中六生物練習卷：孟德爾遺傳與概率、DNA 結構與半保留複製、轉錄與翻譯、基因突變與遺傳病、哈迪—溫伯格定律、重組 DNA 與 PCR、生態系統能量流動與碳循環、族群動態與生物多樣性（100 分）

年級：中六 ｜ 科目：生物 ｜ 時限：75 分鐘 ｜ 總分：100 分 ｜ 題數：24 ｜ 答案版

A 部：孟德爾遺傳與概率（17 分）

每題 4–5 分，須寫出配子類型及比例。

#	題目	答案	分數
1	豌豆的種子形狀（R 圓粒 > r 皺粒）與子葉顏色（Y 黃 > y 綠）獨立遺傳。兩株 RrYy 雜交，共結出 240 粒種子。求四種表現型（圓黃、圓綠、皺黃、皺綠）的期望數目。	雙雜交 F2 表現型比為 9:3:3:1，總份數 16。圓黃 = 240×9/16 = 135；圓綠 = 240×3/16 = 45；皺黃 = 45；皺綠 = 240×1/16 = 15。合計 240 粒。	4
2	把上述 240 粒種子分類，實際觀察值為 圓黃 140、圓綠 42、皺黃 44、皺綠 14。用卡方檢定 $\chi^2 = \Sigma(O–E)^2/E$ 計算 χ^2 值，並判斷是否否定 9:3:3:1（自由度 3、p = 0.05 的臨界值為 7.82）。	$\chi^2 = (140–135)^2/135 + (42–45)^2/45 + (44–45)^2/45 + (14–15)^2/15 = 0.185 + 0.200 + 0.022 + 0.067 = 0.474$。$0.474 < 7.82$，差異不顯著，不能否定 9:3:3:1（結果與獨立遺傳相符）。	4
3	一株 RrYy 與隱性純合株 rryy 測交，得 160 株後代。求四種表現型的期望數目及比例。	測交時 RrYy 產生 RY、Ry、rY、ry 四種配子各 1/4，rryy 只產生 ry 配子，故表現型比為 1:1:1:1，每種 = 160×1/4 = 40 株。	4
4	人類 ABO 血型由 IA、IB、i 三個等位基因決定。父母基因型為 IAi（A 型）與 IBi（B 型）。(a) 列出子女可能的基因型、血型及概率；(b) 若他們有 4 名子女，4 人全部為 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 結構、複製與蛋白質合成（17 分）

每題 4–5 分，鹼基數目及氫鍵數目須列出計算式。

#	題目	答案	分數
5	一段雙螺旋 DNA 長 1200 個鹼基對，其中腺嘌呤（A）佔全部鹼基的 30%。求 A、T、G、C 的數目，並計算整段 DNA 的氫鍵總數（A—T 之間 2 條、G—C 之間 3 條）。	總鹼基 = 1200×2 = 2400。A = T = 2400×30% = 720；G + C = 2400 − 2×720 = 960，故 G = C = 480。氫鍵 = 720×2 + 480×3 = 1440 + 1440 = 2880 條。	4
6	某多肽由 250 個氨基酸組成。(a) 編碼該多肽的 mRNA 最少有多少個鹼基（包括終止密碼子）？(b) 對應的 DNA 模板股最少有多少個鹼基？	(a) 每個氨基酸由 3 個鹼基（一個密碼子）編碼：250×3 = 750，加 1 個終止密碼子 3 個鹼基 = 753。(b) mRNA 由模板股轉錄而來，鹼基數相同，故模板股最少 753 個鹼基。	4

7	DNA 以半保留方式複製。一個 DNA 分子連續複製 3 次。求 (a) 產生的 DNA 分子總數；(b) 含親代（原有）DNA 鏈的分子數；(c) 新合成的 DNA 鏈總數。	(a) 2^3 = 8 個分子。(b) 每個分子保留一條原有鏈，原有兩條鏈分別進入 2 個分子，故 2 個分子含親代鏈。(c) 共 16 條鏈，其中 2 條為原有鏈，新合成 = 16 – 2 = 14 條。	4
8	描述 DNA 複製的三個主要步驟，解釋為何複製需要 RNA 引物，並說明可用哪一種實驗證明複製是半保留的。	①解旋：解旋酶打斷鹼基對之間的氫鍵，雙螺旋解開成兩條模板股。②互補配對：DNA 聚合酶以原有鏈為模板，按 A—T、G—C 配對加入游離脫氧核苷酸，方向只能 5′ →3′ ，故需一段 RNA 引物提供 3′ -OH 起點。③連接：DNA 連接酶把岡崎片段接成連續鏈。證據：梅塞爾森—斯塔爾實驗——以大腸桿菌在 15N 培養基複製，再轉入 14N，經密度梯度離心，第一代全部為中密度（一條重鏈一條輕鏈），證明半保留。	5

C 部：基因突變、遺傳病與哈迪—溫伯格定律（17 分）

每題 4–5 分，基因頻率須以 q 及 p 表示。

#	題目	答案	分數
9	某隱性遺傳病在族群中的發病率為 1/10,000，假設族群處於哈迪—溫伯格平衡。求隱性等位基因頻率 q、顯性等位基因頻率 p，以及帶因者（heterozygote）的頻率。	$q^2 = 1/10{,}000 = 0.0001 \rightarrow q = 0.01$；$p = 1 - q = 0.99$；帶因者頻率 $2pq = 2\times0.99\times0.01 = 0.0198 \approx 1.98\%$，即約每 50 人中有 1 人是帶因者。	4
10	在一個 1000 人的族群中，有 40 人患某隱性病。假設族群處於哈迪—溫伯格平衡，求 q、p 及帶因者人數。	$q^2 = 40/1000 = 0.04 \rightarrow q = 0.2$；$p = 1 - 0.2 = 0.8$；帶因者比例 $2pq = 2\times0.8\times0.2 = 0.32 \rightarrow 1000\times0.32 = 320$ 人。	4
11	某病為 X 連鎖隱性遺傳。母親是帶因者（X^A X^a），父親正常（X^A Y）。求 (a) 兒子患病的概率；(b) 女兒患病的概率；(c) 每一名子女整體患病的概率。	母親配子 X^A 或 X^a 各 1/2。(a) 兒子由母親取 X：X^a Y 患病，概率 1/2。(b) 女兒由父親取 X^A，必為 X^A X^A 或 X^A X^a，全部正常，患病概率 0。(c) 整體 = 1/2（生男）× 1/2（患病）= 1/4。	4
12	(a) 解釋為何男性 X 連鎖隱性病的發病率通常高於女性。(b) 以 q = 0.01 為例，比較帶因者數目與患者數目，並據此解釋為何近親通婚會增加隱性病的風險。	(a) 男性只有一條 X 染色體（XY），一個隱性等位基因已無正常的對應等位基因遮蓋，故即發病；女性有兩條 X，需兩個隱性等位基因（q^2）才發病。(b) q = 0.01 時患者（女性）頻率 $q^2 = 0.0001$，帶因者 $2pq = 0.0198$，帶因者為患者的 0.0198/0.0001 = 198 倍。帶因者外表正常卻帶隱性等位基因，近親之間帶有相同隱性等位基因的機會遠高於隨機婚配，兩人同為帶因者並產下患者的概率大增。	5

D 部：重組 DNA、PCR 與生物工程（17 分）

每題 4–5 分，答案須包括所用酶及步驟。

#	題目	答案	分數

13	一個質體（plasmid）長 4000 bp，插入一段 800 bp 的人類 cDNA 後形成重組質體。求重組質體的大小，並說明如何用凝膠電泳分辨重組與非重組質體。	重組質體 = 4000 + 800 = 4800 bp。電泳時 DNA 按大小分離，較大的分子移動較慢：非重組質體在 4000 bp 位置，重組質體在 4800 bp 位置（並可用同一限制酶切回 4000 bp 與 800 bp 兩條帶確認）。	4
14	聚合酶連鎖反應（PCR）由 1 個 DNA 模板分子開始，經過 30 個循環。求擴增後的 DNA 分子數目。	每循環數量加倍，故分子數 = 2^30 = 1073741824 個（約 1.07×10^9 個）。	4
15	大腸桿菌在適溫下每 0.5 小時分裂一次。由 1 個細胞開始，培養 4 小時。求 (a) 細胞數目；(b) 若每個細胞可生產 5000 個胰島素分子，總產量為多少？	(a) 分裂次數 = 4/0.5 = 8 代，細胞數 = 2^8 = 256 個。(b) 總產量 = 256×5000 = 1280000 個分子。	4
16	說明利用細菌生產人類胰島素的四個主要步驟，並解釋為何要使用 cDNA 而非人類基因組 DNA。	①從胰島 β 細胞抽取 mRNA，用反轉錄酶合成 cDNA。②用限制酶切開質體與 cDNA，以 DNA 連接酶接合，形成重組質體。③把重組質體導入大腸桿菌（轉化），用抗生素抗性基因篩選成功轉化的菌落。④大量發酵培養，收集並純化胰島素。用 cDNA 的原因：人類基因組 DNA 含內含子（introns），大腸桿菌沒有剪接機制，會把內含子當作編碼序列，產生錯誤的多肽；cDNA 由成熟 mRNA 反轉錄而來，已去除內含子，可正確翻譯。	5

E 部：生態系統能量流動與碳循環（16 分）

每題 4 分，能量單位用 kJ m⁻² yr⁻¹。

#	題目	答案	分數
17	某生態系統的生產者每年每平方米固定 250000 kJ 能量。假設相鄰營養級之間的能量傳遞效率為 10%。求初級、次級及三級消費者每年每平方米可得的能量。	初級消費者 = 250000×10% = 25000 kJ；次級 = 25000×10% = 2500 kJ；三級 = 2500×10% = 250 kJ。	4
18	某生態系統每年吸收 20000 kJ 光能，總初級生產量（GPP）為 2000 kJ，生產者的呼吸作用消耗 1200 kJ。求 (a) 光合作用效率；(b) 淨初級生產量（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	若某三級消費者每年需要 50 kJ 能量，且能量傳遞效率為 10%，求生產者最少要固定多少能量？並解釋其餘能量的去向。	三級消費者為第四營養級，效率為 $0.1^3 = 0.001$，故生產者需 50/0.001 = 50000 kJ。其餘約 90% 能量在每一級以呼吸作用產生的熱散失，部分隨排泄物（糞便、尿液）及未攝食的身體部分（毛、骨）流失，亦有些以熱能形式在食物鏈中消散，不能循環再用。	4

20	說明碳循環中光合作用、呼吸作用、分解作用及燃燒化石燃料各自的角色，並據能量流動解釋為何食物鏈通常只有 4 至 5 級。	光合作用：生產者把大氣 CO_2 固定為有機碳（碳水化合物），是碳進入生物界的唯一主要途徑。呼吸作用：所有生物把有機碳氧化，釋放 CO_2 回大氣並取得能量。分解作用：分解者把屍體與排泄物中的有機碳分解，釋放 CO_2 及礦物質回環境。燃燒化石燃料：把長期封存的碳以 CO_2 形式快速釋放，是大氣 CO_2 上升的主因。食物鏈短的原因：能量每傳一級只保留約 10%%，其餘 90%% 以呼吸熱等形式流失，到第四、五級所剩能量已不足以支撐具繁殖能力的族群，故食物鏈很少超過 5 級。	4

F 部：族群動態與生物多樣性（16 分）

每題 4 分，須列出公式及假設。

#	題目	答案	分數
21	用標記重捕法估算族群大小：先捕捉 40 隻蝸牛，標記後放回；一週後再捕 36 隻，其中 12 隻帶標記。用林肯指數 N = (M×C)/R 估算族群大小。	N = (M×C)/R = (40×36)/12 = 1440/12 = 120 隻。假設標記不影響生存及被捕機會，且族群無遷入遷出。	4
22	用樣方調查草地植物：隨機放置 50 個面積 0.5 m² 的樣方，平均每樣方有 4.2 株目標植物。求 (a) 族群密度（株 m⁻²）；(b) 面積 2000 m² 的整片草地上的估計總數。	(a) 密度 = 4.2/0.5 = 8.4 株 m⁻²。(b) 總數 = 8.4×2000 = 16800 株（樣方總面積 50×0.5 = 25 m²，平均密度由此換算）。	4
23	某族群一年內由 1200 隻增至 1560 隻，假設無遷入遷出。求 (a) 族群增長率（%）；(b) 人均增長率 r；(c) 按 t = ln2/r 估算倍增時間（取 2 位小數）。	(a) 增長 = 1560 − 1200 = 360；增長率 = 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) 列出生物多樣性的三個層次並各舉一例。(b) 說明為何生物多樣性較高的生態系統對環境改變的抵抗力較強（舉兩個理由）。	(a) ①遺傳多樣性：同一物種內不同個體間的基因差異，例如不同品種稻米有抗病基因差異。②物種多樣性：一個群落中物種的數目及相對豐度，例如珊瑚礁有大量魚類及無脊椎動物。③生態系統多樣性：不同類型的生境與生態系統，例如香港同時有淡水濕地、紅樹林與山地森林。(b) ①功能冗餘：多個物種佔相似生態位，部分物種消失後其功能仍由其他物種維持，食物網不易崩解。②食物網較複雜：捕食者與獵物有多條替代路徑，環境改變時能量與物質流動仍可維持，族群較不易連鎖滅絕。	4