中六生物练习卷：孟德尔遗传与概率、DNA 结构与半保留复制、转录与翻译、基因突变与遗传病、哈迪—温伯格定律、重组 DNA 与 PCR、生态系统能量流动与碳循环、族群动态与生物多样性（100 分）

年级：中六 | 科目：生物 | 时限：75 分钟 | 总分：100 分 | 题数：24 | 答案版

A 部：孟德尔遗传与概率（17 分）

每题 4–5 分，须写出配子类型及比例。

#	题目	答案	分数
1	豌豆的种子形状（R 圆粒 > r 皱粒）与子叶颜色（Y 黄 > y 绿）独立遗传。两株 RrYy 杂交，共结出 240 粒种子。求四种表现型（圆黄、圆绿、皱黄、皱绿）的期望数目。	双杂交 F2 表现型比为 9:3:3:1，总份数 16。圆黄 = 240×9/16 = 135；圆绿 = 240×3/16 = 45；皱黄 = 45；皱绿 = 240×1/16 = 15。合计 240 粒。	4
2	把上述 240 粒种子分类，实际观察值为 圆黄 140、圆绿 42、皱黄 44、皱绿 14。用卡方检定 $\chi^2 = \Sigma(O-E)^2/E$ 计算 χ^2 值，并判断是否否定 9:3:3:1（自由度 3、p = 0.05 的临界值为 7.82）。	$\chi^2 = (140-135)^2/135 + (42-45)^2/45 + (44-45)^2/45 + (14-15)^2/15 = 0.185 + 0.200 + 0.022 + 0.067 = 0.474$。$0.474 < 7.82$，差异不显著，不能否定 9:3:3:1（结果与独立遗传相符）。	4
3	一株 RrYy 与隐性纯合株 rryy 测交，得 160 株后代。求四种表现型的期望数目及比例。	测交时 RrYy 产生 RY、Ry、rY、ry 四种配子各 1/4，rryy 只产生 ry 配子，故表现型比为 1:1:1:1，每种 = 160×1/4 = 40 株。	4
4	人类 ABO 血型由 IA、IB、i 三个等位基因决定。父母基因型为 IAi（A 型）与 IBi（B 型）。(a) 列出子女可能的基因型、血型及概率；(b) 若他们有 4 名子女，4 人全部为 O 型的概率是多少？	(a) 配子 IA/i × IB/i → IAIB（AB 型）1/4、IAi（A 型）1/4、IBi（B 型）1/4、ii（O 型）1/4。(b) 每次 1/4，4 人全部 O 型 = (1/4)^4 = 1/256 ≈ 0.39%。	5

B 部：DNA 结构、复制与蛋白质合成（17 分）

每题 4–5 分，碱基数目及氢键数目须列出计算式。

#	题目	答案	分数
5	一段双螺旋 DNA 长 1200 个碱基对，其中腺嘌呤（A）占全部碱基的 30%。求 A、T、G、C 的数目，并计算整段 DNA 的氢键总数（A—T 之间 2 条、G—C 之间 3 条）。	总碱基 = 1200×2 = 2400。A = T = 2400×30% = 720；G + C = 2400 − 2×720 = 960，故 G = C = 480。氢键 = 720×2 + 480×3 = 1440 + 1440 = 2880 条。	4
6	某多肽由 250 个氨基酸组成。(a) 编码该多肽的 mRNA 最少有多少个碱基（包括终止密码子）？(b) 对应的 DNA 模板股最少有多少个碱基？	(a) 每个氨基酸由 3 个碱基（一个密码子）编码：250×3 = 750，加 1 个终止密码子 3 个碱基 = 753。(b) mRNA 由模板股转录而来，碱基数相同，故模板股最少 753 个碱基。	4

7	DNA 以半保留方式复制。一个 DNA 分子连续复制 3 次。求 (a) 产生的 DNA 分子总数；(b) 含亲代（原有）DNA 链的分子数；(c) 新合成的 DNA 链总数。	(a) 2^3 = 8 个分子。(b) 每个分子保留一条原有链，原有两条链分别进入 2 个分子，故 2 个分子含亲代链。(c) 共 16 条链，其中 2 条为原有链，新合成 = 16 – 2 = 14 条。	4
8	描述 DNA 复制的三个主要步骤，解释为何复制需要 RNA 引物，并说明可用哪一种实验证明复制是半保留的。	①解旋：解旋酶打断碱基对之间的氢键，双螺旋解开成两条模板股。②互补配对：DNA 聚合酶以原有链为模板，按 A—T、G—C 配对加入游离脱氧核苷酸，方向只能 5′ →3′ ，故需一段 RNA 引物提供 3′ -OH 起点。③连接：DNA 连接酶把冈崎片段接成连续链。证据：梅塞尔森—斯塔尔实验——以大肠杆菌在 15N 培养基复制，再转入 14N，经密度梯度离心，第一代全部为中密度（一条重链一条轻链），证明半保留。	5

C 部：基因突变、遗传病与哈迪—温伯格定律（17 分）

每题 4–5 分，基因频率须以 q 及 p 表示。

#	题目	答案	分数
9	某隐性遗传病在族群中的发病率为 1/10,000，假设族群处于哈迪—温伯格平衡。求隐性等位基因频率 q、显性等位基因频率 p，以及带因者（heterozygote）的频率。	$q^2 = 1/10{,}000 = 0.0001 \rightarrow q = 0.01$；$p = 1 - q = 0.99$；带因者频率 $2pq = 2\times0.99\times0.01 = 0.0198 \approx 1.98\%$，即约每 50 人中有 1 人是带因者。	4
10	在一个 1000 人的族群中，有 40 人患某隐性病。假设族群处于哈迪—温伯格平衡，求 q、p 及带因者人数。	$q^2 = 40/1000 = 0.04 \rightarrow q = 0.2$；$p = 1 - 0.2 = 0.8$；带因者比例 $2pq = 2\times0.8\times0.2 = 0.32 \rightarrow 1000\times0.32 = 320$ 人。	4
11	某病为 X 连锁隐性遗传。母亲是带因者（X^A X^a），父亲正常（X^A Y）。求 (a) 儿子患病的概率；(b) 女儿患病的概率；(c) 每一名子女整体患病的概率。	母亲配子 X^A 或 X^a 各 1/2。(a) 儿子由母亲取 X：X^a Y 患病，概率 1/2。(b) 女儿由父亲取 X^A，必为 X^A X^A 或 X^A X^a，全部正常，患病概率 0。(c) 整体 = 1/2（生男）× 1/2（患病）= 1/4。	4
12	(a) 解释为何男性 X 连锁隐性病的发病率通常高于女性。(b) 以 q = 0.01 为例，比较带因者数目与患者数目，并据此解释为何近亲通婚会增加隐性病的风险。	(a) 男性只有一条 X 染色体（XY），一个隐性等位基因已无正常的对应等位基因遮盖，故即发病；女性有两条 X，需两个隐性等位基因（q^2）才发病。(b) q = 0.01 时患者（女性）频率 $q^2 = 0.0001$，带因者 $2pq = 0.0198$，带因者为患者的 0.0198/0.0001 = 198 倍。带因者外表正常却带隐性等位基因，近亲之间带有相同隐性等位基因的机会远高于随机婚配，两人同为带因者并产下患者的概率大增。	5

D 部：重组 DNA、PCR 与生物工程（17 分）

每题 4–5 分，答案须包括所用酶及步骤。

#	题目	答案	分数

13	一个质体（plasmid）长 4000 bp，插入一段 800 bp 的人类 cDNA 后形成重组质体。求重组质体的大小，并说明如何用凝胶电泳分辨重组与非重组质体。	重组质体 = 4000 + 800 = 4800 bp。电泳时 DNA 按大小分离，较大的分子移动较慢：非重组质体在 4000 bp 位置，重组质体在 4800 bp 位置（并可用同一限制酶切回 4000 bp 与 800 bp 两条带确认）。	4
14	聚合酶连锁反应（PCR）由 1 个 DNA 模板分子开始，经过 30 个循环。求扩增后的 DNA 分子数目。	每循环数量加倍，故分子数 = 2^30 = 1073741824 个（约 1.07×10^9 个）。	4
15	大肠杆菌在适温下每 0.5 小时分裂一次。由 1 个细胞开始，培养 4 小时。求 (a) 细胞数目；(b) 若每个细胞可生产 5000 个胰岛素分子，总产量为多少？	(a) 分裂次数 = 4/0.5 = 8 代，细胞数 = 2^8 = 256 个。(b) 总产量 = 256×5000 = 1280000 个分子。	4
16	说明利用细菌生产人类胰岛素的四个主要步骤，并解释为何要使用 cDNA 而非人类基因组 DNA。	①从胰岛 β 细胞抽取 mRNA，用反转录酶合成 cDNA。②用限制酶切开质体与 cDNA，以 DNA 连接酶接合，形成重组质体。③把重组质体导入大肠杆菌（转化），用抗生素抗性基因筛选成功转化的菌落。④大量发酵培养，收集并纯化胰岛素。用 cDNA 的原因：人类基因组 DNA 含内含子（introns），大肠杆菌没有剪接机制，会把内含子当作编码序列，产生错误的多肽；cDNA 由成熟 mRNA 反转录而来，已去除内含子，可正确翻译。	5

E 部：生态系统能量流动与碳循环（16 分）

每题 4 分，能量单位用 kJ m⁻² yr⁻¹。

#	题目	答案	分数
17	某生态系统的生产者每年每平方米固定 250000 kJ 能量。假设相邻营养级之间的能量传递效率为 10%。求初级、次级及三级消费者每年每平方米可得的能量。	初级消费者 = 250000×10% = 25000 kJ；次级 = 25000×10% = 2500 kJ；三级 = 2500×10% = 250 kJ。	4
18	某生态系统每年吸收 20000 kJ 光能，总初级生产量（GPP）为 2000 kJ，生产者的呼吸作用消耗 1200 kJ。求 (a) 光合作用效率；(b) 净初级生产量（NPP）。	(a) 效率 = GPP/吸收光能 × 100% = 2000/20000 × 100% = 10.0%。(b) NPP = GPP − 呼吸 = 2000 − 1200 = 800 kJ。	4
19	若某三级消费者每年需要 50 kJ 能量，且能量传递效率为 10%，求生产者最少要固定多少能量？并解释其余能量的去向。	三级消费者为第四营养级，效率为 $0.1^3 = 0.001$，故生产者需 50/0.001 = 50000 kJ。其余约 90% 能量在每一级以呼吸作用产生的热散失，部分随排泄物（粪便、尿液）及未摄食的身体部分（毛、骨）流失，亦有些以热能形式在食物链中消散，不能循环再用。	4

20	说明碳循环中光合作用、呼吸作用、分解作用及燃烧化石燃料各自的角色，并据能量流动解释为何食物链通常只有 4 至 5 级。	光合作用：生产者把大气 CO_2 固定为有机碳（碳水化合物），是碳进入生物界的唯一主要途径。呼吸作用：所有生物把有机碳氧化，释放 CO_2 回大气并取得能量。分解作用：分解者把尸体与排泄物中的有机碳分解，释放 CO_2 及矿物质回环境。燃烧化石燃料：把长期封存的碳以 CO_2 形式快速释放，是大气 CO_2 上升的主因。食物链短的原因：能量每传一级只保留约 10%%，其余 90%% 以呼吸热等形式流失，到第四、五级所剩能量已不足以支撑具繁殖能力的族群，故食物链很少超过 5 级。	4

F 部：族群动态与生物多样性（16 分）

每题 4 分，须列出公式及假设。

#	题目	答案	分数
21	用标记重捕法估算族群大小：先捕捉 40 只蜗牛，标记后放回；一周后再捕 36 只，其中 12 只带标记。用林肯指数 N = (M×C)/R 估算族群大小。	N = (M×C)/R = (40×36)/12 = 1440/12 = 120 只。假设标记不影响生存及被捕机会，且族群无迁入迁出。	4
22	用样方调查草地植物：随机放置 50 个面积 0.5 m² 的样方，平均每样方有 4.2 株目标植物。求 (a) 族群密度（株 m⁻²）；(b) 面积 2000 m² 的整片草地上的估计总数。	(a) 密度 = 4.2/0.5 = 8.4 株 m^{-2}。(b) 总数 = 8.4×2000 = 16800 株（样方总面积 50×0.5 = 25 m²，平均密度由此换算）。	4
23	某族群一年内由 1200 只增至 1560 只，假设无迁入迁出。求 (a) 族群增长率（%）；(b) 人均增长率 r；(c) 按 t = ln2/r 估算倍增时间（取 2 位小数）。	(a) 增长 = 1560 − 1200 = 360；增长率 = 360/1200 × 100% = 30%。(b) r = 360/1200 = 0.3。(c) t = ln2/0.3 = 0.693/0.3 ≈ 2.31 年。	4
24	(a) 列出生物多样性的三个层次并各举一例。(b) 说明为何生物多样性较高的生态系统对环境改变的抵抗力较强（举两个理由）。	(a) ①遗传多样性：同一物种内不同个体间的基因差异，例如不同品种稻米有抗病基因差异。②物种多样性：一个群落中物种的数目及相对丰度，例如珊瑚礁有大量鱼类及无脊椎动物。③生态系统多样性：不同类型的生境与生态系统，例如香港同时有淡水湿地、红树林与山地森林。(b) ①功能冗余：多个物种占相似生态位，部分物种消失后其功能仍由其他物种维持，食物网不易崩解。②食物网较复杂：捕食者与猎物有多条替代路径，环境改变时能量与物质流动仍可维持，族群较不易连锁灭绝。	4