第 130 环 · 微管

微管结合蛋白（MAP） microtubule-associated protein
华农 2 次

1. 定义 始终伴随微管组装的一类蛋白质 **2.** 分类 MAP1、MAP2、tau蛋白等
3. 结构 带正电荷的微管结合域 **4.** 机制 与带负电荷的微管表面相互作用
5. 意义 调节微管网络结构和功能 **6.** 意义 提高微管稳定性

微管组织中心（MTOC） microtubule organizing center
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 负责微管组装和锚定的结构 **2.** 举例 动物细胞中心体 **3.** 场所 位于细胞核附近
4. 机制 负责微管成核和锚定 **5.** 特点 微管从中心体处发散呈放射状延伸
6. 举例 基体、上皮顶端面、高尔基反面

三联管 triplet microtubule
华农 1 次

1. 场所 中心粒和基体 **2.** 组成 9组等间距三联体微管 **3.** 结构 围成桶状，中央没有微管
4. 结构 A管是13根原纤丝的完整微管 **5.** 结构 B、C管不完整 **6.** 特点 与相邻的管共用管壁

微管踏车 microtubule treadmilling
华农 1 次

1. 条件 二聚体浓度处于正极组装临界浓度 **2.** 条件 负极端已在临界浓度之下
3. 过程 正极端因组装而延长 **4.** 过程 负极端因解聚而缩短 **5.** 条件 组装和解聚速度相同
6. 定义 微管长度保持稳定

纤毛 cilium
外校 1 校次

1. 定义 真核细胞表面伸出、能摆动的细胞器 **2.** 特点 细长且突出于细胞表面
3. 特点 直径0.2-0.5μm **4.** 结构 9组二联微管环绕周边，中央1组微管
5. 结构 基体与中心粒类似，充当起始位点 **6.** 意义 运动、感知、物质运输

大题｜精华例题

微管的动态不稳定性：怎样转换，怎样用实验证明

1. 定义 同一根微管持续生长和快速解聚随机切换
2. 开关 组装快于水解GTP帽；慢于水解GDP帽卷曲解聚
3. 三类稳定性 微管最不稳定、微丝次之、中间纤维最稳定
4. 中间纤维 无极性、不踏车、不耗能、多处掺入
5. 末端变化 重新戴上GTP帽，组装快于GTP水解
6. 浓度变化 微管蛋白升到临界浓度以上，伸长后下降
7. GDP只解聚 只有GDP只解聚；GTP类似物持续组装
8. 临界浓度 GDP帽组装临界浓度大于GTP帽
9. 材料 HeLa、共聚焦显微镜、秋水仙碱解聚微管
10. 方法 荧光标记、延时拍摄、FRAP
11. 预期 FRAP恢复最快、中间纤维最慢、紫杉醇稳定

大题｜精华例题

微管怎样组装，有哪些功能；常见微管药物的作用（三年）

1. 结构 α/β-微管蛋白异二聚体，13 根原纤丝
2. 成核 γ-微管蛋白环状复合物提供原纤丝模板
3. 延伸 结合 GTP 二聚体加到两端，GTP 水解成 GDP
4. 组装特点 正极长负极缩的踏车，GTP 帽生长、GDP 帽解聚
5. 影响因素 GTP、Mg^{2+}、温度、MAP 促进；低温、Ca^{2+}、stathmin 抑制
6. 功能 维持细胞形态，驱动蛋白动力蛋白的轨道运输
7. 功能 纺锤体、纤毛鞭毛轴丝 9＋2、细胞器定位
8. 抑制组装药 秋水仙碱、诺考达唑结合游离微管蛋白，只拆不装
9. 紫杉醇 结合微管阻止解聚，只装不拆，失去动态

大题｜2026 南方科技大学

简述微管的组成、特点及其组装机制。

1. 组成 α/β-微管蛋白异源二聚体基本结构单位
2. 结构 13根原纤丝合拢成中空管状，外径24内径15nm
3. 极性 结构极性：α-微管蛋白负极，β-微管蛋白正极
4. 分布 所有真核细胞，暂时性结构或稳定性结构
5. 举例 细胞质微管、纺锤体微管；纤毛、鞭毛轴丝
6. 特点 动态不稳定性，正极端明显，组装与解聚交替
7. 敏感性 温度、秋水仙素、紫杉醇；MAP和乙酰化调节
8. 成核 原纤丝纵向聚合，两端侧面片状，13根合拢
9. 延伸 新的微管蛋白二聚体组装到两端使之延长
10. 两端差异 平衡常数和组装速度不相同，负极组装较慢正极组装较快

第 131 环 · 中间丝

大题｜精华例题

中间纤维为什么没有极性；中间纤维有什么功能

1. **单体** 中央杆状区和两端可变头部尾部

2. **二聚体** 杆状区平行排列绕成双股卷曲螺旋、二聚体仍有方向

3. **四聚体** 二聚体反向平行、半分子交错，两头方向抵消

4. **纤维** 首尾相接成原丝、侧向结合成32个分子10 nm纤维

5. **结论** 两端相同不踏车，不需ATP/GTP，新亚基多位点掺入

6. **机械支持** 网架承受分散张力；角蛋白经桥粒半桥粒连成抗拉网络

7. **举例** 角蛋白5和14基因突变引起单纯大疱性表皮松懈症

8. **核纤层** 核纤层蛋白支撑核被膜参与核膜解体重建染色质锚定

9. **骨架连接** 网蛋白等结合蛋白连三套骨架成整体、定位细胞器

10. **组织特异性** 组织特异性分化和肿瘤来源标志参与信号转导

11. **举例** 上皮角蛋白、间充质波形蛋白、肌结蛋白、神经元神经丝蛋白

第 132 环 · 马达蛋白

动力蛋白 dynein

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 利用ATP沿微管向负端运动的马达蛋白

2. **特点** 重链含ATP结合部位和微管结合部位　**3.** **特点** 最大、移动最快的马达蛋白

4. **分类** 胞质动力蛋白和轴丝动力蛋白　**5.** **功能** 介导内体、溶酶体、高尔基体膜泡运输

6. **功能** 参与动粒和纺锤体定位、后期染色体分离

驱动蛋白 kinesin

华农 1 次

1. **定义** 一类马达蛋白　**2.** **结构** 两条含马达结构域的重链

3. **结构** 与重链尾部结合、具货物结合轻链　**4.** **过程** 沿微管移动

5. **意义** kinesin-1至3运输细胞器　**6.** **意义** 其他驱动蛋白调节微管动态不稳定性

7. **意义** 其他驱动蛋白调节微管网络结构

胞质动力蛋白 cytoplasmic dynein

华农 1 次

1. **定义** 水解ATP沿微管运动的马达蛋白　**2.** **结构** 重链含ATP和微管结合部位

3. **特点** 最大、移动速度最快　**4.** **意义** 膜泡运输、纺锤体定位、染色体分离

马达蛋白 motor protein

外校 1 校次

1. **定义** 化学能转化为机械能产生运动蛋白质　**2.** **定义** 又称为分子发动机

3. **结构** 与微丝或微管结合的马达结构域　**4.** **结构** 货物结合膜性细胞器或大分子复合物

5. **功能** 沿着微管或微丝运输细胞内物质　**6.** **功能** 引起细胞结构运动和变形

7. **举例** 驱动蛋白、动力蛋白、肌球蛋白

大题｜2012 细胞 · 问答

细胞内有哪三类主要的马达蛋白，简要说明其作用方式

1. **共同结构** 马达结构域结合骨架纤维、有ATP酶活性

2. **共同结构** 货物结合结构域

3. **作用方式** 水解ATP构象改变，沿纤维定向行走运输货物

4. **肌球蛋白** 沿微丝，头部结合肌动蛋白，多数（除VI型外）朝正极

5. **II型肌球蛋白** II 型肌球蛋白组成粗肌丝，横桥循环滑动

6. **非肌细胞** 收缩环、胞质环流、膜泡运输

7. **驱动蛋白结构** 两条马达重链和两条货物轻链

8. **驱动蛋白** 两头交替结合微管走路，大多数朝正极，轴突顺向

9. **纺锤体** 部分驱动蛋白参与纺锤体极微管滑动

10. **动力蛋白** 沿微管向负极，轴突逆向，最大最快的马达

11. **胞质动力蛋白** 运输内体溶酶体高尔基体膜泡，参与纺锤体组装定位

12. **轴丝动力蛋白** 二联管相对滑动，纤毛鞭毛摆动

第 133 环 · 肌肉收缩

肌钙蛋白 troponin (Tn)

华农 1 次

1. **定义** 细肌丝上的调节蛋白复合体　**2.** **组成** 含3个亚基　**3.** **结构** Tn-C 与 Ca2+ 结合

4. **结构** Tn-T 与原肌球蛋白高亲和力　**5.** **结构** Tn-I 抑制 ATP 酶活性

6. **意义** 调节肌动蛋白与肌球蛋白相互作用　**7.** **意义** 肌肉收缩关键调控

肌质网 sarcoplasmic reticulum

华农 1 次

1. **定义** 心肌、骨骼肌细胞中特化的光面内质网　**2.** **功能** 储存 Ca^{2+} 的细胞器

3. **功能** 调节细胞质中 Ca^{2+} 浓度

大题｜2015 细胞・论述

以肌肉收缩为例说明微丝和微丝结合蛋白怎样共同作用

1. **结构基础** 肌原纤维由肌节重复组成

2. **肌丝组成** 肌球蛋白、F-肌动蛋白、原肌球蛋白、肌钙蛋白

3. **安静时** 原肌球蛋白盖住结合位点，Tn-I抑制ATP酶

4. **兴奋传导** 去极化经T小管使肌质网释放Ca^{2+}

5. **钙开关** Ca^{2+}结合Tn-C暴露结合位点

6. **横桥循环** ATP结合分开，水解获能与肌动蛋白亚基结合

7. **拉动细肌丝** Pi释放拉动细肌丝相对滑动，ADP释放回僵直

8. **滑行学说** I带、H带变窄，A带长度不变

9. **舒张** 钙泵消耗ATP泵回Ca^{2+}，原肌球蛋白复位

10. **ATP作用** 缺ATP尸僵，磷酸肌酸补充ATP

第 134 环 • 细胞周期

细胞增殖 cell proliferation

华农 1 次

1. **定义** 通过分裂　**2.** **定义** 一个亲代细胞变为两个子代细胞，使细胞数量增加

3. **过程** 需先进行物质准备，再进行分裂　**4.** **特点** 高度受控且相互连续，即细胞周期

5. **特点** 不同细胞增殖速度差异很大　**6.** **意义** 单细胞生物直接导致个体数量增加

7. **意义** 多细胞生物繁殖、生长发育、维持细胞数量平衡、创伤愈合

细胞周期 cell cycle

外校 1 校次

1. **定义** 一次分裂结束到下一次分裂结束　**2.** **分类** G1期、S期、G2期、M期

3. **过程** G1期物质准备和积累　**4.** **过程** S期DNA合成　**5.** **过程** G2期分裂前物质准备

6. **过程** M期细胞分裂

细胞周期同步化 cell cycle synchronization

外校 1 校次

1. **定义** 同种细胞组成的细胞群体　**2.** **定义** 处于细胞周期的同一个时相

3. **分类** 自然同步化和人工同步化　**4.** **特点** 自然界存在的现象

5. **过程** 细胞培养方法、理化因素处理　**6.** **分类** 人工选择同步化或人工诱导同步化

大题｜精华例题

细胞周期各时期的主要生化事件；怎样测各期时间（660）

1. **定义** 上一次分裂结束到下一次分裂结束，G_1、S、G_2、M四期，可进入G_0

2. **G_1 期** 合成RNA和蛋白质，为DNA复制做准备

3. **G_1 调控** D-CDK4/6接收生长因子信号、磷酸化pRb；E-CDK2启动S期

4. **限制点** G_1晚期；不够就退到G_0，过了就不再依赖生长因子

5. **S 期** DNA复制，合成组蛋白、装配核小体；A-CDK2促进复制

6. **G_2 期** 合成分裂所需蛋白质；周期蛋白B与CDK1成前体MPF

7. **G_2 检查点** 检查复制完成、有无损伤；Cdc25去抑制性磷酸，MPF活化

8. **M 期** 有丝分裂加胞质分裂，染色体高度凝缩、转录基本停止

9. **前期** CDK1磷酸化组蛋白H1，染色质凝缩成染色体，核仁解体，中心体分向两极

10. **前中期** 核纤层解聚、核膜崩解；动粒微管抓住动粒；染色体整列

11. **中期** 染色体排列在赤道板，动粒受力平衡；纺锤体组装检查点

12. **后期** APC降解securin，分离酶切断黏连蛋白，姐妹染色单体移向两极

13. **末期** 周期蛋白B降解、CDK1失活；核被膜、核仁重建，染色体解凝缩；收缩环/细胞板

14. **测时间** 群体倍增时间；脉冲标记DNA复制加分裂指数；缩时摄像

15. **流式** 按DNA含量测各期细胞比例，分不开G_2和M，要结合周期总时间；差别主要在G_1期

大题｜2025 中国科学院大学、2025 西北大学

简述细胞周期中各个时期的主要生化事件

1. **四时相** G1期、S期、G2期、M期

2. **G1期** 合成蛋白质、糖类、脂质

3. **G1期晚期** 起始点或限制点

4. **S期** DNA半保留复制

5. **S期** 新合成DNA与组蛋白结合成核小体

6. **G2期** 核内DNA含量倍增

7. **G2期检验点** G2期检验点控制进入分裂期

8. **M期** 染色体平均分配到两个子细胞

大题｜2025 华中师范大学

细胞周期各时期有哪些重要的生理生化事件？（10 分）如何测定动物培养细胞的细胞周期各时期的时间长短？（10 分）

1. **G1期** 合成蛋白质糖类脂质、限制点进入S期

2. **S期** DNA半保留复制、组蛋白结合成核小体串珠

3. **G2期** DNA含量已倍增、G2期检验点进入M期

4. **M期** 有丝分裂和减数分裂、染色体平均分配

5. **脉冲标记法** 3H-TdR脉冲标记、放射自显影

6. **作图估算** 时间横坐标、有丝分裂细胞比例纵坐标、半高度读数

7. **同步化** 同步化处理、TdR阻断法、秋水仙素阻断法

8. **流式检测** 释放后采样、PI荧光强度与DNA含量成正比

9. **作图分析** 释放后时间横坐标、DNA含量纵坐标作图估算

10. **其他方法** 显微缩时摄像、计数推算倍增时间

第 135 环 · 细胞周期的引擎

周期蛋白依赖性激酶（CDK） cyclin-dependent kinase
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 调控细胞周期转换的蛋白激酶　**2.** 机制 与周期蛋白结合形成复合体才激活
3. 组成 CDK催化亚基、周期蛋白调节亚单位　**4.** 分类 Cdc2、Cdk2—Cdk13
5. 分类 Cdc2即Cdk1/MPF　**6.** 机制 磷酸化/去磷酸化、CDK抑制因子

细胞周期蛋白 cyclin
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 与 CDK 结合调控时相转换　**2.** 分类 G1期周期蛋白与M期周期蛋白
3. 结构 周期蛋白框结合 CDK 调节活性　**4.** 结构 破坏框、PEST 序列
5. 特点 浓度呈周期性变化　**6.** 举例 cyclin A、cyclin B

大题｜2025 细胞・简答

什么是 MPF，其生化实质是什么，哪些实验可以证明它的存在

1. 概念 成熟促进因子，G_2期进入M期
2. 生化实质 蛋白激酶，催化亚基p34^cdc2、调节亚基周期蛋白B
3. 激活条件 Thr161被磷酸化、Thr14和Tyr15由Cdc25去磷酸化
4. 失活 APC泛素化降解周期蛋白B，MPF失活
5. 作用底物 核纤层蛋白、组蛋白H1、核仁蛋白、微管结合蛋白
6. 作用结果 核被膜崩解、染色质凝缩、核仁解体、纺锤体组装
7. 细胞质移植 孕酮诱导成熟爪蟾卵细胞质注入第IV期卵母细胞也成熟
8. 再注射有效 再取其细胞质注入新的卵母细胞仍有效
9. 细胞融合 M期细胞与间期细胞融合，间期染色质提前凝缩（G_1单线、S粉末状、G_2双线）
10. 纯化 纯化MPF含p32、p45
11. 基因发现 酵母温度敏感突变株cdc2基因、海胆卵周期蛋白
12. 鉴定结论 p32即p34^cdc2、p45即周期蛋白B

大题｜精华例题

CDK 怎样调节细胞周期；两种周期蛋白的作用特点

1. 活化条件 CDK单独没有活性，与周期蛋白结合、经磷酸化修饰才有活性
2. 分工 不同周期蛋白-CDK复合物在周期的不同时刻起作用
3. 降解开关 破坏框→APC泛素化→蛋白酶体降解，CDK失活
4. 抑制磷酸化 Wee1磷酸化Thr14、Tyr15
5. 活化磷酸化 CDK活化激酶磷酸化Thr161
6. 去磷酸化 Cdc25去掉Thr14、Tyr15的磷酸；CDK再磷酸化激活Cdc25，正反馈
7. 合成速度 Ras-MAPK、Jun/Fos促进周期蛋白D和CDK的合成
8. 抑制因子 p21、p27抑制CDK；DNA损伤时p53诱导p21
9. 周期蛋白 D 生长因子诱导合成，撤除则迅速减少
10. D-CDK4/6 磷酸化pRb→释放E2F→周期蛋白E、DNA聚合酶转录→通过限制点
11. 周期蛋白 B G_1晚期合成，S、G_2积累，G_2晚期峰值，与CDK1组成MPF
12. M 期底物 核纤层蛋白（核被膜崩解）、H1（染色质凝缩）、核仁蛋白（核仁解体）、骨架相关蛋白（纺锤体组装）
13. 转入后期 APC-Cdc20泛素化降解，MPF失活，底物去磷酸化
14. 意义 CDK活性按顺序起落，周期单向有序；检查点抑制CDK暂停

大题｜2025 苏州大学

如何调节 Anaphase-promoting complex(APC)的活性？APC 在周期蛋白 B 降解中的作用如何？

1. M 期才有活性 各类APC间期表达，到M期才表现活性
2. CDK 调节 活化的M期CDK磷酸化并激活APC；蛋白磷酸水解酶使其失活
3. 正调控 Cdc20、Cdhl/Fzy；Cdc20位于动粒，姐妹染色单体分离所必需
4. 检查点 纺锤体组装不完全、动粒不能被全部捕捉，APC不能被激活
5. 负调控 Emil、Emi2、Mad2、BubR1抑制APC
6. Mad2 定位在早中期和错误排列染色体的动粒上，不能解离则抑制APC
7. 解除抑制 动粒全部被捕捉后Mad2消失，解除对Cdc20的抑制，APC活化
8. 降解周期蛋白 周期蛋白A和B经泛素化依赖途径被蛋白酶体降解
9. APC 组成 至少15种成分；中期向后期转换受精密调控
10. CDK 磷酸化 Thr14、Tyr15和Thr161磷酸化，Thr14、Tyr15去磷酸化后显活性
11. Thr161 保持磷酸化是Cdk1活性所必需
12. 中期过后 周期蛋白与CDK分离，被APC降解
13. 破坏框 破坏框调节泛素化降解；去除后不能被降解，较长时间保持活性

大题｜2025 东北林业大学

简述G2/M期转化中 CDK1 激酶活性综合调控的分子机制。

1. 前提 周期蛋白B在G1晚期合成、M期达最大并积累
2. 结合 周期蛋白B与CDK1结合形成复合物
3. 磷酸化 Wee1/Mik1激酶和CDK活化激酶催化CDK1磷酸化
4. 位点 CDK1 Thr14、Tyr15和Thr161磷酸化
5. 前体MPF 此时CDK1仍不表现激酶活性称前体MPF
6. 去磷酸化 蛋白磷酸水解酶Cdc25C催化Thr14和Tyr15去磷酸化
7. 激活 使CDK1表现出激酶活性
8. 活性丧失 有丝分裂中期APC/C促进周期蛋白B降解导致CDK1活性丧失
9. 周期转化 促进细胞周期从M期中期向后期转化

大题｜2025 浙江师范大学

细胞周期内 cyclinB 浓度和 CDK1 活性的关系。（10 分）

1. **合成时期** G1期晚期开始合成

2. **峰值** M期达到最大值

3. **前提** 周期蛋白B积累是CDK1活性前提

4. **结合与活性** 周期蛋白B与CDK1结合→激酶活性

大题｜2026 东北林业大学

具体说说在细胞周期各时序中核心关键调控分子有哪些?

1. **总述** cyclin 与 CDK 核心调控引擎

2. **G_1/S** cyclin D-Cdk4/6 磷酸化 Rb 释放 E2F

3. **S期启动** cyclin E-Cdk2 复合物

4. **负调控** p16、p21 等 CKI；SCF 降解 G_1 周期蛋白

5. **S期** cyclin A-Cdk2 调控 DNA 复制

6. **复制起始** ORC、Mcm、Cdc6 复制前复合体

7. **G_2/M** cyclin B-Cdk1 组成 MPF

8. **MPF激活** Wee1 抑制、Cdc25 去磷酸化激活

9. **M中后期** APC/C 降解 cyclin A/B 终止 M-CDK

10. **检查点** Mad2 监控动粒微管连接

第 136 环 · 有丝分裂

后期促进复合体（APC） anaphase-promoting complex
华农 2 次

1. **定义** 推动M期中期向后期转换关键复合物 **2.** **机制** 周期蛋白泛素化降解使Cdk1失活
3. **机制** cyclin A/B相关非周期蛋白 **4.** **特点** 活性受M期CDK激活
5. **特点** Cdc20正调控增强活性 **6.** **条件** 纺锤体组装不完全时
7. **特点** Mad2通过Cdc20抑制APC

动粒微管 kinetochore microtubule
华农 1 次

1. **场所** 前中期纺锤体两极发出星体微管进入核内 **2.** **结构** 与染色体两侧动粒特异性结合
3. **功能** 保证染色体向赤道面运动 **4.** **过程** 后期A动粒微管变短将染色体拉向两极

纺锤体 spindle
华农 1 次

1. **定义** 与染色体分离直接相关的细胞器 **2.** **条件** 细胞分裂过程中
3. **组成** 星体微管、极间微管、动粒微管 **4.** **结构** 动物有星纺锤体
5. **结构** 植物不含中心体、无星纺锤体 **6.** **功能** 介导染色体整列与分离
7. **功能** 保障遗传物质精准分配

成膜体 phragmoplast
华农 1 次

1. **条件** 植物细胞分裂后期 **2.** **定义** 残留纺锤体微管在赤道板中央聚集
3. **结构** 圆柱形，围有高尔基体和内质网囊泡 **4.** **过程** 囊泡彼此融合形成细胞板
5. **功能** 多糖用于制造初生壁和胞间层 **6.** **意义** 指导植物细胞胞质分裂

微管蛋白流 microtubule flux
华农 1 次

1. **条件** 细胞分裂过程中 **2.** **定义** 动粒微管从动粒向纺锤体极移动
3. **机制** 驱动蛋白相关马达蛋白产生拉力 **4.** **机制** 微管动态性质引起推力

动粒 kinetochore
华农 1 次

1. **定义** 染色体结构的重要组成部分 **2.** **场所** 着丝粒两侧
3. **结构** 内板、中间间隙、外板、纤维冠 **4.** **组成** 两类蛋白质与着丝粒DNA
5. **意义** 微管附着点

染色体凝缩 chromosome condensation
外校 1 校次

1. **条件** 细胞分裂过程中 **2.** **过程** 间期染色质螺旋化折叠包装 **3.** **过程** 逐渐变短变粗
4. **结构** 形成光镜下早期染色体 **5.** **意义** 基因组准确分离先决条件

染色体整列 chromosome congression
外校 1 校次

1. **定义** 前中期染色体向赤道面运动 **2.** **条件** 极体微管捕捉动粒形成动粒微管
3. **影响** 整列异常→分离错误、不均衡分配等

大题｜2022 细胞・简答

染色体怎样排列到赤道板上，有什么意义

1. **机制** 前中期核被膜崩解，动粒微管捕捉动粒

2. **排列** 拉力推力往返移动，受力平衡停赤道板

3. **牵拉假说** 动粒微管越长拉力越大

4. **外推假说** 星体微管排斥力，两极推力平衡

5. **调整位置** 马达蛋白和微管动态

6. **意义** 双极附着，遗传物质精确平分

7. **检查点** 纺锤体组装检查点阻止APC激活

8. **后果** 防止非整倍体

大题｜2010 细胞·简答

后期染色单体怎样分离、向两极移动的动力和机制

1. 分离前提 黏连蛋白环箍姐妹染色单体
2. APC激活 纺锤体组装检查点放行Cdc20激活APC
3. 释放分离酶 APC泛素化降解securin释放分离酶
4. 染色单体分开 分离酶切断黏连蛋白
5. 识别破坏框 APC识别破坏框泛素化周期蛋白B
6. 降解后果 蛋白酶体降解周期蛋白B、CDK1失活
7. 后期A动力 动粒马达蛋白水解ATP、动粒微管解聚
8. 后期B推开 驱动蛋白类马达使极微管滑动推开两极
9. 后期B拉极 星体微管与胞质动力蛋白作用
10. 能量 马达蛋白水解ATP、微管依赖GTP水解

大题｜精华例题

纺锤体微管的类型，染色体怎样移向两极；中心粒和动粒的作用

1. 微管类型 动粒微管、极微管、星体微管
2. 后期A 马达蛋白水解ATP沿动粒微管向极部移动
3. 后期A 动粒微管动粒端解聚为主
4. 后期B 极微管正极聚合、驱动蛋白使极微管相对滑动
5. 后期B 星体微管与皮层动力蛋白把两极向两端拉
6. 中心粒 中心粒外周物质含γ-微管蛋白构成中心体
7. 中心粒 S期复制、中心体移向两极组织双极纺锤体
8. 中心粒 星体微管与皮层决定纺锤体取向和收缩环位置
9. 动粒 着丝粒外侧蛋白复合体是动粒微管附着点
10. 检查点 所有动粒连好后才进入后期

大题｜2026 东北林业大学

微丝和微管在细胞有丝分裂中发挥怎样的作用

1. 微丝作用 微丝与肌球蛋白收缩环缢裂胞质分裂
2. 核心结构 构成有丝分裂器核心结构
3. 纺锤体微管 纺锤体微管：星体、极间、动粒微管
4. 动粒微管 动粒微管捕获排列，解聚牵引均等分配

大题｜2025 郑州大学

简要描述细胞分裂前中期纺锤体组装的过程。

1. 起始 微管在中心体周围组装
2. 中心体分离 KRP和细胞质动力蛋白
3. 马达方向 KRP向正极、细胞质动力蛋白向负极
4. 中心体列队 负向马达蛋白搭桥牵拉微管
5. 纺锤体拉长 正向马达蛋白搭桥向正极运动
6. 进一步拉长 细胞膜与星体微管间搭桥拉近中心体

大题｜2025 合肥工业大学

说明纺锤体在有丝分裂过程中的作用。

1. 组成 纺锤体由微管组成
2. 动粒微管 动粒微管连接动粒与中心体
3. 极微管 极微管中部交错重叠
4. 正确分配 每个子细胞获得正确数量染色体
5. 后期机制 微管的组装和解聚
6. 对称性 细胞分裂的对称性
7. 异常后果 染色体分配不均
8. 装配起始 两个星体由中心体发出
9. 微管延长 正极端加入α/β微管蛋白二聚体

大题｜2025 浙江师范大学

细胞周期核膜崩解和重新形成的机制和过程。

1. 偶联 核膜的崩解与核纤层的解体相互偶联
2. 调控因素 核纤层蛋白的磷酸化与去磷酸化
3. 酶与底物 MPF具蛋白激酶活性、直接作用底物
4. 磷酸化位点 22位和392位丝氨酸磷酸化
5. 解聚结果 结构域构象变化导致四聚体解聚和核纤层解聚
6. A与B去向 核纤层蛋白A单体、B与核膜小泡结合
7. 末期 核膜小泡在染色质周围聚集融合成新核膜
8. 组装 核纤层蛋白在核膜内侧组装成核纤层

大题｜2025 山东师范大学

什么是细胞周期？有丝分裂各时相的主要变化是什么？（15 分）

1. 定义 一次分裂结束到下一次分裂结束
2. 四时相 G1期、S期、G2期和M期
3. G1期 合成蛋白质、糖类、脂质；限制点
4. S期 DNA半保留复制并与组蛋白结合
5. G2期 DNA含量已经倍增；G2期检验点
6. M期 有丝分裂和减数分裂；染色体平均分配

大题｜2026 郑州大学

简述有丝分裂前期和前中期的标志性事件

1. 前期 染色体凝缩
2. 分裂极 中心体建立两极纺锤体
3. 中心体复制 G_1期末开始复制、S期完成、G_2期分离
4. 星体 微管组织中心、放射状微管装配形成星体
5. 前中期 核纤层蛋白磷酸化解聚→核膜崩解
6. 有丝分裂器 有丝分裂器（星体微管、动粒微管、极间微管）
7. 染色体整列 染色体向赤道面运动
8. 整列装置 微管捕捉染色体动粒、着丝粒-动粒复合体

大题｜2026 东北林业大学

微丝和微管在细胞有丝分裂中发挥怎样的作用

1. **微丝作用** 主要参与细胞质分裂
2. **收缩环** 微丝与肌球蛋白组装成收缩环
3. **分裂沟** 收缩环收缩产生分裂沟、细胞膜内陷缢裂
4. **微管作用** 构成有丝分裂器的核心结构
5. **纺锤体微管** 星体微管、极间微管和动粒微管
6. **动粒微管** 捕获并排列染色体
7. **后期** 解聚缩短牵引姐妹染色单体向两极、均等分配

第 137 环 · 检查点

限制点 restriction point (R point)
华农 3 次

1. **定义** G_1 晚期特定时期　**2.** **条件** 营养和生长因子不够退到 G_0
3. **机制** 过了这一点不再依赖生长因子　**4.** **意义** 能否进入 S 期
5. **意义** 开始细胞核 DNA 合成　**6.** **特点** 芽殖酵母起始点、哺乳动物限制点

检查点 checkpoint
华农 1 次

1. **定义** 细胞周期关键时刻的监控机制　**2.** **机制** 鉴别错误、诱导特异抑制因子
3. **机制** 后一事件开始依赖前一事件完成　**4.** **分类** G_1 期、S 期、G_2 期、纺锤体组装检查点
5. **分类** G_1 期检查点（限制点）　**6.** **意义** 保证各时相有序进行

Rb蛋白 Rb protein
外校 1 校次

1. **定义** 核内DNA结合蛋白　**2.** **特点** 磷酸化修饰调节生长分化　**3.** **过程** G0、G1期去磷酸化
4. **过程** G2、S、M期磷酸化　**5.** **机制** 结合E2F等转录因子　**6.** **意义** 抑制细胞周期

大题｜2026 细胞・论述

针对 HER2 高表达乳腺癌设计两种靶向药

1. **药物一** HER2 胞外结构域人源化单克隆抗体
2. **胞外作用** 特异结合 HER2、阻断信号转导、内吞降解
3. **免疫杀伤** 抗体依赖的细胞毒作用招来免疫细胞
4. **帕妥珠单抗** 阻断 HER2 与其他受体的二聚化
5. **药物二** 小分子酪氨酸激酶抑制剂（拉帕替尼）
6. **胞内机制** 竞争性占据 ATP 结合口袋阻断自磷酸化
7. **下游通路** 阻断 Ras-MAPK、PI3K-Akt 增殖信号
8. **设计依据** 信号依赖胞外结合配体—二聚化—胞内自磷酸化
9. **用药前提** 先检测 HER2 表达，只对阳性患者用药

大题｜2026 细胞・论述

端粒酶与细胞衰老、癌变（第 1、2 问）

1. **活性排序** 衰老细胞<正常体细胞<干细胞<晚期癌细胞
2. **长度排序** 衰老细胞<晚期癌细胞<正常体细胞<干细胞
3. **干细胞** 干细胞端粒酶活性一定，端粒较长
4. **癌细胞** 九成癌细胞重新激活，端粒偏短不再缩短
5. **RNA作用** RNA含CCCUAA，作为模板
6. **蛋白质作用** 逆转录酶，加TTAGGG到3'端
7. **抑制机制** GRN163L与模板区互补占住模板
8. **进入细胞** 脂质偶联帮助进入细胞
9. **结果** 端粒缩短，停止分裂、衰老或凋亡

大题｜2026 细胞・论述

紫外线损伤 DNA：应答的检查点和机制；损伤严重时的后果（第 4、5 问）

1. **损伤类型** 相邻嘧啶形成二聚体
2. **检查点** G_1、S、G_2 期检查点
3. **感受损伤** 单链 DNA 激活 ATR
4. **G_1 机制** p53 诱导 p21，pRb 结合 E2F
5. **S/G_2 机制** Cdc25 失活，CDK 不能去磷酸化
6. **修复** 核苷酸切除修复去除二聚体
7. **凋亡** p53 诱导 Bax、Puma 促凋亡
8. **衰老** p53-p21、p16-pRb 进入衰老
9. **突变癌变** 跨损伤合成引入突变，发展为皮肤癌
10. **组织损伤** 大量细胞死亡，组织损伤和炎症

大题｜精华例题

细胞周期检查点：DNA 损伤怎样让细胞停下来

1. **检查点** G_1期、S期、G_2期、纺锤体组装检查点
2. **G_1检查点** 营养、生长因子不足或DNA损伤，不让进入S期
3. **S期检查点** Cdc25A降解，E/A-Cdk2受抑，S期放慢
4. **G_2检查点** DNA未复制完、未长到合适大小，不让进入M期
5. **纺锤体检查点** 动粒未连接，Mad2抑制Cdc20，APC不激活
6. **G_1识别** MRN识别双链断裂激活ATM
7. **ATR** 单链DNA、复制叉停滞主要激活ATR
8. **p53通路** ATM/ATR磷酸化p53，p53诱导p21
9. **G_1停滞** p21抑制E-CDK2，Rb不磷酸化，基因不转录
10. **G_2通路** Chk1/Chk2使Cdc25C失活
11. **CDK1** Tyr15不去磷酸化，MPF不活化，停在G_2
12. **意义** 维持基因组稳定；p53突变累积，肿瘤发生

第 138 环 · 减数分裂

减数分裂 meiosis
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 特殊的有丝分裂形式　**2.** 条件 有性生殖细胞形成阶段
3. 过程 DNA复制一次、连续分裂两次　**4.** 特点 子细胞染色体数目减半
5. 分类 减数分裂 I 和 II　**6.** 意义 获得双亲遗传物质　**7.** 意义 保持遗传稳定、增加变异

联会复合体 synaptonemal complex
外校 1 校次

1. 定义 临时性蛋白质梯状结构　**2.** 条件 减数分裂期间（前期 I）两个同源染色体之间
3. 组成 蛋白质和 DNA 片段　**4.** 意义 同源染色体之间配对和遗传重组
5. 意义 完成交换提供结构框架　**6.** 过程 细线期开始组装，偶线期至粗线期形成典型结构
7. 过程 粗线期重组节组装，双线期去装配，终变期消失

大题｜2016 细胞 · 简答
比较减数分裂和有丝分裂的异同

1. 相同点 真核细胞分裂、DNA复制、纺锤体、细胞周期
2. 相同点 核被膜解体重建、染色质凝缩解凝缩，经前中后末期
3. 发生细胞 有丝在体细胞；减数在形成配子的生殖细胞
4. 分裂次数 有丝复制一次、分裂一次；减数连续分裂两次
5. 同源染色体 有丝同源染色体不配对；减数偶线期联会形成四分体
6. 前期 I 分细线期、偶线期、粗线期、双线期、终变期
7. 交换 粗线期非姐妹染色单体交换
8. 着丝粒 有丝后期着丝粒分裂、姐妹染色单体分开
9. 着丝粒 减数后期 I 不分裂、后期 II 才分裂，同源染色体分开
10. 子细胞 有丝2个2n；减数4个n
11. 遗传组成 有丝子细胞相同；减数子细胞各不相同
12. 意义 有丝体细胞稳定；减数数目恒定、遗传多样性

大题｜2017 细胞 · 简答
为什么说减数分裂有利于物种多样化

1. 交换 同源染色体非姐妹染色单体交换
2. 自由组合 中期 I 同源染色体取向独立
3. 组合数 n对同源染色体产生2^n种配子
4. 受精随机 配子随机结合放大组合数
5. 结果 后代遗传组成多种多样
6. 意义 为自然选择提供丰富变异
7. 恒定 染色体数目世代间保持恒定

大题｜2025 中国科学技术大学、2025 南开大学、2025 湖南大学
试述减数分裂和有丝分裂的不同特征，并论述其生物学意义。

1. 相同点 都是细胞分裂方式，都涉及染色体的复制和分配
2. 相同点 细胞周期调控、微管蛋白纺锤体、核膜重建核仁组装
3. 发生位置 有丝体细胞增殖，减数生殖细胞产生配子
4. 染色体数目 有丝染色体数目不变，减数染色体数目减半
5. 间期与复制 有丝一个间期复制一次；减数两个间期只复制一次
6. 遗传重组 有丝无联会无交换，减数联会非姐妹染色单体交叉互换
7. 有丝后期 有丝后期和减数后期 II 姐妹染色单体分离
8. 减数后期 I 后期 I 同源染色体分离，姐妹染色单体不分离
9. 次数方式 有丝一次均等分裂，减数两次连续、可不均等
10. 结果 有丝两个遗传信息相同子细胞，减数四个或两个
11. 有丝意义 细胞数量增加、遗传信息稳定传递、组织生长修复
12. 减数意义 染色体减半保持遗传稳定性，重组增加遗传多样性

第 139 环 · 细胞连接

半桥粒 hemidesmosome
华农 2 次

1. 定义 与中间丝相连的锚定连接　**2.** 场所 上皮细胞与胞外基质之间
3. 特点 形态与桥粒类似，组成和功能不同　**4.** 机制 整联蛋白和层粘连蛋白实现黏着
5. 意义 保持组织结构完整性和功能　**6.** 举例 心脏、肌肉、上皮组织

间隙连接 gap junction
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 动物组织细胞通讯连接主要方式　**2.** 条件 除骨骼肌和血细胞外
3. 结构 连接子为基本结构单位　**4.** 组成 6个连接子蛋白环状排列
5. 结构 直径约1.5 nm亲水性通道　**6.** 结构 两个连接子对接形成完整结构
7. 意义 传递小分子电突触分化信号黏着迁移

连接子 connexon
华农 1 次

1. 定义 间隙连接的基本结构单位　**2.** 组成 6个相同或相似连接子蛋白环状排列
3. 结构 中央亲水性通道直径约1.5 nm　**4.** 过程 两个连接子对接形成完整间隙连接
5. 结构 连接子蛋白有4个保守α螺旋跨膜区　**6.** 意义 实现代谢偶联或电偶联

封闭连接 tight junction
外校 1 校次

1. 定义 相邻上皮细胞质膜紧密连接　**2.** 定义 阻止小分子沿细胞间隙渗透
3. 分类 典型代表是紧密连接　**4.** 功能 形成渗透屏障　**5.** 功能 膜蛋白膜脂侧向扩散屏障
6. 意义 维持上皮细胞极性

桥粒 desmosome
外校 1 校次

1. 定义 与中间丝相连的锚定连接　**2.** 场所 位于相邻细胞间　**3.** 结构 锚蛋白形成盘状致密斑
4. 结构 致密斑与中间丝跨膜黏着蛋白质相连　**5.** 特点 纽扣样结构铆接相邻细胞
6. 意义 增强抵抗外界压力与张力的机械强度

通讯连接 communicating junction
外校 1 校次

1. 定义 细胞连接的一种类型　**2.** 功能 介导相邻细胞间物质转运，化学或电信号传递
3. 分类 动物细胞间：间隙连接、化学突触（神经元之间或神经元与效应细胞之间）
4. 意义 间隙连接影响存活、生长分裂、分化与凋亡（除骨骼肌细胞及血细胞外）
5. 分类 植物细胞间：胞间连丝

黏着带 adhesion belt
外校 1 校次

1. 定义 细胞间锚定连接的一种形式　**2.** 场所 上皮细胞紧密连接下方
3. 结构 相邻细胞连续带状结构　**4.** 机制 钙黏蛋白横桥、肌动蛋白纤维相连
5. 组成 胞内锚蛋白　**6.** 举例 α-辅肌动蛋白、联蛋白、黏着斑蛋白
7. 意义 动物胚胎形态建成、上皮细胞层弯曲成神经管

黏着斑 focal adhesion
外校 1 校次

1. 定义 细胞与细胞外基质锚定连接　**2.** 场所 常见于肌肉、肌腱
3. 组成 跨膜黏着蛋白为整联蛋白　**4.** 机制 与胶原、纤连蛋白相连
5. 组成 踝蛋白、纽蛋白与肌动蛋白纤维相连　**6.** 意义 成纤维细胞附着于培养基
7. 意义 维持细胞运动张力、传递生长信号

大题｜精华例题

三类细胞连接：结构、连接的骨架和功能

1. 封闭连接结构 上皮顶端侧面嵴线，闭合蛋白、密封蛋白，连微丝
2. 封闭连接功能① 封闭细胞间隙，物质须穿过细胞，血脑屏障、小肠上皮
3. 封闭连接功能② 阻止膜蛋白和膜脂扩散，维持上皮细胞极性
4. 锚定连接组成 跨膜黏着蛋白、胞质斑、骨架纤维，承受机械力
5. 黏着带 细胞-细胞，钙黏蛋白，平行微丝束可收缩
6. 黏着斑 整联蛋白、纤连蛋白、应力纤维，传递力信号、迁移
7. 桥粒 细胞-细胞，钙黏蛋白、角蛋白丝，连成抗拉网络
8. 半桥粒 上皮基底面，整联蛋白、层粘连蛋白、中间纤维
9. 间隙连接结构 6个连接子蛋白围成连接子，对接成1.5 nm通道
10. 间隙连接功能 小分子通过，代谢偶联、电偶联，心肌同步收缩
11. 通讯连接举例 化学突触（神经细胞间）；植物胞间连丝
12. 两者共同点 都是细胞-基质锚定连接，跨膜蛋白都是整联蛋白

大题｜2025 南京师范大学、2025 郑州大学

细胞连接的类型有哪些？分别有怎么样的功能.

1. 类型 封闭连接、锚定连接、通信连接
2. 封闭代表 紧密连接
3. 封闭功能 渗透屏障
4. 封闭功能 膜蛋白与膜脂分子侧向扩散屏障、维持上皮细胞极性
5. 锚定分类 中间丝相关、肌动蛋白纤维相关
6. 桥粒/半桥粒 抵抗压力与张力、黏着在基膜
7. 黏着带功能 上皮细胞层弯曲形成神经管
8. 黏着斑功能 贴附培养皿基质、维持运动张力和信号传递
9. 通信类型 间隙连接、化学突触、胞间连丝
10. 间隙连接功能 小分子代谢物和信号分子、代谢偶联
11. 胞间连丝功能 物质运输、信号传递、协调基因表达

大题｜2025 华中科技大学

血脑屏障的形成阻止了多种药物从血管进入脑组织，但免疫细胞却能够顺利通过内皮细胞间的紧密连接，请分析其原因。

1. 屏障特性 紧密连接渗透屏障是相对的
2. 信号调节 分泌信号分子调节开放状态
3. 密封蛋白 密封蛋白(claudin)组成
4. 信号通路 G蛋白-cAMP信号通路
5. 旁路转运 细胞旁路转运或渗漏

大题｜2026 华南农业大学

半桥粒和粘着斑的区别

1. 共同点 细胞与ECM连接结构
2. 半桥粒位置 上皮细胞基底面
3. 半桥粒配体 基底膜
4. 半桥粒整合素 整合素α6β4
5. 半桥粒骨架 角蛋白中间纤维
6. 半桥粒性质 结构稳定、锚定作用
7. 粘着斑组成 迁移细胞、纤连蛋白、整合素β1、β3
8. 粘着斑功能 肌动蛋白微丝、动态组装解聚、迁移信号转导

第 140 环 · 细胞黏着

细胞识别 cell recognition
华农 1 次

1. 定义 通过表面糖蛋白、糖脂识别 **2.** 定义 区分自身与外来、同种与异种
3. 分类 直接接触识别与信号分子识别 **4.** 举例 T细胞识别抗原-MHC复合物
5. 举例 趋化因子受体识别趋化因子

整联蛋白 integrin
华农 1 次

1. 定义 脊椎动物细胞表面细胞黏着分子 **2.** 条件 异亲型结合、Ca2+或Mg2+依赖性
3. 意义 介导细胞与胞外基质间黏着 **4.** 结构 α、β两个亚基跨膜异二聚体
5. 举例 黏着斑与半桥粒 **6.** 特点 细胞外基质同骨架网络连成整体
7. 特点 由内向外、由外向内的信号转导

RGD序列 RGD sequence
外校 1 校次

1. 定义 精氨酸-甘氨酸-天冬氨酸 **2.** 特点 细胞黏附中起重要作用
3. 机制 细胞表面的受体识别和结合 **4.** 特点 整联蛋白 **5.** 意义 生物医学研究和药物开发
6. 举例 竞争性阻断整联蛋白与自然底物结合 **7.** 意义 抑制血小板聚集和血栓形成

第 141 环 · 细胞外基质

胶原 collagen
华农 2 次

1. 定义 细胞外基质的主要成分 **2.** 结构 纤维状，基本结构单位是原胶原
3. 结构 3条α链多肽盘绕形成三股螺旋结构 **4.** 结构 Gly-X-Y三肽重复序列
5. 特点 胞外基质中含量最高，构成骨架结构
6. 特点 刚性及抗张力强度最大，特别是 I 型胶原

基膜 basal lamina (basement membrane)
华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 特化的细胞外基质结构 **2.** 场所 上皮层基底面，分开上皮与结缔组织
3. 组成 IV型胶原、层粘连蛋白、巢蛋白 **4.** 组成 基膜蛋白聚糖
5. 意义 支撑、调节分子通透性 **6.** 意义 细胞运动的选择性通透屏障
7. 意义 形态极性、代谢、增殖分化迁移、组织再生

细胞外基质 extracellular matrix
外校 1 校次

1. 定义 动物细胞合成并分泌到胞外 **2.** 定义 分布在细胞表面或细胞之间
3. 组成 主要多糖和蛋白 **4.** 分类 蛋白聚糖、结构蛋白、粘连糖蛋白
5. 特点 蛋白聚糖高度亲水性、抗压的能力 **6.** 特点 胶原和弹性蛋白赋予强度和韧性
7. 特点 粘连糖蛋白促使细胞同胞外基质结合

大题 | 2008 细胞 · 问答
细胞外基质的主要化学组成和功能

1. 定义 细胞外空间蛋白质和多糖复杂网络，结缔组织最丰富
2. 胶原 胶原含量最多三股螺旋Gly-X-Y抗张
3. 弹性蛋白 弹性蛋白无规卷曲并交联，赋予弹性
4. 蛋白聚糖 糖胺聚糖核心蛋白共价连接，亲水负电水化凝胶抗压
5. 透明质酸 透明质酸游离糖胺聚糖，不是蛋白聚糖，聚合体骨架
6. 黏着糖蛋白 纤连蛋白RGD整联蛋白，层粘连蛋白基膜黏着蛋白
7. 支架/力学 支架维持形态，胶原抗拉蛋白聚糖抗压弹性蛋白弹
8. 附着信号 经整联蛋白信号影响形态存活增殖迁移分化
9. 分子筛/屏障 分子筛调节扩散储生长因子，基膜屏障肿瘤转移先降解
10. 羟化 前α链带前肽，脯氨酰羟化酶维生素C羟化，坏血病
11. 前胶原/分泌 粗面内质网前α链，高尔基体分泌前胶原
12. 装配/交联 N/C切前肽，1/4原纤维，赖氨酰氧化酶Cu^{2+}

大题 | 2025 中国科学技术大学
简述细胞外基质主要类型及其功能

1. 类型 结构蛋白、蛋白聚糖、粘连糖蛋白
2. 结构蛋白 胶原和弹性蛋白分别赋予胞外基质强度和韧性
3. 蛋白聚糖 蛋白质和多糖共价形成→高度亲水→抗压
4. 粘连糖蛋白 纤连蛋白和层粘连蛋白→细胞粘连到胞外基质

大题 | 2025 山东大学
胶原纤维是细胞外基质的重要组分。简述胶原纤维合成和装配过程。

1. 合成部位 前α链在rER膜结合的核糖体上合成
2. 切除信号肽 前α链进入rER腔切除信号肽
3. 羟基化糖基化 赖氨酸、脯氨酸羟基化，羟赖氨酸糖基化
4. 装配前胶原 带有前肽的3条前α链在Er腔内装配形成三股螺旋的前胶原分子
5. 分泌 通过高尔基体分泌到细胞外
6. 切除前肽 两种Zn2+依赖的蛋白酶切除C端和N端前肽
7. 成为胶原分子 切除前肽后成为胶原分子
8. 自我装配 交替平行排列自我装配成10～30nm胶原原纤维
9. 聚合 胶原原纤维聚合成500～3000nm胶原纤维

第 142 环 · 植物细胞的特殊结构

胞间连丝 plasmodesma
华农 1 次

1. 定义 高等植物细胞通讯主要形式 **2.** 结构 穿越细胞壁
3. 结构 相邻细胞质膜组成管状结构 **4.** 结构 光面内质网延伸形成链样管
5. 结构 链样管与管状质膜之间细胞液环孔 **6.** 意义 物质运输、信号传递
7. 意义 协调基因表达与生理功能

共质体 symplast
华农 1 次

1. 定义 胞间连丝连接的连续体系 **2.** 组成 包括原生质体和胞间连丝
3. 意义 细胞间通讯和物质运输途径 **4.** 过程 物质和信号分子自由交换
5. 意义 协调植物生理和发育

传递细胞 transfer cell
华农 1 次

1. 定义 植物体内特化的薄壁组织细胞 **2.** 结构 细胞壁向外突起 **3.** 组成 富含胞间连丝
4. 意义 有利于物质的运送传递 **5.** 场所 物质转移的关键部位
6. 意义 分泌吸收和短距离运输

大题 | 2011 细胞 · 简答

植物细胞壁与动物细胞外被（糖萼）比较

1. 相同点 质膜外表面、以糖类为主要成分、保护识别
2. 细胞壁组成 纤维素微纤维为骨架、半纤维素果胶基质、木质素
3. 细胞壁特征 厚而坚硬、独立于质膜之外、胞间连丝穿过
4. 糖萼组成 膜蛋白膜脂共价寡糖链、吸附蛋白聚糖
5. 糖萼特征 质膜的一部分、薄而柔软
6. 细胞壁功能 承受膨压、决定细胞形状、机械支持、抗病原体屏障
7. 糖萼功能 细胞识别、黏附、免疫（血型抗原）、保护细胞表面

大题 | 2011 细胞 · 简答

植物细胞壁与动物细胞外被（糖萼）的异同

1. 相同点 质膜外表面、糖类、保护识别
2. 细胞壁结构 独立于质膜、厚而坚韧
3. 细胞壁成分 纤维素微纤丝骨架嵌半纤维素果胶
4. 细胞壁分层 胞间层、初生壁、次生壁、木质素
5. 糖萼结构 糖蛋白糖脂寡糖链、与质膜共价相连
6. 细胞壁功能 承受膨压、决定形状、机械支持、抵御病原体
7. 胞间连丝 胞间连丝沟通相邻细胞
8. 糖萼功能 不承受机械力、识别黏着免疫保护润滑

大题 | 2013 细胞 · 简答

植物细胞特有的结构及功能

1. 细胞壁结构 纤维素微纤丝加半纤维素果胶基质
2. 细胞壁分层 胞间层、初生壁、次生壁、木质素
3. 细胞壁功能 维持形状、承受膨压、机械支持、抵御病原体
4. 液泡 贮存水糖盐色素、膨压、水解酶
5. 质体 叶绿体光合、白色体贮存、有色体着色
6. 胞间连丝 沟通相邻细胞、物质运输信号传递、共质体
7. 其他差别 无中心体、成膜体细胞板、乙醛酸体

大题 | 精华例题

胞间连丝怎样形成、怎样按大小调控运输；为适应环境怎样改变

1. 结构 质膜围成管道、中央链样管、环孔运输
2. 初生 成膜体小泡融合成细胞板、内质网小管被夹
3. 初生完成 细胞板发育成细胞壁、质膜保持连通
4. 次生 酶局部降解细胞壁新形成、非姐妹细胞间
5. 排阻上限 分子量1000以下小分子自由通过
6. 病毒扩张 烟草花叶病毒p30扩张通道
7. 发育变窄 早期50kDa、成熟分枝状通过400
8. 胼胝质调节 胼胝质颈部沉积变窄关闭、降解开放
9. 环境适应 低温、损伤、病原侵染时胼胝质沉积
10. 主动扩大 转录因子、病毒运动蛋白主动扩大孔径

第 143 环 · 细胞分化

细胞决定 cell determination
华农 3 次

1. 定义 接受某种指令后 **2.** 定义 细胞及子代分化成特定细胞类型
3. 定义 分化特征尚未显现之前 **4.** 定义 确定细胞的分化命运 **5.** 特点 决定早于分化
6. 机制 与细胞的记忆有关 **7.** 机制 正反馈与染色体结构变化

转分化 transdifferentiation
华农 1 次

1. 定义 谱系间重编程的一种方式 **2.** 定义 已分化细胞转变为另一谱系分化细胞
3. 过程 往往经历去分化和再分化 **4.** 特点 不必先退回多潜能干细胞

细胞分化 cell differentiation
华农 1 次

1. 条件 个体发育中 **2.** 过程 相同类型细胞经细胞分裂 **3.** 特点 形态结构功能稳定性差异
4. 过程 产生不同细胞类群 **5.** 机制 特异性蛋白质合成
6. 机制 基因在特定时间和空间中选择性表达

终末分化细胞 terminally differentiated cell
华农 1 次

1. 定义 分化程度很高、特化定型 **2.** 定义 终生不再分裂 **3.** 定义 执行特定功能
4. 举例 横纹肌细胞、多型核白细胞等

调节性T细胞 regulatory T cell
外校 1 校次

1. 定义 免疫抑制功能的T细胞亚群 **2.** 意义 抑制过度活化的免疫细胞
3. 意义 维持免疫耐受、防止自身免疫病 **4.** 意义 调控抗感染、抗肿瘤免疫反应强度
5. 意义 维持机体免疫平衡

大题｜精华例题
细胞分化的特点和分子机制（两年）

1. 概念 同一来源细胞稳定性差异
2. 稳定性 分化状态在细胞分裂中保持
3. 时空特异性 不同发育阶段不同部位
4. 遗传物质不变 核移入去核卵细胞发育完整个体
5. 普遍持久性 贯穿整个生命过程胚胎期最旺盛
6. 基因选择性表达 管家基因奢侈基因选择性表达
7. 组合调控 几种调控蛋白特定组合
8. 表观遗传 DNA甲基化组蛋白修饰染色质重塑
9. 转录后调控 选择性剪接miRNA
10. 影响因素 细胞质不均一性细胞间相互作用

大题｜精华例题
细胞核和细胞质的相互作用对分化的影响；克隆为什么用卵细胞质

1. 物质基础 卵细胞质母源mRNA和蛋白质分布不均匀
2. 举例 Bicoid梯度决定前后轴
3. 分化机制 子细胞细胞质成分不同、打开基因不同
4. 重编程 分化核移入去核卵细胞重编程
5. 克隆原因 重编程因子抹去表观标记、重新启动胚胎基因
6. 克隆原因 提供早期发育物质、体细胞质没有
7. 核控制质 特异mRNA翻译特异蛋白质决定形态功能
8. 核孔交流 转录因子核定位信号入核、核被膜选择性屏障

大题｜精华例题
细胞分化的概念、意义和影响因素（660）

1. 概念 形态、结构和功能上形成稳定性差异
2. 实质 基因的选择性表达，不改变遗传物质
3. 基因类别 管家基因和组织特异性基因
4. 意义 增加细胞数目和类型，构成组织和器官，个体发育基础
5. 直接因素 转录因子的组合，受细胞内外信号共同调控
6. 细胞质不均一 母体 mRNA 和蛋白质分布不均
7. 胚胎诱导 视泡诱导外胚层形成晶状体，再诱导表皮形成角膜
8. 诱导方式 短程诱导 EGF、FGF，长程诱导 TGFβ、Wnt
9. 其他信号 膜蛋白配体 Notch 通路，激素远程调节
10. 细胞记忆 正反馈调节环和表观遗传：DNA 甲基化、组蛋白修饰
11. 细胞决定 短暂信号被记住，决定早于分化
12. 特殊情况 马蛔虫染色体消减、B淋巴细胞抗体基因重排

大题｜2025 中国科学院大学
简述细胞分化的概念及生物学意义。

1. 概念 形态、结构、功能稳定差异
2. 结果 形成不同细胞类群
3. 核心 特异性蛋白质合成
4. 本质 基因选择性表达
5. 意义一 构成组织与器官
6. 意义二 特异性转录因子网络
7. 意义三 有控制分裂、有序分化
8. 意义四 为演化创造条件
9. 意义五 干细胞研究核心问题
10. 意义六 iPS 疾病治疗新途径

大题｜2026 郑州大学
简述影响细胞分化的因素

1. 细胞质 细胞质不均一性、母体基因产物、初始信息
2. 信号与位置 信号分子浓度梯度、激素、细胞位置信息
3. 细胞记忆 细胞记忆、正反馈、染色体结构修饰
4. 染色质变化 染色体丢失、基因重排、免疫球蛋白

第 144 环 · 干细胞

胚胎干细胞 embryonic stem cell (ES cell)
华农 2 次

1. 定义 来自囊胚内细胞团的高度未分化细胞 **2.** 特点 无限增殖、自我更新、多向分化
3. 意义 为体外获取人体功能细胞提供来源 **4.** 意义 开辟生物医学研究新途径

诱导多能干细胞（iPS 细胞）
induced pluripotent stem cell (iPS cell)
华农 2 次

1. 定义 体细胞诱导形成的多能干细胞 **2.** 过程 逆转录病毒引入特定基因
3. 举例 Oct4、Sox2、c-Myc、Klf4 **4.** 特点 与胚胎干细胞高度相似
5. 特点 自我更新与多向分化潜能 **6.** 意义 规避胚胎干细胞伦理争议

多潜能干细胞 pluripotent stem cell

华农 2 次

1. 定义 能分化成三个胚层细胞和器官　**2.** 条件 一定条件下

3. 举例 胚胎干细胞、生殖嵴干细胞　**4.** 特点 不能单独发育成个体

5. 意义 个体发育和成体维持的关键作用

大题｜2022 细胞・综合

iPS 细胞的隐患怎样解决；撤掉四个基因会不会变回成纤维细胞

1. 机制 四个基因编码转录因子激活内源多能性网络

2. 隐患一 致瘤性：c-Myc、Klf4癌基因及畸胎瘤

3. 隐患二 插入突变：逆转录病毒随机整合，破坏抑癌/激活原癌

4. 隐患三 效率低、残留表观记忆

5. 对策一 不整合载体、可切除转座子、mRNA或重组蛋白

6. 对策二 去c-Myc或用L-Myc

7. 对策三 只用小分子化合物组合，完全化学诱导

8. 对策四 移植前定向分化、剔除未分化细胞

9. 结论 不会变回成纤维细胞，仍多能取决于微环境/诱导

10. 原因 内源Oct4/Sox2/Nanog正反馈、表观遗传

11. 前景 避开伦理和免疫排斥，个体化再生

12. CiPS 小分子化合物组合激活Sall4、Sox2

大题｜2021 细胞・简答

胚胎干细胞、癌细胞的区别（连同正常分化细胞一起比）

1. 相同点 体外长期增殖、端粒酶活性、分化程度低、核质比大

2. 增殖 胚胎干细胞受控；正常细胞Hayflick；癌细胞失控

3. 分化 多向分化、三个胚层功能细胞；已定型；去分化失功能

4. 接触抑制 胚胎致密；正常接触抑制停分裂；癌接触抑制丧失堆叠

5. 形态核质比 小核仁明显；特化形态核质比小；失去特化形态核大深染

6. 遗传物质 二倍体；二倍体；异倍体、原癌基因激活、抑癌失活

7. 生长因子 依赖生长因子；依赖生长因子；自分泌、信号通路持续活化

8. 凋亡结局 检查点凋亡机制；衰老或凋亡；逃避凋亡p53失活

9. 体内行为 良性畸胎瘤含三个胚层；不成瘤；恶性肿瘤侵袭转移

大题｜2014 细胞・问答

干细胞按分化潜能分为哪几种类型，各有什么特征

1. 共同特征 自我更新和分化潜能

2. 形态特征 体积小、核质比大、未分化或低分化

3. 全能干细胞 三个胚层和胚外组织，能发育成完整个体

4. 全能举例 受精卵和卵裂早期（不超过16细胞期）的卵裂球

5. 多潜能 三个胚层各种细胞，不能形成胚外组织和个体

6. 多潜能例1 胚胎干细胞（囊胚内细胞团）

7. 多潜能例2 胚胎生殖细胞（生殖嵴）、iPS细胞

8. 多能干细胞 特定谱系多种细胞：造血、间充质、神经干细胞

9. 单能干细胞 终末细胞一种或几种：表皮基底层、肌卫星、精原

10. 潜能规律 全能→多潜能→多能→单能，分化越高全能性越低

11. 成体干细胞 负责组织更新和损伤修复

大题｜2025 浙江师范大学

简述 ips 诱导多潜能干细胞和其应用前景。

1. 定义 转录因子基因转入成体细胞

2. 多能性 类似胚胎干细胞多能性

3. 分化潜能 分化成体内所有类型的细胞

4. 个体化医疗 自身获取、避免免疫排斥

5. 疾病模型 建立特定疾病的细胞模型

6. 机制研究 研究疾病的发病机制和药物筛选

7. 药物开发 药物毒性评估和药效测试

8. 再生医学 分化成心肌细胞、神经细胞

9. 临床应用 老年性黄斑变性

10. 伦理 规避伦理问题

11. 伦理原因 不需要使用人类胚胎

大题｜2025 华东师范大学

什么是干细胞，根据分化潜能分为哪几种，列举干细胞在治疗中的应用，并说明目前面临的问题。

1. 定义 自我更新、多向分化、克隆能力

2. 全能干细胞 完整生命体、胚外组织、受精卵和早期卵裂球

3. 多潜能干细胞 三个胚层、器官、胚胎干细胞和生殖嵴干细胞

4. 多能干细胞 多种但非所有、造血干细胞

5. 单能干细胞 一种或几种、小肠干细胞

6. 成体应用 造血干细胞移植、再生障碍性贫血、白血病

7. 胚胎应用 体外定向诱导分化、胰岛β细胞、1型糖尿病

8. 药物平台 药物筛选和毒性评估提供了新的平台

9. iPS应用 规避伦理、个体化、细胞重编程后分化成肝细胞

10. 转分化 特定转录因子组合、成纤维细胞转分化为肝细胞

11. 面临问题一 建立全能性、维持多潜能干细胞体外扩增稳定性

12. 面临问题二 时间空间调控、功能成熟细胞或组织

大题｜2026 杭州师范大学

什么是胚胎干细胞和成体干细胞？请比较他们在来源，分化潜能，生理功能及临床应用方面的优势与局限，并概述干细胞研究的意义。

1. **胚胎干细胞** 囊胚内细胞团、多潜能、无限增殖
2. **成体干细胞** 组织干细胞、组织稳态维持
3. **来源** 5-6天囊胚内细胞团；骨髓等成熟组织
4. **分化潜能** 多潜能三胚层；多能/单能同组织谱系
5. **生理功能** 构建组织器官；更新、修复组织损伤
6. **胚胎优劣势** 全能性、扩增稳定；伦理争议、免疫排斥、致瘤
7. **成体优劣势** 无伦理问题、排斥弱；难大量扩增、类型少
8. **理论意义** 基因选择性表达、重编程、胚胎发育规律
9. **应用意义** 造血干细胞治疗白血病；iPS疾病模型

第 145 环 · 细胞衰老

细胞衰老 cell aging (cellular senescence)
华农 2 次 · 外校 1 校次

1. **定义** 绝大多数正常细胞　**2.** **定义** 有限次数分裂后不再增殖
3. **定义** 形态结构和代谢活动显著改变　**4.** **特点** 溶酶体增大、脂褐质积累
5. **特点** 核膜内折、染色质固缩　**6.** **特点** 不可逆停滞、周期负调节因子上调
7. **特点** SABG活化、端粒缩短

Hayflick界限 Hayflick limit
外校 2 校次

1. **定义** 正常体细胞、体外培养条件　**2.** **定义** 分裂一定次数后停止、衰老死亡
3. **定义** 有限倍增次数　**4.** **机制** 内在程序控制　**5.** **机制** 端粒缩短、氧化损伤
6. **意义** 再生医学、细胞治疗

大题｜2020 细胞·问答

自由基与细胞衰老的关系

1. **定义** 带未配对电子，活性氧、过氧化氢、辐射、氧化爆发
2. **主要来源** 线粒体呼吸链漏电子给O_2生成超氧阴离子，最主要来源
3. **清除** 歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶、维生素C/E
4. **学说结论** 自由基损伤不断累积导致衰老
5. **损伤膜脂** 不饱和脂肪酸过氧化，膜流动性下降、通透性改变
6. **脂褐质** 脂质过氧化产物与蛋白质交联成脂褐质，在溶酶体堆积
7. **损伤蛋白** 氧化、交联使酶失活、蛋白质聚集
8. **损伤DNA** 线粒体DNA缺组蛋白保护，碱基氧化、链断裂，恶性循环
9. **年龄变化** 清除酶活性下降，损伤速度超过修复速度
10. **衰老特征** 脂褐质堆积、核增大、染色质固缩、增殖停止
11. **证据** 过表达超氧化物歧化酶、过氧化氢酶延长寿命；限制热量
12. **与端粒** 氧化损伤加速端粒缩短，共同导致复制衰老

大题｜精华例题

Hayflick 界限；细胞衰老的特征和调节机制（660）

1. **定义** 体外培养正常细胞分裂次数上限，不是分化极限
2. **特征** 不可逆停止分裂，加生长因子也无济于事
3. **形态** 大而扁平、膜流动性降低、溶酶体增大、脂褐质堆积
4. **分子标志** β-半乳糖苷酶活性升高
5. **分子标志** p21、p16、p53表达上调、端粒缩短
6. **分子标志** 衰老相关异染色质集中、衰老特征性分泌物
7. **端粒途径** 端粒短到一定程度激活p53 DNA修复体系
8. **端粒途径** p21→CDK失活→Rb扣E2F，停G_1
9. **胁迫途径** 过氧化物、原癌基因、p16提前衰老
10. **原因/意义** 自由基与活性氧损伤；防止癌变、免疫细胞清除

大题｜2025 华中科技大学

使用 DAPI 对细胞内的 DNA 或 RNA 进行染色时，请问年轻的活细胞和衰老活细胞分别会出现什么现象？

1. **年轻细胞** 均匀蓝色荧光
2. **年轻原因** DAPI 与 DNA 结合
3. **年轻结构** 核结构紧凑 DNA 均匀
4. **衰老细胞** 荧光信号点状聚集
5. **衰老原因** DNA 结构变化
6. **染色质** 染色质重新分布异染色质形成
7. **信号集中** DNA 密集荧光集中

大题｜2025 南京师范大学

Hyflick 界限是什么？细胞衰老有怎样的特征，调节机制又是如何？

1. **定义** 正常细胞有限分裂、基因决定
2. **特征** 大而扁平、质膜流动性降低、脂褐质
3. **特征** 不可逆停止分裂、生长因子无济于事
4. **特征** p21/p16/p53 上调
5. **特征** β-半乳糖苷酶活化
6. **特征** 端粒长度减少（短于50%）
7. **特征** 异染色质集中、DAPI点状聚集
8. **特征** 炎性因子、金属蛋白酶招募免疫细胞
9. **机制** 端粒缩短→p21/p16/p53抑制周期
10. **机制** 端粒酶延长端粒延缓衰老

大题｜2025 华东师范大学

SASP 包括促炎细胞因子（如 IL-1α、IL-1β、IL-6 和 IL-8），生长因子（如 HGF、TGF-β 和 GM-CSF），趋化因子（如 CXCL-1/3 和 CXCL-10）和基质重塑酶（如金属蛋白酶等），设计实验检验细胞衰老过程中两种 SASP 的变化情况以及对细胞衰老的影响作用？

1. 分组 IMR-90对照组与诱导衰老组

2. 诱导衰老 连续传代，β-半乳糖苷酶活性

3. 取样时间 不同时间点收集细胞

4. 转录水平 qRT-PCR检测SASP因子mRNA

5. 分泌水平 ELISA检测培养液SASP因子蛋白含量

6. 添加实验 取年轻细胞添加SASP因子，设置未添加SASP因子的对照组

7. 中和实验 衰老细胞中和SASP因子，设置未中和处理的衰老细胞对照组

8. 预期变化 SASP因子mRNA和蛋白水平上调

9. 预期影响 SASP促进年轻细胞衰老：β-半乳糖苷酶升高、$G0/G_1$阻滞、p21和p16上调

10. 中和结果 细胞增殖能力恢复、重新进入S期比例升高

第 146 环 · 凋亡的特征

凋亡小体 apoptotic body

华农 1 次 · 外校 1 校次

1. 定义 细胞凋亡过程中形成　**2.** 组成 核染色质断裂片段与细胞器聚集

3. 结构 细胞质膜包裹的球形结构　**4.** 过程 被邻近细胞或吞噬细胞吞噬

5. 特点 溶酶体消化、不引起炎症

细胞凋亡 apoptosis

华农 1 次

1. 定义 受基因调控的主动生理性自杀行为　**2.** 分类 程序性细胞死亡主要形式

3. 特点 质膜及溶酶体保持完整　**4.** 特点 内含物不释放、不诱导炎症

5. 意义 保证胚胎发育、塑造器官形态　**6.** 意义 免疫耐受、自稳态、肿瘤监控

DNA梯状条带 DNA ladder

外校 1 校次

1. 定义 细胞凋亡的典型特征　**2.** 条件 特异DNA内切酶被激活

3. 过程 核小体间随机切割降解　**4.** 过程 180～200 bp整数倍片段

5. 过程 琼脂糖凝胶电泳中分离　**6.** 过程 通过染色和成像技术观察

7. 特点 呈现出梯状条带的形态

大题｜2016 细胞・简答

细胞死亡有哪几种，有哪些特点和生物学意义

1. 类型 凋亡、坏死、程序性坏死、焦亡

2. 凋亡特点 基因调控主动死亡，caspase 级联执行

3. 凋亡形态 单个细胞散在，皱缩，染色质固缩，凋亡小体

4. 凋亡DNA 180～200 bp 梯状，膜完整不引起炎症

5. 坏死特点 被动成片，肿胀破裂，炎症，DNA 弥散拖带

6. 程序性坏死 RIPK 调控，形态似坏死，替补清除感染细胞

7. 植物PCD 液泡膜破裂释放水解酶，细胞壁保留

8. 凋亡意义 胚胎发育和器官形态塑造，形成免疫耐受

9. 凋亡意义 维持细胞数目稳态，防止肿瘤，过多过少致病

10. 植物PCD意义 器官建成、防御病原体、应对环境胁迫

大题｜2013 细胞・简答

透射电镜下凋亡细胞的超微结构特征

1. 起始阶段 微绒毛消失、细胞间连接消失、细胞脱离皱缩变圆

2. 胞质变化 胞质浓缩、核糖体脱离内质网、内质网囊腔膨胀并与质膜融合

3. 细胞器 线粒体等细胞器结构基本完整

4. 染色质 染色质高度固缩凝集，形成新月形、帽状电子致密块并边集

5. 核仁核膜 核仁消失，核膜可内陷

6. 核裂解 核裂解成大小不等染色质片段，与线粒体等细胞器聚集

7. 凋亡小体 反折、起泡的质膜包裹形成有膜凋亡小体

8. 清除 邻近细胞或巨噬细胞吞噬，溶酶体消化分解

9. 关键特征 质膜和溶酶体膜保持完整，内容物不外漏，无炎症反应

10. 对比坏死 细胞肿胀、细胞器膨大、质膜破裂、染色质絮状弥散

大题｜精华例题

怎样判断细胞是凋亡还是坏死；常用的凋亡检测方法

1. DNA电泳原理 核酸内切酶在核小体之间切断DNA

2. DNA电泳结果 180～200 bp梯状条带；坏死弥散拖带

3. 双染原理 荧光标记Annexin V结合翻到外层磷脂酰丝氨酸

4. 时间进程 PI进入膜已破细胞；V^+/PI^-早期凋亡，双阳性坏死

5. 形态与LDH DAPI/Hoechst固缩、核碎裂；电镜凋亡小体；LDH漏出升高

6. DNA电泳步骤 裂解液、RNase A和蛋白酶K，酚-氯仿抽提

7. 电泳条件 1.5%～2.0%琼脂糖凝胶电泳、EB染色

8. TUNEL原理 DNA断裂产生3′-OH末端，TdT加标记dUTP

9. TUNEL步骤 固定通透化，加TdT和标记dUTP，荧光或流式观察

10. 双染步骤 Annexin V-FITC和PI避光孵育，流式四象限统计

11. 其他检测 Western检测caspase-3和PARP切割，底物显色

12. 线粒体检测 JC-1检测线粒体膜电位下降；细胞色素c释放

大题｜2025 中国科学院大学

简述细胞凋亡与坏死的区别。

1. 细胞膜状态 细胞膜保持完整、细胞膜破裂

2. 细胞内容物 包裹在凋亡小体中、释放到胞外

3. 炎症反应 不引起炎症、引起炎症反应

4. 凋亡形态 细胞皱缩、染色质固缩、形成凋亡小体

5. 坏死形态 细胞质出现空泡、细胞质膜破损、内含物释放

6. 死亡诱因 生理性或轻微病理性、病理性刺激因子

7. 分子机制 caspase家族、RIPK家族蛋白酶

大题｜2026 东南大学

简述细胞凋亡的形态学特征，并列举其主要的检测方法及原理

1. 形态特征 染色质固缩、趋边化、凋亡小体形成

2. 台盼蓝 台盼蓝使死细胞着色

3. DAPI DAPI与DNA结合染细胞核

4. 吉姆萨 吉姆萨使染色质着色

5. DNA电泳 核小体间切割成180～200 bp整数倍，琼脂糖电泳梯状条带

6. TUNEL DNA断裂原位末端标记，3′-OH末端荧光素染色

7. 彗星电泳 单细胞琼脂糖凝胶裂解电泳、荧光染色，DNA降解片段呈彗星图案

8. 流式分析 DNA断裂丢失呈亚二倍体，碘化丙啶流式检测

9. PS检测 凋亡早期磷脂酰丝氨酸翻转至膜外侧，荧光探针检测