中六生物練習卷：遺傳、DNA 與進化

中六（S6）　生物　｜　時限：75 分鐘　｜　總分：100 分　｜　共 12 題

甲部：孟德爾遺傳與卡方檢定（第 1 – 4 題）

全部題目均須作答；計算題須列出算式、代入步驟及單位。

1. 豌豆的莖高由一對等位基因控制，高莖（T）對矮莖（t）顯性。兩株高莖豌豆互相雜交，兩親本基因型同為 Tt，共產生 400 株後代，其中高莖 300 株、矮莖 100 株。(a) 寫出此雜交後代理論上的基因型比例。(b) 以 400 株為基數，計算高莖與矮莖的理論數目。(c) 在全部高莖後代中，純合高莖（TT）所佔的比例是多少？(d) 若只得到 40 株後代，高莖數目是否必然為 30 株？解釋你的答案。

答案：(a) TT : Tt : tt = 1 : 2 : 1，即 TT 佔 1/4、Tt 佔 2/4、tt 佔 1/4。(b) 高莖 = 400 × 3/4 = 300 株；矮莖 = 400 × 1/4 = 100 株。(c) 高莖後代中 TT : Tt = 1 : 2，故純合高莖佔 0.333（即 1/3）。(d) 不是必然。每個後代的基因型是獨立的隨機組合，屬二項分佈；40 株時高莖的期望值是 30 株，但實際可以是 26 株或 34 株。只有樣本足夠大時，觀察比例才接近 3 : 1，偏差是否顯著須用卡方檢定判斷。評分要點：(a) 2 分；(b) 2 分；(c) 2 分；(d) 結論 1 分、解釋隨機抽樣與期望值 2 分。

2. 豌豆種子的形狀（圓 R 對皺 r 顯性）與子葉顏色（黃 Y 對綠 y 顯性）由兩對位於不同染色體上的等位基因控制。兩株基因型均為 RrYy 的植株雜交，共產生 1600 粒種子。(a) 寫出子二代四種表現型的理論比例。(b) 計算四種表現型各自的理論數目。(c) 計算重組型（圓皺與皺綠）合計所佔的比例及數目。(d) 為甚麼兩對基因位於不同對染色體，是得出 9 : 3 : 3 : 1 的必要條件？

答案：(a) 圓黃 : 圓皺 : 皺黃 : 皺綠 = 9 : 3 : 3 : 1，此為雙基因雜交的典型結果。(b) 圓黃 = 1600 × 9/16 = 900 粒；圓皺 = 1600 × 3/16 = 300 粒；皺黃 = 1600 × 3/16 = 300 粒；皺綠 = 1600 × 1/16 = 100 粒。(c) 重組型比例 = 3/16 + 3/16 = 0.375，數目 = 1600 × 0.375 = 600 粒。(d) 因為兩對基因位於不同對染色體，減數分裂時它們獨立分配，四種配子 RY、Ry、rY、ry 各佔 1/4；若兩基因連鎖在同一染色體上，配子比例會偏離 1 : 1 : 1 : 1，子代表現型比例就不再是 9 : 3 : 3 : 1。評分要點：(a) 2 分；(b) 3 分；(c) 2 分；(d) 獨立分配與配子比例 2 分。

3. 一隻黑色雄鼠與一隻棕色雌鼠交配。毛色由一對等位基因控制，黑色（B）對棕色（b）顯性。該次交配共產生 160 隻後代，其中黑色 80 隻、棕色 80 隻。(a) 推斷雄鼠與雌鼠的基因型，並解釋你的推理。(b) 這種交配設計在遺傳學上稱為甚麼？它的作用是甚麼？(c) 若雄鼠的基因型其實是 BB，後代會出現怎樣的表現型及數目？(d) 寫出 (a) 中各基因型後代的理論數目。

答案：(a) 雌鼠必為 bb（棕色必為純合隱性）。後代出現棕色 bb，每一隻棕色後代都從父方得到一個 b，所以雄鼠必帶 b；雄鼠表現黑色，故其基因型為 Bb。核對：Bb × bb 後代理論 1 Bb : 1 bb，即黑色與棕色各佔一半，160 隻時各 80 隻，與觀察相符。(b) 稱為測交（test cross），即把待測個體與隱性純合子交配，由後代表現型比例反推待測個體的基因型。(c) BB × bb 的全部後代均為 Bb，表現型全為黑色，即黑色 160 隻、棕色 0 隻。(d) Bb 80 隻、bb 80 隻。評分要點：(a) 兩個基因型各 1 分、推理 2 分；(b) 名稱 1 分、作用 1 分；(c) 2 分；(d) 1 分。

4. 園藝學家把兩株開粉紅花的植物雜交，遺傳假說預期後代紅 : 粉紅 : 白 = 1 : 2 : 1。 實際觀察共 720 株：紅 190 株、粉紅 355 株、白 175 株。 (a) 按 1 : 2 : 1 計算三個表現型的期望數目。 (b) 計算卡方值（取二位小數）。 (c) 自由度是多少？在 5% 顯著水平下臨界值為 5.99，應否拒絕此遺傳假說？ (d) 若結論是不拒絕假說，這是否證明假說正確？解釋。

答案：(a) 紅 = 720 ÷ 4 = 180 株；粉紅 = 720 × 2/4 = 360 株；白 = 180 株。 (b) $\chi^2 = (O - E)^2 / E$ 之和 = $(190-180)^2/180 + (355-360)^2/360 + (175-180)^2/180 = 100/180 + 25/360 + 25/180 = 0.76$。 (c) 自由度 = 類別數 − 1 = 2。計算值 0.76 小於臨界值 5.99，故不拒絕此遺傳假說。 (d) 不拒絕並不等於證明假說正確；它只表示現有數據與 1 : 2 : 1 沒有顯著差異。樣本增大後仍可能出現顯著偏差， 而且其他假說亦可能符合數據，所以只能說「與假說相容」。 評分要點：(a) 2 分；(b) 公式 1 分、代入與答案 2 分；(c) 自由度 1 分、判斷 1 分；(d) 1 分。

乙部：族羣遺傳、DNA 與蛋白質合成（第 5 – 8 題）

提示：卡方自由度為 2 時，5% 顯著水平的臨界值為 5.99；哈地－溫伯格平衡下隱性純合子頻率為 q^2。

5. 某隱性遺傳病在一個大型族羣中的發病率為每 10,000 人 1 人。假設該族羣符合哈地－溫伯格平衡 （隨機交配、無突變、無遷移、無自然選擇）。 (a) 求隱性等位基因頻率 q 及顯性等位基因頻率 p。 (b) 求帶因者（雜合子）的頻率，以百分比表示。 (c) 在 50,000 人的族羣中，估計帶因者人數。 (d) 為甚麼帶因者人數遠多於患者？這對隱性遺傳病的防治有甚麼意義？

答案：(a) 患者的基因型頻率 = $q^2 = 1/10{,}000$，故 $q = \sqrt{1/10{,}000} = 0.0100$， $p = 1 - q = 0.99$。 (b) 帶因者頻率 = $2pq = 2 \times 0.99 \times 0.0100 = 0.0198$，即約 1.98%。 (c) 帶因者人數 = $50{,}000 \times 0.0198 = 990$ 人。 (d) 因為帶因者只有一個致病等位基因，隱性致病等位基因不表現，故不被選擇淘汰； 其頻率由 2pq 決定而不是 q^2，而 p 接近 1 時 2pq 遠大於 q^2（本例相差約 198 倍）。 意義：單靠檢查患者無法找出帶因者，須做帶因者篩查與遺傳諮詢，才能估計下一代患病風險。 評分要點：(a) 2 分；(b) 2 分；(c) 2 分；(d) 比較 2pq 與 q^2 2 分、防治意義 1 分。

6. 一段雙股 DNA 分子長 3000 個鹼基對。化學分析顯示腺嘌呤（A）佔全部鹼基的 28%。 (a) 求胸腺嘧啶（T）、鳥嘌呤（G）、胞嘧啶（C）各佔全部鹼基的百分比。 (b) 計算此 DNA 分子中 G 的實際數目。 (c) 若其中一股的 A 佔該股鹼基的 20%，另一股的 A 佔該股鹼基的多少？ (d) 只根據鹼基組成比例，能否判斷此 DNA 來自人類還是細菌？解釋。

答案：(a) 雙股 DNA 中 A = T，故 T 亦佔 28%。其餘 G + C = 100% − 2 × 28% = 44%， 因 G = C，故 G = C = 22%。 (b) 全部鹼基數目 = 3000 × 2 = 6000 個，G 的數目 = 6000 × 0.22 = 1320 個。 (c) 一股有 3000 個鹼基，該股 A = 3000 × 0.20 = 600 個； 全部 A = 1680 個，故另一股 A = 1680 − 600 = 1080 個， 佔該股 36%。 (d) 不能。鹼基組成比例（A + T 與 G + C 的比例）並無物種特異性，不同生物的數值可以相近； 要判斷來源須比較實際鹼基序列，人類與細菌的基因組大小及序列差異極大。 評分要點：(a) 3 分；(b) 2 分；(c) 2 分；(d) 1 分。

7. 梅塞爾森與斯塔爾把大腸桿菌先在含重氮（15N）的培養基中培養多代，再轉移到只含 14N 的培養基， 細菌每 20 分鐘繁殖一代。 (a) 第 1 代、第 2 代、第 3 代時，DNA 分子總數及其中雜合（15N/14N）分子的數目各是多少？ (b) 第 3 代時，雜合分子佔全部 DNA 分子的百分比是多少？ (c) 實驗結果支持哪一種複製模式？試以第 1 代的結果說明。 (d) 若 DNA 採用保守式複製，第 1 代應觀察到甚麼結果？

答案：(a) 第 1 代：2 個分子，全部 2 個為雜合；第 2 代：4 個分子，雜合 2 個； 第 3 代：8 個分子，雜合 2 個。（每代雜合分子數目恆為 2，總數每代倍增。） (b) 25%（2 ÷ 8）。 (c) 支持半保留式複製。第 1 代全部 DNA 都是 15N/14N 雜合分子，說明每個子代分子保留了一條親代（15N）股， 另一條是新合成的（14N）股，因此沒有全重或全輕的分子。 (d) 保守式複製下，親代雙股完整保留，另一分子全由新原料合成，故第 1 代應見到 1 個全 15N（重）分子與 1 個全 14N（輕）分子，並無雜合分子，與實驗不符。 評分要點：(a) 3 分；(b) 1 分；(c) 模式 1 分、解釋 2 分；(d) 2 分。

8. 一段 mRNA 長 300 個核苷酸（不計多腺苷酸尾巴），其 3′ 端含一個終止密碼子，其餘為編碼序列。 (a) 此 mRNA 含有多少個密碼子？ (b) 可翻譯成多少個氨基酸？ (c) 若在編碼區中間插入一個核苷酸，翻譯產物通常會怎樣？為甚麼？ (d) 若模板股上有一個鹼基由 T 變成 C，mRNA 上的鹼基會怎樣改變？這是否一定導致氨基酸改變？

答案：(a) 密碼子數目 = 300 ÷ 3 = 100 個（含終止密碼子）。 (b) 終止密碼子不編碼氨基酸，故氨基酸數目 = 100 − 1 = 99 個。 (c) 會發生移碼突變：插入一個核苷酸後，插入點之後的讀框全部改變，之後的密碼子全部重新解讀，氨基酸序列大幅改變，通常產生過早終止的無功能蛋白。 (d) 模板股 T 變成 C，按互補規則 mRNA 上相應位置由 A 變成 G。 不一定。遺傳密碼有簡併性，多個密碼子可編碼同一氨基酸，尤其是第三位鹼基的改變常屬沉默突變； 若新密碼子編碼不同氨基酸則為錯義突變，亦可能變成終止密碼子造成無義突變。 評分要點：(a) 1 分；(b) 1 分；(c) 移碼概念 2 分、後果 2 分；(d) 鹼基改變 1 分、簡併性解釋 2 分。

丙部：顯微測量、血型、演化與生態調查（第 9 – 12 題）

答案數值取三位有效數字；概率須同時以分數及小數表示。

9. 學生用光學顯微鏡觀察葉的橫切面。某細胞的長度在目鏡測微尺上佔 45 小格， 而在該總放大倍數下每小格代表 20 μm。 (a) 求該細胞的實際長度（μm）。 (b) 該細胞在顯微照片上長 45 mm，求照片相對實物的放大率。 (c) 學生把物鏡由 10× 換成 40×，目鏡仍為 10×。求更換前後的總放大率，並說明視野直徑如何改變。 (d) 計算視野面積縮小的倍數。

答案：(a) 實際長度 = 45 × 20 μm = 900 μm（即 0.90 mm）。 (b) 放大率 = 影像長度 ÷ 實際長度 = 45 mm ÷ 0.90 mm = 50 倍。 (c) 更換前 = 10 × 10 = 100 倍；更換後 = 10 × 40 = 400 倍。 放大率增大為 4 倍，視野直徑縮小為原來的 1/4。 (d) 視野面積與直徑的平方成正比，故面積縮小 = 4^2 = 16 倍，即可見範圍只有原來的 1/16。 評分要點：(a) 2 分；(b) 公式與答案 2 分；(c) 兩個放大率 2 分、視野直徑 1 分；(d) 1 分。

10. 人類 ABO 血型由 IA、IB、i 三個等位基因控制，IA 與 IB 為共顯性，i 為隱性。一名 AB 型男子與一名 O 型女子結婚。(a) 寫出兩人及可能出現的子代基因型。(b) 求子代四種血型（A、B、AB、O）的比例。(c) 他們計劃生三個孩子，求至少有一個孩子為 B 型的概率。(d) 若該男子實為 A 型（基因型 IAi），與同一名女子所生子女的血型比例會是怎樣？

答案：(a) 男子 IAIB，女子 ii。子代只能是 IAi（A 型）或 IBi（B 型），不會出現 IAIA、IBIB、IAIB 或 ii。(b) A 型 : B 型 : AB 型 : O 型 = 1 : 1 : 0 : 0，即各 50%。(c) 每個孩子為 B 型的概率 = 0.5，三個孩子全不是 B 型的概率 = $(0.5)^3 = 0.125$，故至少一個為 B 型的概率 = $1 - 0.125 = 0.875$（即 7/8）。(d) IAi × ii 得 IAi 與 ii 各半，即 A 型 50%、O 型 50%，不會出現 B 型或 AB 型。評分要點：(a) 2 分；(b) 2 分；(c) 2 分；(d) 2 分。

11. 某島上蜥蜴族羣的體色由一對等位基因控制，深色（D）對淺色（d）顯性。1970 年深色等位基因 D 的頻率為 0.35；2010 年再調查，D 的頻率升至 0.62。(a) 求 1970 年與 2010 年淺色等位基因 d 的頻率。(b) 計算 D 的頻率在這 40 年間的相對變化百分比（取三位有效數字）。(c) 若族羣大小維持 2,000 隻，並符合哈地－溫伯格平衡，求 2010 年淺色個體的數目。(d) 提出一個能解釋此變化的選擇壓力，並說明它如何改變表現型的頻率。

答案：(a) 1970 年 d 的頻率 = 1 − 0.35 = 0.65；2010 年 d 的頻率 = 1 − 0.62 = 0.38。(b) 相對變化 = (0.62 − 0.35) ÷ 0.35 × 100% = 77.1%，即上升約 77.1%。(c) 淺色個體為 dd，頻率 = $q^2 = 0.38^2 = 0.1444$，數目 = 2,000 × 0.1444 = 288.8，約 289 隻。(d) 例如：島上巖石在 1970 年後因火山活動變深色。深色蜥蜴在深色背景較難被鳥類發現，存活率與繁殖成功率較高，留下較多後代；淺色個體被捕食機會較大，d 等位基因被逐步移除，於是深色表現型的比例上升，D 的頻率由 0.35 升至 0.62，此即天擇下的定向選擇。評分要點：(a) 2 分；(b) 2 分；(c) 2 分；(d) 壓力 1 分、機制 1 分。

12. 生態學家在一個面積 0.25 km² 的樣區用標記重捕法估算蝸牛數目。第一次捕捉 120 隻，全部標記後放回；一星期後再捕捉 150 隻，其中 18 隻帶有標記。(a) 估算樣區內蝸牛的總數。(b) 計算族羣密度（隻 km⁻²）。(c) 列出兩個會令此估算偏高的因素。(d) 若第二次捕捉的 150 隻中有 30 隻帶標記，估算值會變成多少？這可能代表甚麼？

答案：(a) 總數 N = (第一次標記數 × 第二次捕捉數) ÷ 第二次帶標記數 = (120 × 150) ÷ 18 = 1000 隻。(b) 密度 = 1000 ÷ 0.25 km² = 4000 隻 km⁻²。(c) 任何令「第二次樣本中帶標記比例偏低」的因素都會令估算偏高，例如：①標記物令蝸牛更易被天敵發現或影響活動，帶標記個體死亡率較高；②標記後個體受驚而離開樣區，或標記個體較難再被捕（陷阱 shy）；③第一次捕捉後族羣有大量新個體遷入，令帶標記比例被稀釋。(d) N = (120 × 150) ÷ 30 = 600 隻。估算值下降，可能代表族羣實際較小，亦可能是標記物脫落、或帶標記個體較顯眼而增加被捕機會（陷阱 happy），令帶標記比例偏高而低估族羣。評分要點：(a) 2 分；(b) 2 分；(c) 每項 1 分共 2 分；(d) 計算 2 分、解釋 1 分。

TutorZone 中六（S6）生物練習卷｜題目與文章為原創，並非任何學校或出版社的教材。