2026 北京通州高三一模

生　　物

2026 年 4 月

本试卷共 10 页，共 100 分。考试时长 90 分钟。考生务必将答案答在答题卡上，在试卷上作答无效。考试结束后，请将答题卡交回。

第一部分　选择题（每小题 2 分，共 30 分）

下列各题均有四个选项，其中只有一个是符合题意要求的。

1. 适度运动、体重管理是健康的生活方式之一，下列叙述正确的是（　　）

A. 运动时由脂肪直接供能

B. 运动时大量出汗只需补充水分

C. 有氧运动有利于体重管理

D. 运动强度越大越利于健康

2. 重金属镉会引发动物细胞内质网结构改变、高尔基体扩张、溶酶体膜易破裂，这些细胞器的改变不会直接影响（　　）

A. 胰岛素的合成与加工

B. mRNA 与核糖体的结合

C. 衰老细胞器的分解

D. 抗原的加工与呈递

3. 在工业生产中，将淀粉水解为葡萄糖的过程称为淀粉的糖化。水解的方法主要有两种，用稀硫酸催化淀粉水解，或者用淀粉酶来催化水解。下列叙述正确的是（　　）

A. 都能为淀粉糖化过程提供能量

B. 单位时间生成葡萄糖的量相同

C. 反应后淀粉酶结构改变失去活性

D. 酶催化时所需条件比酸催化温和

4. 线粒体嵴的损伤会触发 VDIM 降解途径。其过程为：受损的嵴释放信号，激活溶酶体膜上的通道使其释放 Ca^{2+}，Ca^{2+}激活线粒体外膜上的通道形成孔道，使受损的嵴通过孔道进入溶酶体被降解。下列叙述错误的是（　　）

A. 溶酶体释放的 Ca^{2+}通过自由扩散进入细胞质基质

B. VDIM 降解途径体现了生物膜具有信息交流的功能

C. VDIM 降解途径会影响细胞呼吸过程中 ATP 的生成

D. 被降解的受损的线粒体嵴成分可被细胞重新利用

5. 某植物的白花和红花是一对相对性状，由等位基因 A、a 和 B、b 控制，A 控制红色素的合成，基因 B 会抑制基因 A 的表达。某白花植株自交，F_1 中白花:红花＝5:1，F_1 中的红花植株自交，后代中红花:白花＝2:1。下列叙述错误的是（　　）

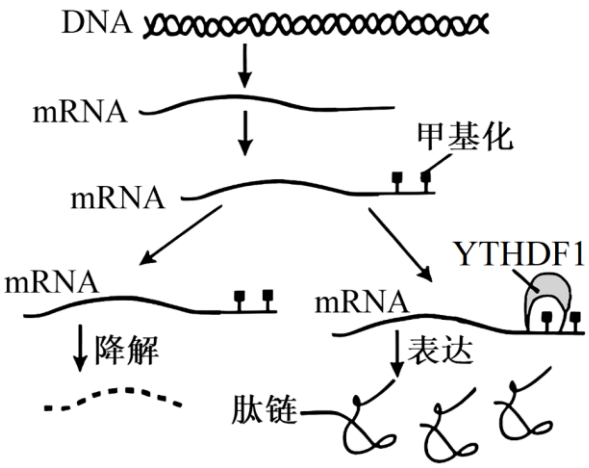
A. 基因 A、a 和 B、b 独立遗传

B. 基因 A 纯合的个体会致死

C. F_1 中白花植株的基因型有 7 种

D. 亲代白花植株的基因型为 AaBb

6. 研究发现 mRNA 的甲基化可使 mRNA 降解，细胞中的 YTHDF1 蛋白可识别甲基化修饰的 mRNA，调节基因表达，机制如图所示。下列叙述正确的是（　　）



A. mRNA 甲基化通过影响转录抑制基因的表达

B. YTHDF1 蛋白是催化甲基化修饰的关键酶

C. YTHDF1 的识别作用会降低翻译过程的效率

D. mRNA 甲基化不改变基因的碱基排列顺序

7. 云研“77-2”和云研“77-4”是广泛种植的三倍体橡胶树新品种。三倍体橡胶树由减数分裂正常形成的雄配子（n）和异常形成的雌配子（2n）结合产生。为研究雌配子（2n）产生的原因，对三倍体及其亲本的基因型进行分析，结果如下表所示。下列叙述错误的是（　　）

实验材料	基因型
GT1（母本）	Ee
PR107（父本）	Ee
云研“77-2”	EEe

云研“77-4”	EEE

A. 三倍体橡胶树减数分裂时联会紊乱，通常高度不育

B. 两个亲本杂交的子代中不会出现基因型为 eee 的个体

C. 两个新品种培育的过程中利用了染色体变异的原理

D. 云研“77-4”的产生与母本减数分裂II异常有关

8. 在大达夫尼岛上生活着大喙地雀和小喙地雀两种地雀，1977 年发生严重干旱，两种地雀数量显著减少，并且大喙地雀的喙增长了 0.65mm。下列叙述正确的是（　　）

A. 两种地雀的基因库组成完全相同

B. 干旱诱导大喙地雀发生基因突变

C. 地雀喙长的变化是自然选择的结果

D. 大喙地雀喙长的基因频率未改变

9. 2025 年 11 月 2 日，北京国际马拉松赛鸣枪起跑。运动员在长跑过程中，机体通过神经—体液调节维持内环境稳态。下列相关叙述正确的是（　　）

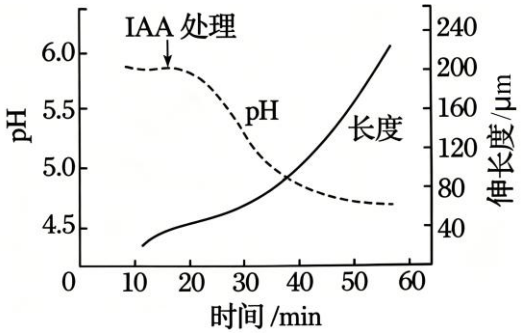
A. 兴奋时神经纤维膜内的电位由正变负

B. 自主神经系统不参与跑步的调节过程

C. 跑步中大量出汗，抗利尿激素释放增多

D. 胰高血糖素促进肌糖原分解以补充血糖

10. 酸生长假说认为：植物生长素促进细胞伸长生长的作用机理是 IAA 结合受体，活化 H^+-ATP 酶，促进 H^+ 外排，酸化细胞壁并使其松弛。如图所示为玉米胚芽鞘在经生长素处理后，细胞壁处的 pH 变化和细胞伸长度之间的关系。下列叙述正确的是（　　）



A. 生长素作为信号分子影响 H^+-ATP 酶活性

B. IAA 处理时间与细胞的伸长度呈负相关

C. 高浓度 IAA 会使细胞伸长度变化更显著

D. 体现 IAA 直接参与细胞代谢的调节过程

11. 研究发现，北方农牧交错带草地随放牧强度增加而退化，优势物种由多年生禾草转变为一二年生杂草，土壤微生物群落也显著改变。下列叙述正确的是（　　）

A. 草地退化过程中群落的垂直结构保持不变

B. 该过程说明人类活动改变了群落演替的方向

C. 土壤微生物变化会影响生态系统的能量循环

D. 恢复草地时应引入外来物种提高植被覆盖率

12. 老面馒头制作常用面肥发酵，面肥中除酵母菌外还含有乳酸菌，蒸制前需加碱中和乳酸。下列叙述正确的是（　　）

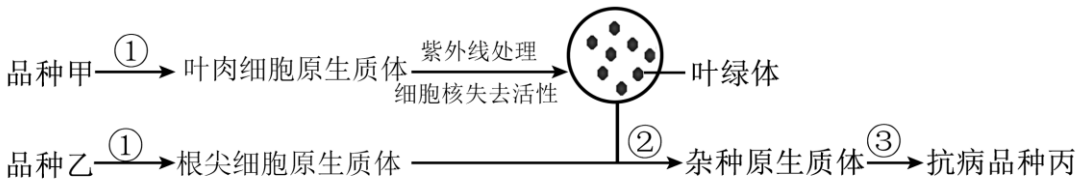
A. 酵母菌与乳酸菌的代谢类型完全相同

B. 乳酸菌与酵母菌共同决定面团的发酵风味

C. 面肥发酵时乳酸菌无氧呼吸产生大量 CO_2

D. 此过程中应对面肥和器具进行严格灭菌

13. 胞质杂交是植物体细胞杂交应用的一个重要方面。下图为将品种甲叶绿体中的优良基因导入品种乙，从而获得抗病品种丙的实验流程。下列叙述错误的是（　　）



A. 过程①的操作需要在等渗或略高渗溶液中进行

B. 过程②可以用聚乙二醇（PEG）诱导融合

C. 过程②筛选同时具备叶绿体和细胞核的原生质体

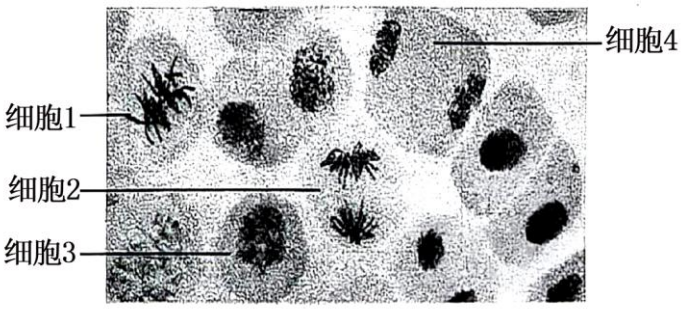
D. 品种丙能稳定遗传品种甲、乙的所有优良性状

14. 科学研究显示，一些原本生活在南极周边的植物物种，随着部分海冰的融化，逐渐向南极的内部扩展分布，导致这一现象的原因是（　　）

A. 水土流失　　B. 大气污染

C. 温室效应　　D. 海洋污染

15. “观察根尖分生区组织细胞的有丝分裂”实验中，实验结果如图。下列叙述错误的是（　　）



A. 细胞 1 中的染色体的着丝粒排列在赤道板上

B. 细胞 2 中的染色体数目是体细胞的两倍

C. 持续观察细胞 3 完整记录其分裂全过程

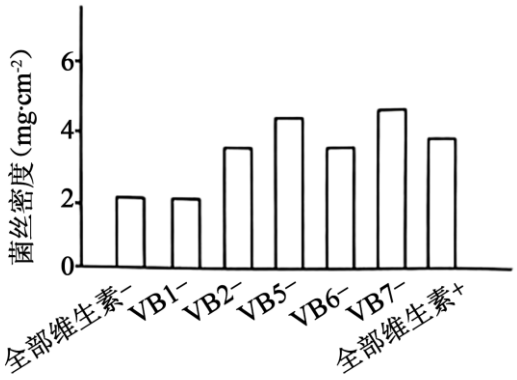
D. 细胞 4 中形成的细胞板和高尔基体有关

第二部分　非选择题（共 70 分）

16. 克林顿乳牛肝菌（SC）是一种大型真菌，其菌丝与植物根部缠绕，帮助植物有效吸收水分和无机盐，研究者对它们之间的关系展开了研究。

（1）SC 等微生物与该区域的植物、动物，共同构成_____。SC 可以从植物中获得糖类、氨基酸等营养物质，但生长所需要的维生素无法从植物中获得。

（2）为研究 SC 生长对不同维生素的需求，将等量的 SC 菌种转移至新的_____（填“固体”或“液体”）培养基中，使其形成菌落，一段时间后测量菌丝密度，结果如图 1，表明对 SC 生长最为关键的维生素是_____（以下简称关键维生素）。进一步研究显示，SC 缺乏关键维生素合成基因，但存在相关转运蛋白基因。



注：+表示添加；−表示去除；VB1~VB7代表各种B族维生素

图1

（3）SC 周围常分布许多 B4 细菌，二者共存时 SC 能够正常生长。为研究 B4 对 SC 生长的作用，对 B4 进行单独培养，或将 B4 与 SC 共培养，检测培养基中关键维生素浓度，结果如图 2。共培养时关键维生素浓度呈现先上升再下降的趋势，原因是_____。

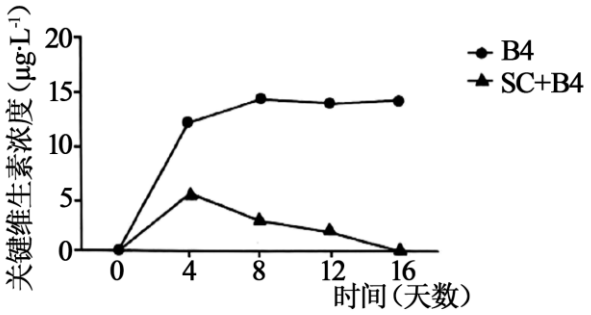


图2

（4）研究者推测 SC 分泌的化学物质能够吸引 B4，若要证明以上推测，可分别用含等量_____的滤纸等距离置于 B4 菌落两侧，观察菌落的移动方向，最终证实真菌—细菌—植物三方共生体系的存在。

17. 低温可造成自然越冬的昆虫幼虫发育暂时停滞，称为滞育，这种幼虫的耐寒能力显著高于实验室恒温培养的非滞育幼虫。研究者对相关机制进行了研究。

（1）图 1 表示有氧呼吸部分阶段。H^+通过复合体I、III、IV运至_____（细胞器）膜间隙，形成浓度差，ATP 合酶能顺浓度梯度运输 H^+，降低 H^+势能，生成 ATP。此外，UCP4 也可降低 H^+势能，进而_____ATP 的合成，促进产热。

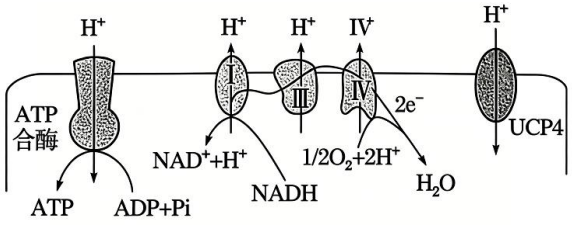


图 1

（2）H^+势能降低能够提高有氧呼吸速率。与非滞育幼虫相比，滞育幼虫有更高的呼吸速率，研究者提出两个假说解释上述现象。假说一：UCP4 增多；假说二：ATP 合酶增多。用 UCP4 抑制剂和 ATP 合酶抑制剂对两种幼虫进行处理，结果支持假说一（如图 2），其中_____（填“A”或“B”）为 UCP4 抑制剂，判断依据是_____。

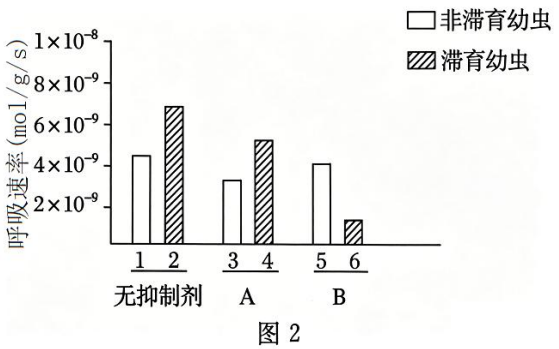
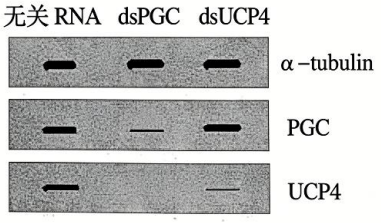


图 2

（3）PGC 与 UCP4 同为调节能量代谢的蛋白，且在同一通路上，为探究二者的上下游关系，研究者利用双链 RNA（dsRNA）抑制相应基因表达，检测相关蛋白含量，结果如图 3。可知 UCP4 在 PGC 的

_____。



注：α-tubulin 在细胞中表达量高且稳定

图 3

（4）C9 仅存在于滞育幼虫中，在秋冬季降温时达到峰值，引起 PGC 与 UCP4 基因表达的变化，是滞育幼虫耐寒的关键激素。综上所述，完成 C9 的作用机制：C9 与受体结合→_____→降低 H^+势能，促进产热。

18. 黄瓜是单性花、雌雄同株，研究者解析了生长素调节黄瓜性别决定的机制。

（1）黄瓜花芽的生长素从形态学_____的运输方式称为极性运输。

（2）添加外源生长素可以促进黄瓜产生雌花，推测生长素响应基因 Arf3 促进该过程。分别检测野生型、Arf3 突变体中雌花的比例，若实验结果为_____，可验证上述推测。

（3）分析 Arf3 的作用机制，发现 Arf3 突变体中 Cw1 基因表达提高 3 倍，而 Cw1 蛋白会抑制雌花分化。

①生物信息学分析发现，Cw1 基因的启动子序列中具有 Arf3 蛋白的结合序列 P4，因此推测 Arf3 蛋白能够直接调控 Cw1 的_____过程。

②研究者通过凝胶阻滞实验（EMSA）进一步验证上述推测。EMSA 原理为：DNA 与蛋白质结合形成的复合物与游离 DNA 在凝胶电泳中的迁移速度存在差异，生物素经过实验处理后可以显示出有色条带。按照图 1 实验设计，结果中会出现滞后条带和_____条带。若上述推测正确，请补充图 1 中滞后条带的实验结果_____。

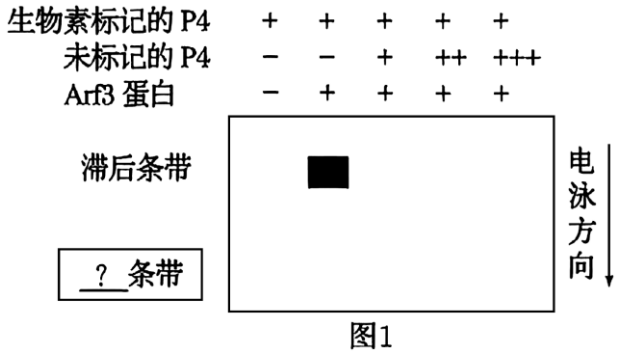


图1

（4）Arf3 突变体中 Cs 基因表达量显著降低，Cs 是雌花分生组织形成和维持的重要基因。请结合上述信息，在图 2 中完善生长素通过 Arf3 蛋白参与黄瓜性别决定的机制_____。（方框中填写基因，括号中填写+或者-，+代表促进、-代表抑制）

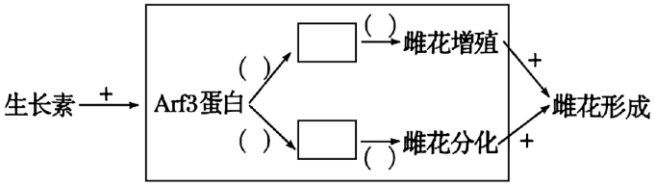
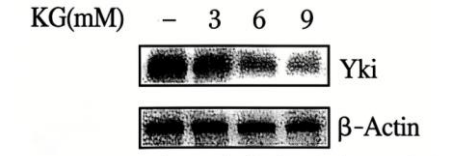


图2

19. 多细胞生物如何控制器官大小是生物学的基础问题，研究者揭示了细胞代谢在果蝇器官大小调控中的重要作用。

（1）Yki 蛋白对于果蝇器官发育至关重要，细胞质中的 Yki 蛋白通过_____（细胞结构）进入细胞核，并启动促增殖基因的转录。

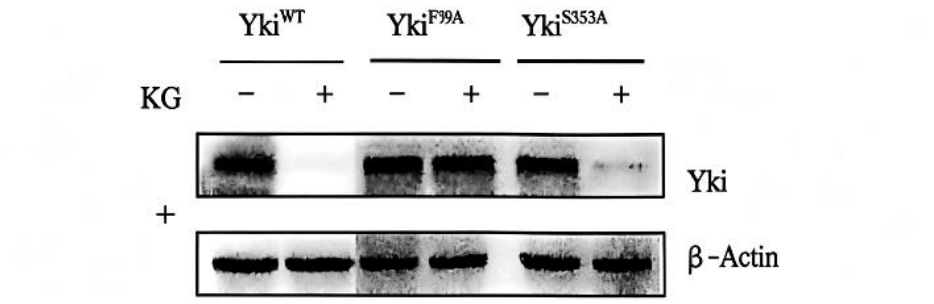
（2）遗传学筛选发现，dOg 基因突变后果蝇的眼睛显著变小。dOg 是细胞呼吸的关键酶，具有_____酮戊二酸（KG）转化为琥珀酸的作用。研究者用外源的 KG 处理正常果蝇，检测 Yki 蛋白含量，结果如图 1，请简要分析 dOg 基因突变导致眼睛变小的原因_____。



注：β-Actin 在细胞中表达高且稳定

图 1

（3）研究者推测，KG 可以促进 Yki 蛋白质中特定氨基酸的修饰，从而影响蛋白质含量。研究者将 Yki 蛋白质的特定氨基酸进行改造，如 Yki^{P353A} 代表第 353 位的 P 变为 A，结果如图 2，Yki 被羟基化的位点是_____。



注：WT 代表野生型。脯氨酸 P 容易被修饰，丙氨酸 A 不易被修饰

图 2

（4）进一步推测，KG 通过酶 PH4B 发挥作用，而非直接作用于 Yki。为了证实上述推测，请补充下表中的实验设计和预期结果。

	对照组	实验组
果蝇	_____	_____

实验处理	_____	_____
检测指标：Yki 蛋白质含量	实验组_____对照组	

A．野生型

B．PH4B 缺失突变体

C．等量 KG

D．等量生理盐水

（5）与正常条件相比，果蝇在饥饿条件下 KG 水平增加约 16 倍。请结合上述信息，从物质与能量观角度简述这一变化的生物学意义_____。

20. 一名 6 岁的儿童就医时被诊断为肌营养不良症，此病是一种会引发肌肉组织退化的遗传性疾病。调查发现，该患儿的父亲同样患病，且为该家系中第一个出现此病的人，故研究者对此病的遗传方式进行了研究。

（1）人类遗传病通常是由_____改变而引起的人类疾病。经调查，研究者绘制了该患儿的家系图谱，如图 1。

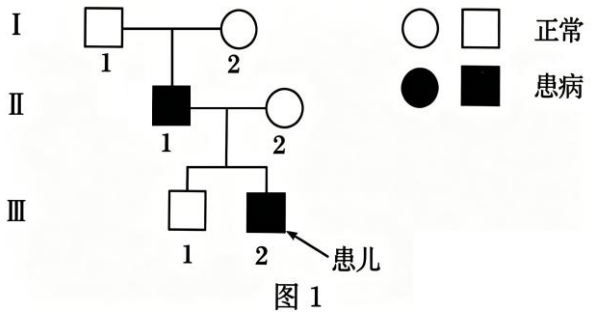


图 1

（2）研究者发现，患儿体内抗肌萎缩蛋白（由 DMD 基因控制合成）结构异常。正常 DMD 基因结构如图 2，而异常的 DMD 基因外显子 2 和 8 的内部存在两个断裂位点，此处的_____键会发生水解，并导致 2 个断裂位点之间的 DNA 片段整体发生 180°旋转，再重新连接。

（3）为了确定患儿的基因型和遗传方式，研究者使用两对引物组合（见图 2）对患儿的 DNA 进行 PCR，得到了长度分别为 450kb 和 660kb 的两条带。请你分析，这两对引物应该为_____和_____。据此分析，该病的遗传方式是_____。

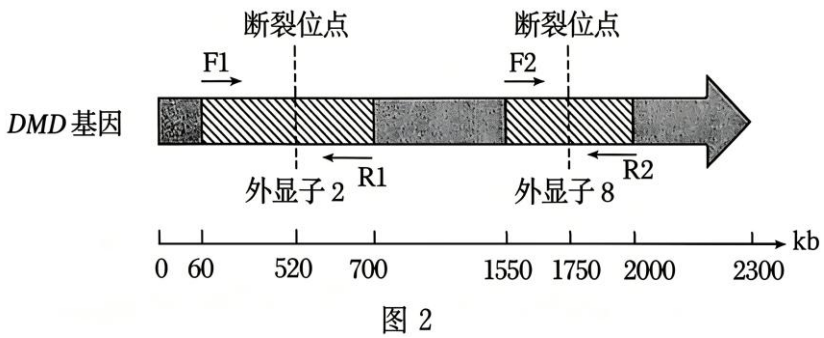


图 2

（4）综合以上研究结果，请判断以下说法正确的有_____。

A. 该病在此家系中的出现，可能是II-1 发生了基因突变

B. 患儿的 DMD 基因发生的变化，属于染色体结构变异

C. 若患儿的父母再生育一个孩子，有 1/2 概率为患者

D. 常规的产前 B 超检查，不能判断胎儿是否患有此病

21. 学习以下材料，回答问题。

基于操纵子设计遗传逆变器

操纵子是原核生物中的一种基因表达调控单位，在诱导物的作用下，通过调控蛋白与操纵序列的结合或解离，影响下游基因的表达。常见的操纵子有四环素操纵子、乳糖操纵子和色氨酸操纵子。近年来，研究者将 1 个或多个操纵子应用于发酵工程，设计可以精确调控基因表达的遗传元件，称之为遗传逆变器。

以具有抗病毒活性的紫色杆菌素合成为例，科研人员设置了图 1 中的两种遗传逆变器。方案一：将四环素操纵子与紫色杆菌素导入大肠杆菌，R_1 会持续表达并结合 O_1 序列，抑制下游基因的表达；当诱导物四环素存在时，其可以结合 R_1，导致其与 O_1 分离并促进基因表达。方案二：在上述基础上，还导入了色氨酸操纵子，在诱导物色氨酸存在的情况下，R_2 与之结合形成复合物后，结合 O_2 序列，并抑制下游基因 R_T 的表达，减轻了 R_1 与 O_1 序列的结合，导致遗传逆变器的激活输出。在无色氨酸的情况下，由于 R_2 无法实现抑制功能，R_1 会持续表达并结合 O_1 序列，遗传逆变器没有激活输出。

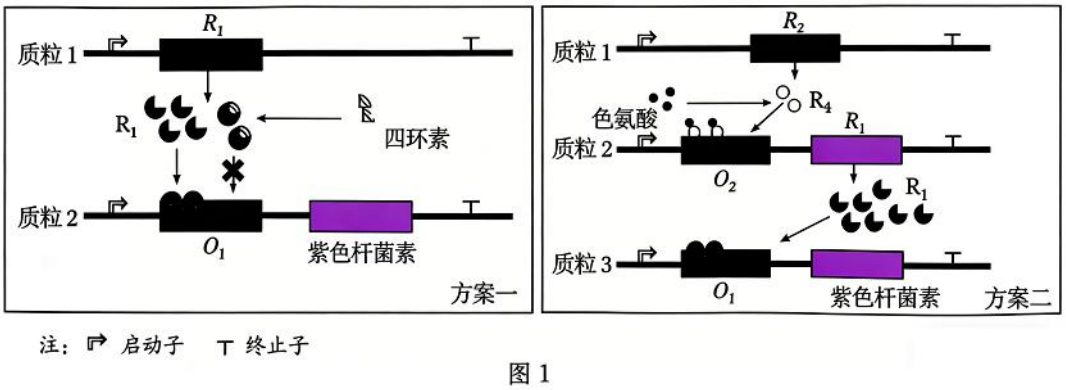


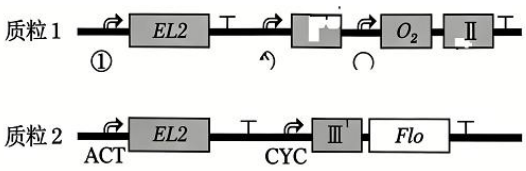
图 1

目前，这种基于操纵子的遗传逆变器已经广泛应用于工程菌的培养，通过与其他技术结合，也可以逐步实现对哺乳动物基因表达的时空精准调控。

（1）培育转基因工程菌的过程中，构建含有操纵子或紫色杆菌素的表达载体需要使用的工具酶有_____。

（2）文中提及的两种遗传逆变器，与方案一相比，方案二的主要优势是_____。

（3）为了实现大肠杆菌的可控凝集与产物分离，研究者将启动子 CYC 与絮凝蛋白基因 Flo 构建表达载体并导入工程菌，但是发现在非蓝光条件下，仍存在 Flo 基因的表达。请你结合文中的遗传逆变器技术，帮助研究者在图 2 中构建蓝光触发的大肠杆菌调控系统。



注:ACT 为组成型弱启动子,启动子 CYC 可以在蓝光条件下被 EL2 蛋白激活;Flo 蛋白定位于细胞表面,使工程菌相互结合后沉淀

图 2

该系统中，质粒 2 中 EL2 基因的作用是_____。结合上述目标，在①、②、③处应选用的启动子分别是_____、_____、_____。

启动子：a．ACT　b．CYC

质粒上的序列I、II、III分别是_____、_____、_____。

序列：A．R_1　B．R_2　C．O_1　D．O_2

（4）综合上述研究，请完善下表中利用该工程菌产生紫色杆菌素的环境条件。

培养阶段	光照条件	色氨酸添加情况
生产紫色杆菌素阶段	_____	_____
分离紫色杆菌素阶段	_____	_____

参考答案

第一部分　选择题（每小题 2 分，共 30 分）

下列各题均有四个选项，其中只有一个是符合题意要求的。

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
答案	C	B	D	A	C	D	B	C	C	A	B	B	D	C	C

第二部分　非选择题（共 70 分）

16. 【答案】（1）生物群落

（2）　①. 固体　②. VB1

（3）B4 分泌的 VB1 被 SC 吸收利用

（4）无菌水、SC 分泌物（未培养过 SC 的培养液、培养过 SC 的培养液）

【小问 1 详解】

SC 等微生物与该区域的植物、动物，共同构成生物群落，即包括了该区域内所有的生物。

【小问 2 详解】

为研究 SC 生长对不同维生素的需求，将等量的 SC 菌种转移至新的“固体”培养基中，使其形成菌落，菌落只能在固体培养基上产生，因而选择固体培养基，一段时间后测量菌丝密度，结果如图 1，图中缺少 VB1 与缺少全部维生素效果相同，其他维生素的缺乏均有一定的生长，因而表明对 SC 生长最为关键的维生素是 VB1。进一步研究显示，SC 缺乏关键维生素合成基因，但存在相关转运蛋白基因。

【小问 3 详解】

SC 周围常分布许多 B4 细菌，二者共存时 SC 能够正常生长。为研究 B4 对 SC 生长的作用，对 B4 进行单独培养，或将 B4 与 SC 共培养，检测培养基中关键维生素浓度，结果如图 2。B4 单独培养时关键维生素浓度表现为逐渐上升而后达到稳定的状态，说明 B4 能产生关键维生素，二者共培养时关键维生素浓度呈现先上升再下降的趋势，说明 B4 分泌的 VB1 被 SC 吸收利用。

【小问 4 详解】

研究者推测 SC 分泌的化学物质能够吸引 B4，则实验设计中的自变量为是否有 SC 的分泌物，若要证明以上推测，可分别用含等量无菌水、SC 分泌物（未培养过 SC 的培养液、培养过 SC 的培养液）的滤纸等距离置于 B4 菌落两侧，观察菌落的移动方向，若含有 SC 分泌物的滤纸上分布的 B4 更多，则可最终证实真菌—细菌—植物三方共生体系的存在。

17. 【答案】（1）　①. 线粒体　②. 减少

（2） ①. B ②. 5 与 1 无差异，6 远低于 2，3 低于 1，4 低于 2，但 3、4 的差值与 1、2 接近(5 与 1 无差异，6 远低于 2)

（3）下游 （4）PGC 表达增多， 促进 UCP4 表达增多

【小问 1 详解】

图 1 展示的是有氧呼吸第三阶段，该阶段发生在线粒体内膜上。H^+通过复合体 I、III、IV被运至线粒体膜间隙，形成跨膜 H^+浓度差，为 ATP 合成提供动力。ATP 合酶利用 H^+顺浓度梯度回流释放的势能合成 ATP。UCP4 也能降低 H^+势能，不经过 ATP 合酶生成 ATP，因此会减少 ATP 的生成，更多能量以热能形式释放，促进产热。

【小问 2 详解】

滞育幼虫在 B 处理下的呼吸速率显著下降，与非滞育幼虫无明显差异（或 B 处理消除了滞育幼虫与非滞育幼虫的呼吸速率差异） ， 假说一认为滞育幼虫呼吸速率高是因为 UCP4 增多。 加入 UCP4 抑制剂后，滞育幼虫的呼吸速率会明显下降，与非滞育幼虫的差异消失。 图 2 中，B 组处理后，滞育幼虫的呼吸速率大幅降低，与非滞育幼虫接近，5 与 1 无差异，6 远低于 2，3 低于 1，4 低于 2，但 3、4 的差值与 1、2 接近(5 与 1 无差异，6 远低于 2)，说明 B 是 UCP4 抑制剂，实验结果支持假说一。

【小问 3 详解】

由图 3 可知：抑制 PGC 基因表达后，PGC 含量减少，同时 UCP4 含量也显著下降；但抑制 UCP4 基因表达后，UCP4 含量减少，PGC 含量不受影响，说明 PGC 对 UCP4 的表达起调控作用，因此 UCP4 在 PGC 的下游。

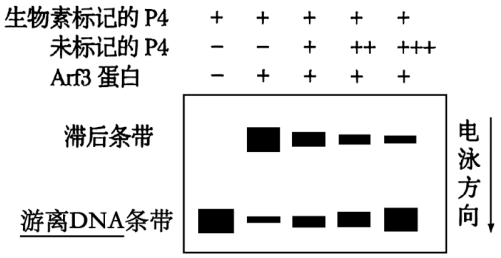
【小问 4 详解】

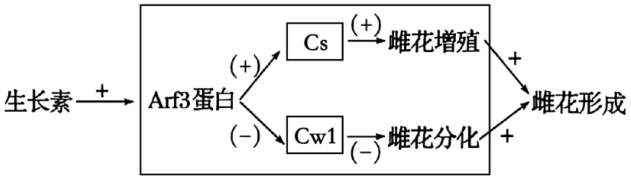
结合（3）的上下游关系和（1）的产热机制，C9 的作用机制为： C9 与受体结合 → 促进 PGC 表达增多，进而促进 UCP4 表达增多 → UCP4 增多降低 H^+势能，减少 ATP 合成，促进产热，提高幼虫耐寒能力。

18. 【答案】（1）上端到下端

（2）与野生型相比，Arf3 突变体中雌花比例显著降低

（3） ①. 转录 ②. 游离 DNA ③.



（4）

【小问 1 详解】

生长素只能从形态学上端运输到形态学下端，而不能反过来运输，也就是只能单方向地运输，称为极性运输。

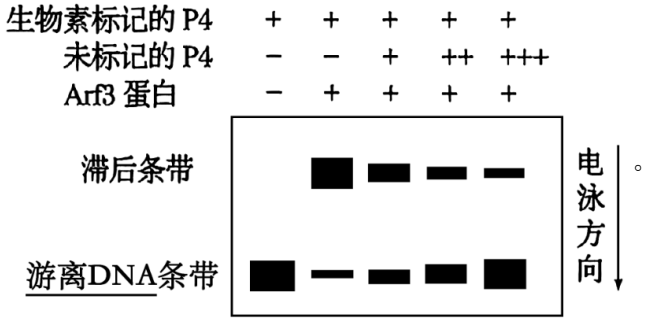
【小问 2 详解】

推测为 Arf3 促进雌花产生，野生型含有功能正常的 Arf3，Arf3 突变体中 Arf3 功能丧失，若推测正确，与野生型相比，Arf3 突变体中雌花比例显著降低。

【小问 3 详解】

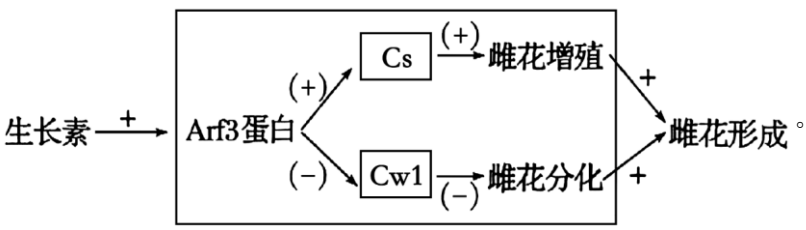
①启动子是基因转录过程中调控蛋白结合的位点，Arf3 结合 Cw1 的启动子，直接调控 Cw1 的转录过程。

②EMSA 实验中，DNA 与蛋白质结合形成的复合物迁移慢，形成滞后条带；未结合蛋白的游离 DNA 迁移快，形成游离 DNA 条带。若推测正确（Arf3 与 P4 序列结合），结果为：泳道 1（无 Arf3 蛋白）：只有游离条带；泳道 2（有 Arf3 蛋白）：同时出现滞后条带和游离条带；随着未标记 P4 浓度升高（泳道 3-5），未标记 P4 竞争性结合 Arf3 蛋白，滞后条带逐渐减弱，游离条带逐渐增强。因此，“？” 处为游离 DNA 条带；补充的滞后条带结果为：泳道 2 出现滞后条带，泳道 3-5 的滞后条带逐渐减弱（游离条带逐渐增强），图解为：



。

【小问 4 详解】

结合上述信息，生长素促进 Arf3 蛋白合成；Arf3 蛋白抑制 Cw1 基因表达（突变体中 Cw1 表达量升高），而 Cw1 抑制雌花分化，因此 Arf3 对 Cw1 为抑制（-）；Arf3 蛋白促进 Cs 基因表达（突变体中 Cs 表达量显著降低），Cs 促进雌花分生组织形成，因此 Arf3 对 Cs 为促进（+）；Cs 促进雌花增殖，Cw1 抑制雌花分化，两者共同促进雌花形成。即：

。

19. 【答案】（1）核孔　　（2）　　①. 催化　　②. dOg 突变后 KG 含量增加→导致 Yki 含量降低→细胞

增殖减弱， 细胞数量减少

（3）78　　（4）　　①. A　　②. B　　③. C　　④. C　　⑤. 大于

（5）饥饿时，KG 含量增加导致细胞增殖减弱，细胞中的物质能量更多用于细胞呼吸等作用利于个体生存

【小问 1 详解】

蛋白质通过核孔进入细胞核。

【小问 2 详解】

酶具有催化作用。结合题干信息和题图 1 可知，基因突变导致其催化的 KG 转化为琥珀酸的反应受阻，KG 含量升高，KG 处理正常果蝇后 Yki 蛋白含量降低，进而导致细胞增殖减弱， 细胞数量减少，所以果蝇的眼睛显著变小。

【小问 3 详解】

分析题图 2 可知，Yki^{WT} 在 KG 处理下 Yki 蛋白质含量明显降低，说明 KG 促进 Yki 的修饰和降解，Yki^{P353A}突变体在 KG 处理下 Yki 蛋白质含量仍降低，与野生型类似，说明该位点不影响 KG 的作用，而 Yki^{P78A}突变体在 KG 处理下 Yki 蛋白质含量无明显变化，表明该位点突变阻断了 KG 的作用，即 Yki 被羟基化的位点是 78。

【小问 4 详解】

该实验为了验证 KG 通过酶 PH4B 发挥作用，而非直接作用于 Yki，因此实验的自变量是酶 PH4B 的有无，因此对照组为野生型果蝇，实验组为 PH4B 缺失突变体果蝇，向对照组和实验组中添加等量的 KG，检测 Yki 蛋白质含量。结合第（2）小问分析，KG 处理后 Yki 蛋白含量降低，故实验组 PH4B 缺失突变体加入等量 KG，由于缺少酶 PH4B，KG 无法发挥作用，Yki 蛋白质含量应高于对照组。

【小问 5 详解】

与正常条件相比，果蝇在饥饿条件下 KG 含量增加导致细胞增殖减弱，细胞中的物质能量更多用于细胞呼吸等作用利于个体生存。

20. 【答案】（1）遗传物质

（2）磷酸二酯　　（3）　　①. F2+R2　　②. F1+F2　　③. 常染色体显性遗传病　　（4）ACD

【小问 1 详解】

人类遗传病是由遗传物质改变而引起的疾病，单基因遗传病、多基因遗传病、染色体异常遗传病等较为常见。

【小问 2 详解】

基因通常是具有遗传效应的 DNA 片段，在 DNA 中脱氧核苷酸之间通过磷酸二酯键相连，异常的 DMD 基因外显子 2 和 8 的内部存在两个断裂位点，此处的磷酸二酯键会发生水解。

【小问 3 详解】

由图可知，F1 位点为 60kb，断裂位点 1 位点为 520kb，R1 位点为 700kb，F2 位点为 1550kb，断裂位点 2 位点为 1750kb，R2 位点为 2000kb。对正常基因进行扩增，可产生三种长度的条带，以 F1+R1 为引物，扩增从 60 到 700，长度是 700-60=640kb，以 F2+R2 为引物，扩增从 1550 到 2000，长度是 2000-1550=450kb，以 F1+R2 为引物，扩增从 60 到 2000，长度是 2000-60=1940kb。异常基因是由正常基因的 2 个断裂位点之间的 DNA 片段整体发生 180°旋转，再重新连接形成，即 180（700-520）-850（1550-700）-200（1750-1550）变成 200-850-180，F2 在下侧，R1 在上侧。对异常基因进行扩增，以 F1+F2 为引物，长度是 460（F1 到断裂位点 1 的长度）+200（F2 到断裂位点 2 的长度）=660kb，以 R1+R2 为引物，长度是 180（断裂位点 1 到 R1 的长度）+250（断裂位点 2 到 R2 的长度）=430kb，以 F1+R2 为引物，长度是 460+200+850+180+250=1940kb。研究者使用两对引物组合（见图 2）对患儿的 DNA 进行 PCR，得到了长度分别为 450kb 和 660kb 的两条带，所使用的引物是 F2+R2 和 F1+F2。450kb 是正常基因扩增所得，660kb 是异常基因扩增所得，说明患儿一个是正常基因，一个是异常基因，是一个杂合子，杂合子患病，说明控制该病的基因是显性基因，若该基因在 X 染色体上，在遗传图谱中，II-1 的致病基因只会传给女儿，不会传给儿子III-2，所以推断该病为常染色体显性遗传病。

【小问 4 详解】

A、常染色体显性遗传病中，若家系原本无致病基因，患儿的致病突变可来源于亲代的新发突变。 II-1 发生基因突变，产生显性致病等位基因，就可能将致病基因传递给子代，导致患儿患病，A 正确；

B、染色体结构变异是染色体大片段的缺失、重复、倒位、易位等；而 DMD 基因的变化是单个基因内部的突变，属于基因突变，不属于染色体结构变异， B 错误；

C、患儿为杂合子（设为 Aa，A 为致病显性基因，a 为正常隐性基因），根据患儿的基因型可以推出患儿的父母中II-1 的基因型为 Aa，II-2 的基因型为 aa，再生一个孩子，子代基因型为 Aa（患病）的概率为 1/2，aa（正常）的概率为 1/2，C 正确；

D、常规产前 B 超仅能观察胎儿的形态结构，无法检测基因层面的突变，因此不能判断胎儿是否患有单基因遗传病（如 DMD），必须通过基因检测（如羊水穿刺、无创产前基因检测）确诊，D 正确。

21. 【答案】（1）限制酶和 DNA 连接酶

（2）更加灵敏，分级调节，放大调节效应

（3） ①. 保持 EL2 的低表达，使细胞始终含有少量 EL2，能够快速响应蓝光 ②. b ③. b ④. a ⑤. B ⑥. A ⑦. C

（4） ①. 黑暗 ②. 不添加 ③. 蓝光 ④. 添加

【小问 1 详解】

构建基因表达载体时，需要先用限制酶切割目的基因和载体，再用 DNA 连接酶连接目的基因与载体，因此需要这两种工具酶。

【小问 2 详解】

方案一仅依赖四环素单一诱导物调控基因表达，仅能实现 “四环素存在 / 不存在” 的二元调控。方案二引入了色氨酸操纵子，增加了色氨酸这一调控变量：只有同时存在四环素和色氨酸时，才能激活遗传逆变器，使紫色杆菌素基因表达；缺少任意一种诱导物，基因都无法有效表达。这种双诱导物的调控方式，实现了更复杂、更精准的逻辑控制，通过分级调节，放大调节效应，提升了调控的特异性和可控性。

【小问 3 详解】

质粒 2 中 ACT 为组成型弱启动子，可以使 EL2 基因处于低表达状态，使细胞始终产生少量 EL2 蛋白，这样就能够快速响应蓝光，从而激活 CYC 启动子。EL2 需要持续表达，才能在蓝光出现后激活 CYC，因此①处驱动 EL2 的启动子选用组成型 CYC 启动子；R2 需要仅在蓝光条件下表达，因此②处驱动 R2 的启动子选用蓝光可激活的 CYC（b）； R1 需要在非蓝光条件下持续表达，结合 Flo 上游的 O1 抑制 Flo，避免泄漏表达，因此③驱动 R1 的启动子选用组成型 ACT（a）； 序列上，O2 上游是调控蛋白 R2，O2 下游是 R1，Flo 上游需要放置 O1（被 R1 结合抑制 Flo），因此I为 R_2（B）、II为 R_1 （A）、III为 O_1（C）。

【小问 4 详解】

光照条件（黑暗）：此时启动子 CYC 不被激活，Flo（絮凝蛋白）基因不表达，工程菌不会发生凝集，保持悬浮状态，利于菌体生长和产物合成；色氨酸的情况下，会减轻了 R_1 与 O_1 序列的结合，导致生产紫色杆菌素生成减少，所以应该不添加色氨酸，从而解除抑制；分离阶段需要触发细菌凝集（蓝光触发 Flo 表达），不需要继续生产紫色杆菌素，因此条件为蓝光、添加色氨酸。