

2024 北京二中高三（上）开学考

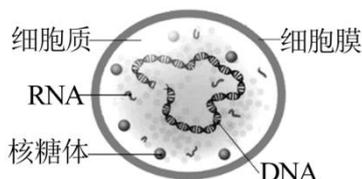
生 物

一、选择题（每题 1.5 分，共 45 分）

1. 端粒是染色体末端的一段 DNA 片段。端粒酶由 RNA 和蛋白质组成，该酶能结合到端粒上，以自身的 RNA 为模板合成并延伸端粒 DNA。在正常情况下，端粒酶只在不断分裂的细胞中具有活性。下列有关端粒酶的叙述，正确的是（ ）

- A. 仅由 C、H、O、N 四种元素组成
- B. 催化过程以 4 种脱氧核苷酸为底物
- C. 组成成分都在核糖体上合成
- D. 在所有细胞中均具有较高活性

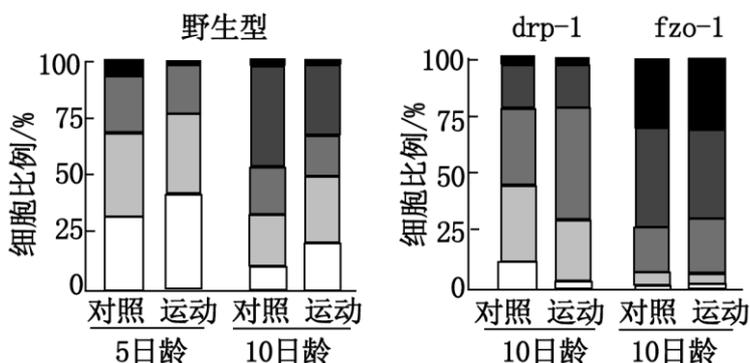
2. 支原体是一类可用人工培养基培养的微小生物，会引发支原体肺炎等疾病。如图为支原体的结构模式图。下列关于支原体的叙述错误的是（ ）



- A. 遗传物质是 DNA 和 RNA
- B. 能完成蛋白质合成等生命活动
- C. 与细菌的区别之一是没有细胞壁
- D. 与动物细胞的主要区别是没有核膜



3. 线粒体正常的形态和数量与其融合、裂变相关，该过程受 DRP-1 和 FZO-1 等基因的调控。衰老过程中，肌肉细胞线粒体形态数量发生变化、线粒体碎片化增加。下图是研究运动对衰老线虫肌肉细胞线粒体影响的结果。说法正确的是（ ）



注：颜色越深代表细胞中线粒体碎片化程度越高，drp-1、fzo-1 代表相关基因突变体

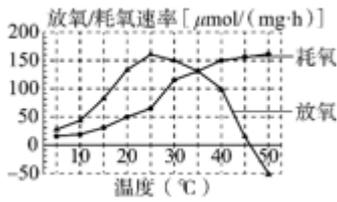
- A. 线粒体是细胞合成 ATP 的唯一场所
- B. 运动可减缓衰老引起的线粒体碎片化
- C. 敲除 DRP-1 基因会加重线粒体碎片化

D. 线粒体融合与裂变不是运动益处所必需

4. 细胞在迁移过程中会产生并释放一种单层膜的细胞器——迁移体，其内部含有细胞因子、mRNA 等物质。当迁移体被周围细胞吞噬后，其中的 mRNA 翻译形成蛋白质，进而改变该细胞的行为。关于迁移体的推断正确的是（ ）

- A. 包含四层磷脂分子
- B. 其膜不属于生物膜系统
- C. 可能参与细胞间的信息交流
- D. 其被吞噬依赖于细胞膜的选择透过性

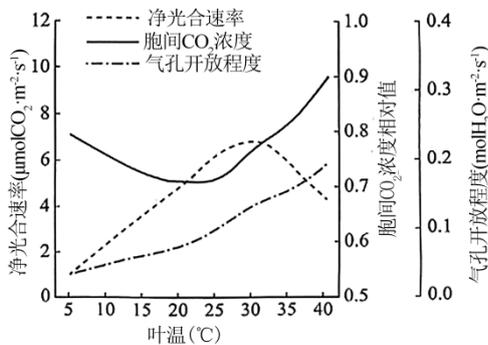
5. 研究人员在适宜光强和黑暗条件下分别测定发菜放氧和耗氧速率随温度的变化，绘制曲线如图所示。下列叙述错误的是（ ）



- A. 发菜生长的最适温度是 25°C 左右
- B. 30°C 时净光合速率是 150 μmol/(mg·h)
- C. 35°C 时光合作用速率等于呼吸作用速率
- D. 在放氧和耗氧的过程中都有 ATP 的产生

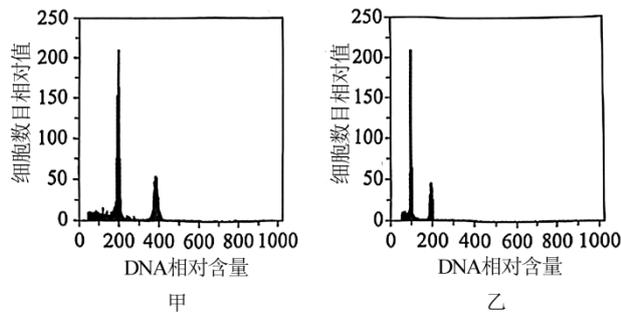


6. 环境适宜的条件下，研究人员测定某植物在不同温度下的净光合速率、气孔开放程度及胞间 CO₂ 浓度，结果如下图。下列叙述不正确的是（ ）



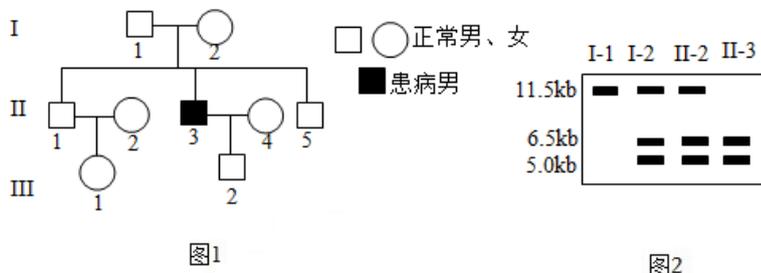
- A. 胞间 CO₂ 进入叶肉细胞叶绿体基质被光合作用暗反应利用
- B. 5°C 时，胞间 CO₂ 浓度较高的原因可能是光合作用相关酶的活性较低
- C. 叶温在 30°C~40°C 时，净光合速率下降主要是叶片气孔关闭所致
- D. 30°C 下单位时间内有机物的积累量最大

7. 研究者发现一种玉米突变体 (S)，用 S 的花粉给野生型二倍体玉米授粉，可结出一定比例的单倍体籽粒。检测所结甲、乙两个籽粒的幼胚中具有相应 DNA 含量的细胞数目，结果如下图。下列分析不正确的是（ ）



- A. 甲是二倍体幼胚，乙是单倍体幼胚
- B. 甲、乙两籽粒中都有部分细胞正在进行 DNA 复制
- C. 乙中 DNA 相对含量为 200 的细胞可能处于有丝分裂前期
- D. 比较两图可确定单倍体幼胚的染色体来源于 S

8. F 基因突变可引发人类某种单基因遗传病。以下图 1 为该遗传病的家系图谱，图 2 为用限制酶 M 处理家系成员的 F 基因后，进行电泳的部分结果。



下列叙述不正确的是 ()

- A. 突变的 F 基因序列中存在一个限制酶 M 的酶切位点
- B. 该遗传病的致病基因是位于 X 染色体上的隐性基因
- C. III-1 的 F 基因经 M 酶切后电泳检测结果与 I-2 一致
- D. 若 II-1 与 II-2 再生育，生出患病孩子的概率为 1/4

9. 斑点牛分为褐色和红色，相关基因位于常染色体上。育种人员将纯种红色斑点母牛与纯种褐色斑点公牛杂交，实验结果如下表。相关叙述错误的是 ()

子代	表现型	比例
F ₁	褐色公牛：红色母牛	1：1
F ₂	褐色公牛：红色公牛：褐色母牛：红色母牛	3：1：1：3

- A. 斑点牛体色的表现型与性别有关
- B. 该性状受 2 对独立遗传基因控制
- C. F₁ 公牛、母牛的相关基因型相同
- D. 反交实验结果应与上述结果相同

10. 研究人员用基因型为 AABB 与 aabb 的植株杂交产生 F₁。对 F₁ 的花粉粒进行荧光标记，用红色荧光标记

A 基因，绿色荧光标记 B 基因。对 F₁ 中有荧光的花粉粒统计其颜色及数目，结果如下表。下列分析不正确的是（ ）

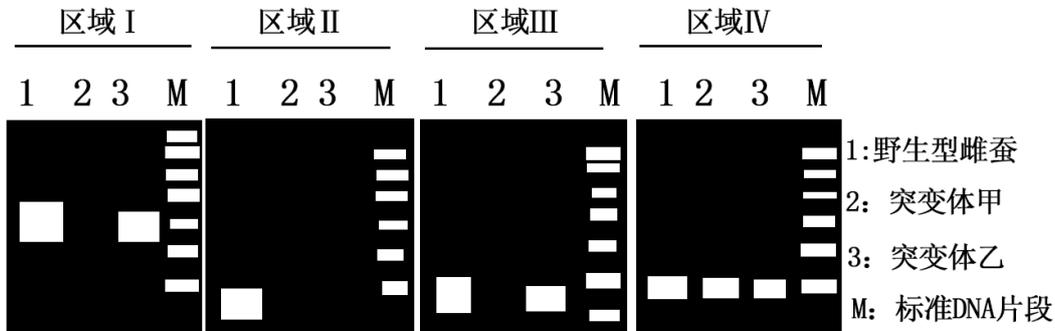
荧光颜色	黄色	绿色	红色
花粉粒数目	8000	499	501

注：红色荧光与绿色荧光叠加显示为黄色荧光。



- A. 亲本的 A 与 B 基因在同一条染色体上
- B. A/a 基因的遗传遵循分离定律
- C. F₁ 的花粉粒中有一部分无荧光
- D. 基因重组型花粉粒的占比约为 1/9

11. 雌性家蚕的性染色体组成为 ZW，研究人员使用 X 射线获得了甲、乙两只雌性突变体，均发生了 Z 染色体的片段缺失。利用 Z 染色体上不同区域对应引物进行 PCR，部分结果如下图。下列说法错误的是（ ）

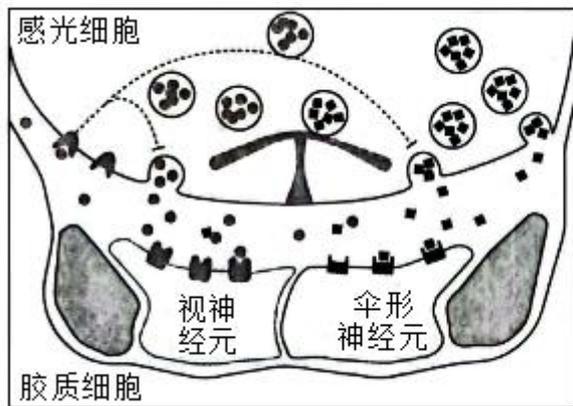


- A. 在该实验中 X 射线用于提高突变率
- B. 甲与野生型杂交后代中雌性均为野生型
- C. 乙比甲缺失了更多的 Z 染色体片段
- D. 可利用该方法对相关基因进行定位

12. 尿酸是人体嘌呤代谢的终产物，高尿酸血症是由嘌呤代谢紊乱导致的疾病，严重时可发展为痛风。下列说法正确的是（ ）

- A. 人体代谢产生的嘌呤主要来源于食物中富含的氨基酸
- B. 血液中尿酸的积累会导致内环境 pH 值发生严重失衡
- C. 痛风症状的出现体现了人体维持稳态的调节能力是有限的
- D. 多补充水分可以促进抗利尿激素的分泌，有助于尿酸的排出

13. 研究发现果蝇复眼的一种感光细胞同时释放组胺和乙酰胆碱两种神经递质，其中组胺与精细的运动视觉信号传递有关，乙酰胆碱则通过作用于伞形神经元来调节昼夜节律，其形成的突触结构及作用机理如下图。据此分析不正确的是（ ）



- 组胺
- 乙酰胆碱
- ◡ 前膜组胺受体
- ◡ 后膜组胺受体
- ◡ 乙酰胆碱受体
- 抑制



- A. 伞形神经元、视神经元膜上的受体与不同的神经递质结合，可引发不同的生理效应
- B. 两种神经递质均以胞吐形式通过突触前膜释放
- C. 两种神经递质均只与突触后膜上的受体结合
- D. 感光细胞通过负反馈调节维持突触间隙适宜的组胺浓度

14. GLP-1 是肠道 L 细胞分泌的一种化学物质。GLP-1 可受甲状腺激素调控并参与血糖调节，相关机制如下图所示。



注：“+”代表促进；“-”代表抑制。

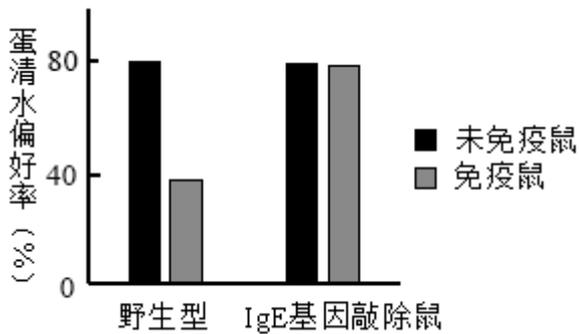
下列相关叙述，正确的是（ ）

- A. 图中甲状腺激素通过神经和体液共同调节 GLP-1 的分泌
- B. 激活肝脏的甲状腺激素受体可能有助于治疗糖尿病
- C. 甲状腺激素促进 GLP-1 分泌引发血糖升高
- D. 胰岛素分泌引起的血糖变化刺激下丘脑，引发副交感神经兴奋

15. 免疫应答的特异性与记忆性包括三个事件：①淋巴细胞对“非己”的分子标志进行特异识别；②淋巴细胞分裂产生数量巨大的淋巴细胞群；③淋巴细胞分化成效应细胞群和记忆细胞群。下列叙述错误的是（ ）

- A. 事件①中，B 细胞激活需要与辅助性 T 细胞表面特定分子结合和抗原直接刺激
- B. 事件②中，辅助性 T 细胞分泌的细胞因子促进 B 细胞和细胞毒性 T 细胞的增殖
- C. 事件③中，效应细胞群和记忆细胞群均可杀灭和清除入侵机体的病原体
- D. 巨噬细胞、树突状细胞不仅参与事件①，在非特异性免疫中也发挥作用

16. 研究者对小鼠注射过敏原卵清蛋白（蛋清的蛋白质成分）免疫小鼠，两周后让小鼠自由选择正常水和含有蛋清的水，检测小鼠饮水偏好，结果如图。



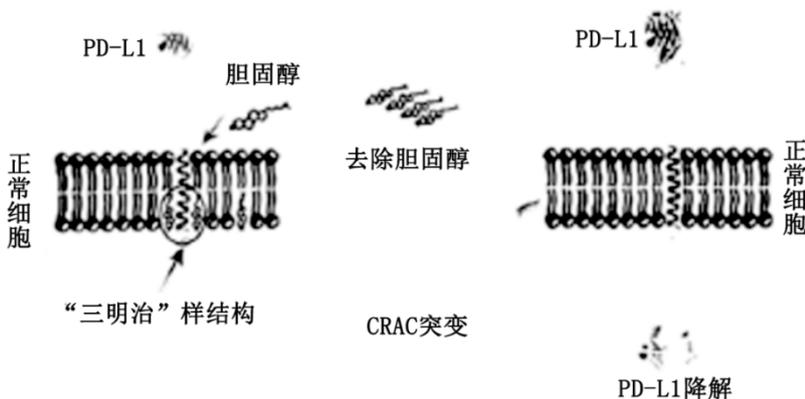
注：过敏原可激发体液免疫产生 IgE 抗体

以下叙述正确的是 ()

- A. 注射卵清蛋白后小鼠免疫自稳异常出现过敏反应
- B. 野生型免疫鼠在饮用蛋滴水后开始产生 IgE 抗体
- C. 未免疫时破除 IgE 基因加强小鼠对蛋清水的偏好
- D. 卵清蛋白诱发机体产生的 IgE 参与小鼠对过敏原的回避

17. 正常细胞表面有 PD-L1. 肿瘤细胞可以通过过量表达 PD-L1 来逃避免疫系统的“追杀”。胆固醇分子可以直接与细胞膜上 PD-L1 跨膜区域 (CRAC1 和 CRAC2) 结合, 形成如图所示的类似“三明治”样结构。

下列叙述正确的是 ()



- A. 胆固醇通过胞吞作用进入细胞膜形成“三明治”样结构
- B. 若 CRAC1 和 CRAC2 发生突变时, PD-L1 降解加剧
- C. 使用降低胆固醇的药物有助于稳定细胞表面的 PD-L1
- D. 细胞膜上的胆固醇有助于肿瘤细胞逃避免疫防御

18. CAR-T 细胞免疫疗法是从患者体内提取的 T 细胞通过基因工程改造, 使其表达肿瘤嵌合抗原受体 (CAR), 大量扩增后输回患者体内以清除癌细胞。下列有关说法错误的是 ()

- A. CAR-T 疗法的 T 细胞来源于细胞毒性 T 细胞
- B. 该疗法利用了细胞免疫和基因重组的基本原理
- C. CAR-T 细胞清除癌细胞的过程属于细胞坏死
- D. CAR-T 细胞上的 CAR 能够精准识别癌细胞

19. 为探讨乙烯与赤霉素对根生长的影响是否完全独立, 用乙烯和赤霉素处理水稻幼苗, 结果如图 1。已知 D 蛋白可以抑制赤霉素途径, 从而抑制植物生长, 分析 D 蛋白突变体对乙烯的反应, 结果如图 2。下列推

测错误的是（ ）

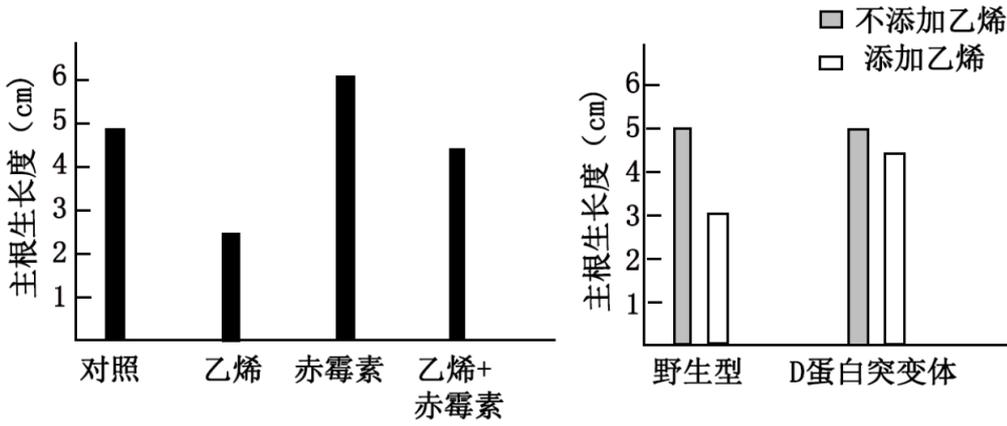


图1

图2

- A. 赤霉素处理缓解了乙烯对根的抑制
- B. 野生型比 D 蛋白突变体更能抵抗乙烯的作用
- C. 乙烯可通过促进 D 蛋白的合成抑制赤霉素途径
- D. 乙烯和赤霉素对根生长的作用不是完全独立的

20. 以下属于种群水平研究的是（ ）

- A. 年龄结构
- B. 生物富集
- C. 协同进化
- D. 垂直结构



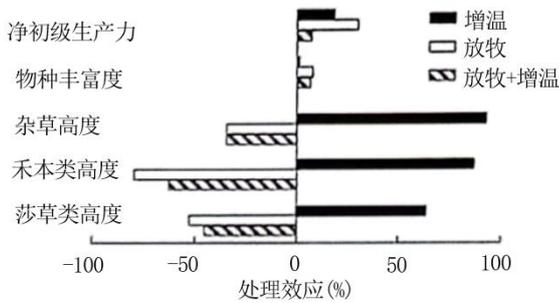
21. 烟粉虱是农业主要害虫之一，对化学农药抗性较强。烟粉虱的发育依次经历卵、1 龄若虫、2~3 龄若虫、4 龄若虫和成虫，烟盲蝽主要捕食烟粉虱的若虫和成虫。研究人员将两种不同虫态的烟粉虱置于同一培养皿中，测试烟盲蝽的猎物选择偏好，部分实验结果如下表。

组别	烟粉虱虫态		被捕食量（只）	
	猎物 1（30 只）	猎物 2（30 只）	猎物 1	猎物 2
1	2~3 龄若虫	1 龄若虫	15.0±3.0	9.5±1.9
2		4 龄若虫	18.3±3.0	6.8±1.2
3		成虫	24.3±1.7	1.8±0.5

以下分析不正确的是（ ）

- A. 可通过标记重捕法统计存活猎物数量，再计算出被捕食量
- B. 烟盲蝽对烟粉虱的捕食存在明显偏好，更偏好 2~3 龄若虫
- C. 烟盲蝽与捕食烟粉虱卵的天敌联合使用可增强防治的效果
- D. 利用天敌进行防治既能减轻烟粉虱危害又能避免化学污染

22. 为研究增温和放牧对高寒草地植物群落特征及生产力的影响，研究人员在藏北高原建立增温实验平台，统计数据如图。相关说法错误的是（ ）



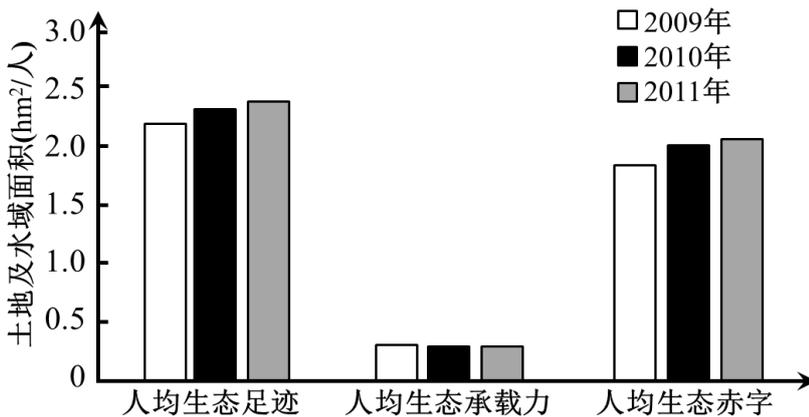
- A. 放牧条件下增温会减弱净初级生产力提升
- B. 增温能显著增加杂草、禾草和莎草类高度
- C. 放牧条件下，增温对杂草高度无显著影响
- D. 放牧不会影响群落的演替方向和演替速度



23. 下列关于生态学研究的叙述，错误的是 ()

- A. 通过建立数学模型预测田鼠数量的变化
- B. 用标记重捕法调查土壤动物的丰富度
- C. 用同位素标记法研究生态系统物质循环
- D. 通过样方法调查生态系统的碳储量

24. 下图是某市 2009-2011 年人均生态足迹的调查结果。下列分析正确的是 ()



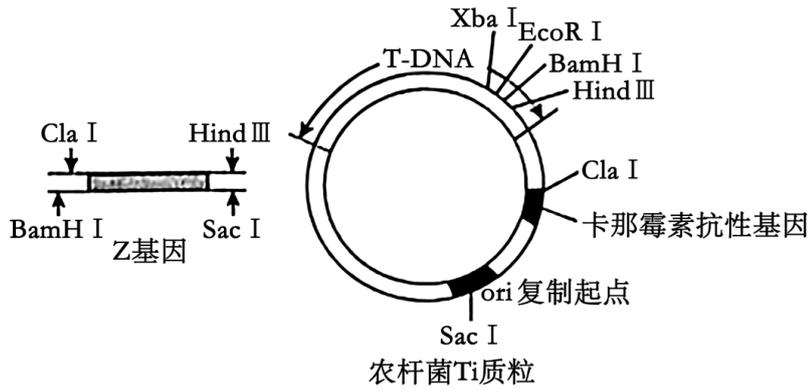
- A. 生态足迹越大，代表着人类对生态资源利用越少
- B. 生态足迹总量大于生态承载力总量时出现生态赤字
- C. 该市生态足迹和生态承载力均呈上升趋势符合可持续发展理念
- D. 倡导市民乘坐公共交通等方式绿色出行，则生态足迹会增大

25. 转基因产品 (GMO) 标识是为了表明该产品是由转基因生物生产、加工而成的特殊标识。我国《农业转基因生物标识管理办法》中规定对 GMO 采取强制定性标识。下列说法错误的是 ()

- A. 检测产品中是否有目的基因即可确认是否为 GMO
- B. GMO 定性标识是为消费者提供知情权和选择权
- C. 市场上带有标识的转基因产品都应经过安全检测
- D. 转基因产品研究工作中要注意防止造成基因污染

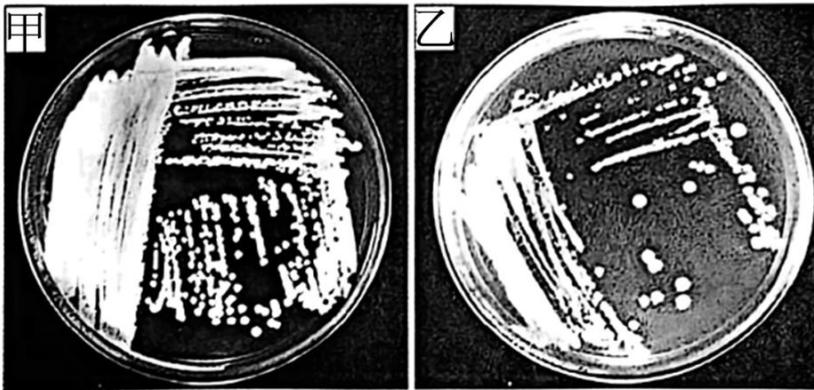
26. 荒漠植物的 Z 基因与其抗旱性强有关。科学家利用 Z 基因和农杆菌的 Ti 质粒 (如图, T-DNA 为可转移

的 DNA) 构建表达载体, 培育抗旱转基因小麦。下列说法错误的是 ()



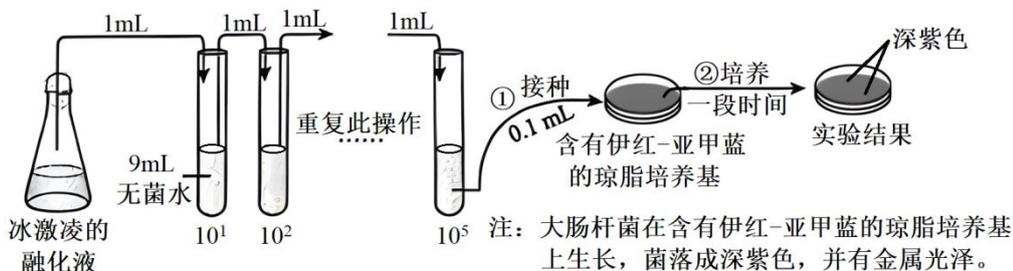
- A. T-DNA 能整合到小麦细胞染色体上
- B. 可用限制酶 ClaI 和 SacI 处理 Z 基因
- C. 可用卡那霉素筛选含重组 Ti 质粒的农杆菌
- D. 可在个体水平检测小麦是否获得抗旱性状

27. 甲乙两个生物小组的“酵母菌纯培养”结果如图所示。下列说法正确的是 ()



- A. 两组平板都分成 4 个区进行划线
- B. 甲组操作过程需 4 次灼烧接种环
- C. 乙组适合对酵母菌活菌进行计数
- D. 单菌落大小反映菌种类差异

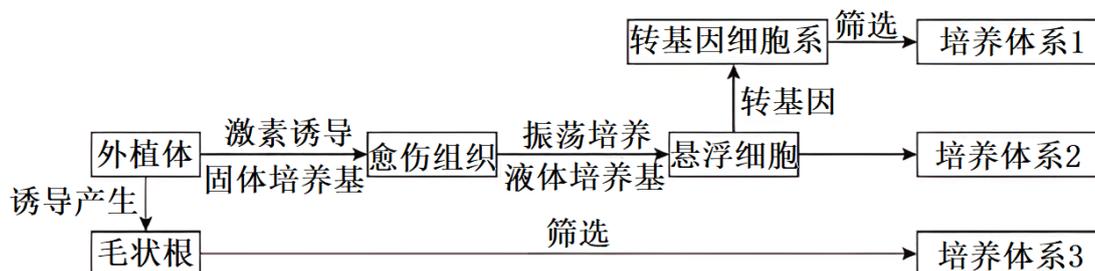
28. 两位同学食用冰激凌后出现腹泻症状, 为此他们检验冰激凌中大肠杆菌数量是否超标。他们的实验流程和结果如下图。下列叙述不合理的是 ()



- A. ①应采用涂布平板法
- B. 实验方案应增设仅接种无菌水的组别
- C. ①应接种至少 3 个平板

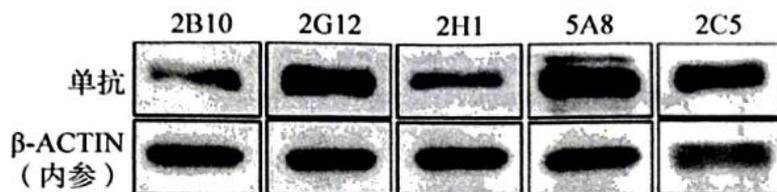
D. 仅以深紫色菌落数估测会导致结果偏高

29. 与常规栽培技术相比，利用植物细胞培养进行药用次生代谢产物的生产具有显著的优越性，根据不同的需求可以采用不同的技术流程（如图）。相关叙述错误的是（ ）



- A. 同一植物的外植体通过不同的培养体系可得到不同的产物
- B. 外植体形成愈伤组织的过程中，经历了脱分化和再分化两个阶段
- C. 将目标产物合成途径中的关键酶基因导入悬浮细胞，有望提高产量
- D. 由于不受土壤、气候条件限制，利用该技术有利于缓解资源短缺问题

30. V 蛋白对登革热病毒的增殖有抑制作用。V 蛋白含有 285 个氨基酸，其 cDNA 长 1241bp。将 V 蛋白在大肠杆菌中诱导表达，经纯化后免疫小鼠，最终获得 5 株分泌 V 单抗的杂交瘤细胞，提取单抗与 V 蛋白杂交，电泳结果如下图，相关叙述错误的是（ ）

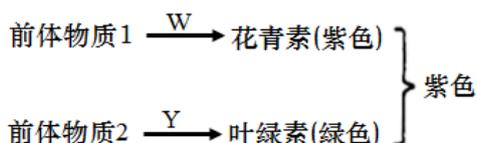


- A. V 蛋白的 cDNA 中含有不编码 V 蛋白的序列
- B. 获得的 5 株杂交瘤细胞都能无限增殖
- C. 用 V 蛋白免疫小鼠的目的是获得相应抗体
- D. 可培养 5A8 杂交瘤细胞大量生产单克隆抗体

二、填空题（共 ss 分）

31. 茄子是我国重要的蔬菜作物之一。研究茄子果皮色和花色遗传的相关性，可为茄子新品种选育提供理论依据。

(1) 茄子果皮色由 W、w 和 Y、y 基因（两对基因独立遗传）控制。W 和 Y 基因分别控制花青素（紫色）和叶绿素（绿色）的合成，花青素存在时，能够遮盖叶绿素（如图）。



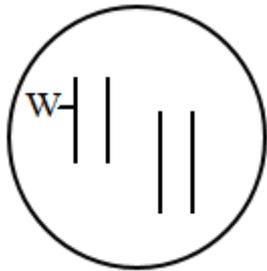
将紫皮 (WWYY) 与白皮 (wwyy) 杂交，F₁ 的基因型为_____，F₁ 自交获得 F₂，F₂ 的表型及比例为_____。将 F₁ 与白皮杂交，后代中绿皮所占比例为_____。其基因型是_____。

(2) 茄子花色由一对等位基因 D、d 控制，研究者将紫花紫皮与白花绿皮茄子进行杂交，结果如下表。

亲本	F ₁ 表型	F ₂ 表型与数据(株)			
紫花紫皮×白花绿皮	紫花紫皮	紫花紫皮 (50)	紫花绿皮 (10)	白花紫皮 (8)	白花绿皮 (10)

①亲本的基因型分别为_____。

②据此实验结果,请在图中标示F₁中三对基因在染色体上的位置关系_____ (竖线代表染色体,横线代表基因的位置)。



③为进一步确定三对基因的位置关系,将F₁与纯合的白花绿皮杂交,子代中紫花紫皮:白花绿皮:紫花绿皮:白花紫皮=28:34:12:4.由此可判断F₁在减数分裂时_____基因所在的同源染色体发生互换,产生基因组成为_____的重组型配子。互换率为重组型配子数占全部配子数的比值,请计算基因间互换率为_____ (用分数表示)。

32. 高羊茅作为温带优质牧草被从欧洲引种到世界各地,在某些地区造成生物入侵。为探究其入侵的原因,研究者在已被高羊茅成功入侵的草原进行系列实验。

(1) 引种的高羊茅扩散到自然区域,造成当地生态系统多样性、物种多样性与___多样性丧失,天然草原群落因此发生改变的过程称为___。

(2) 研究者在被入侵草原样地取三个封闭区,每区均分成4个地块(C:对照;N+:施氮肥;NP+:同时施氮肥和磷肥;P+:施磷肥),进行连续四年实验后随机选取每个地块1m²样方,进行相关分析。

①测定高羊茅健康成熟叶片的N、P含量及比值(N/P),结果如图1。

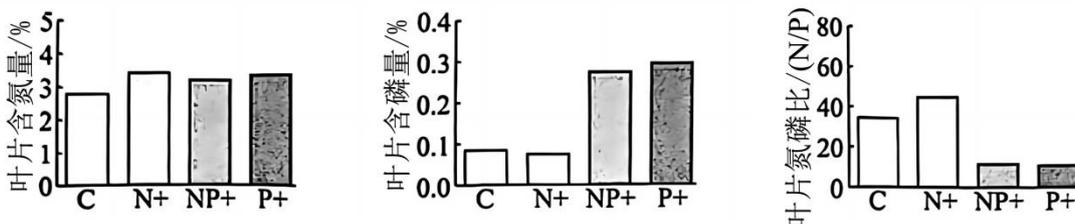


图1

据此推测,被入侵草原土壤中缺磷而不缺氮,理由是_____。

②测定高羊茅叶片上当地食草昆虫——虎蛾幼虫的密度和叶片损伤程度。

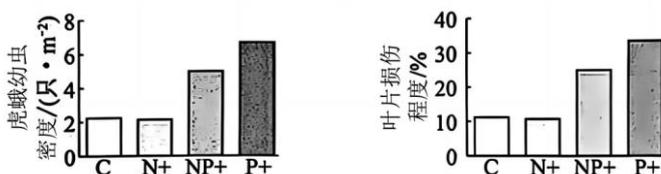


图2

图2结果显示：施磷肥地块___，对叶片的啃食程度大。

(3) 研究发现，高羊茅体内均含内共生真菌——麦角菌，麦角菌能产生有毒物质麦角碱。检测不同地块高羊茅中的麦角碱含量与虎蛾幼虫的相关数据，结果如图3。

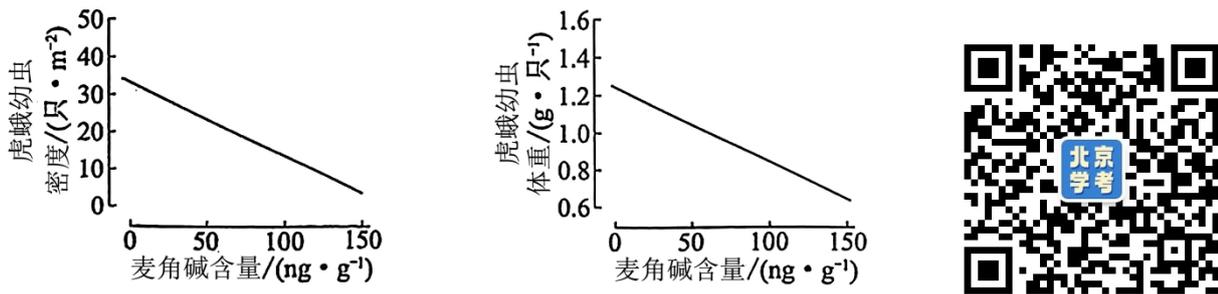


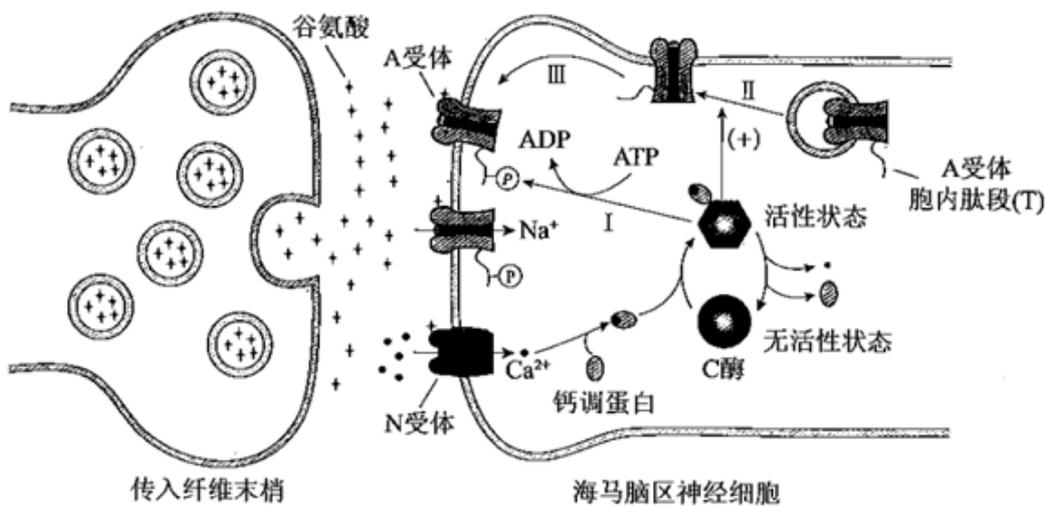
图3

进一步观察发现，含麦角碱浓度高的叶片上，虎蛾幼虫羽化为蛾（成虫）的时间显著延长。请综合上述所有信息，对高氮低磷环境中高羊茅成功入侵的原因作出合理推测___。若要证实此推测，还需要提供的实验数据是___之间的相关性。

33. 学习、记忆是动物适应环境、使个体得到发展的重要功能。通过电刺激实验，发现学习、记忆功能与高等动物的海马脑区（H区）密切相关。

(1) 在小鼠H区的传入纤维上施加单次强刺激，传入纤维末梢释放的_____作用于突触后膜的相关受体，突触后膜出现一个膜电位变化。

(2) 如果在H区的传入纤维上施加100次/秒、持续1秒的强刺激（HFS），在刺激后几小时之内，只要再施加单次强刺激突触后膜的电位变化都会比未受过HFS处理时高2~3倍，研究者认为是HFS使H区神经细胞产生了“记忆”，下图为这一现象可能的机制。



如图所示，突触后膜上的N受体被激活后，Ca²⁺会以_____方式进入胞内，Ca²⁺与_____共同作用，使C酶的_____发生改变，C酶被激活。

(3) 为验证图中所示机制，研究者开展了大量工作，如：

① 对小鼠H区传入纤维施加HFS，休息30分钟后，检测到H区神经细胞的A受体总量无明显变化，而细胞膜上的A受体数量明显增加，该结果为图中的_____（填图中序号）过程提供了实验证据。

② 图中A受体胞内肽段（T）被C酶磷酸化后，A受体活性增强，为证实A受体的磷酸化位点位于T上，需

将一种短肽导入 H 区神经细胞内，以干预 C 酶对 T 的磷酸化，其中，实验组和对照组所用短肽分别应与 T 的氨基酸_____。

- A. 数目不同序列不同 B. 数目相同序列相反 C. 数目相同序列相同

③为验证 T 的磷酸化能增强神经细胞对刺激的“记忆”这一假设，将 T 的磷酸化位点发生突变的一组小鼠，用 HFS 处理 H 区传入纤维，30 分钟后检测 H 区神经细胞突触后膜 A 受体能否磷酸化，请评价该实验方案并加以完善_____。

(4) 图中内容从_____水平揭示学习、记忆的一种可能机制，为后续研究提供了理论基础。

34. 种子成熟过程受脱落酸 (ABA) 等植物激素调控。为研究种子成熟的调控机制，研究者以拟南芥为材料进行了实验。

(1) ABA 是对植物生长发育起_____作用的微量有机物，在种子成熟过程中起重要作用。

(2) 研究发现，种子成熟阶段 S 蛋白和 J 蛋白均有表达。研究者检测了不同拟南芥种子的成熟程度，结果如图 1. 根据图分析，S 蛋白和 J 蛋白对种子成熟的调控作用分别是_____。

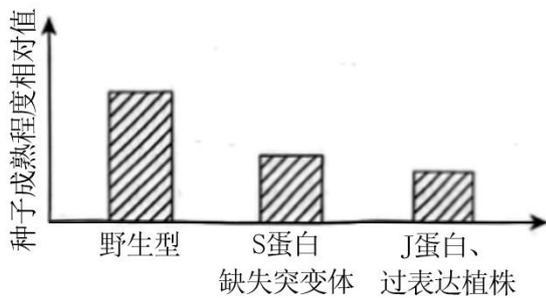
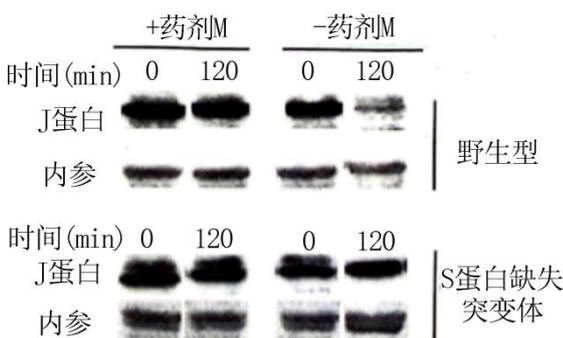


图1

(3) S 蛋白可与 J 蛋白结合。为探究两蛋白在植物体中的作用关系，研究者在纯化的 J 蛋白溶液中分别加入野生型及 S 蛋白缺失突变体的种子细胞裂解液，使用药剂 M 进行相关处理，检测结果如图 2. 结果说明：S 蛋白可使 J 蛋白_____。



注: 药剂M抑制蛋白酶体降解蛋白质。

图2

(4) 检测发现，S 蛋白缺失突变体比野生型体内的 ABA 含量低。编码 S 蛋白基因的启动子区有转录调控因子 T 的结合序列，T 可被 ABA 激活。J 蛋白也为一种转录调控因子。为研究 T、J 蛋白对 S 蛋白基因表达的调控，研究者构建了图 3 所示质粒并转化烟草叶肉原生质体，实验结果如图 4.

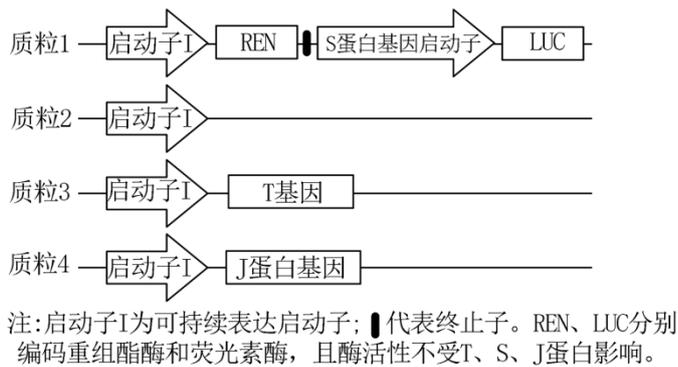


图3

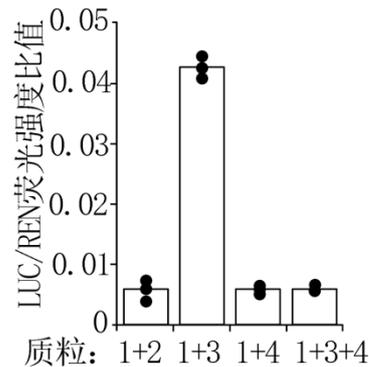


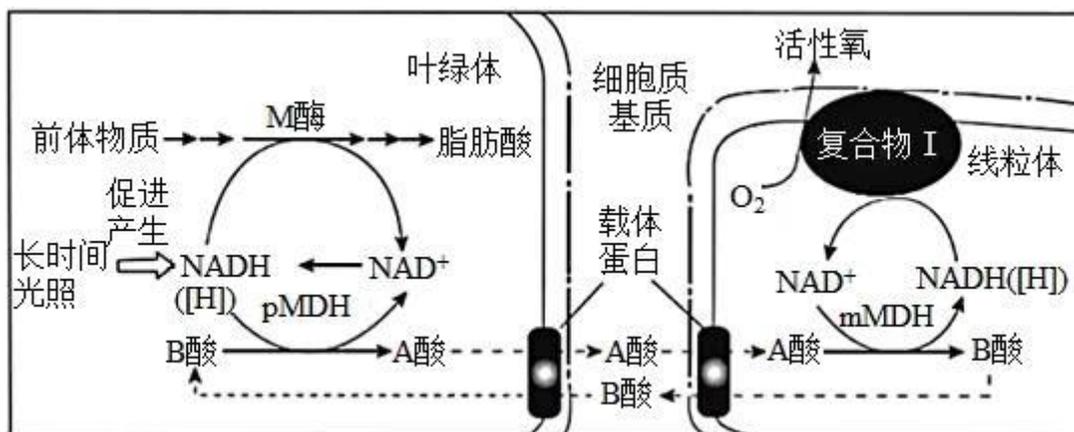
图4

图4结果说明：_____。

(5) 种子成熟对于种子提高萌发活力等具有重要作用。综合上述研究，分析 ABA 对种子成熟的调控机制_____。

35. 学习以下材料，回答下面问题。

调控植物细胞活性氧产生机制的新发现，能量代谢本质上是一系列氧化还原反应。在植物细胞中，线粒体和叶绿体是能量代谢的重要场所。叶绿体内氧化还原稳态的维持对叶绿体行使正常功能非常重要。在细胞的氧化还原反应过程中会有活性氧产生，活性氧可以调控细胞代谢，并与细胞凋亡有关。我国科学家发现一个拟南芥突变体 m (M 基因突变为 m 基因)，在受到长时间连续光照时，植株会出现因细胞凋亡而引起的叶片黄斑等表型。M 基因编码叶绿体中催化脂肪酸合成的 M 酶。与野生型相比，突变体 m 中 M 酶活性下降，脂肪酸含量显著降低。为探究 M 基因突变导致细胞凋亡的原因，研究人员以诱变剂处理突变体 m，筛选不表现细胞凋亡，但仍保留 m 基因的突变株。通过对所获一系列突变体的详细解析，发现叶绿体中 pMDH 酶、线粒体中 mMDH 酶和线粒体内膜复合物 I (催化有氧呼吸第三阶段的酶) 等均参与细胞凋亡过程。由此揭示出一条活性氧产生的新途径 (如图)：A 酸作为叶绿体中氧化还原平衡的调节物质，从叶绿体经细胞质基质进入到线粒体中，在 mMDH 酶的作用下产生 NADH ([H]) 和 B 酸，NADH 被氧化会产生活性氧。活性氧超过一定水平后引发细胞凋亡。



在上述研究中，科学家从拟南芥突变体 m 入手，揭示出在叶绿体和线粒体之间存在着一 A 酸-B 酸循环途径。对 A 酸-B 酸循环的进一步研究，将为探索植物在不同环境胁迫下生长的调控机制提供新的思路。

(1) 叶绿体通过_____作用将 CO₂ 转化为糖。从文中可知，叶绿体也可以合成脂肪的组分

_____。

(2) 结合文中图示分析，M 基因突变为 m 后，植株在长时间光照条件下出现细胞凋亡的原因是：_____，A 酸转运到线粒体，最终导致产生过量活性氧并诱发细胞凋亡。

(3) 请将下列各项的序号排序，以呈现本文中科学家解析“M 基因突变导致细胞凋亡机制”的研究思路：_____。

①确定相应蛋白的细胞定位和功能②用诱变剂处理突变体 m③鉴定相关基因④筛选保留 m 基因但不表现凋亡的突变株

(4) 本文拓展了高中教材中关于细胞器间协调配合的内容，请从细胞器间协作以维持稳态与平衡的角度加以概括说明_____。



参考答案



一、选择题（每题 1.5 分，共 45 分）

1. 【答案】B

【分析】分析题文：端粒酶由 RNA 和蛋白质组成，该酶能结合到端粒上，以自身的 RNA 为模板合成端粒 DNA 的一条链，即逆转录过程，因此该酶为逆转录酶。

- 【详解】A、端粒酶由 RNA 和蛋白质组成，其中 RNA 的组成元素是 C、H、O、N、P，A 错误；
B、该酶能结合到端粒上，以自身的 RNA 为模板合成并延伸端粒 DNA，产物是 DNA，故催化过程以 4 种脱氧核苷酸为底物，B 正确；
C、核糖体是蛋白质的合成车间，但端粒酶还包括 RNA，不在核糖体合成，C 错误；
D、根据题干叙述“端粒酶只在不断分裂的细胞中具有活性”可知，由于基因的选择性表达，端粒酶在干细胞等少数细胞中有活性，大部分细胞是高度分化的细胞，没有分裂能力，因此端粒酶在其中不具有活性。该选项考察“基因的选择性表达”，而非不同物种具有不同基因，D 错误。

故选 B。

2. 【答案】A

【分析】支原体属于原核细胞，无以核膜为界限的细胞核，遗传物质为裸露的环状 DNA 分子，无细胞壁。

- 【详解】A、支原体具有细胞结构，所以遗传物质是 DNA，A 错误；
B、细胞是生命活动的基本单位，支原体是原核生物，具有核糖体，所以能完成蛋白质合成等生命活动，B 正确；
C、支原体与细菌的区别之一是没有细胞壁，C 正确；
D、动物细胞是真核生物，支原体是原核生物，支原体与动物细胞的主要区别是没有核膜，D 正确。

故选 A。

3. 【答案】B

【分析】线粒体是有氧呼吸的主要场所。有氧呼吸过程分为三个阶段，第一阶段是葡萄糖酵解形成丙酮酸和[H]，发生在细胞质基质中；有氧呼吸的第二阶段是丙酮酸和水反应产生二氧化碳和[H]，发生在线粒体基质中；有氧呼吸的第三阶段是[H]与氧气反应形成水，发生在线粒体内膜上。无氧呼吸只在细胞质基质中进行，有氧呼吸释放的能量远远多于无氧呼吸。

- 【详解】A、除了线粒体可以产生 ATP 外，线虫肌肉细胞中细胞质基质也可以产生 ATP，A 错误；
B、根据图示信息，颜色越深代表细胞中线粒体碎片化程度越高，无论是 10 日龄，还是 5 日龄，运动组与对照组相比较，线粒体的碎片化细胞比例均降低，说明运动可减缓衰老引起的线粒体碎片化，B 正确；
C、依据图示信息，DRP-1 基因突变体，与野生型相比较，线粒体碎片化细胞比例上升，说明 DRP-1 基因突变会加重线粒体碎片化，但并不能得出敲除 DRP-1 基因会加重线粒体碎片化的结论，C 错误；
D、由野生型实验可以看出，无论是 10 日龄，还是 5 日龄，运动组与对照组相比较，线粒体的碎片化细胞比例均降低，说明运动可减缓衰老引起的线粒体碎片化，但是线粒体融合与裂变是否为运动益处所必需，

无法判断，D 错误。

故选 B。

4. 【答案】C

【分析】1、生物膜系统包括细胞器膜和细胞膜、核膜等结构。这些生物膜的组成成分和结构很相似，在结构和功能上紧密联系，进一步体现了细胞内各种结构之间的协调与配合。

2、细胞膜的组成成分主要是蛋白质和脂质。细胞膜的功能有：将细胞与外界环境分隔开、控制物质进出细胞、进行细胞间的信息交流。细胞膜的结构特点是具有一定的流动性，功能特点是具有选择透过性。

【详解】A、细胞在迁移过程中会产生并释放一种单层膜的细胞器——迁移体，其膜结构包括两层磷脂分子，A 错误；

B、迁移体外侧有膜包被，是一种单层膜结构的细胞器，而生物膜系统包括细胞膜、细胞器膜和核膜等，可见，迁移体的膜结构属于细胞的生物膜系统，B 错误；

C、迁移体内部含有细胞因子、mRNA 等物质。当迁移体被周围细胞吞噬后，其中的 mRNA 翻译形成蛋白质，进而改变该细胞的行为，这说明迁移体可能参与细胞间的信息交流，C 正确；

D、当迁移体可被周围细胞吞噬，该过程属于胞吞过程，胞吞过程不依赖于细胞膜的选择透过性实现，D 错误。

故选 C。

5. 【答案】C

【分析】题图分析：在适宜光强下发菜放氧速率表示在不同温度下的净光合速率，黑暗条件下耗氧速率表示在不同温度下的呼吸速率。

【详解】A、发菜的生长状况取决于净光合速率，根据图示信息，发菜在 25°C 左右放氧速率最大，即发菜生长的最适温度是 25°C 左右，A 正确；

B、30°C 时发菜的放氧速率是 150 μmol/(mg·h)，放氧速率表示净光合速率，所以 30°C 时净光合速率是 150 μmol/(mg·h)，B 正确；

C、35°C 时两曲线相交，由于放氧速率表示净光合速率，耗氧速率表示呼吸速率，所以该温度下净光合作用速率等于呼吸作用速率，C 错误；

D、放氧速率表示净光合速率，耗氧速率表示呼吸速率，细胞呼吸和光合作用过程均有 ATP 的产生，D 正确。

故选 C。

6. 【答案】C

【分析】光合作用，通常是指绿色植物（包括藻类）吸收光能，把二氧化碳和水合成有机物，同时释放氧气的过程。光合作用分为光反应阶段和暗反应阶段。呼吸作用一般指机体将来自环境的或细胞自己储存的有机营养物的分子（如糖类、脂类、蛋白质等），通过一步步反应降解成较小的、简单的终产物（如二氧化碳、乳酸、乙醇等）的过程。光合与呼吸的差值可用净光合速率来表示，具体指标可以是氧气释放量、二氧化碳吸收量、有机物积累量等。

【详解】A、胞间 CO₂ 进入叶肉细胞叶绿体基质被光合作用暗反应利用，被 C₅ 固定为 C₃，A 正确；



B、5℃时，可能由于光合作用相关酶的活性较低，导致光合速率下降，胞间 CO₂ 浓度较高，B 正确；

C、叶温在 30℃~40℃时，气孔开放程度上升，胞间 CO₂ 上升，即 CO₂ 充足，不是净光合速率下降的主要原因，可能是由于高温导致酶部分失活，C 错误；

D、30℃下净光合速率最大，单位时间内有机物的积累量最大，D 正确。

故选 C。

7. 【答案】D

【分析】有丝分裂不同时期的特点：（1）间期：进行 DNA 的复制和有关蛋白质的合成；（2）前期：核膜、核仁逐渐解体消失，出现纺锤体和染色体；（3）中期：染色体形态固定、数目清晰；（4）后期：着丝粒分裂，姐妹染色单体分开成为染色体，并均匀地移向两极；（5）末期：核膜、核仁重建、纺锤体和染色体消失。

【详解】A、甲中的 DNA 主要为 200 和 400，为二倍体幼胚，乙中的 DNA 含量主要为 100 和 200，是单倍体幼胚，A 正确；

B、甲、乙两籽粒中都有部分细胞处于加倍的过程中，因此都有部分细胞正在进行 DNA 复制，B 正确；

C、有丝分裂前期 DNA 含量加倍，乙为单倍体幼胚，乙中 DNA 相对含量为 200 的细胞可能处于有丝分裂前期，C 正确；

D、比较两图无法确定单倍体幼胚的染色体来源于 S 还是野生型二倍体，D 错误。

故选 D。



8. 【答案】C

【分析】分析题图可知：图 1 中，I-1 与 I-2 正常，II-3 患病，说明该病为隐性遗传病。图 2 中，限制酶 M 处理家系成员的 F 基因后，II-3 有 6.5kb 和 5.0kb 片段，说明 F 基因突变产生隐性致病基因（f）经限制酶切割后产生了 6.5kb 和 5.0kb 片段，而 6.5kb+5.0kb=11.5kb，致病基因可能由正常基因发生碱基对的替换形成，替换前的正常基因（F 基因）序列不能被限制酶 M 识别，图中 11.5kb 片段即为 F 基因。

【详解】A、图 1 中，I-1 与 I-2 正常，II-3 患病，说明该病为隐性遗传病。图 2 中，限制酶 M 处理家系成员的 F 基因后，II-3 有 6.5kb 和 5.0kb 片段，说明 F 基因突变产生隐性致病基因（f）经限制酶切割后产生了 6.5kb 和 5.0kb 片段，f 基因被切割成两个片段说明突变的 F 基因序列中存在一个限制酶 M 的酶切位点，A 正确。

B、图 1 中，I-1 与 I-2 正常，II-3 患病，说明该病为隐性遗传病。图 2 中，限制酶 M 处理家系成员的 F 基因后，II-3 有 6.5kb 和 5.0kb 片段，说明 F 基因突变产生隐性致病基因（f）经限制酶切割后产生了 6.5kb 和 5.0kb 片段，而 6.5kb+5.0kb=11.5kb，致病基因可能由正常基因发生碱基对的替换形成，替换前的正常基因（F 基因）序列不能被限制酶 M 识别，图中 11.5kb 片段即为 F 基因。即 I-1 只含 F 基因，I-2 与 II-2 既含 F 基因又含 f 基因，II-3 只含 f 基因，若该病为常染色体隐性遗传病，则 II-3 基因型为 ff，I-1 与 I-2 基因型为 Ff，与电泳结果不符，因此，该病不可能为常染色体隐性遗传病，该遗传病的致病基因是位于 X 染色体上的隐性基因，B 正确；

C、该遗传病的致病基因是位于 X 染色体上的隐性基因，II-1 基因型为 X^FY，II-2 基因型为 X^FX^f，III-1 的基因型为 X^FX^F 或 X^FX^f，III-1 的 F 基因经 M 酶切后电泳检测结果与 I-1 或 I-2 一致，C 错误；

D、该遗传病的致病基因是位于 X 染色体上的隐性基因，II-1 基因型为 $X^F Y$ ，II-2 基因型为 $X^F X^f$ ，生出患病孩子 $X^f Y$ 的概率为 $1/4$ ，D 正确。

故选 C。

9. 【答案】B

【分析】基因分离定律的实质：在杂合子的细胞中，位于一对同源染色体上的等位基因，具有一定的独立性；在减数分裂形成配子的过程中，等位基因会随着同源染色体的分开而分离，分别进入两个配子中，独立地随配子遗传给后代。

【详解】A、分析题意，将纯种红色斑点母牛与纯种褐色斑点公牛杂交，子代中性状与性别有关联，说明斑点牛体色的表现型与性别有关，A 正确；

B、斑点牛相关基因位于常染色体上，且据 F_2 可知，同一性别内均出现 3:1 的分离比，说明该性状受 1 对基因控制，B 错误；

C、将纯种红色斑点母牛与纯种褐色斑点公牛杂交， F_1 是褐色公牛：红色母牛=1:1，且 F_2 中公牛与母牛均有 3:1 的分离比，说明 F_1 公牛、母牛的相关基因型相同，均为杂合子，C 正确；

D、该基因位于常染色体上，反交实验结果应与上述结果相同，D 正确。

故选 B。

10. 【答案】D

【分析】题表分析：表格中数据为 F_1 中有荧光的花粉粒统计其颜色及数目，由表中数据可知， F_1 的花粉粒出现三种情况，且三种花粉粒的类型及比例为：同时含 A、B 基因的花粉粒：只含 A 基因的花粉粒：只含 B 基因的花粉粒=16:1:1。由此可知，A、B 基因位于一条染色体上，且 F_1 基因型为 AaBb 的个体在减数分裂产生精子时发生了同源染色体上非姐妹染色单体片段的交换，产生了基因型为 Ab、aB 的精子。

【详解】ACD、据表格中数据可知， F_1 的花粉粒出现三种情况，且三种花粉粒的类型及比例为：同时含 A、B 基因的花粉粒：只含 A 基因的花粉粒：只含 B 基因的花粉粒=16:1:1，由此可知，A、B 基因位于一条染色体上。则在 F_1 个体的细胞中，A、B 基因位于一条染色体上，a、b 基因位于另一条同源染色体上， F_1 个体在减数分裂产生精子时部分细胞发生了同源染色体上非姐妹染色单体片段的交换，产生了基因型为 Ab、aB 的精子。因此， F_1 个体产生的花粉应该有 4 种：同时含 A、B 基因的花粉粒、只含 A 基因的花粉粒、只含 B 基因的花粉粒、同时含 a、b 的花粉粒。由于同时含 a、b 的花粉没有被荧光标记，所以在进行实验结果统计时无法统计。假设在 F_1 个体进行减数分裂时，有 X 的精原细胞发生了非姐妹染色单体片段的交换，有 (1-X) 的精原细胞未发生非姐妹染色单体片段的交换，则最终形成的精子基因型及比例为：AB: Ab: aB: ab=[X/4+ (1-X) /2]: X/4: X/4: [X/4+ (1-X) /2]。由此可知，同时含 A、B 基因的花粉粒和同时含 a、b 的花粉粒数目相等，结合表格数据可知，同时含 A、B 基因的花粉粒：只含 A 基因的花粉粒：只含 B 基因的花粉粒：同时含 a、b 的花粉粒=16:1:1:16。其中，基因重组型花粉粒为只含 A 基因的花粉粒和只含 B 基因的花粉粒，占比为 $(1+1) \div (16+1+1+16) = 1/17$ 。综合以上分析，亲本的 A 与 B 基因在同一条染色体上， F_1 的花粉粒中有一部分无荧光，基因重组型花粉粒的占比约为 $1/17$ ，AC 正确，D 错误；

B、A/a 基因为一对等位基因，位于一对同源染色体相同位点上，它们的遗传遵循分离定律，B 正确。



故选 D。

11. 【答案】C

【分析】1、基因位于性染色体上，所以遗传上总是和性别相关联，这种现象叫做伴性遗传。

2、染色体变异包括染色体结构变异(重复、缺失、易位、倒位)和染色体数目变异。

【详解】A、X 射线属于物理因素，可诱发变异，在该实验中 X 射线用于提高突变率，A 正确；

B、甲是 Z 染色体上发生了片段缺失，野生型家蚕的两条 Z 染色体都是正常的，因此甲与野生型杂交后代中雌性含有一条正常的 Z 染色体和一条缺失片段的 Z 染色体，表现为野生型，B 正确；

C、根据图示，区域I和III中突变乙含有和野生型相同的片段，而突变甲不含相应的片段，区域II中突变甲和乙都不含相应片段，因此甲比乙缺失了更多的 Z 染色体片段，C 错误；

D、缺失的 Z 染色体片段会导致相应基因缺失，从而使雌蚕发生表型上相应变化，因此可利用该方法对相关基因进行定位，D 正确。

故选 C。

12. 【答案】C

【分析】1、体液包括细胞外液和细胞内液，细胞内液指细胞内的液体，细胞外液包括血浆、组织液和淋巴液。由细胞外液构成的液体环境叫做内环境。

2、内环境稳态是机体生命活动的必要条件，内环境稳态一旦失调机体生命活动受影响，细胞代谢紊乱，从而表现出相应的内环境稳态失调症。

【详解】A、人体代谢产生的嘌呤主要来源于食物中富含的 DNA 和 RNA，A 错误；

B、由题干可知，由于缓冲物质的存在，血液中尿酸的积累不会导致内环境 pH 值发生严重失衡，B 错误；

C、血液中尿酸含量过高易引发痛风，属于稳态失调现象，体现了人体维持稳态的调节能力是有限的，C 正确；

D、多补充水分可以抑制抗利尿激素的分泌，有助于尿酸的排出，D 错误。

故选 C。



13. 【答案】C

【分析】兴奋在神经纤维上的传导形式是电信号，在神经元之间是化学信号，兴奋在神经元之间的传递是单方向的，兴奋在突触之间单向传递的原因是神经递质只能由突触前膜释放作用于突触后膜。

【详解】A、根据题意可知，组胺与精细的运动视觉信号传递有关，乙酰胆碱则通过作用于伞形神经元来调节昼夜节律，则伞形神经元、视神经元膜上的受体与不同的神经递质结合，可引发不同的生理效应，A 正确；

B、据图分析可知，神经递质以胞吐形式通过突触前膜释放到突触间隙，B 正确；

C、据图分析可知，组胺可以与突触后膜和突触前膜上的受体结合，乙酰胆碱可以与突触后膜上的受体结合，C 错误；

D、据图分析可知，感光细胞释放的组胺，作用于后膜上的视神经元上的受体，又通过作用于前膜上的受体来抑制感光细胞释放组胺，说明感光细胞通过负反馈调节维持突触间隙适宜的组胺浓度，D 正确。

故选 C。

14. 【答案】B

【分析】1、分析题图可知：甲状腺激素能促进肝脏合成胆汁酸，抑制 FXR 蛋白的合成和 GLP-1 的合成，GLP-1 可增强胰岛素的合成和分泌，从而降低血糖浓度；

2、胰岛素的作用是机体内唯一降低血糖的激素，胰岛素可促进组织细胞加速、摄取、利用存储葡萄糖，从而降低血糖浓度；胰高血糖素能促进肝糖原的分解，并促进一些非糖物质转化为葡萄糖，从而使血糖水平升高。

【详解】A、由图可知，甲状腺激素能促进肝脏合成胆汁酸，抑制 FXR 蛋白的合成和 GLP-1 的合成，GLP-1 可增强胰岛素的合成和分泌，这是体液调节的结果，A 错误；

B、激活肝脏的甲状腺激素受体能与甲状腺激素结合，能促进胰岛素的分泌，从而降低血糖，可能有助于治疗糖尿病，B 正确；

C、由图可知，甲状腺激素能促进肝脏合成胆汁酸，抑制 FXR 蛋白的合成和 GLP-1 的合成，促进胰岛 B 细胞分泌胰岛素，使血糖的浓度降低，C 错误；

D、高血糖刺激下丘脑，通过副交感神经释放乙酰胆碱作用于胰岛 B 细胞和肝细胞，使血糖浓度降低，D 错误。

故选 B。



15. 【答案】C

【分析】1、体液免疫过程为：大多数病原体经过吞噬细胞等的摄取和处理，暴露出这种病原体所特有的抗原，将抗原传递给辅助性 T 细胞，刺激辅助性 T 细胞产生细胞因子，少数抗原直接刺激 B 细胞，B 细胞受到刺激后，在细胞因子的作用下，开始一系列的增殖分化，大部分分化为浆细胞产生抗体，小部分形成记忆细胞。抗体可以与病原体结合，从而抑制病原体的繁殖和对人体细胞的黏附。

2、细胞免疫过程：抗原经吞噬细胞摄取、处理和呈递给细胞毒性 T 细胞，接受抗原刺激后细胞毒性 T 细胞增殖、分化产生记忆细胞和新的细胞毒性 T 细胞，新的细胞毒性 T 细胞与相应的靶细胞密切接触，进而导致靶细胞裂解死亡，抗原暴露出来，此时体液中抗体与抗原发生特异性结合形成细胞集团或沉淀，最后被吞噬细胞吞噬消化。

【详解】A、事件①中，B 细胞激活需要与辅助性 T 细胞表面特定分子结合和抗原直接刺激，这是 B 细胞活化的两个条件，A 正确；

B、事件②中，辅助性 T 细胞分泌的细胞因子具有促进 B 细胞（体液免疫中）和细胞毒性 T 细胞（细胞免疫中）的增殖，B 正确；

C、事件③中，效应细胞群和记忆细胞群并不都可以杀灭和清除入侵机体的病原体，如浆细胞，C 错误；

D、巨噬细胞、树突状细胞属于抗原呈递细胞，既参与①淋巴细胞对“非己”的分子标志进行特异识别，也参与非特异性免疫，D 正确。

故选 C。

16. 【答案】D

【分析】过敏反应是过敏原再次侵入有过敏体质的机体时，初次接触过敏原使机体产生的抗体吸附在细胞表面这时与过敏原结合，进而使靶细胞释放组织胺等化学物质，引发过敏反应。

【详解】A、机体初次接触过敏原时，会经过体液免疫产生抗体，机体再次接触相同的过敏原时，才会发生过敏反应，注射卵清蛋白后小鼠不会出现过敏反应，A 错误；

B、野生型免疫鼠在注射过敏原卵清蛋白后开始产生 IgE 抗体，B 错误；

C、由图可知，敲除 IgE 基因，未免疫鼠和免疫鼠对蛋清水的偏好无差异，C 错误；

D、由图可知，注射卵清蛋白后产生 IgE 抗体的免疫野生鼠对蛋清水偏好低，则卵清蛋白诱发机体产生的 IgE 参与小鼠对过敏原的回避，D 正确。

故选 D。

17. 【答案】B

【分析】免疫系统的基本功能：

①免疫防御：机体排除外来抗原性异物的一种免疫防护作用。这是免疫系统最基本的功能。该功能正常时，机体能抵抗病原体的入侵；异常时，免疫反应过强、过弱或缺失，可能会导致组织损伤或易被病原体感染等问题。

②免疫自稳：指机体清除衰老或损伤的细胞，进行自身调节，维持内环境稳态的功能。正常情况下，免疫系统对自身的抗原物质不产生免疫反应；若该功能异常，则容易发生自身免疫病。

③免疫监视：指机体识别和清除突变的细胞，防止肿瘤的发生。机体内的细胞因物理、化学或病毒等致癌因素的作用而发生癌变，这是体内最危险的“敌人”。机体免疫功能正常时，可识别这些突变的肿瘤细胞，然后调动一切免疫因素将其消除；若此功能低下或失调，机体会发生肿瘤或持续的病毒感染。

【详解】A、胆固醇为小分子脂溶性物质，通过自由扩散的方式进入细胞膜形成“三明治”样结构，A 错误；

B、胆固醇分子可以直接与细胞膜上 PD-L1 跨膜区域（CRAC1 和 CRAC2）结合，由图可知，若 CRAC1 和 CRAC2 发生突变时，PD-L1 降解加剧，B 正确；

C、胆固醇分子可以直接与细胞膜上 PD-L1 跨膜区域结合，使用降低胆固醇的药物，不利于稳定细胞表面的 PD-L1，C 错误；

D、免疫监视是指机体识别和清除突变的细胞，防止肿瘤的发生，细胞膜上的胆固醇有助于肿瘤细胞逃避免疫监视，D 错误。

故选 B。

18. 【答案】C

【分析】细胞免疫的过程：被病毒感染的靶细胞膜表面的某些分子发生变化，细胞毒性 T 细胞识别变化的信号，开始分裂并分化，形成新的细胞毒性 T 细胞和记忆 T 细胞。同时辅助性 T 细胞分泌细胞因子加速细胞毒性 T 细胞的分裂、分化。新形成的细胞毒性 T 细胞在体液中循环，识别并接触、裂解被同样病原体感染的靶细胞，靶细胞裂解、死亡后，病原体暴露出来，抗体可以与之结合，或被其他细胞吞噬掉。

【详解】A、细胞毒性 T 细胞能够识别并接触、裂解被同样病原体感染的靶细胞，CAR-T 疗法的 T 细胞来源于细胞毒性 T 细胞，A 正确；

B、CAR-T 细胞免疫疗法是将患者体内提取的 T 细胞（细胞毒性 T 细胞）通过基因工程改造，利用了细胞免疫和基因重组的基本原理，B 正确；



C、CAR-T 细胞清除癌细胞的过程属于细胞凋亡，C 错误；

D、CAR-T 细胞表面有肿瘤嵌合抗原受体（CAR），故可以通过 CAR 能够精准识别癌细胞，D 正确。

故选 C。

19. 【答案】B

【分析】赤霉素的合成部位有幼芽、幼根和未成熟的种子，其主要作用包括：促进细胞伸长，从而引起植株增高；促进细胞分裂与分化；促进种子萌发，开花和果实发育。

【详解】A、据图可知，赤霉素+乙烯组的主根长度大于乙烯单独处理组，小于赤霉素单独处理组，说明赤霉素能缓解乙烯对水稻主根生长的抑制作用，A 正确；

B、在添加乙烯的情况下，野生型比 D 蛋白突变体主根长度短，说明 D 蛋白突变体比野生型更能抵抗乙烯的作用，B 错误；

C、已知 D 蛋白可以抑制赤霉素途径，从图 2 推测，乙烯可通过促进 D 蛋白的合成抑制赤霉素途径，C 正确；

D、赤霉素能缓解乙烯对水稻主根生长的抑制作用，说明乙烯和赤霉素对根生长的作用不是完全独立的，D 正确。

故选 B。

20. 【答案】A

【分析】种群的数量特征（核心问题）：①种群密度：种群最基本的数量特征；②出生率和死亡率、迁入率和迁出率：决定种群数量变化的主要因素；③年龄结构（年龄组成）和性别比例：预测种群数量变化的主要依据（一般根据年龄结构）。

【详解】A、年龄结构是指一个种群中各年龄时期的个体数目比例，分为增长型、稳定性和衰退型，年龄结构属于种群水平的研究问题，A 正确；

B、生物富集是生态系统方面的研究问题，B 错误；

C、不同物种之间、生物与无机环境之间在相互影响中不断进化和发展，这就是协同进化，是群落和生态系统的研究层面，C 错误；

D、垂直结构是群落内研究水平，D 错误。

故选 A。

21. 【答案】A

【分析】1、种群是某一区域内同种生物的总和，具有种群密度、出生率和死亡率、迁出率和迁入率、年龄组成和性别比例四个基本特征，其中种群密度是最基本的数量特征，出生率和死亡率、迁入率和迁出率决定种群密度，年龄组成是预测种群密度，性别比例也可影响种群密度。

2、种间关系（不同种生物之间的关系）：（1）互利共生：如豆科植物与根瘤菌；人体中的有些细菌；地衣是真菌和藻类的共生体。（2）捕食：如：兔以植物为食；狼以兔为食。（3）竞争：如：大小草履虫；水稻与稗草等。（4）寄生：寄生者不劳而获。

3、防治害虫的方法包括化学防治、生物防治和机械防治。其中生物防治对人类生存环境无污染。

【详解】A、标记重捕法是用于调查种群数量的，不可以通过标记重捕法统计存活猎物数量，计算出被捕



食量，A 错误；

B、由图表可知，烟盲蝽对烟粉虱的捕食存在明显偏好，更偏好 2~3 龄若虫，从被捕食量可以看得出，B 正确；

C、利用生物防治，烟盲蝽与捕食烟粉虱卵的天敌联合使用可增强防治的效果，C 正确；

D、利用天敌进行防治既能减轻烟粉虱危害又能避免化学污染，D 正确。

故选 A。



22. 【答案】D

【分析】1、生物群落的演替是群落内部因素（包括种内关系、种间关系等）与外界环境因素综合作用的结果，人类活动往往会使群落演替按照不同于自然演替的速度和方向进行。

2、根据题意，为研究增温和放牧对高寒草地植物群落特征及生产力的影响，研究人员在藏北高原建立增温实验平台，统计数据如图。由图可知，在放牧条件下，杂草、禾草和莎草类高度显著降低，但是增强了物种丰富度和净初级生产力的提升，而在放牧条件下增温使得物种丰富度和净初级生产力提升减弱，图中放牧条件下，增温对杂草高度的处理效应相同，故无显著影响，但是对禾草和莎草类高度有所减弱；图中增温条件处理下，能显著增加杂草、禾草和莎草类高度，但是对物种丰富度的提升几乎没有影响，增温使得净初级生产力提升增强，但比放牧条件下提升的少。

【详解】A、识图分析可知，放牧条件下增温相比单纯的放牧和单纯的增温条件下会减弱净初级生产力提升，A 正确；

B、识图分析可知，增温条件下使得杂草、禾草和莎草类高度处理效应呈现正值，因此增温能显著增加杂草、禾草和莎草类高度，B 正确；

C、放牧条件下增温相对于单纯放牧条件而言，图中对杂草高度的处理效应相同，因此放牧条件下，增温对杂草高度无显著影响，C 正确；

D、识图分析可知，在放牧条件下，杂草、禾草和莎草类高度显著降低，但是物种丰富度和净初级生产力有所增大，所以影响了群落的结构和功能，因此放牧会影响群落的演替方向和演替速度，D 错误。

故选 D。

23. 【答案】B

【分析】1、调查种群密度常用样方法和标记重捕法，其中样方法适用于调查植物和活动能力弱、活动范围小的动物，而标记重捕法适用于调查活动能力强、活动范围大的动物。

2、土壤动物个体较小，但是活动能力较强，常用取样器取样法进行丰富的的调查。

【详解】A、通过建立数学模型（数学公式或曲线）可预测田鼠数量的变化，A 正确；

B、土壤动物个体较小，不能用标记重捕法调查土壤动物的丰富度，常用取样器取样法进行调查，B 错误；

C、物质循环的实质是元素在生物群落与无机环境间的循环往复，可用同位素标记法研究生态系统物质循环，C 正确；

D、通过样方法可以调查生态系统的碳储量，关键是做到随机取样，D 正确。

故选 B。

24. 【答案】B

【分析】生态足迹也称“生态占用”是指特定数量人群按照某一种生活方式所消费的，自然生态系统提供的，各种商品和服务功能，以及在这一过程中所产生的废弃物需要环境（生态系统）吸纳，并以生物生产性土地（或水域）面积来表示的一种可操作的定量方法。

【详解】A、生态足迹的值越大，说明人类生存所需的资源越多，所以对生态和环境的影响就越大，A 错误；

B、生态足迹总量大于生态承载力总量时，会使生态系统入不敷出，造成生态赤字，B 正确；

C、生态足迹越大，对生态和环境的影响越大，故该市生态足迹和生态承载力均呈上升趋势不符合可持续发展理念，C 错误；

D、绿色出行、低碳生活等均可降低人均生态足迹，D 错误。

故选 B。

25. 【答案】A

【分析】基因工程（重组 DNA 技术）的基本步骤：（1）目的基因的获取：方法有从基因文库中获取、利用 PCR 技术扩增和人工合成。（2）基因表达载体的构建：是基因工程的核心步骤，基因表达载体包括目的基因、启动子、终止子和标记基因等。（3）将目的基因导入受体细胞：根据受体细胞不同，导入的方法也不一样。（4）目的基因的检测与鉴定

【详解】A、检测产品中有没有目的基因不可以确认是否为 GMO，还需检测目的基因是否转录出 mRNA，是否翻译出蛋白质，此外，还需要进行个体生物学水平的鉴定，A 错误；

B、GMO 定性标识是为了表明该产品是由转基因生物生产、加工而成的特殊标识，为消费者提供知情权和选择权，B 正确；

C、市场上带有标识的转基因产品都应经过安全检测，符合相应标准后才能上市，C 正确；

D、转基因产品研究工作中要注意防止造成基因污染，防止基因污染的方法有很多，如科学家将来自玉米的 α -淀粉酶基因与目的基因一起导入植物中，防止转基因花粉的传播，D 正确。

故选 A。

26. 【答案】B

【分析】基因工程技术的基本步骤：

（1）目的基因的获取：方法有从基因文库中获取、利用 PCR 技术扩增和人工合成。

（2）基因表达载体的构建：是基因工程的核心步骤，基因表达载体包括目的基因、启动子、终止子和标记基因等。

（3）将目的基因导入受体细胞：根据受体细胞不同，导入的方法也不一样。将目的基因导入植物细胞的方法有农杆菌转化法、基因枪法和花粉管通道法；将目的基因导入动物细胞最有效的方法是显微注射法；将目的基因导入微生物细胞的方法是感受态细胞法。

（4）目的基因的检测与鉴定：分子水平上的检测：①检测转基因生物染色体的 DNA 是否插入目的基因——DNA 分子杂交技术；②检测目的基因是否转录出了 mRNA——分子杂交技术；③检测目的基因是否翻译成蛋白质——抗原—抗体杂交技术。个体水平上的鉴定：抗虫鉴定、抗病鉴定、活性鉴定等。



【详解】A、农杆菌侵染植物细胞后，能将 Ti 质粒上的 T-DNA（可转移的 DNA）转移到被侵染的细胞，并且将其整合到该细胞的染色体 DNA 上，A 正确；

B、限制酶 ClaI 在 Ti 质粒的 T-DNA 上没有酶切位点，且会破坏标记基因卡那霉素抗性基因，限制酶 SacI 在 Ti 质粒的 T-DNA 上没有酶切位点，且会破坏复制起点，不能用限制酶 ClaI 和 SacI 处理 Z 基因，B 错误；

C、农杆菌 Ti 质粒上存在卡那霉素抗性基因，可用卡那霉素筛选含重组 Ti 质粒的农杆菌，C 正确；

D、荒漠植物的 Z 基因与其抗旱性强有关，可在个体水平检测小麦是否获得抗旱性状，D 正确。

故选 B。

27. 【答案】B

【分析】微生物常见的接种的方法：

（1）平板划线法：将已经熔化的培养基倒入培养皿制成平板，接种划线，在恒温箱里培养。在线的开始部分，微生物往往连在一起生长，随着线的延伸，菌数逐渐减少，最后可能形成单个菌落。

（2）稀释涂布平板法：将待分离的菌液经过大量稀释后，均匀涂布在培养皿表面，经培养后可形成单个菌落。

【详解】A、由图可知，两组平板都分成 3 个区进行划线，A 错误；

B、接种前需对接种环灼烧灭菌一次，每次划线后都灼烧一次，甲组共灼烧 4 次接种环，B 正确；

C、活菌计数用稀释涂布平板法，图中为平板划线法，不可计数，C 错误；

D、单菌落的性状、颜色等特征反映菌种类差异，D 错误。

故选 B。



28. 【答案】D

【分析】1、微生物常见的接种的方法：平板划线法和稀释涂布平板法，稀释涂布平板法可用于微生物的计数。2、稀释涂布平板法统计菌落数目的原理：①当样品的稀释度足够高时，培养基表面生长的一个菌落，来源于样品稀释液中的一个活菌；②通过统计平板上的菌落数来推测样品中大约含有的活菌数。

【详解】A、图中①是稀释涂布平板法，A 正确；

B、为排除无菌水的干扰，应增设仅接种无菌水的组别作为空白对照，B 正确；

C、每个稀释梯度应设置 3 个平行实验，减小误差，C 正确；

D、稀释涂布平板法，可能两个单菌落长到一起，所以仅以深紫色菌落数估测会导致结果偏低，D 错误。

故选 D。

29. 【答案】B

【分析】1、植物组织培养就是在无菌和人工控制的条件下，将离体的植物器官、组织、细胞，培养在人工配制的培养基上，给予适宜的培养条件，诱导其产生愈伤组织、丛芽，最终形成完整的植株。

2、植物组织培养的条件：①细胞离体和适宜的外界条件（如适宜温度、适时光照、pH 和无菌环境等）；②一定的营养（无机、有机成分）和植物激素（生长素和细胞分裂素）。

【详解】A、据图可知，同一植物的外植体通过不同的培养体系可得到不同的产物，如经悬浮细胞培养可得到转基因细胞系，经外植体诱导能够获得完整植株等，A 正确；

- B、外植体形成愈伤组织的过程中，只经历了脱分化过程，B 错误；
- C、基因工程是指将一种生物体（供体）的基因与载体在体外进行拼接重组，然后转入另一种生物体（受体）内，使之按照人们的意愿稳定遗传，表达出新产物或新性状，将目标产物合成途径中的关键酶基因导入悬浮细胞，有望提高产量，C 正确；
- D、由于不受土壤、气候条件限制，该技术能够实现工厂化生产，故利用该技术有利于缓解资源短缺问题，D 正确。

故选 B。

30. 【答案】C

【分析】1、单克隆抗体制备的过程：首先用特定的抗原对小鼠进行免疫，并从该小鼠的脾中得到能产生特定抗体的 B 淋巴细胞，诱导与骨髓瘤细胞融合，第一次筛选获得杂交瘤细胞，第二次筛选获能够产生特定抗体的杂交瘤细胞，再注射到小鼠腹腔中或者体外培养，获得单克隆抗体。

2、构建 cDNA 文库的方法：提取某生物的 mRNA，逆转录形成 cDNA 单链，然后通过复制形成 cDNA 双链，与载体体外重组，导入受体菌中储存。

【详解】A、V 蛋白含有 285 个氨基酸，考虑终止密码子，cDNA 中的碱基数应该为 $286 \times 6 = 1716$ 个，而 V 蛋白的 cDNA 有 1241bp（碱基对），说明 V 蛋白的 cDNA 中含有不编码 V 蛋白的序列，A 正确；

B、5 株杂交瘤细胞都能分泌单抗，这些杂交瘤细胞都能无限增殖，B 正确；

C、用 V 蛋白免疫小鼠的目的是能产生特定抗体的 B 淋巴细胞，C 错误；

D、如图 5A8 杂交瘤细胞产生的单抗与其他组相比，反应更强，说明其产生的抗体量更多，D 正确。

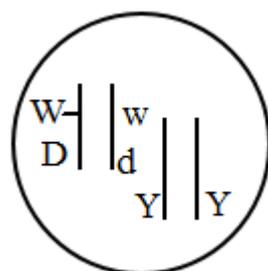
故选 C。

二、填空题（共 ss 分）

31. 【答案】(1) ①. WwYy ②. 紫皮：绿皮：白皮=12：3：1 ③. 1/4 ④. wwYy



(2) ①. DDWWYY、ddwwYY ②.



③. D、W 和 d、w ④. Dw 和 dW ⑤.

18%

【分析】基因自由组合定律的实质是：位于非同源染色体上的非等位基因的分离或自由组合是互不干扰的；在减数分裂过程中，同源染色体上的等位基因彼此分离的同时，非同源染色体上的非等位基因自由组合。

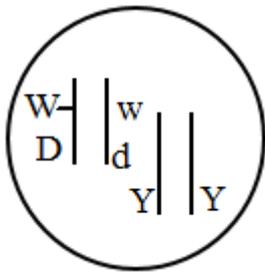
【小问 1 详解】

将紫皮（WWYY）与白皮（wwyy）杂交，F₁ 的基因型为 WwYy，表现型为紫色，F₁ 自交获得 F₂，根据自由组合定律可知，F₂ 的表型及比例为 9W₋Y₋（紫皮）：3W₋yy（紫皮）：3wwY₋（绿皮）：1wwyy（白皮），紫皮：绿皮：白皮=12：3：1，将 F₁ 与白皮（wwyy）杂交，后代的基因型和表型比例为 WwYy（紫皮）：Wwyy（紫皮）：wwYy（绿皮）：wwyy（白皮）=1：1：1：1，绿皮所占比例为 1/4。

【小问 2 详解】

①紫花与白花杂交后代均为紫花，说明紫花对白花为显性，紫皮与绿皮杂交后代均为紫皮，F₂中紫皮：绿皮≈3：1，说明亲本关于果皮的基因型为 WWYY 和 wwYY，综合分析可知，亲本的基因型为 DDWWYY 和 ddwwYY。

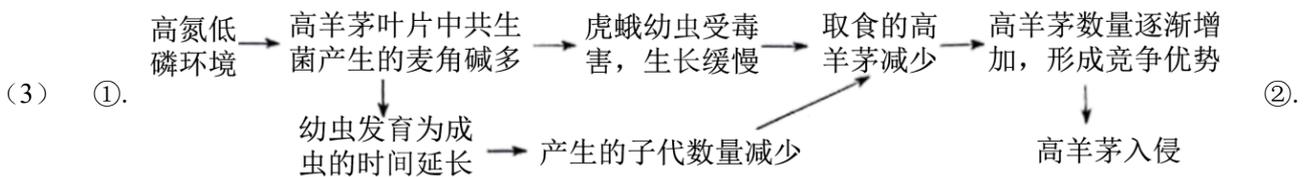
②F₂的表现型比例不符合 9：3：3：1 的比例，因此 D/d 与相关基因存在连锁关系，即 F₁ 中三对基因在染色体上的位置关系可用下图表示：



③为进一步确定三对基因的位置关系，将 F₁DdWwYY 与纯合的白花绿皮 ddwwYY 杂交，子代中紫花紫皮：白花绿皮：紫花绿皮：白花紫皮=28：34：12：4，由此可判断 F₁ 在减数分裂时 D、W 和 d、w 基因所在的同源染色体发生互换，进而产生基因组成为 Dw 和 dW 的重组型配子。由于子代的表现型可代表产生的配子类型，因此互换率为 (12+4) ÷ (28+34+12+4) =18%。

32. 【答案】(1) ①. 基因/遗传 ②. 群落演替/次生演替

(2) ①. ①与对照组相比，只要施加磷肥，叶片含磷量显著提高，N/P 明显下降，而施加氮肥对叶片含氮量及 N/P 基本无影响，说明土壤中缺磷而不缺氮 ②. 高羊茅叶片上虎蛾幼虫密度大



土壤中的 N、P 含量（叶片中的 N/P）和高羊茅中麦角碱含量

【分析】根据图 1 分析可知：自变量为施肥的种类，因变量为叶片的 N、P 含量及比值（N/P）。

根据图 2 分析可知：自变量为施肥的种类，因变量为虎蛾幼虫的密度和叶片损伤程度。

根据图 2 分析可知：自变量为麦角碱含量，因变量为虎蛾幼虫的密度和体重。

【小问 1 详解】

生物多样性包括基因多样性、物种多样性、生态系统多样性。高羊茅入侵扩散到自然区域，导致天然草原群落发生改变属于群落的演替。

【小问 2 详解】

分析图 1 可知：与对照组相比，施加氮肥时，叶片中含氮量、N/P 值无明显变化；只要施加磷肥时

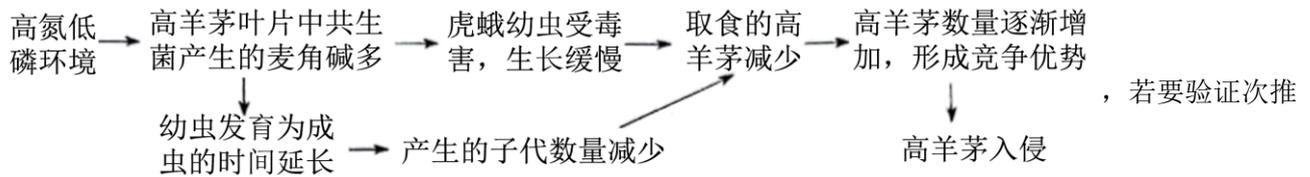
（NP+：同时施氮肥和磷肥；P+：施磷肥），叶片中磷含量明显增加，且 N/P 明显下降，因此推测土壤中缺磷。

分析图 2 可知：与对照组相比，施加施加氮肥时，高羊茅叶片上虎蛾幼虫的密度和叶片损伤程度无明显变化；只要施加磷肥时（NP+：同时施氮肥和磷肥；P+：施磷肥），高羊茅叶片上虎蛾幼虫的密度增大，叶

片损伤程度增加。

【小问3详解】

分析图3可知：随着麦角碱含量增多，高羊茅叶片上虎蛾幼虫的密度减少且体重下降。在高氮低磷环境中，高羊茅叶片上的共生真菌麦角菌产生的麦角碱多，麦角碱对虎蛾幼虫具有毒害作用导致其生长缓慢，种群密度下降。同时，含麦角碱浓度高的叶片上，虎蛾幼虫羽化为蛾（成虫）的时间显著延长，产生的子代少，种群密度进一步降低。上述两种原因均会导致对叶片的啃食减少，因此，高羊茅种群数量增加，成功入侵当地生态系统。以上叙事可归纳为：



测的正确性，还需要测量土壤中的 N、P 含量（叶片中的 N/P）和高羊茅中麦角碱含量的关系。

33. 【答案】 ①. 神经递质 ②. 易化扩散/协助扩散 ③. 钙调蛋白 ④. 空间结构 ⑤. II ⑥. C、B ⑦. 该实验方案存在两处缺陷：第一，应补充一组对未突变小鼠同样处理的对照实验。第二，应补充施加 HFS 后检测和比较以上两组小鼠突触后膜的电位变化的实验 ⑧. 细胞和分子

【分析】

【详解】（1）在小鼠 H 区的传入纤维上施加单次强刺激，传入纤维末梢释放的神经递质作用于突触后膜的相关受体，突触后膜出现一个膜电位变化。

（2）从图中可以看出， Ca^{2+} 通过 N 受体进入细胞的过程是从高浓度向低浓度运输，需要载体，不消耗 ATP，属于协助扩散或易化扩散。 Ca^{2+} 进入细胞后与钙调蛋白结合，激活 C 酶；蛋白质的功能取决于其空间结构，酶的活性改变的直接原因是其空间结构发生了改变。

（3）①由图示信息，根据“细胞膜上的 A 受体数量明显增加”可推出有比较多的 A 受体胞内肽段转变成了 A 受体，该过程就是过程 II。②实验的自变量为短肽，要验证磷酸化位点位于 T 上，导入实验组的短肽含有磷酸化位点，导入对照组的短肽不含有磷酸化位点，则实验组所用短肽应与 T 的氨基酸数目相同序列相同，对照组所用短肽应与 T 的氨基酸数目相同序列相反。③为了验证 T 的磷酸化能增强神经细胞对刺激的“记忆”这一假设，将 T 的磷酸化位点发生突变的一组小鼠，用 HFS 处理 H 区传入纤维，30 分钟后检测 H 区神经细胞突触后膜 A 受体能否磷酸化，还应补充一组对未突变小鼠同样处理的对照实验；检测的实验结果应可操作，膜 A 受体是否磷酸化不易检测，应补充施加 HFS 后检测和比较以上两组小鼠突触后膜的电位变化的实验。

（4）图中所研究的机制涉及受体（糖蛋白）、酶及物质的运输，所以是在分子和细胞水平上揭示学习和记忆的一种可能机制。

34. 【答案】（1）调节 （2）促进、抑制 （3）降解

（4）T 蛋白与 S 蛋白基因的启动子结合，促进 S 基因的表达，而 J 基因抑制 T 蛋白与 S 蛋白基因启动子的结合

（5）ABA 激活 T 蛋白，T 蛋白促进 S 蛋白合成，S 蛋白可使抑制种子成熟的 J 蛋白降解，从而促进种子成



熟

【分析】1、植物的生长发育过程，在根本上是基因组在一定时间和空间上程序性表达的结果。光照、温度等环境因子的变化，会引起植物体内产生包括植物激素合成在内的多种变化，进而对基因组的表达进行调节。2、脱落酸的作用：抑制细胞分裂，抑制植物的生长，也能抑制种子的萌发；促进叶和果实的衰老和脱落。

【小问 1 详解】

ABA 是植物激素，在植物生长发育过程中起调节作用。

【小问 2 详解】

S 蛋白缺失，种子成熟程度低，因此 S 蛋白促进种子成熟，而 J 蛋白过表达植株种子成熟度低，因此 J 蛋白抑制种子成熟。

【小问 3 详解】

药剂 M 抑制蛋白质的降解，结合图示可知，S 蛋白缺失的裂解液与 J 蛋白融合，J 蛋白的含量多于与野生型的融合，说明 J 蛋白会被 S 蛋白降解。

【小问 4 详解】

质粒 1+2 组作为对照，与 1+2 组相比，1+3 组中 T 基因表达 T 蛋白，使得 LUC/REN 荧光强度比值明显增大，且 REN、LUC 不受 T 蛋白的影响，说明 T 蛋白能与 S 蛋白基因启动子结合，从而使得 LUC 增多，而 1+4 组与 1+3+4 组均与 1+2 组相同，说明第四组表达的 J 蛋白会抑制 T 蛋白与 S 蛋白基因启动子的结合，抑制 LUC 的合成。

【小问 5 详解】

ABA 激活 T 蛋白，T 蛋白可与 S 蛋白的启动部位结合，启动 S 基因的表达，S 蛋白增多，S 蛋白可使 J 蛋白降解，而 J 蛋白抑制种子成熟，因此 S 蛋白可促进种子成熟，即 ABA 促进种子成熟。

35. 【答案】(1) ①. 光合 ②. 脂肪酸

(2) M 酶活性下降使脂肪酸合成受阻，NADH 消耗减少，同时长时间光照促进产生 NADH，NADH 含量升高，导致 A 酸合成过多

(3) ②④①③ (4) 线粒体与叶绿体之间通过 A 酸-B 酸循环协同合作，将叶绿体中的[H]运输到线粒体氧化，以维持叶绿体内氧化还原稳态

【分析】本实验为探究 M 基因突变导致细胞凋亡的原因，由此揭示 A 酸作为叶绿体中氧化还原平衡的调节物质，从叶绿体经细胞质基质进入到线粒体中，在 mMDH 酶的作用下产生 NADH ([H]) 和 B 酸，NADH 被氧化会产生活性氧。

【小问 1 详解】

叶绿体通过光合作用将 CO₂ 转化为糖。由于 M 基因编码叶绿体中催化脂肪酸合成的 M 酶。可推测叶绿体也可以合成脂肪的组分脂肪酸。

【小问 2 详解】

据图可知，M 基因突变为 m 后，植株在长时间光照条件下出现细胞凋亡的原因是：M 酶活性下降使脂肪酸合成受阻，NADH 消耗减少，同时长时间光照促进产生 NADH，NADH 含量升高，导致 A 酸合成过多。



【小问 3 详解】

为探究 M 基因突变导致细胞凋亡的原因，研究人员以诱变剂处理突变体 m，筛选不表现细胞凋亡（不出现叶片黄斑），但仍保留 m 基因的突变株（叶绿体中脂肪酸含量减低），通过对所获一系列突变体的详细解析，进而①确定相应蛋白的细胞定位和功能，发现叶绿体中 pMDH 酶、线粒体中 mMDH 酶和线粒体内膜复合物 I（催化有氧呼吸第三阶段的酶）等均参与细胞凋亡过程，最后③鉴定相关基因，正确顺序为②④①③。

【小问 4 详解】

结合题意和图文，叶绿体内氧化还原稳态的维持对叶绿体行使正常功能非常重要，叶绿体和线体协调配合，维持细胞的稳态与平衡：线粒体与叶绿体之间通过 A 酸-B 酸循环协同合作，将叶绿体中的[H]运输到线粒体氧化，以维持叶绿体内氧化还原稳态。

