肪
5. **脂肪动员** 高糖饮食提高胰岛素抑制HSL减少脂肪分解
6. **LDL-C** LDL-C升高增加动脉粥样硬化冠心病风险
7. **酮症酸中毒** 肝脏代谢脂肪产生酮体引发酮症酸中毒
8. **低血糖** 碳水化合物骤减低血糖影响大脑供能
9. **胆结石** 胆汁酸帮助脂肪吸收导致胆结石
10. **营养不均衡** 膳食纤维不足致营养不均衡微量营养素缺乏

第 66 环 · 脂肪酸合成

柠檬酸-丙酮酸循环 citrate-pyruvate cycle

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 乙酰CoA从线粒体转运至胞液
2. **过程** 线粒体中缩合为柠檬酸
3. **过程** 载体穿过线粒体内膜进入胞液
4. **过程** 胞液裂解为乙酰CoA和草酰乙酸
5. **过程** 草酰乙酸转丙酮酸运回生成草酰乙酸
6. **意义** 脂肪酸合成原料、NADPH生成
7. **意义** 连接三羧酸循环与胞质脂质合成

酰基载体蛋白 acyl carrier protein (ACP)

外校 3 校次

1. **定义** 相对分子质量较低的蛋白质
2. **意义** 类似辅酶A在脂肪酸降解中的作用
3. **组成** 辅基是磷酸泛酰巯基乙胺
4. **结构** 磷酸基团与丝氨酸残基以磷酯键相接
5. **结构** SH基与脂酰基形成硫酯键
6. **组成** 脂肪酸合酶复合体7种酶活性ACP
7. **意义** 在脂肪酸合成中转移脂酰基促进合成

乙酰辅酶A羧化酶 acetyl-CoA carboxylase

外校 1 校次

1. **定义** 脂肪酸合成的限速酶
2. **场所** 细胞质
3. **组成** 以生物素为辅基
4. **机制** 乙酰CoA与CO_2生成丙二酸单酰-CoA
5. **机制** 柠檬酸激活
6. **机制** 软脂酰、丙二酸单酰-CoA反馈抑制
7. **意义** 调控脂肪酸合成的关键位点

大题｜2026 厦门大学

柠檬酸对脂肪酸合成的调控（外校）

1. **运送原料** 柠檬酸转运体运到胞质，裂解酶放出乙酰CoA
2. **别构激活限速酶** 乙酰CoA羧化酶别构激活聚合成长丝
3. **提供NADPH** 苹果酸、苹果酸酶产生NADPH约占一半
4. **调节糖流向** 抑制磷酸果糖激酶-1，进入戊糖磷酸途径
5. **维持糖酵解** 胰岛素使2,6-二磷酸果糖增多
6. **结论** 能量充足该储存的信号，转向燃料储存

大题｜精华例题

脂肪酸从头合成的限速酶及其调节（华农小题考过十多次）

1. **反应式** 乙酰CoA + HCO_3^- + ATP → 丙二酸单酰CoA
2. **辅基** 生物素
3. **两步** 生物素羧化酶接到生物素；羧基转移酶转给乙酰CoA
4. **限速原因** 第一定向步骤、消耗ATP不可逆、产物只能合成脂肪酸
5. **别构调节** 柠檬酸别构激活、聚合成长丝；软脂酰CoA反馈抑制
6. **共价失活** AMPK、胰高血糖素、肾上腺素经PKA磷酸化失活
7. **共价激活** 胰岛素促进去磷酸化而激活
8. **酶量** 长期高糖低脂膳食、胰岛素诱导合成增加，饥饿减少
9. **联动** 丙二酸单酰CoA抑制肉碱脂酰转移酶 I
10. **NADPH来源** NADPH来自戊糖磷酸途径和苹果酸酶

大题｜精华例题

脂肪酸合成与 β-氧化的区别（外校高频，华农小题）

1. **部位** 胞质；植物在叶绿体；线粒体基质
2. **酰基载体** ACP；CoA
3. **二碳单位** 丙二酸单酰CoA；切下乙酰CoA
4. **反应步骤** 缩合还原脱水再还原；脱氢加水再脱氢硫解
5. **电子载体** NADPH；FAD和NAD^+
6. **中间物构型** D-β-羟脂酰-ACP；L-β-羟脂酰CoA
7. **方向** 甲基端向羧基端；羧基端开始切
8. **酶组织** 多功能肽链；分开的酶
9. **限速酶与调节** 乙酰CoA羧化酶；肉碱脂酰转移酶 I
10. **能量** 合成消耗ATP；降解产生ATP

大题｜精华例题

糖怎样变成脂肪；为什么重症糖尿病人越吃越瘦（外校）

1. 第一步 糖酵解→丙酮酸脱氢酶复合体→乙酰CoA
2. 转运 柠檬酸-丙酮酸循环裂解出乙酰CoA
3. 羧化 乙酰CoA羧化酶生成丙二酸单酰CoA
4. 合成 脂肪酸合酶用NADPH合成软脂酸
5. 成脂 3-磷酸甘油与脂酰CoA合成三酰甘油
6. 调节 胰岛素激活乙酰CoA羧化酶
7. 合成停 胰岛素不足糖变不成脂肪
8. 分解 激素敏感脂肪酶激活，脂肪酸氧化生成酮体
9. 糖异生 肌肉蛋白分解去做糖异生
10. 尿糖 血糖超过肾糖阈，随尿排出带走大量能量

大题｜2025 南开大学

脂肪酸合成的为什么主要场所是肝脏和脂肪细胞。

1. 关键酶 肝脏乙酰辅酶A羧化酶和脂肪酸合酶表达量极高
2. 催化 ACC→丙二酸单酰辅酶A；FAS→16碳软脂酸
3. 合成体系 肝脏胞质完整脂肪酸合成体系
4. 原料 肝脏糖酵解产生大量乙酰辅酶A
5. 还原力 肝脏磷酸戊糖途径提供NADPH
6. 激素敏感 脂肪组织对胰岛素高度敏感
7. 胰岛素 胰岛素激活ACC和FAS
8. 饥饿 胰高血糖素抑制合成，优先分解甘油三酯供能
9. 原料 脂肪细胞糖酵解产生乙酰辅酶A
10. 还原力 脂肪细胞磷酸戊糖途径生成NADPH
11. 效率 减少运输成本提高能量储存效率

大题｜2026 合肥工业大学、2026 河南师范大学、2026 浙江师范大学 等

列举脂肪酸降解和合成的 4 个不同点。

1. 定位 细胞质 线粒体
2. 运载系统 柠檬酸穿梭系统 肉碱转运
3. 酰基载体 ACP CoA
4. 二碳形式 丙二酸单酰CoA 乙酰CoA

大题｜2025 厦门大学

糖类转变为脂肪的途径是什么？为什么糖尿病人越吃反而不胖。

1. 甘油来源 磷酸二羟丙酮经还原酶转变为3-磷酸甘油
2. 生成乙酰辅酶A 丙酮酸脱氢酶复合体氧化脱羧生成乙酰辅酶A
3. 转运至细胞质 乙酰辅酶A经柠檬酸-丙酮酸循环转运
4. 合成脂肪酸 脂肪酸合成酶系催化合成脂肪酸
5. 缩合 脂肪酸和甘油缩合形成脂肪
6. 核心问题 胰岛素分泌不足或胰岛素抵抗
7. 细胞摄取 细胞无法正常摄取和利用血液中的葡萄糖
8. 能量缺乏 葡萄糖无法进入细胞供能
9. 分解供能 分解脂肪和蛋白质替代能量，体重下降

大题｜2025 南京师范大学

不吃肉吃糖也能长肥肉，为什么？生酮饮食的弊端是什么？

1. 甘油来源 糖酵解→磷酸二羟丙酮→3-磷酸甘油
2. 乙酰辅酶A 丙酮酸脱氢酶复合体→乙酰辅酶A
3. 脂肪酸合成 柠檬酸-丙酮酸循环→脂肪酸合成酶系
4. 缩合 脂肪酸与甘油缩合成脂肪
5. 肝脏负担 肝脏酮体生成高负荷影响肝功能
6. 酮症酸中毒 酮体过度积累→酮症酸中毒
7. 低血糖 低碳水→血糖骤降→低血糖
8. 心血管风险 饱和脂肪→总胆固醇LDL升高

大题｜2026 南开大学

脂肪酸合成的肽链延长机制，在内质网与线粒体有何不同？

1. 二碳供体 内质网丙二酸单酰CoA/线粒体乙酰CoA
2. 还原力 内质网NADPH/线粒体NADH/NADPH
3. 内质网酶 β-酮脂酰CoA合酶催化
4. 内质网反应 脂酰CoA+丙二酸单酰CoA→β-酮脂酰CoA+CO2
5. 线粒体酶 β-酮脂酰CoA硫解酶逆向催化
6. 线粒体反应 脂酰CoA+乙酰CoA⇌β-酮脂酰CoA

大题｜2026 厦门大学

柠檬酸对脂肪酸合成的调控。

1. 转运 乙酰-CoA经柠檬酸转运
2. 激活酶 柠檬酸别构激活乙酰-CoA羧化酶
3. 限速酶 乙酰-CoA羧化酶 限速酶
4. 供NADPH 提供NADPH
5. 供能量 提高ATP 能量需求

大题｜2025 厦门大学

糖类转变为脂肪的途径是什么？为什么糖尿病人越吃反而不胖。

1. 甘油来源 磷酸二羟丙酮转变为3-磷酸甘油
2. 乙酰辅酶A 丙酮酸脱氢酶复合体生成乙酰辅酶A
3. 转运 柠檬酸-丙酮酸循环转运乙酰辅酶A
4. 合成脂肪酸 脂肪酸合成酶系合成脂肪酸
5. 缩合 脂肪酸和甘油缩合形成脂肪
6. 核心问题 胰岛素分泌不足或胰岛素抵抗
7. 不能供能 葡萄糖无法进入细胞供能
8. 体重下降 分解脂肪和蛋白质，体重下降