第 82 环 · 复制叉

单链结合蛋白（SSB） single-strand binding protein
华农 4 次

1. 过程 覆盖解开的单链　**2.** 机制 保护单链　**3.** 机制 防止恢复双链

DNA 连接酶 DNA ligase
华农 3 次

1. 过程 DNA片段之间形成磷酸二酯键　**2.** 条件 以NAD+或ATP提供能量
3. 意义 复制、修复和重组中起重要作用

解旋酶 helicase
华农 1 次

1. 举例 Dna B 是一种解旋酶　**2.** 过程 沿 DNA 链 5'→3' 方向移动　**3.** 条件 由 ATP 供给能量
4. 意义 真核生物复制起始需安装解旋酶　**5.** 组成 真核生物解旋酶是一类异六聚复合物
6. 组成 微小染色体维持蛋白(MCM)　**7.** 条件 安装需要 ORC

复制体 replisome
外校 1 校次

1. 定义 复制叉上的多蛋白复合体　**2.** 组成 DNA聚合酶、解旋酶、SSB
3. 作用 新链合成、旧链保护　**4.** 意义 保证复制的精确性、持续性、协同性

大题｜2015 生化・分析
大肠杆菌 DNA 的复制过程及各种酶的功能（8 分）

1. 起始 oriC双向复制，DnaA使A=T解链
2. 解旋 DnaC装DnaB，DnaB沿5′→3′解链
3. SSB SSB结合单链防止复性和降解
4. 旋转酶 DNA旋转酶引入负超螺旋消除正超螺旋
5. 引物 DnaG合成RNA引物3′-OH，后随链反复引发
6. 延伸 聚合酶III全酶β亚基夹子持续合成前导/后随链冈崎片段
7. 校对 DNA聚合酶III 3′→5′外切校对
8. 切除引物 聚合酶 I 5′→3′外切除RNA引物并聚合补DNA
9. 连接 DNA连接酶NAD⁺连成磷酸二酯键
10. 终止 Tus结合Ter阻挡复制叉；拓扑异构酶IV解套连
11. 复制后 Dam甲基化GATC半甲基化不能再起始
12. 修复 错配修复系统纠正残留错配

大题｜2022 生化・简答
大肠杆菌 DNA 聚合酶发生缺失突变会怎样

1. 前提 要看缺的是哪一种
2. Pol III 唯一复制酶两条链延伸速度快持续合成能力强
3. Pol III缺失 染色体不能复制不能存活限制温度复制停止
4. Pol I功能 切除RNA引物填补冈崎片段缺口切除修复
5. polA1 失去聚合活性保留5′→3′外切活性仍能存活
6. polA1后果 冈崎片段连接变慢积累紫外线敏感修复下降
7. 外切活性缺失 RNase H切不掉最后一个核糖核苷酸不能存活
8. 校对缺失 复制照常失去校对错误率升高几百倍增变株
9. Pol II/IV/V II 参与修复IV V SOS跨损伤合成
10. 严重损伤 存活率下降诱变率降低

第 83 环 · 端粒

端粒酶 telomerase
华农 5 次 · 外校 1 校次

1. 定义 由RNA和蛋白质组成的核糖核蛋白　**2.** 机制 具有逆转录酶活性
3. 机制 以自身RNA为模板延伸端粒　**4.** 机制 弥补复制导致的端粒缩短
5. 意义 生殖细胞、干细胞中活性较高　**6.** 意义 维持染色体稳定，与衰老、肿瘤相关

端粒 telomere
华农 1 次 · 外校 2 校次

1. 定义 染色体两个端部特化结构　**2.** 组成 富含G的短的串联重复序列DNA
3. 特点 基因组内相同、不同物种不同　**4.** 意义 长度与细胞及生物个体寿命有关
5. 意义 端粒缩短、细胞分裂次数降低　**6.** 意义 维持染色体的完整性和独立性

端粒酶和逆转录酶 telomerase and reverse transcriptase
外校 1 校次

1. 端粒酶・定义 含有RNA链的逆转录酶　**2.** 端粒酶・过程 以所含RNA为模板合成DNA端粒结构
3. 端粒酶・过程 结合到端粒3’端，RNA模板5’端识别DNA 3’端碱基并配对
4. 端粒酶・过程 合成一个重复单位后向前移动一个单位
5. 端粒酶・过程 3’单链末端回折作为引物，合成互补链
6. 端粒酶・功能 生殖细胞中存在，端粒保持一定长度
7. 端粒酶・意义 体细胞失去端粒酶活性→端粒缩短→生长停止或凋亡
8. 端粒酶・意义 肿瘤标志和肿瘤治疗靶点
9. 逆转录酶・条件 需要模板和引物，4种脱氧核苷三磷酸为底物
10. 逆转录酶・条件 Mg2+和Mn2+；延长方向5’→3’
11. 逆转录酶・特点 兼有RNA指导、DNA指导的DNA聚合酶活力和核糖核酸酶H活力

第 84 环 · 复制的忠实性

大题｜2009、2013 生化·问答

DNA 复制、转录、蛋白质合成三个过程的忠实性如何保持（12 分，两年）

1. **碱基选择** DNA聚合酶按模板碱基互补配对选dNTP
2. **校对** 3′→5′外切酶活性切错配
3. **错配修复** MutS、MutL、MutH识别错配
4. **RNA引物** RNA引物切除，DNA用T不用U
5. **转录选择** RNA聚合酶按模板碱基配对选NTP
6. **校对有限** 错配时停顿，焦磷酸解或后退切除
7. **最关键** 氨酰-tRNA合成酶专一识别并有校对
8. **核糖体校对** 检查前两位；EF-Tu水解GTP配错解离
9. **起始与终止** 起始tRNA进入P位，释放因子识别终止
10. **比较** 复制最准；多个拷贝、用后降解，错误不遗传

大题｜2026 云南大学

请指出复制转录翻译三个过程中精确度最高的过程，简述其保持准确性的方式。

1. **结论** 精确度最高的是DNA的复制
2. **半保留机制** 每条链可作为模板
3. **模板依赖** DNA聚合酶具有模板依赖性，碱基互补配对
4. **核酸外切酶** 聚合酶Ⅰ、Ⅱ的3’→5’外切酶活性
5. **DNA修复** 错配修复、碱基切除修复、核苷酸切除修复
6. **RNA引物** RNA作为引物提高DNA复制的准确性
7. **端粒酶** 端粒结构及端粒酶保证模板链完整性

第 85 环 · DNA修复

重组修复 recombination repair

华农 2 次

1. **定义** DNA复制后未修复的损伤区域
2. **定义** 容错性修复机制
3. **过程** 跳过损伤部位，子链出现缺口
4. **机制** 同源重组获取序列填补缺口
5. **过程** 再合成的序列补上母链的空缺
6. **特点** 不直接去除损伤
7. **意义** 维持基因组复制与细胞存活

SOS 反应 SOS response

华农 1 次

1. **条件** 严重DNA损伤或复制受阻
2. **定义** 抑制复制、应急诱导效应
3. **机制** RecA被单链DNA激活
4. **机制** LexA自己切断、修复基因表达
5. **举例** 损伤修复、诱变效应、释放噬菌体
6. **意义** 广泛存在于原核和真核、求得生存

大题｜精华例题

DNA 损伤因素与修复机制（着色性干皮病）

1. **自发损伤** 复制错误、碱基互变异构、脱嘌呤、胞嘧啶脱氨、8-氧代鸟嘌呤
2. **物理因素** 紫外线二聚体扭曲双螺旋、阻挡复制转录；电离辐射打断链
3. **化学/生物** 烷化剂、亚硝酸、碱基类似物、嵌入剂；病毒DNA插入宿主
4. **错配修复** 半甲基化识别新链、MutS、MutL、MutH
5. **直接修复** 光裂合酶拆二聚体；O^6-甲基鸟嘌呤-DNA甲基转移酶自杀性酶
6. **碱基切除** 糖基化酶切坏碱基、AP内切酶、聚合酶补、连接酶封
7. **核苷酸切除** UvrABC切12～13个核苷酸，DNA聚合酶Ⅰ补、连接酶封
8. **重组修复** RecA换来亲代链、缺口补合成、损伤留待以后切除
9. **SOS** RecA结合单链、LexA自切、Ⅳ、Ⅴ跨损伤合成
10. **双链断裂** Ku非同源末端连接易出错、同源重组准确
11. **XP不能晒** 无光裂合酶、核苷酸切除修复缺陷、突变积累、皮肤癌
12. **水稻不怕晒** 水稻光裂合酶、蓝光拆二聚体、切除修复作备份

大题｜2025 四川大学

简述 DNA 损伤后的碱基切除修复的作用机制。

1. **损伤识别** DNA糖苷酶识别损伤碱基
2. **糖苷键断裂** 糖苷酶水解糖苷键形成AP位点
3. **AP位点切割** AP内切核酸酶切割磷酸二酯键
4. **切除残留** 5'→3'外切酶切除残留基团
5. **填补缺口** DNA聚合酶以互补链为模板填补缺口
6. **连接缺口** DNA连接酶形成磷酸二酯键

大题｜2025 云南大学

错配修复的作用。

1. **前提** 分辨新旧链，否则错配固定
2. **区分依据** 半甲基化DNA区分新旧链
3. **甲基化** Dam甲基化酶使GATC腺嘌呤N6甲基化
4. **切除** 半甲基化GATC切除未甲基化链
5. **修复合成** 以甲基化链为模板修复合成
6. **识别** 识别未被校对错配（A-C、G-T）
7. **切除合成** 精准切除错误碱基重新合成正确序列
8. **作用** 保障DNA复制保真度的关键补充机制

第 86 环 · 突变

回复突变 reverse mutation
外校 1 校次

1. 定义 老的突变位点上发生第二次突变　**2.** 定义 原来的表型得到恢复
3. 机制 编码的氨基酸变成原来的氨基酸　**4.** 机制 或性质相似的氨基酸
5. 机制 突变蛋白的功能得到全部或部分恢复

无义突变 nonsense mutation
外校 1 校次

1. 定义 DNA编码序列中一个或多个核苷酸改变　**2.** 过程 氨基酸密码子变成终止信号
3. 过程 翻译过程提前终止　**4.** 分类 终止密码子有UAG、UAA、UGA三类
5. 特点 通常有害或致死，阻止蛋白质正常合成
6. 特点 RNA编辑和再编码部分恢复蛋白质活性

移码突变 frameshift mutation
外校 1 校次

1. 定义 插入或缺失非三整倍数的核苷酸　**2.** 过程 该位点后三联体密码阅读框架改变
3. 结果 后续氨基酸都错误、产物失活　**4.** 结果 出现终止密码子使翻译提前结束

大题｜2025 生化 · 问答
碱基突变的类型及对蛋白质功能的影响

1. 类型1 碱基置换：转换/颠换
2. 类型2 插入缺失不是3整数倍→移码
3. 类型3 3的倍数多或少氨基酸
4. 同义 密码子简并，蛋白质不变
5. 错义 错义换成另一种氨基酸
6. 错义影响 影响取决于位置性质，活性部位功能丧失
7. 举例 镰状细胞贫血β链第6位Glu→Val
8. 无义 无义→UAA/UAG/UGA肽链提前终止
9. 移码影响 移码后阅读框全错失去功能
10. 调控 启动子/剪接位点改变表达或剪接

大题｜2024 生化 · 简答
基因突变的概念、类型、意义及与癌症的关系

1. 概念 DNA分子中碱基序列可遗传改变
2. 区别 损伤没修好、复制后固定才是突变
3. 序列类型 碱基置换转换颠换、插入缺失移码、缺失重复倒位易位
4. 蛋白影响 同义、错义、无义、移码突变
5. 来源 自发突变、诱发突变、诱变剂
6. 意义 遗传变异根本来源、自然选择原料、诱变育种
7. 有害/Ames 多数有害造成遗传病、Ames回复突变检测致突变物
8. 癌症机制 体细胞突变积累、原癌基因激活、抑癌基因失活
9. 年龄 多个关键突变才癌变、发病率随年龄上升
10. 修复缺陷癌高发 着色性干皮病、Lynch、BRCA1/BRCA2
11. 治疗 化疗放疗损伤DNA杀死快速分裂癌细胞
12. 2021简答 儿童白血病突变较少、染色体易位胎儿期发生

大题｜2014 生化 · 分析
为什么有些基因突变表现出功能异常、有些不表现（12 分）

1. 未表现原因 内含子、基因间区
2. 未表现原因 密码子简并第三位同义突变
3. 未表现原因 性质相近氨基酸或非关键部位
4. 未表现原因 隐性杂合子另一个正常等位基因
5. 举例 着色性干皮病父母
6. 未表现原因 不表达或备份基因代偿
7. 未表现原因 复制前修复或体细胞少数细胞
8. 表现原因 活性部位或关键结构改变
9. 表现原因 无义或移码使肽链提前终止
10. 举例 镰状细胞贫血 HbS
11. 结论 显性突变或纯合隐性突变
12. 应用 M_1 杂合隐性自交到 M_2 筛选

第 87 环 · DNA重组

同源重组 homologous recombination
华农 2 次 · 外校 2 校次

1. 定义 DNA 分子间配对、断裂再连接产生片段交换
2. 特点 依赖序列高度同源性，链间配对　**3.** 机制 碱基配对找到正确位置进行链交换
4. 意义 产生新的基因组合，增加遗传多样性　**5.** 意义 维持基因组稳定的重要分子基础

大题｜2025 中国科学院大学
简述 DNA 重组的主要类型及特点。

1. 同源重组 同源序列配对、链断裂再连接，产生片段交换
2. 地位 最基本的重组方式
3. 同源特点 依赖同源序列，相似度越高重组效率越高
4. 同源特点 需RecA参与，形成Holliday中间体
5. 特异位点重组 特定短序列作重组位点，特异重组酶和辅助因子识别
6. 重组结果 反向倒位、正向切除、不同分子整合
7. 特异位点特点 无需广泛同源序列，效率高且精确
8. 转座重组 转座子介导的移位或重排
9. 转座特点 一条染色体转移到另一条，或同一条染色体不同位置间移动
10. 转座特点 无需同源序列，转座酶催化，导致靶位点序列重复

第 88 环 · 转录的规则

转录和逆转录 transcription; reverse transcription
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **转录 · 定义** 以DNA为模板，RNA聚合酶催化合成RNA
2. **转录 · 机制** 碱基互补配对，由5′→3′
3. **转录 · 产物** mRNA、rRNA、tRNA及各种非编码RNA
4. **转录 · 意义** 基因表达第一步，决定遗传信息能否流向蛋白质
5. **逆转录 · 定义** 以RNA为模板，逆转录酶催化合成DNA
6. **逆转录 · 过程** RNA为模板合成cDNA，cDNA单链作为模板合成第二条互补的DNA链，形成DNA双链
7. **逆转录 · 特点** 最初在致癌RNA病毒上发现
8. **逆转录 · 应用** 获取目的基因、基因克隆、cDNA文库构建

启动子 promoter
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **定义** RNA聚合酶识别、结合并开始转录　2. **定义** 一段DNA序列
3. **场所** 位于转录起点的上游　4. **特点** 转录因子识别并结合的位点
5. **分类** 通用转录因子或特定的转录激活因子

中心法则 central dogma
华农 1 次

1. **过程** DNA→DNA（复制）　2. **过程** DNA→RNA（转录）　3. **过程** RNA→蛋白质（翻译）
4. **过程** RNA→DNA（逆转录）　5. **过程** RNA→RNA（RNA复制）
6. **特点** 信息不能从蛋白质倒流回核酸

DNA 正链与负链 coding (sense) strand; template (antisense) strand
华农 1 次

1. **定义** 模板链、无义链、负链　2. **定义** 转录时作为mRNA合成模板的单链
3. **意义** 决定RNA碱基顺序　4. **特点** 不同基因模板链可位于不同单链
5. **定义** 编码链、有义链、正链　6. **定义** 与mRNA序列除T被U取代外完全一致
7. **意义** 不直接作为转录模板、携带蛋白质编码信息

终止子 terminator
华农 1 次

1. **定义** 提供转录停止信号的DNA序列　2. **场所** 位于基因下游
3. **特点** 不依赖rho：回文富含G-C，终点前有U
4. **特点** 依赖rho：回文不含富含G-C，后无寡聚U
5. **意义** 不编码蛋白质，仅作转录结束识别位点
6. **意义** 保证转录产物长度准确，是基因转录调控的重要顺式元件

反义链 antisense strand
外校 1 校次

1. **定义** 也称为模板链　2. **功能** 模板链指导RNA的合成　3. **特点** 编码链不直接参与转录
4. **特点** 编码链在DNA复制中作为模板之一　5. **特点** RNA碱基序列与模板链互补
6. **特点** 尿嘧啶取代胸腺嘧啶

转录单位 transcription unit
外校 1 校次

1. **定义** RNA聚合酶识别结合并开始转录的DNA　2. **结构** 转录起始点到终止点
3. **过程** DNA序列可转录成RNA　4. **特点** 真核生物中一个或多个基因
5. **机制** 启动子控制转录起始　6. **组成** 终止位点称为终止子　7. **过程** 加工修饰成成熟RNA

大题 | 2025 山东师范大学

说明生物体转录的基本特点。

1. **模板** 模板链（反义链），编码链（正义链）
2. **区域选择性** 只转录基因转录单位，避免能量浪费
3. **不对称转录** 不同基因以不同链为模板，单个基因固定一条链
4. **催化酶** RNA聚合酶
5. **酶的种类** 原核1种，真核3种RNA聚合酶
6. **底物特异性** 分别负责rRNA、mRNA、tRNA，严格底物特异性
7. **无需引物** 无需引物，直接以DNA为模板启动
8. **方向性** 5’→3’
9. **起始特异性** 识别启动子，原核需σ因子，真核需转录因子
10. **起始复合物** 转录因子招募RNA聚合酶形成转录起始复合物
11. **转录后加工** 真核在细胞核内转录，产物需加工；原核转录翻译同步

第 89 环 · 原核转录

RNA聚合酶 RNA polymerase
外校 1 校次

1. 定义 核苷酸之间形成3',5'-磷酸二酯键　**2.** 分类 RNA复制酶和DNA指导RNA聚合酶
3. 机制 病毒中以RNA为模板合成RNA　**4.** 过程 主要参与转录
5. 条件 DNA一条链模板、4种核糖核苷酸　**6.** 机制 碱基互补配对催化RNA合成
7. 特点 不需DNA引物，直接起始合成RNA

大题｜精华例题
原核与真核转录的区别（880）

1. 场所 原核拟核偶联；真核细胞核加工后出核
2. 原核聚合酶 原核$\alpha_2\beta\beta'\omega+\sigma$，σ识别−10、−35
3. 真核聚合酶Ⅰ　Ⅰ18S、5.8S、28S rRNA前体
4. 真核聚合酶Ⅱ/Ⅲ　Ⅱ mRNA前体、snRNA；ⅢtRNA、5S rRNA、U6
5. 真核识别 TBP结合TATA框
6. 前起始复合物 TFIIB、TFIIF·Ⅱ、TFIIE、TFIIH依次组装
7. 调控元件 增强子、沉默子；核小体重塑和组蛋白修饰
8. 产物 原核多顺反子不加工；真核单顺反子加帽、加尾、剪接
9. 不依赖ρ G·C反向重复，发夹停顿，rU·dA最弱，RNA脱离
10. 依赖ρ ρ：ATP依赖RNA-DNA解旋酶，rut，5′→3′拉下
11. 真核终止 越过加尾位点，RNA切开加尾，聚合酶脱离
12. 抑制剂 利福平抑制β亚基起始；α-鹅膏蕈碱抑制Ⅱ

大题｜2026 湖南大学
原核生物 RNA 转录终止的两种方式。

1. 结论 不依赖ρ因子和依赖ρ因子终止
2. 茎环 3'端自发形成富含GC碱基对茎环
3. 停顿 转录泡塌陷关闭、RNA聚合酶停顿
4. 解离 茎环后一串U弱氢键易与模板链解离
5. 替换终止 AT碱基对DNA双螺旋替换、转录物释放终止
6. 识别结合 ρ因子识别5'端rut位点并与之结合
7. 前进暂停 水解ATP沿5′→3′前进遇暂停聚合酶
8. 暂停原因 3端茎环但后面缺乏一串U
9. 解链释放 解链酶解开RNA/DNA双螺旋释放终止

第 90 环 · 真核转录

转录因子 transcription factor
华农 4 次 · 外校 2 校次

1. 定义 RNA聚合酶特异启动子所需因子　**2.** 机制 调控转录起始影响转录效率
3. 结构 DNA结合结构域和转录激活结构域　**4.** 功能 参与细胞分化、发育、应激反应
5. 意义 基因表达调控的核心分子

mRNA 前体（hnRNA）
heterogeneous nuclear RNA
华农 3 次 · 外校 1 校次

1. 定义 原初转录物加工成大小不等中间物　**2.** 定义 核不均一RNA（hnRNA）
3. 定义 mRNA的前体　**4.** 特点 核内迅速合成和降解　**5.** 特点 半寿期很短
6. 特点 比细胞质mRNA更不稳定　**7.** 过程 经hnRNA加工为成熟mRNA

顺式作用元件 cis-acting element (cis element)
华农 2 次 · 外校 2 校次

1. 定义 基因调控区域的一段DNA序列　**2.** 场所 位于基因上游区域
3. 分类 包括启动子、增强子、沉默子　**4.** 机制 与特定转录因子结合
5. 意义 影响该基因的转录活性　**6.** 特点 与同一DNA分子上的基因相互作用

增强子 enhancer
华农 1 次

1. 定义 顺式作用元件　**2.** 特点 远距离提高启动子转录效率　**3.** 场所 上游、下游或内含子
4. 特点 作用与方向无关　**5.** 特点 无基因专一性、有组织细胞专一性　**6.** 机制 结合激活蛋白
7. 机制 DNA成环作用于转录复合物

沉默子 silencer
华农 1 次

1. 定义 负的调控序列　**2.** 组成 负调节蛋白作用位点

反式作用因子 trans-acting factor
外校 1 校次

1. 定义 蛋白质或RNA分子　**2.** 机制 与顺式作用元件相互作用　**3.** 意义 调节基因的转录活性
4. 分类 转录因子或其他类型的调节蛋白或RNA　**5.** 特点 跨越DNA分子上的距离
6. 分类 激活因子或抑制因子　**7.** 条件 细胞内外信号分子的影响

大题｜2022 生化・简答

基因转录从哪里开始由什么决定，转录量又由什么决定

1. **结论** 启动子决定转录开始

2. **识别结合** RNA聚合酶识别结合启动子

3. **起点方向** 位置和方向决定起转录方向模板

4. **启动子序列** −35/−10区、TATA框

5. **启动子强弱** 与共有序列接近、间距合适

6. **起始因子** 不同σ因子、通用转录因子

7. **调控序列** 增强子、沉默子、反式因子

8. **染色质** 核小体、组蛋白乙酰化、DNA甲基化

9. **拷贝数** rRNA基因成百上千串联

10. **加工降解** 加工、出核、降解速度

大题｜2026 中国科学院大学、2026 首都师范大学、2025 中国科学技术大学 等

比较原核生物和真核生物的转录区别。

1. **部位** 真核细胞核，原核拟核

2. **编码** 真核单顺反子，原核多顺反子

3. **起始** 真核转录因子识别起始；原核全酶σ亚基脱离

4. **聚合酶** 三种聚合酶必须蛋白质转录因子；一种直接起始

5. **同时性** 真核转录翻译不能同时，原核可以

6. **原核启动子** -35区、-10区两个保守序列

7. **真核启动子** 核心启动子和上游启动子元件

8. **加工** 真核成熟RNA修饰、剪切加工；原核不需要

第 91 环 · mRNA加工

内含子 intron

华农 3 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 真核基因中不编码蛋白质的间隔序列 **2.** **过程** RNA加工中剪接切除

3. **特点** 不进入成熟mRNA **4.** **意义** 使外显子正确连接

5. **意义** 参与选择性剪接、产生蛋白质同源体 **6.** **意义** 基因表达调节和进化

外显子 exon

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 编码蛋白质的核苷酸序列 **2.** **结构** 真核基因由外显子和内含子组成

3. **特点** 存在于hnRNA和成熟mRNA **4.** **过程** 剪接体移除内含子 **5.** **过程** 外显子保留并连接

6. **过程** 形成成熟mRNA并翻译成蛋白质

剪接体 spliceosome

华农 1 次

1. **定义** 多种snRNA和相关蛋白质的复合物 **2.** **组成** U系列的snRNP

3. **组成** 剪接因子和调节因子蛋白质 **4.** **意义** RNA剪接中起关键作用

5. **机制** 参与识别、空间组装和催化反应 **6.** **意义** 真核基因转录后加工的关键装置

7. **意义** 可变剪接与蛋白质多样性的关键装置

大题｜2019 生化・简答

真核与原核 mRNA 的结构特点

1. **5′ 端帽子** 7-甲基鸟苷帽子、5′,5′-三磷酸键

2. **帽子功能** 5′ 外切酶保护、帮助核糖体识别起始

3. **3′ 端** 约 200 个核苷酸的 poly(A) 尾

4. **poly(A) 功能** 与出核、稳定性和翻译效率有关

5. **结构与加工** 单顺反子，加帽、加尾、剪接后出核，寿命较长

6. **原核 5′ 端** 无帽无尾，5′ 端保留三磷酸

7. **SD 位置** 起始密码子上游富含嘌呤的 SD 序列

8. **SD 功能** 16S rRNA 3′ 端互补、帮助定位起始

9. **原核结构** 操纵子、多顺反子

10. **翻译与寿命** 没有核膜，边转录边翻译，寿命很短

大题｜精华例题

真核 mRNA 前体的加工，真核与原核 mRNA 的结构区别

1. **加工起始** 转录中开始、加工酶搭在磷酸化CTD

2. **加帽机制** 接GMP、5′,5′-三磷酸键、SAM、m^7GpppN

3. **加帽作用** 防5′外切酶降解、助剪接出核、引导核糖体

4. **加尾机制** AAUAAA、GU、切开、不靠模板加80～250A

5. **加尾作用** 助出核、增稳定性、促翻译、缩短起始降解

6. **剪接机制** GU-AG、U1/U2、分支点A形成套索

7. **剪接及编辑出核** 去内含子、选择性剪接产生多种蛋白质、RNA编辑、核孔运出

8. **5′端区别** 真核m^7GpppN帽、原核5′-三磷酸

9. **3′端区别** poly(A)尾、组蛋白mRNA例外；原核无poly(A)

10. **顺反子与非翻译区** 单/多顺反子、两端非翻译区、帽子扫描、顺反子间区、SD

11. **内含子加工** 真核核内加工出核，原核边转录边翻译

12. **稳定性** 真核平均寿命数小时，原核半衰期几分钟

大题｜2025 安徽大学

真核生物和原核生物 mRNA 的异同点。

1. 真核5’端 5’端存在帽子结构m7GpppNp
2. 真核3’端 3’端poly A尾巴
3. 真核结构 单顺反子，编码一条多肽
4. 半寿期 真核半寿期较长，原核半衰期短
5. 真核无SD 不含SD序列
6. 原核结构 多顺反子形式存在
7. 原核两端 5’端无帽子结构，3’端无或较短poly A
8. SD序列 SD序列与16SrRNA3’端反向互补
9. 原核翻译 不需加工直接翻译，开放阅读框

大题｜2026 南开大学

真核生物的内含子有哪几种类型？为什么真核生物要先转录内含子然后再将其切除?

1. I类 I 类内含子 rRNA 鸟嘌呤核苷辅因子
2. 自我剪接 I 类和 II 类自我剪接
3. 第三类 核mRNA 前体 SnRNP剪接
4. 第四类 tRNA第四类蛋白质酶拼接
5. 多样性 选择性剪接产生多种mRNA和蛋白质
6. 进化 外显子重组重排加速新基因产生
7. 调控 内含子含调控序列影响转录、出核、翻译效率

第 92 环 · 选择性剪接与RNA编辑

RNA 编辑 RNA editing
华农 4 次

1. 定义 mRNA前体的一种加工方式 **2.** 过程 碱基替换、删除或插入
3. 特点 改变和扩大遗传信息 **4.** 特点 表达不同氨基酸序列蛋白质
5. 意义 扩充遗传信息、调控基因表达 **6.** 意义 转录后水平基因表达调控方式

选择性剪接 alternative splicing
华农 2 次

1. 定义 一个基因转录产物不同剪接 **2.** 条件 不同发育阶段、分化细胞、生理状态
3. 过程 得到不同mRNA和翻译产物 **4.** 举例 α原肌球蛋白基因产生10个产物
5. 意义 转录后调控、增加基因表达多样性

跳跃翻译 translational hopping
华农 1 次

1. 定义 mRNA翻译时的特殊读码现象 **2.** 过程 核糖体跳过一段连续核苷酸序列
3. 过程 从下游按原读码框继续合成 **4.** 机制 mRNA特殊序列、二级结构介导
5. 意义 产生功能不同的蛋白质 **6.** 特点 多见于病毒、噬菌体
7. 意义 基因表达调控的特殊方式

向导RNA guide RNA
外校 1 校次

1. 定义 与被编辑mRNA序列互补 **2.** 机制 可作为编辑的模板 **3.** 组成 短的合成RNA分子
4. 意义 基于CRISPR系统的基因组编辑 **5.** 特点 高度特定的基因组修饰工具
6. 机制 与基因组的目标DNA序列结合

大题｜2017 生化・分析

什么是选择性剪接，有几种方式（8 分）

1. 定义 不同剪接位点、跳过或保留外显子
2. 数据 95% 多外显子基因编码十万种蛋白
3. 方式一 外显子跳跃
4. 方式二 内含子保留
5. 方式三 选用不同 5′ 剪接点
6. 方式四 选用不同 3′ 剪接点
7. 方式五 互斥外显子
8. 机制 剪接增强子、沉默子结合调节蛋白
9. 举例 SMN2 外显子 7 与诺西那生
10. 意义 增加蛋白质多样性，组织发育专一性

大题｜2010 生化・问答

一个基因两个 mRNA：短的 mRNA 为什么编码长的多肽

1. 结论 选择性剪接
2. N端相同 5′部分相同，N端相同
3. 长mRNA 保留了一段序列，很快出现终止密码子
4. 短mRNA 短mRNA把这段剪掉了，读到下一个终止密码子
5. C端不同 C端：保留序列前面一小段，后面外显子编码
6. 发生剪接 细胞核中复制，利用宿主剪接体
7. 其他解释 RNA编辑需要更多假设，不如选择性剪接直接

大题｜2016 生化・分析

一个基因怎样产生不同的表达产物（8 分）

1. 转录水平 不同启动子或转录起点
2. 转录后加工 选择性剪接（外显子跳跃等）
3. 转录后加工 选用不同poly(A)位点
4. 转录后加工 RNA编辑（apoB）
5. 翻译水平 原核多顺反子与不同起始密码子
6. 翻译水平 程序性移码（Gag-Pol）
7. 翻译水平 跳跃翻译与通读终止密码子
8. 翻译后 同一前体切成不同活性肽（ACTH）
9. 翻译后 磷酸化、糖基化等不同修饰

大题｜精华例题

RNA 编辑的生物学意义（三年）

1. 定义 插入删除替换，RNA异于基因编码，改变翻译加工
2. 方式一 位点专一的脱氨 APOBEC-1 CAA→UAA
3. 举例 小肠 apoB-48/肝未编辑 apoB-100
4. 举例 ADAR 腺苷→肌苷，读作 G
5. 举例 脑谷氨酸受体谷氨酰胺→精氨酸控通透
6. 方式二 gRNA 引导锥虫插入 4 个 U 改正移码
7. 意义一 校正基因突变的危害
8. 意义二 增加基因产物多样性
9. 意义三 基因表达调控，组织时间专一性
10. 意义四 获得新结构功能，为进化提供变异
11. 调控翻译 造/消起始终止密码子，调控翻译
12. 意义五 基因序列不等于蛋白质序列，补充一个基因一种产物

大题｜2025 四川大学

人基因组中仅包含 2.5~3 万个蛋白质编码基因，但人类细胞中超过 10 万种蛋白质，造成这一现象的原因是什么？这一现象的生物学意义是什么？

1. 原因一 选择性剪接产生不同成熟mRNA
2. 原因二 重叠基因，一个DNA序列编码多个蛋白质
3. 原因三 核糖体从不同翻译起始密码子开始翻译
4. 原因四 翻译后修饰（磷酸化、糖基化等）
5. 原因五 RNA编辑，碱基插入缺失替换改变序列
6. 意义一 增强生物表型多样性与复杂性
7. 意义二 提高基因表达调控效率与灵活性
8. 意义三 促进生物进化与适应性，为自然选择提供素材

大题｜2025 湖南师范大学

简述选择性剪接概念、类型、生物学意义。

1. 概念过程 前体mRNA剪接选择内含子和外显子
2. 概念结果 产生多种成熟mRNA翻译功能各异蛋白质
3. 概念意义 同一基因编码多种蛋白质、基因组复杂性
4. 类型 内含子保留5'/3'外显子遗漏相互排斥
5. 多样性 有限基因编码更多蛋白质、功能分子库
6. 表达调控 功能不同蛋白质变体、时空特异性表达
7. 疾病进化 异常剪接导致疾病、自然选择提供素材
8. 经济利用 不增加基因数量丰富蛋白质功能

第 93 环 · rRNA与核糖体

核仁组织区 nucleolar organizing region

华农 2 次

1. 定义 染色体上的特定区域　2. 场所 染色体次缢痕部位　3. 特点 并非所有次缢痕都是NOR
4. 组成 rRNA基因所在部位（5S除外）　5. 意义 与间期核仁形成有关

非编码RNA non-coding RNA

外校 1 校次

1. 定义 不直接翻译成蛋白质的RNA　2. 举例 snRNA、snoRNA等
3. 特点 可从基因组转录合成　4. 意义 RNA水平行使特定功能
5. 分类 长非编码RNA和短非编码RNA

大题｜精华例题

RNA 的多样性及其功能（六年）

1. mRNA功能 DNA遗传信息、翻译模板、密码子
2. mRNA结构 5'帽、poly(A)尾、顺反子
3. mRNA特点 种类最多、含量少、寿命短
4. tRNA结构功能 三叶草倒L形、稀有碱基、CCA、反密码子、接头
5. rRNA功能 含量最多80%、茎环、核糖体、肽酰转移酶、SD
6. rRNA种类 5S、16S、23S、5.8S、18S、28S
7. 加工修饰 snRNA剪接、snoRNA修饰rRNA
8. RNA干扰 miRNA/siRNA、RNA干扰、抑制或降解
9. 表观调控 lncRNA、表观调控、Xist
10. 催化 核酶、自我剪接内含子、RNase P
11. 遗传物质 RNA病毒、类病毒、逆转录、端粒酶、tRNA引物
12. RNA世界 携带信息又能催化、RNA世界假说

大题｜2025 南京师范大学

RNA 在细胞中的作用有哪些？

1. 翻译作用 mRNA模板、rRNA装配、tRNA转运
2. 催化功能 核酶催化功能
3. 加工修饰 snoRNA指导rRNA前体加工
4. 表达调节 反义RNA调节基因表达
5. 遗传进化 剪接编辑增加多样性促进进化
6. 病毒遗传 病毒遗传信息储存在RNA
7. 核心功能 DNA遗传信息中间物调控表达

大题｜2026 合肥工业大学

三种 RNA 的结构特点及其作用。

1. 名称占比 mRNA：信使RNA，占全部RNA 5%
2. 合成来源 由DNA转录合成
3. 作用 mRNA模板作用、决定氨基酸序列的遗传信息
4. 结构 mRNA单链线性、自由伸展、一般不含碱基互补配对
5. 名称含量 rRNA：核糖体RNA、细胞内含量最多
6. 作用 rRNA与蛋白质组成核糖体、参与翻译
7. 核糖体亚基 核糖体原核50S和30S、真核40S和60S
8. 结构 rRNA大量链内互补序列、高度折叠
9. 名称占比 tRNA：转运RNA、约占RNA总量15%
10. 作用 携带激活氨基酸到蛋白质合成部位、整合到肽链
11. 反密码 tRNA反密码识别mRNA互补密码
12. 结构 tRNA二级三叶草形、三级倒L形、稀有碱基

大题｜2026 云南大学

列举任意 3 种非编码 RNA，并简述其功能。

1. 定义 除mRNA外不翻译成蛋白的RNA
2. 共同特点 RNA水平上行使特定生物学功能
3. rRNA功能 与蛋白质共同组成核糖体参与翻译
4. rRNA特点 原核50S和30S、真核40S和60S两个亚基，含量最多
5. tRNA功能 转运氨基酸并整合到生长着的肽链
6. tRNA结构 三叶草形、倒L形、含稀有碱基
7. tRNA识别 反密码识别模板mRNA互补密码
8. miRNA功能 与目标mRNA的3’-UTR结合阻止翻译
9. miRNA降解 导致目标mRNA降解

大题｜2025 中国科学技术大学

简述核糖体中 rRNA 功能

1. 结论 rRNA是核糖体主要成分
2. 肽酰转移酶 肽酰转移酶活性催化肽键
3. tRNA位点 为tRNA提供A、P、E位点
4. 蛋白因子 为蛋白质合成因子提供结合位点
5. mRNA结合 起始选择结合mRNA、延伸结合mRNA
6. 其他功能 大小亚基结合、校正阅读、抗生素作用

第 94 环 · 逆转录

cDNA complementary DNA
华农 2 次 · 外校 1 校次

1. 定义 逆转录酶以mRNA合成DNA **2.** 特点 真核基因断裂含内含子和外显子
3. 特点 连续的编码序列无内含子 **4.** 意义 接上原核生物的表达控制元件
5. 举例 启动子、SD序列和终止子 **6.** 意义 在原核细胞中表达

逆转录酶 reverse transcriptase
华农 1 次

1. 定义 以 RNA 为模板合成 DNA **2.** 分类 DNA 聚合酶 **3.** 机制 RNA 指导 DNA 合成
4. 机制 RNase H 降解杂交 RNA **5.** 机制 DNA 指导 DNA 合成 **6.** 条件 需要引物
7. 特点 无校对、错误率高

长末端重复 LTR long terminal repeat
华农 1 次

1. 定义 两末端序列重复合成形成 **2.** 组成 整合位点、加工位点
3. 组成 启动子和增强子序列 **4.** 意义 前病毒的整合和表达十分重要

第 95 环 · 遗传密码

简并性 degeneracy (degenerate codon)
华农 2 次 · 外校 1 校次

1. 定义 同一氨基酸的不同密码子 **2.** 特点 一个氨基酸的密码子大多不止一个
3. 意义 降低突变对蛋白质序列的影响 **4.** 意义 密码子偏好性调控翻译和表达

密码子 codon
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 mRNA上三个相邻核苷酸 **2.** 定义 决定一个氨基酸或终止信号
3. 举例 AUG甲硫氨酸兼起始密码子 **4.** 举例 UAA、UAG、UGA终止密码子
5. 特点 多个密码子编码同一种氨基酸

反密码子 anticodon
华农 1 次

1. 定义 tRNA上3个相邻核苷酸 **2.** 结构 位于反密码子环 **3.** 机制 与mRNA密码子互补配对
4. 意义 保证氨基酸对号入座 **5.** 特点 配对存在摆动性
6. 特点 一种tRNA识别多种简并密码子 **7.** 意义 维持蛋白质合成忠实性

密码子偏好性 codon bias
外校 1 校次

1. 定义 生物体或特定基因中 **2.** 定义 编码同一种氨基酸的不同同义密码子
3. 定义 同义密码子使用频率显著差异 **4.** 特点 多数氨基酸对应2~6种同义密码子
5. 机制 非随机选择特定1种或几种

开放阅读框 open reading frame
外校 1 校次

1. 定义 mRNA上连续核苷酸序列　**2.** 定义 5’端起始密码子AUG或GUG
3. 定义 3’端终止密码子结束　**4.** 定义 直接编码多肽链氨基酸序列　**5.** 特点 多种读取方式
6. 特点 可能同时存在许多开放阅读框
7. 意义 基因表达重要组成部分、编码蛋白质遗传信息

终止密码子 stop codon
外校 1 校次

1. 定义 mRNA上不编码氨基酸的三联体　**2.** 意义 终止蛋白质生物合成
3. 机制 无法与任何tRNA结合　**4.** 机制 与释放因子结合　**5.** 过程 核糖体解体、多肽链释放
6. 分类 3种通用：UAG、UAA、UGA

遗传密码 genetic code
外校 1 校次

1. 定义 核苷酸序列与氨基酸序列的对应规则　**2.** 结构 三联体核苷酸序列
3. 机制 密码子对应特定氨基酸　**4.** 举例 AUG是起始密码子
5. 举例 UAA/UAG/UGA终止密码子

第 96 环 · tRNA与氨基酸活化

校正tRNA suppressor tRNA
外校 1 校次

1. 定义 特殊tRNA分子　**2.** 定义 执行校正功能　**3.** 特点 与普通tRNA转运功能不同
4. 机制 内部突变的反密码子　**5.** 过程 校正mRNA突变密码子
6. 意义 恢复功能联系、氨基酸序列恢复正常

稀有碱基 rare base
外校 1 校次

1. 定义 天然存在的修饰碱基　**2.** 特点 核酸中含量比较少　**3.** 特点 不是人工合成
4. 过程 原有碱基经甲基化等修饰　**5.** 举例 5-甲基胞苷、4-硫化尿苷
6. 特点 tRNA中含较多，可高达10%

大题｜2025 生化・问答
tRNA 的二级结构特点和功能

1. 二级结构 三叶草形，四臂四环
2. 氨基酸臂 3′端CCA接受活化氨基酸
3. D环 含二氢尿嘧啶
4. 反密码环 7核苷酸，反密码子反向配对
5. 可变环 长短差别最大，分类依据
6. TψC环 T、ψ、胞苷，结合核糖体
7. 一级三级 70～90核苷酸，倒L形，7nm
8. 功能 接头，携带氨基酸、识别密码子、起始tRNA

大题｜2021 生化・简答
把 Cys-tRNACys 换成 Ala-tRNACys，丙氨酸会出现在哪里

1. 结论 会
2. 位置 Ala出现在原本应为半胱氨酸的位置
3. tRNACys 反密码子没有改变仍与Cys密码子配对
4. 核糖体 只核对配对不检查氨基酸，Ala接进肽链
5. 结论 翻译准确性在氨基酸挂上tRNA这一步决定
6. 关键 氨酰-tRNA合成酶专一识别及校对功能
7. 举例 Chapeville等的经典实验

大题｜2025 东北师范大学
简述 tRNA 的一、二、三级结构的主要特点。

1. 一级结构 70-90核苷酸单链、稀有碱基、3'端CCA-OH
2. 二级结构 三叶草形，5个部分
3. 氨基酸臂 7对碱基富含鸟嘌呤、CCA、接受氨基酸
4. D环 两个二氢尿嘧啶、与氨酰tRNA合成酶结合
5. 反密码环 反密码子3核苷酸、次黄嘌呤、识别密码子
6. TψC环 7核苷酸、5对碱基、核糖体、维持三级结构
7. 额外环 TψC环和反密码环之间、大小分类指标
8. 三级结构 倒L型、D环TψC环额外环碱基对维持
9. 功能 修饰核苷酸、反转录酶引物、基因表达调节

大题｜2026 郑州大学
解释 tRNA 在蛋白质合成中的核心作用及其结构基础

1. 核心作用 携带激活氨基酸、带到合成部位、整合肽链
2. 二级结构 三叶草形，双螺旋区叶柄，突环区三片叶子
3. 氨基酸臂组成 7对碱基、富含鸟嘌呤
4. 氨基酸臂功能 末端CCA接受活化氨基酸
5. DHU环组成 8～12个核苷酸、两个二氢尿嘧啶
6. DHU环功能 与氨酰tRNA合成酶结合
7. 反密码环组成 7个核苷酸、反密码子3个核苷酸、次黄嘌呤
8. 反密码环功能 识别密码子
9. TψC环组成 7个核苷酸、茎5对碱基
10. TψC环功能 与核糖体结合、维持三级结构稳态
11. 额外环位置 可变环，位于TψC环和反密码环之间
12. 额外环功能 大小往往是tRNA分类的重要指标

大题｜2025 2026 合肥工业大学

蛋白质翻译具有保真性的原因。

1. **特异结合** 氨酰tRNA合成酶特异识别一种氨基酸
2. **校正作用** 氨酰-tRNA合成酶和tRNA的校正作用
3. **校对** 对A位氨酰-tRNA校对与基因内基因间校对
4. **互补配对** 密码子与反密码子互补配对结合
5. **核糖体构象** 有赖于核糖体的构象正常实现正常装配功能
6. **起始因子** 起始氨酰-tRNA进入核糖体P位与起始密码子结合
7. **延伸因子** 延伸因子保证fMet不进入肽链内部
8. **E位与A位** E位与A位相互影响防止不正确氨酰-tRNA进入A位
9. **简并性** 密码子的简并性和专一性减少变异
10. **终止识别** 释放因子准确识别终止密码子

第 97 环 · 翻译

多核糖体 polyribosome (polysome)

华农 1 次 · 外校 2 校次

1. **定义** mRNA上多个核糖体串珠状复合物　2. **特点** 核糖体依次与mRNA结合
3. **过程** 由5’向3’端方向移动合成多肽链　4. **特点** 一条mRNA上同时多个核糖体
5. **特点** 合成多条多肽链　6. **意义** 提高蛋白质合成效率

SD序列 Shine-Dalgarno sequence

外校 3 校次

1. **定义** 原核生物mRNA　2. **定义** 核糖体结合位点　3. **特点** 16S rRNA的3’端序列互补
4. **场所** 起始密码子上游3~11个核苷酸　5. **特点** 4~9个核苷酸　6. **组成** 富含嘌呤碱基

翻译起始复合物 translation initiation complex

华农 1 次

1. **组成** 核糖体70S/80S、mRNA　2. **组成** P位起始氨酰-tRNA　3. **组成** 细菌fMet，真核Met
4. **条件** 起始因子和GTP参与　5. **过程** 起始tRNA与AUG配对　6. **过程** 此后即可进入延伸

大题｜2023 生化・问答

简述从遗传信息到肽链合成的基本过程

1. **转录起始** RNA聚合酶识别启动子 σ因子 转录因子组装前起始复合物
2. **转录加工** 5′→3′合成mRNA 5′帽 poly(A)尾 剪接出核
3. **活化** 氨酰-tRNA合成酶 ATP氨酰-AMP tRNA3′端A
4. **保证** 合成酶专一性和校对 两个高能键
5. **细菌起始** 30S结合IF1、IF3和mRNA SD配对AUG对准P位
6. **起始** IF2・GTP带fMet进入P位 50S结合 70S起始复合物
7. **真核起始** eIF4F认帽子 43S扫描AUG 结合60S
8. **进位** EF-Tu・GTP带氨酰-tRNA进入A位 EF-Ts再生
9. **成肽** 23S rRNA肽酰转移酶A位氨基进攻P位酯键转A位tRNA
10. **移位** EF-G・GTP向3′移动一个密码子 P位 E位 N→C延伸
11. **终止** 终止密码子进入A位 释放因子水解酯键 RRF和EF-G解离亚基
12. **折叠加工** 分子伴侣折叠 切除修饰加工 分选信号运到作用部位 多核糖体

大题｜2008 生化・简答

给你一个真核生物的 mRNA 分子，怎样使它翻译出相应的蛋白质

1. **两条路** 体外翻译、体内表达两条路
2. **体外体系** 真核无细胞翻译体系（兔网织红细胞裂解液或麦胚提取液）
3. **体系成分** 核糖体、tRNA、氨酰-tRNA合成酶、起始延伸终止因子
4. **底物能量** 加入这条mRNA、20种氨基酸、ATP、GTP和Mg^{2+}
5. **起始** 认帽子、扫描到AUG起始
6. **不用细菌** 细菌核糖体靠SD序列找起点、不认帽子
7. **体内表达** 逆转录酶以mRNA为模板合成cDNA
8. **表达载体** 连到表达载体、前面加宿主能识别的启动子（细菌中还要加SD序列）
9. **宿主加工** 细菌不能糖基化、切割前体，宜用酵母或动物细胞或在体外完成后续加工
10. **检测** SDS-PAGE加放射自显影，或抗体做Western印迹

大题｜2025 哈尔滨工业大学

核糖体如何快速识别定位起始密码子。

1. **原核SD** SD序列与16S rRNA 3'端互补
2. **起始因子** IF1/IF2/IF3阻止50S过早结合
3. **起始tRNA** 起始tRNA结合起始密码子
4. **真核帽子** 40S识别5'端7-甲基鸟苷帽子
5. **扫描** 小亚基5'向3'移动解开二级结构
6. **Kozak** Kozak序列增强AUG识别

第 98 环 · 翻译后加工

大题｜2023 生化·问答

多肽合成后会经过哪些修饰反应，并分别说明作用

1. **折叠** Hsp70、GroEL/GroES 防止聚集帮助折叠

2. **二硫键** 二硫键异构酶形成二硫键稳定胞外构象

3. **切除** 去 N 端 Met、信号肽酶切除；N 端规则、地址标签

4. **磷酸化** Ser、Thr、Tyr 羟基磷酸化调节酶活性信号转导

5. **乙酰化甲基化** 组蛋白 Lys 乙酰化、Lys/Arg 甲基化调节染色质

6. **羧化** Glu 羧化成 γ-羧基谷氨酸结合 Ca^{2+} 参与凝血

7. **羟化** 胶原 Pro、Lys 羟化需维生素 C 稳定三股螺旋

8. **糖基化** Asn N-连接、Ser、Thr O-连接影响折叠分选

9. **脂质化辅基** Cys 法尼基化锚到膜上；加辅基有活性

10. **切割泛素化** 切割前体：胰岛素原、酶原激活；泛素化送蛋白酶体降解

大题｜2026 南京师范大学、2025 哈尔滨工业大学、2025 四川大学

蛋白质翻译后修饰有哪些类型？各有什么重要生物学功能？

1. **磷酸化** 丝/苏/酪/组/天冬氨酸磷酸化调节活性感应信号

2. **乙酰化** 组蛋白乙酰化改变核小体激活基因表达

3. **甲基化** 甲基化改变活性；H4 Lys20单/双甲基化

4. **羧基化** 凝血因子Glu羧基化是活性必需

5. **羟基化** 胶原Pro羟脯氨酸由脯氨酸羟化酶催化

6. **糖基化** 糖基化改变理化性质、防蛋白酶水解、细胞识别

7. **核苷酸化** 细菌核苷酸化调节酶活性

8. **异戊二烯化** 疏水异戊二烯基团锚定生物膜

9. **酰胺化** C端Gly酰胺化保护寡肽激素延长半衰期

10. **泛素化** 泛素化Lys侧链是蛋白酶体选择性降解先兆

11. **SUMO化** SUMO化调节基因表达、稳定性、转运、凋亡、胁迫

12. **ADP核糖基化** ADP核糖基化Arg/Lys信号转导DNA修复

第 99 环 · 分选信号

蛋白质分选（蛋白质寻靶） protein sorting (protein targeting)

华农 3 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 真核细胞蛋白质转运　**2.** **定义** 合成后转运至特定部位

3. **机制** 信号肽、导肽等分选信号　**4.** **机制** SRP、受体介导　**5.** **分类** 共翻译转运

6. **分类** 翻译后转运

分选信号 sorting signal

华农 1 次

1. **定义** 信号肽：分泌蛋白N端分选信号　**2.** **结构** 16~26残基、疏水核心、C端N端三部分

3. **机制** 结合信号识别颗粒、暂停肽链合成　**4.** **机制** 锚定内质网、共翻译转运、打开移位子

5. **定义** 导肽指导线粒体、叶绿体蛋白进入的信号序列

6. **举例** 叶绿体N端40~50个氨基酸转运肽　**7.** **举例** 线粒体N端导肽、过氧化物酶体C端靶向

大题｜2009 细胞·问答

细胞内蛋白质的合成部位、去向和分选途径

1. **合成部位** 除线粒体叶绿体，细胞质核糖体开始合成

2. **去向决定** N端分选信号决定去向

3. **共翻译转运** 内质网信号肽、SRP、边合成边进入

4. **分选去向** 细胞外、质膜、溶酶体、内质网KDEL、高尔基体

5. **翻译后转运** 无内质网信号肽，释放细胞质基质

6. **进入细胞器信号** N端导肽、转运肽、C端SKL、核定位信号

7. **跨膜转运** 内质网、线粒体、叶绿体、过氧化物酶体

8. **膜泡运输** 包被小泡、内质网→高尔基体→溶酶体

9. **选择性门控** 核孔复合体进出细胞核

10. **细胞质基质** 细胞骨架运到特定位置

大题｜2025 南京师范大学

以胰岛素为例，分析蛋白质合成与加工、分选、转运的过程。

1. **合成起始** 胰岛素典型分泌蛋白、游离核糖体合成信号肽

2. **信号识别** SRP识别信号肽、结合核糖体暂停翻译

3. **进入内质网** 引导向粗面内质网、SRP受体、易位子通道进入内质网腔

4. **翻译重启** SRP脱离、翻译重新启动

5. **内质网加工** 初步折叠、N-连接糖基化、前体形成

6. **糖基化** 寡糖链添加天冬酰胺残基

7. **转运** COP II 包被膜泡运输到高尔基体

8. **高尔基体加工** 顺面加工、中间剪切、反面O-连接糖基化

9. **成熟** 前体最终剪切形成有活性胰岛素分子

10. **分选** TGN形成分泌泡

11. **分泌** 细胞外信号刺激、分泌泡与细胞膜融合、胞吐释放

12. **调控** 血糖浓度升高触发信号通路加速分泌

大题｜2025 南开大学

简述蛋白质分选转运的基本途径与类型。

1. 概念 核基因编码、合成后转运至特定部位
2. 后翻译 线粒体、叶绿体、过氧化物酶体及细胞核
3. 后翻译 细胞质基质可溶性驻留蛋白和骨架蛋白
4. 共翻译 信号肽-SRP引导至糙面内质网
5. 共翻译 边合成边转入内质网腔或定位ER膜
6. 共翻译分选 溶酶体、质膜或细胞外；内质网与高尔基体
7. 跨膜转运 信号肽-SRP与SRP受体结合
8. 膜泡运输 膜泡至高尔基体进而分选至不同部位
9. 门控转运 核孔复合体双向核输入或核输出
10. 细胞质基质 细胞质基质转运与细胞骨架密切相关

大题｜2025 华南师范大学、2025 山东师范大学

试述真核细胞内蛋白质的合成部位、转运机制及去向。

1. 合成部位1 游离核糖体：基质、线粒体、叶绿体、过氧化物酶体
2. 合成部位 细胞核中的部分非组蛋白
3. 合成部位2 糙面内质网核糖体：分泌蛋白、膜整合蛋白、驻留蛋白
4. 后翻译转运 游离核糖体完成多肽链后转运至膜围绕细胞器
5. 后翻译去向 或成为细胞质基质可溶性驻留蛋白和骨架蛋白
6. 共翻译转运 信号肽-SRP引导共翻译转入内质网腔或ER膜
7. 膜泡分选 膜泡经高尔基体加工分选至溶酶体、质膜或胞外
8. 去向1 留在细胞质基质维持日常生理功能
9. 去向2 进入线粒体、叶绿体、过氧化物酶体、溶酶体
10. 去向3 分泌到细胞外参与细胞间通讯、免疫防御、消化
11. 去向4 整合到细胞膜作为通道蛋白、受体蛋白
12. 去向5 NLS进入细胞核参与DNA复制与转录调控

大题｜2026 首都师范大学

后翻译转运途径与共翻译转运途径的比较

1. 合成场所 共翻译转糙面内质网；后翻译游离核糖体
2. 转运时机 共翻译边合成边跨膜；后翻译合成后再转运
3. 共翻译靶向 内质网、高尔基体、溶酶体、质膜、细胞外
4. 后翻译靶向 线粒体、叶绿体、过氧化物酶体、细胞核等
5. 共翻译蛋白 分泌蛋白、膜蛋白、驻留蛋白
6. 后翻译蛋白 线粒体等细胞器蛋白、细胞质基质、骨架蛋白

第 100 环 · 信号假说

信号肽 signal peptide
华农 4 次 · 外校 3 校次

1. 定义 13~36个氨基酸残基序列　**2.** 功能 引导多肽至不同的转运系统
3. 特点 富含疏水氨基酸　**4.** 机制 信号识别颗粒识别
5. 过程 核糖体附着、新生肽链进内质网腔　**6.** 过程 信号肽酶切除
7. 功能 分选、跨膜转运、最终定位

信号识别颗粒（SRP） signal recognition particle
华农 4 次 · 外校 1 校次

1. 定义 细胞质基质中的核糖核蛋白复合体　**2.** 组成 6种蛋白质和7S RNA
3. 结构 信号肽结合域与核糖体结合域　**4.** 机制 结合N端信号序列和核糖体
5. 机制 使肽链合成暂停　**6.** 机制 引导与SRP受体结合　**7.** 机制 锚定到内质网膜上

停泊蛋白 docking protein
外校 1 校次

1. 定义 内质网膜上信号识别颗粒（SRP）的受体
2. 作用 与信号肽、SRP共同协助分泌蛋白在糙面内质网上合成
3. 过程 信号序列与SRP结合，肽链延伸暂时停止
4. 过程 SRP与SRP受体结合，核糖体-新生肽复合物附着到内质网膜
5. 机制 2分子GTP分别与SRP-p54亚基和SRP受体α亚基结合，强化相互作用
6. 过程 核糖体-新生肽复合物与移位子结合，SRP脱离，肽链又开始延伸

共翻译转运途径 co-translational translocation pathway
外校 1 校次

1. 定义 边合成边转运的蛋白质分选方式　**2.** 过程 游离核糖体起始合成
3. 机制 信号肽与 SRP 引导至糙面内质网　**4.** 过程 新生肽转入内质网腔或定位在 ER 膜上
5. 过程 转运膜泡运至高尔基体加工包装　**6.** 分类 分选至胞外、膜上及细胞器内

大题｜精华例题

分泌蛋白和膜蛋白怎样合成、加工、运到目的地（信号假说）

1. 起始 游离核糖体开始合成
2. 信号肽 N端信号肽疏水残基
3. 暂停 SRP结合肽链延伸暂停
4. 停泊释放 SRP受体、GTP水解SRP解离
5. 穿膜 边合成边穿过通道进入内质网腔
6. 切除 信号肽酶在腔内切除信号肽
7. 膜蛋白 停止转移序列从侧面放进脂双层
8. 内质网加工 BiP、二硫键异构酶、N-连接核心寡糖
9. 高尔基体 COP II 小泡、O-连接糖链、反面分选胞吐
10. 靶膜方向 膜蛋白随小泡膜到质膜、腔内一侧变成胞外

大题｜2025 湖南师范大学

简述分泌蛋白进入内质网的过程。

1. 信号肽识别 游离核糖体合成信号肽被SRP识别

2. 暂停翻译 SRP结合信号肽暂停翻译

3. 附着内质网 与SRP受体特异性结合

4. SRP脱离 SRP脱离，核糖体结合易位子通道

5. 易位子结构 多亚基膜蛋白复合体贯穿内质网膜

6. 跨膜转运 翻译再次启动，通过易位子通道进入内质网腔

7. 信号肽引导 信号肽插入易位子通道引导多肽链

8. 切除加工 信号肽酶切除，折叠修饰

第 101 环 · 内膜系统

微粒体 microsome

华农 2 次

1. 定义 破碎内质网形成的囊泡结构 **2.** 条件 细胞匀浆超速离心 **3.** 组成 内质网膜与核糖体

4. 特点 形态上的人工产物 **5.** 意义 蛋白质合成、糖基化、脂类合成

6. 意义 等同于内质网使用

内膜系统 endomembrane system

外校 2 校次

1. 定义 由单层膜包被的细胞器 **2.** 特点 结构、功能、发生相互关联

3. 组成 内质网、高尔基体、溶酶体等 **4.** 特点 动态的结构体系

5. 意义 蛋白质合成、修饰、分选和运输 **6.** 意义 维持细胞正常生理功能

大题｜精华例题

细胞内膜系统的意义

1. 定义 结构功能发生上相互关联的单层膜细胞器

2. 组成 内质网、高尔基体、溶酶体、内体、分泌泡

3. 区室化 特定酶系和环境：氧化、二硫键、酸性水解

4. 区室化 同时进行、合成与分解分开调控

5. 膜面积 增大膜面积、为酶提供附着位点

6. 合成 粗面合成分泌蛋白、膜蛋白、溶酶体酶；光面合成脂类

7. 加工运输 糖基化、折叠后分选到溶酶体、质膜或细胞外

8. 膜泡运输 内质网→高尔基体→质膜、溶酶体；胞吞内体到溶酶体

9. 动态平衡 膜成分相互转化、发生同源、逆向回收

10. 功能上 分工协作，蛋白质脂类合成、加工、分选、运输、降解

11. 意义 真核区别原核、高度有序、代谢效率和调控能力提高

12. 结构基础 体积增大、功能复杂化的结构基础

大题｜2026 华东师范大学

在胰岛β细胞内，胰岛素是如何通过内膜系统被合成、修饰、分选和分泌到细胞外。请详细描述此过程

1. 转运途径 信号肽引导共翻译转运

2. 起始 游离核糖体起始合成

3. 信号识别 约80个氨基酸信号序列结合SRP

4. 附着 SRP与SRP受体结合附着内质网膜

5. 穿膜 移位子打开孔道，袢环进入内质网腔

6. 切信号肽 信号肽酶切除信号肽

7. 内质网加工 N连接糖基化、二硫键、Bip折叠

8. 膜泡运输 COP II 包被膜泡运至高尔基体

9. 高尔基体 高尔基体糖基化、折叠、水解切割、分类包装

10. 分泌 分泌泡与细胞膜融合释放细胞外

第 102 环 · 内质网

内质网应激反应 endoplasmic reticulum stress response

外校 3 校次

1. 定义 应对环境变化的反应 **2.** 条件 内质网生理功能紊乱 **3.** 条件 钙稳态失衡

4. 条件 未折叠或错误折叠蛋白超量积累 **5.** 机制 激活相关信号通路

6. 过程 UPR、EOR、固醇调节、凋亡 **7.** 意义 自我保护并恢复内质网正常状态

内质网应激 endoplasmic reticulum stress (ERS)

华农 1 次

1. 条件 内质网生理功能紊乱、钙稳态失衡

2. 条件 未折叠/错误折叠蛋白在内质网腔过量积累 **3.** 过程 激活信号通路引发内质网应激

4. 过程 UPR、EOR、固醇调节级联、凋亡 **5.** 意义 保护并恢复内质网稳态的应答

6. 意义 监控蛋白合成质量的机制

内质网应激 endoplasmic reticulum stress

华农 1 次

1. 条件 内质网生理功能紊乱、钙稳态失衡 **2.** 条件 未折叠/错误折叠蛋白内质网腔积累

3. 过程 未折叠蛋白质应答反应 **4.** 过程 内质网超负荷反应

5. 过程 固醇调节级联反应、启动凋亡程序 **6.** 意义 保护并恢复内质网稳态

7. 意义 监控蛋白合成质量、关联细胞生死

内质网-质膜接触点 ER-plasma membrane contact site

华农 1 次

1. 定义 内质网膜与质膜之间 **2.** 特点 纳米尺度靠近但不融合

3. 意义 物质交换、信号传递、动态调控平台 **4.** 举例 脂质、Ca^{2+}交换

滑面内质网 smooth endoplasmic reticulum
外校 1 校次

1. 定义 内质网的一种类型　**2.** 结构 没有附着的核糖体　**3.** 意义 脂质合成　**4.** 意义 信号转导
5. 意义 与其他细胞器相互作用　**6.** 举例 合成固醇类激素

大题｜2010 细胞・简答

粗面内质网与滑面内质网的比较

1. 粗面结构 扁平囊状，附着核糖体，与核膜外膜相连
2. 滑面结构 分支小管或小泡，表面没有核糖体，与粗面内质网相连
3. 合成蛋白 核糖体合成分泌蛋白、膜整合蛋白和溶酶体酶
4. 转运方式 共翻译转运，SRP和信号肽引导
5. 腔内加工 折叠（分子伴侣、二硫键）、N-连接糖基化起始、质量控制
6. 运输 经膜泡运往高尔基体
7. 举例 胰腺腺泡细胞、浆细胞粗面内质网发达
8. 合成脂类 磷脂、胆固醇（HMG-CoA还原酶）、类固醇激素
9. 解毒 细胞色素P450单加氧酶羟基化，增加水溶性以便排出
10. 糖原代谢 葡萄糖-6-磷酸酶水解G-6-P成葡萄糖释放入血
11. Ca^{2+}与脂酸 储存、释放Ca^{2+}（肌质网）；脂肪酸碳链延长去饱和
12. 小结 结构相连、功能互补

大题｜精华例题

内质网应激与未折叠蛋白质应答

1. 定义 未折叠/错误折叠蛋白积累；钙稳态失衡启动应答
2. BiP放开 BiP结合传感器，未折叠蛋白增多去结合未折叠蛋白，传感器放开
3. IRE1激活 IRE1寡聚化、自身磷酸化，激活胞质侧核糖核酸酶
4. XBP1 剪XBP1 mRNA内含子，翻译活性XBP1
5. PERK途径 PERK磷酸化eIF2α；eIF2不能换上GTP
6. ATF4 ATF4 mRNA反被优先翻译
7. ATF6 ATF6转运高尔基体，切割释放胞质段入核
8. 汇合效应 分子伴侣、降解机器、内质网扩张基因；不缓解凋亡
9. 应激类型 UPR；超负荷正确折叠蛋白堆积经NF-κB；固醇级联
10. 固醇级联 内质网膜胆固醇减少，经SREBP调节基因表达
11. 诱发因素 缺氧、营养缺乏、钙稳态失衡、氧化应激、病毒、突变蛋白
12. 调节因子 BiP及IRE1、PERK、ATF6

大题｜2026 安徽师范大学

比较 rER 与 sER 的结构与功能

1. 总述 最大的膜性细胞器，包括核膜和外周内质网
2. 分类 形态结构以及是否有核糖体附着
3. rER结构 扁囊状，排列整齐，有核糖体，位于核膜周围
4. sER结构 常为分支管状，形成较为复杂的三维结构
5. rER功能 合成分泌性蛋白和多种膜蛋白
6. sER功能 脂类合成的重要场所
7. rER分布 分泌活动旺盛细胞发达，未分化肿瘤细胞稀少
8. sER分布 合成固醇类激素的细胞、肝细胞中非常发达
9. 区域出芽 所占区域通常较小，常作为出芽的位点

大题｜2025 华中师范大学

简述内质网驻留蛋白的转运及其机理。

1. 转运 从高尔基体返回内质网
2. KDEL 二硫键异构酶/分子伴侣KDEL
3. KKXX SRP受体KKXX
4. 识别 cis面膜结合受体识别逃逸蛋白
5. ARF激活 ARF激活暴露脂肪酸尾巴插入高尔基体膜
6. 衣被形成 召集衣被蛋白形成COP Ⅰ衣被小泡
7. 动力 马达蛋白水解ATP提供动力
8. 膜融合 标志蛋白与受体识别，SNARE介导融合
9. 释放 释放回内质网腔或内质网膜

第 103 环 ・ 糖基化

糖基化 glycosylation
华农 1 次

1. 定义 酶催化寡糖链连到肽链位点　**2.** 分类 N-连接在糙面内质网合成
3. 分类 O-连接在高尔基体合成　**4.** 意义 促进折叠、增强糖蛋白稳定性
5. 意义 特异标志、参与细胞生命过程　**6.** 意义 影响水溶性与电荷性质

大题｜2025 细胞・简答

蛋白质 N-连接与 O-连接糖基化

1. **N-连接** N-连Asn酰胺氮
2. **N-连接序列** Asn-X-Ser/Thr，X不是Pro
3. **O-连接** O-连Ser/Thr羟赖氨酸羟基氧
4. **修饰时机** N共翻译，O翻译后
5. **发生部位** N内质网起始，高尔基继续加工；O高尔基
6. **N-连接方式** 多萜醇焦磷酸14糖前体整体转移再修剪
7. **O-连接方式** 糖基转移酶单糖一个一个加
8. **第一个糖** N-乙酰葡糖胺；N-乙酰半乳糖胺
9. **N-糖链** N五糖核心，分高甘露糖/复杂/杂合型
10. **O-糖链** O糖链较短无统一核心，植物羟脯氨酸
11. **抑制剂** 衣霉素抑制N，O不受
12. **联系** 腔面、糖基转移酶无模板、常同时
13. **糖链功能** 折叠、质量控制、甘露糖-6-磷酸分选

大题｜2024 细胞・简答

核里的蛋白同时带 N-、O-糖链，它在哪里

1. **结论** 核被膜跨膜糖蛋白，不是游离核质
2. **最可能** 核孔复合体膜区跨膜核孔蛋白
3. **依据N** N-连接糖基化只在内质网腔和高尔基体腔内
4. **膜相连** 核被膜外膜与糙面内质网相连
5. **腔相通** 核周间隙与内质网腔相通
6. **N朝向** N-糖链朝向核周间隙的膜蛋白
7. **经典O** 经典O-糖基化在高尔基体腔内
8. **特殊O** 细胞质核质特殊O-GlcNAc连Ser/Thr
9. **解释①** 核周间隙N-糖链，胞质核质O-GlcNAc
10. **解释②** 高尔基体加O-糖链再膜流定位

第 104 环 · 高尔基体

反面网状结构（TGN） trans-Golgi network
华农 1 次

1. **定义** 高尔基体蛋白质分选的枢纽区　2. **过程** 蛋白质包装形成网格蛋白/AP 包被膜泡
3. **特点** 重要发源地之一

顺面网状结构 cis-Golgi network (CGN)
华农 1 次

1. **定义** 高尔基体顺面外侧的极性结构　2. **定义** 与顺面膜囊相连、物质入口
3. **结构** 中间多孔、连续分支状　4. **结构** 约6nm，比其他部位略薄，与内质网膜相近
5. **过程** 接收内质网物质并分类转运　6. **意义** 完成蛋白质特定修饰
7. **意义** 参与日冕病毒装配

大题｜2012 细胞・实验

怎样用电镜技术追踪和定位高尔基体各功能区隔

1. **定位方法** 电镜细胞化学标志酶电子致密沉淀定位
2. **顺面** 嗜锇反应显示顺面膜囊
3. **中间膜囊** NADP酶显示中间膜囊
4. **反面** TPP酶显示反面1～2层
5. **反面和TGN** CMP酶显示反面膜囊和TGN
6. **免疫电镜** 驻留蛋白抗体加胶体金定位
7. **动态追踪** 脉冲-追踪、VSV-G、低温阻断
8. **结论** 货物依次顺面中间反面证明单向
9. **三维结构** 超高压电镜、电子断层、冷冻蚀刻

大题｜精华例题

高尔基体为什么是极性细胞器，极性怎样维持

1. **顺面形态** 靠细胞核一侧凸起、顺面（形成面）、CGN
2. **反面形态** 朝质膜一侧凹下、成熟面、TGN、中间膜囊、不对称
3. **顺面中间标志酶** 顺面嗜锇反应、中间膜囊NADP酶
4. **反面TGN标志酶** 焦磷酸硫胺素酶、TGN胞嘧啶单核苷酸酶
5. **膜厚度** 顺面约6 nm接近内质网膜、向反面接近质膜
6. **顺面功能** 顺面接收内质网来的物质
7. **中间加工** 糖基修饰、糖链加工按顺序在不同膜囊进行
8. **反面功能** 反面分选、包装运出、物质单向流动
9. **维持COP II** COP II 小泡持续把货物向前运
10. **维持COP I** COP Ⅰ小泡把KDEL驻留蛋白、错位的酶送回
11. **酶锚定** 加工酶由跨膜区锚定本层、不随货物前移