詳解冊　2026

DSE 生物小白書・選修

Electives · Paper 2 · 2012–2025

從具體例子理解，再把方法用到完整原題。

目　錄

[閱讀指南] 從知識走到獨立作答 4
導讀 如何使用兩冊 4

[第一部] 讀圖、計算與科學探究 5
探究 由實驗現象走到有根據的結論 5

[第一部 V] 人體生理學：調節與控制 7
知 V.a 水分調節：從血液到尿液 7
知 V.b 體溫的調節 8
知 V.c 血液氣體含量的調節 10
知 V.d 生殖週期的激素控制 10

[第一部 VI] 應用生態學 13
知 VI.a 人類對環境的影響 13
知 VI.b 污染控制 13
知 VI.c 保育物種與棲息地 14
知 VI.d 全球性環境議題 14

[第一部 VII] 微生物與人類 16
知 VII.a 微生物學 16
知 VII.b 微生物的用途 17
知 VII.c 微生物遺傳學 18
知 VII.d 微生物的有害影響與控制 18

[第一部 VIII] 生物技術 20
知 VIII.a 現代生物技術 20
知 VIII.b 生物技術的應用 22
知 VIII.c 生物倫理 23

[第二部 V] 人體生理學：調節與控制：題型與練習 25
V.a 水分調節：從血液到尿液 25
題型 1：沿腎元的物質去向解釋水分調節（綜合程度★★★★☆） 25
V.b 體溫的調節 31
題型 1：把核心體溫、皮膚與水分反應接起來（綜合程度★★★★☆） 32
V.c 血液氣體含量的調節 35
題型 1：由心輸出量與氣體變化解釋運動調節（綜合程度★★★☆☆） 35
V.d 生殖週期的激素控制 40
題型 1：從激素曲線推排卵、避孕及運動反應（綜合程度★★★☆☆） 40
練習 V.a 水分調節：從血液到尿液 47
對應題型 1：沿腎元的物質去向解釋水分調節（綜合程度★★★★☆） 47
練習 V.b 體溫的調節 53
對應題型 1：把核心體溫、皮膚與水分反應接起來（綜合程度★★★★☆） 53
練習 V.c 血液氣體含量的調節 57
對應題型 1：由心輸出量與氣體變化解釋運動調節（綜合程度★★★☆☆） 57
練習 V.d 生殖週期的激素控制 61
對應題型 1：從激素曲線推排卵、避孕及運動反應（綜合程度★★★☆☆） 61

[第二部 VI] 應用生態學：題型與練習 67
VI.a 人類對環境的影響 67
題型 1：以資源補充、競爭與多樣性評估管理（綜合程度★★★☆☆） 67
VI.b 污染控制與全球環境議題 72
題型 1：由污染與環境變量解釋生態後果（綜合程度★★★★☆） 72
VI.c 保育物種與棲息地 82
題型 1：把保護措施與可檢驗的生態結果配對（綜合程度★★★★☆） 82
練習 VI.a 人類對環境的影響 85
對應題型 1：以資源補充、競爭與多樣性評估管理（綜合程度★★★☆☆） 85

練習 VI.b 污染控制與全球環境議題 94
對應題型 1：由污染與環境變量解釋生態後果（綜合程度★★★★☆） 94
練習 VI.c 保育物種與棲息地 107
對應題型 1：把保護措施與可檢驗的生態結果配對（綜合程度★★★★☆） 107
[第二部 VII] 微生物與人類：題型與練習 116
VII.a 微生物學 116
題型 1：由生長曲線、光密度與菌落估計微生物（綜合程度★★★☆☆） 116
VII.b 微生物的用途 121
題型 1：追蹤微生物利用底物、產物與種羣變化（綜合程度★★★★☆） 121
VII.c 微生物遺傳學 131
題型 1：以宿主專一性與對照理解病毒和菌羣（綜合程度★★★☆☆） 131
VII.d 微生物的有害影響與控制 134
題型 1：以抑菌、存活與食品資料作有限度推論（綜合程度★★★★☆） 134
練習 VII.a 微生物學 136
對應題型 1：由生長曲線、光密度與菌落估計微生物（綜合程度★★★☆☆） 136
練習 VII.b 微生物的用途 144
對應題型 1：追蹤微生物利用底物、產物與種羣變化（綜合程度★★★★☆） 144
練習 VII.c 微生物遺傳學 151
對應題型 1：以宿主專一性與對照理解病毒和菌羣（綜合程度★★★☆☆） 151
練習 VII.d 微生物的有害影響與控制 158
對應題型 1：以抑菌、存活與食品資料作有限度推論（綜合程度★★★★☆） 158
[第二部 VIII] 生物技術：題型與練習 164
VIII.a 現代生物技術 164
題型 1：由 DNA 片段與訊號建立可核驗的判斷（綜合程度★★★☆☆） 164
題型 2：由載體構造推插入、表達與篩選結果（綜合程度★★★★☆） 171
VIII.b 生物技術的應用 179
題型 1：把基因與細胞治療連到成效、遺傳及風險（綜合程度★★★★☆） 179
練習 VIII.a 現代生物技術 189
對應題型 1：由 DNA 片段與訊號建立可核驗的判斷（綜合程度★★★☆☆） 189
對應題型 2：由載體構造推插入、表達與篩選結果（綜合程度★★★★☆） 197
練習 VIII.b 生物技術的應用 206
對應題型 1：把基因與細胞治療連到成效、遺傳及風險（綜合程度★★★★☆） 206
[資料與圖源] 原題、評分與圖像來源 217
來源 課程及題目 217
圖源 知識圖與原題圖的標示 217

Chapter 1

從知識走到獨立作答

導讀　如何使用兩冊

本冊先以具體例子與圖說明知識，再按可辨認的題型提供完整示範和針對練習。先讀相應知識頁，跟完例題的起手、推理和答案，然後獨立作答。學生冊保留全部知識和完整例題；詳解冊在相同題序補上每道練習的答案與解析。

本冊涵蓋人體生理學：調節與控制、應用生態學、微生物與人類、生物技術四個選修領域，收錄全部試卷二原題。卷二整題常跨數個知識點，各領域先展示完整例題，再按相同題型提供練習；可按自己修讀的領域選用。題源包括 2012—2025 年、樣本卷及練習卷，共 64 道整題；同題的語言、掃描版本或小問不另作題量。必修與選修兩部分合計 817 道。星級表示整題的知識與推理綜合程度，並非考評局公布的難度或考頻。

2014 年卷二第 4 題採同年英文原題，其餘原題語言按題面保留；全部配中文解說。

問「描述」要交代量得的變化；問「解釋」要補上機制；問「根據資料」要把結論限於圖表能支持的範圍。每題題號旁列年份、卷別及原題號，解答另列所用評卷參考的物理頁序。

來源	整題數
2012 年	4
2013 年	4
2014 年	4
2015 年	4
2016 年	4
2017 年	4
2018 年	4
2019 年	4
2020 年	4
2021 年	4
2022 年	4
2023 年	4
2024 年	4
2025 年	4
樣本卷	4
練習卷	4

讀圖、計算與科學探究

Chapter 2

探究　由實驗現象走到有根據的結論

知識梳理

① 把一塊新鮮肝臟放進過氧化氫後，看見氣泡冒出，這是觀察。把餘燼木條放近氣體，看見木條復燃，也是觀察。進一步說「氣體是氧」，則已經把測試結果與氧能支持燃燒的知識連起來，是推論。 描述和解釋回答不同問題。描述回答「看到了甚麼、量到了甚麼」；解釋回答「為甚麼會這樣」。例如「細胞內容物與細胞壁分離」是顯微照片中的變化；「水因水勢差而由細胞內淨移出」是對變化的解釋。題目要求描述時，不能只交原因。自變量是實驗者有意改變的條件；因變量是記錄的結果；控制變量是為公平比較而盡量保持相同的其他條件。比較全脂與半脂牛奶時，牛奶種類是自變量，指示劑顏色是觀察結果，兩管的牛奶體積、脂酶體積和溫度則應相同。 對照並不是一律「不放酶」。要驗證哪個因素，就安排能隔開那個因素的比較。要檢驗過氧化氫是不是受質，可用相同新鮮組織加水作比較；要檢驗加熱對酶的影響，才把新鮮組織與煮沸組織放在相同受質溶液中比較。 結論的範圍不能超過證據。測了四種組織，不足以概括所有動物與植物的酶含量；看到顏色在終點不同，也不足以計算反應一開始有多快。看圖選句子時，應先問這張圖真正量了甚麼，而不是只挑自己記得正確的常識。

葉片上面的吸水劑由 2.40 g 變成 2.49 g，下面由 2.43 g 變成 2.56 g。上面吸水 0.09 g，下面吸水 0.13 g；先扣除各自起點，才有可比較的變化量。直接把兩個終點相減，只會得到 0.07 g，並不是兩面的失水差。

動手檢查

1. 眼睛直接看到木條復燃，屬於____；判斷氣體是氧，屬於____。
2. 比較兩管不同牛奶的實驗，自變量是____，並非最後的顏色。

填空答案：

1. 觀察；推論。；2. 牛奶種類。

點石成金　題目出現「描述、解釋、根據圖中、自變量、對照」時，先決定所需的是現象、機制、證據還是實驗設計。

知識梳理

① 兩組水生植物在不同色光下產生的氧氣體積，若只相差 0.01 mL，而量度工具的誤差量級約為 0.03 mL，這個差異比單次量度本身的不確定性還小。不能只因兩個數字不一樣，就判定色光真的改變了光合作用速率；應重複量度、比較各組數據的分散程度，並考慮量度精度。

② 如果另一個比較的組間差異達 1 mL，同樣約 0.03 mL 的量度誤差便小得多，對該差異的解釋較不關鍵。這也不等於做過正式統計檢驗：是否有可靠差異，仍要一起考慮重複結果、樣本差異與實驗設計。

③ 找誤差應從「它是否足以影響這次結論」出發。例如研究溫度與魚的呼吸頻率，升溫既可能增加魚的代謝，也可能降低水中溶氧。若只量溫度和呼吸次數，便未排除溶氧差異這個解釋；同步量度或控制溶氧，才能把兩個機制分開。

④ 生物科技探究亦要由問題帶動。例如用 DNA 指紋判斷親子關係，要先交代哪些帶必須由父母提供，再說明限制酶、電泳及比較步驟如何產生可判讀的證據。PCR 和電泳是取得或分析樣本的技術步驟，不宜把技術名稱本身當成要量度的因變量。

動手檢查

1. 兩組相差 0.01 mL，工具誤差量級約 0.03 mL，能否只因數字不同便斷定處理有效？
2. 升高水溫後魚的呼吸加快，除了代謝增快，還需檢查哪個可能解釋？

填空答案：

1. 不能。差異小於量度不確定性的量級，須考慮重複數據、分散程度與量度誤差。；2. 水中溶氧可能降低，魚因缺氧而增加呼吸頻率；應量度或控制溶氧。

人體生理學：調節與控制

Chapter 3

知 V.a　水分調節：從血液到尿液

知識梳理

① 在炎熱的下午運動，汗液會帶走水。如果失去的水尚未補回，血液中溶質相對較濃，血液水勢便下降。身體需要減少之後的水分流失，但這不等於把已流出的汗收回；腎臟可以調節留下多少水，令尿量減少。調節體內水分含量，使細胞周圍環境保持相對穩定，稱為滲透調節。

② 水分含量需要穩定，因為細胞膜容許水通過。細胞外液水勢過高，水便可能淨進入細胞，使細胞膨脹；細胞外液水勢過低，水便可能淨移出，使細胞縮小。兩種極端情況都可影響細胞的正常活動。體內平衡所維持的是一個合適範圍，不是每一秒都完全相同的數值。

③ 尿液在腎臟形成，經輸尿管流入膀胱暫存，再由尿道排出。血液則由腎動脈進入腎臟，經腎靜脈離開。輸尿管與血管走的是不同路徑；不能說尿液由腎靜脈運到膀胱。

④ 腎元是腎臟形成尿液的基本單位。它的起點包含一團毛細血管，即腎小球，外面由鮑氏囊包圍；之後接着腎小管及集合管。腎小球中的血壓把部分血漿中的水和小分子壓進鮑氏囊。這個過程稱為超濾，形成的液體是腎小球濾液。水、尿素、葡萄糖和部分無機離子可進入濾液，血細胞及大部分血漿蛋白則留在血液內。超濾按過濾屏障的通透性發生，並不會先判斷某物質是「有用」還是「廢物」。因此正常濾液含葡萄糖，並不是腎臟出錯。

⑤ 濾液流經腎小管時，身體仍需要的物質會由小管腔回到血液，這稱為重吸收。正常情況下，濾出的葡萄糖幾乎全部被重吸收；大量水和適量無機離子也回到血液。運輸蛋白可參與有選擇的溶質重吸收，其中部分過程需要細胞代謝供能；水則沿水勢差以滲透方式移動。小管上皮有利物質運輸的構造，必須與「把物質由哪裏送到哪裏」一併說明。

⑥ 把濾液與最終尿液比較，可看出兩個步驟的分工：超濾先讓水和多種小分子離開血液，重吸收再把仍需要的物質取回。最終尿液仍含水、尿素及多餘離子。尿素源於含氮物質的代謝；排出尿素屬排泄。未消化食物經肛門排出則是排遺，兩者不能混稱。

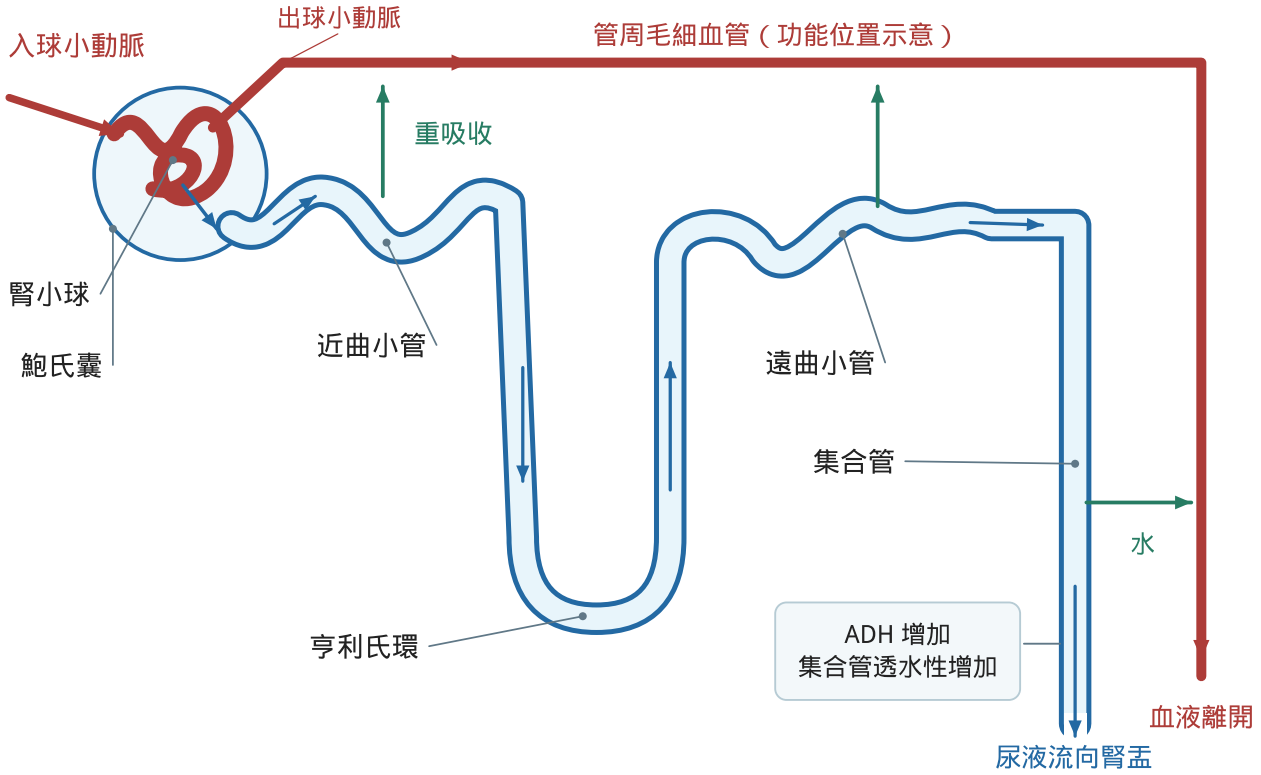
⑦ 當運動失水令血液水勢下降，下丘腦的感受機制會引發調節。抗利尿激素 ADH 由下丘腦製造，經腦垂腺後葉釋放入血。ADH 增加，使集合管等部位對水的通透性增加；在周圍組織液與管內液既有的水勢差下，較多水從管內重吸收回血液。尿量因而減少，尿液通常較濃，血液水勢逐漸回升。當原來的偏差縮小，促進 ADH 釋放的刺激也隨之減弱，這就是負反饋。

⑧ 飲入較多水後，若其他條件相近，血液水勢可上升，ADH 釋放減少，集合管對水的通透性降低，重吸收的水減少，因而排出較多、較稀的尿。這條反應與失水後的調節方向相反。ADH 的主要作用不能寫成「令腎臟製造更多水」，也不能把它與增加血糖的胰高血糖素混淆。

⑨ 透析利用人工膜讓血液與透析液之間交換物質。膜容許尿素等小分子通過，卻保留血細胞及大部分血漿蛋白。透析液中尿素濃度很低，尿素因而由血液淨擴散到透析液；持續更新透析液有助維持濃度差。透析液中葡萄糖及有關離子的濃度經適當設定，可避免把正常需要的物質大量移走。裝置亦可利用跨膜壓力差移除多餘水分。透析能協助維持內環境，但人工膜本身並不等同具各種重吸收及分泌功能的完整腎元。

若某腎元在一段時間內的濾液含有 100 個相對單位的水，當中 98 個單位被重吸收，便有 2 個單位留在尿液。若 ADH 增加後重吸收變成 99 個單位，尿中的水便減到 1 個單位。這個比較說明「重吸收更多」為甚麼會令尿量更少；它沒有假定腎小球濾液總量一定在所有情況下相同。

腎元：分清血液、濾液與重吸收的方向



過程	方向	主要結果
超濾	腎小球血液 → 鮑氏囊	水及多種小分子進入濾液
重吸收	小管 / 集合管管腔 → 血液	有用物質及所需水分回到血液

腎元形狀及管周血管位置經簡化；細胞及大部分血漿蛋白正常情況下留在血液中。

藍色箭頭追蹤管腔內的濾液；紅色路徑是血液。超濾由血液到鮑氏囊，重吸收由管腔回到血液；兩者不可顛倒。

動手檢查

1. 水和葡萄糖由腎小球進入鮑氏囊，屬於____；葡萄糖由腎小管腔回到血液，屬於____。
2. 失水後，血液水勢通常____，ADH 釋放通常____，尿量通常____。
3. 尿液暫存在____，由____排出體外。

填空答案：

1. 超濾；重吸收。；2. 下降；增加；減少。；3. 膀胱；尿道。

點石成金　比較血液、濾液和尿液成分時，先分清超濾與重吸收；看到失水、飲水或 ADH 曲線時，依次寫出血液水勢、ADH、水的重吸收及尿液變化。

知 V.b　體溫的調節

知識梳理

① 運動後皮膚出汗，風吹過時常覺得較涼。真正帶走較多熱的是汗液蒸發；汗滴仍停在皮膚上，並不等於已完成同樣程度的蒸發散熱。因此在相同溫度下，潮濕空氣可令汗液較難蒸發，散熱效果也可不同。

② 體溫影響酶促反應和細胞活動，身體需要平衡產熱與散熱。皮膚和體內的溫度感受機制把資料送往調節中樞，下丘腦參與比較和協調，再改變血管、汗腺、肌肉及其他效應器的活動。

③ 過熱時，皮膚小動脈擴張，較多血流經接近體表的微血管，有利把熱送到表面散失；汗腺分泌增加，汗液蒸發吸熱。不要寫成「微血管主動收縮或擴張」來取代有平滑肌的小動脈調節，也不要把血管擴張與身體產熱增加混為一談。

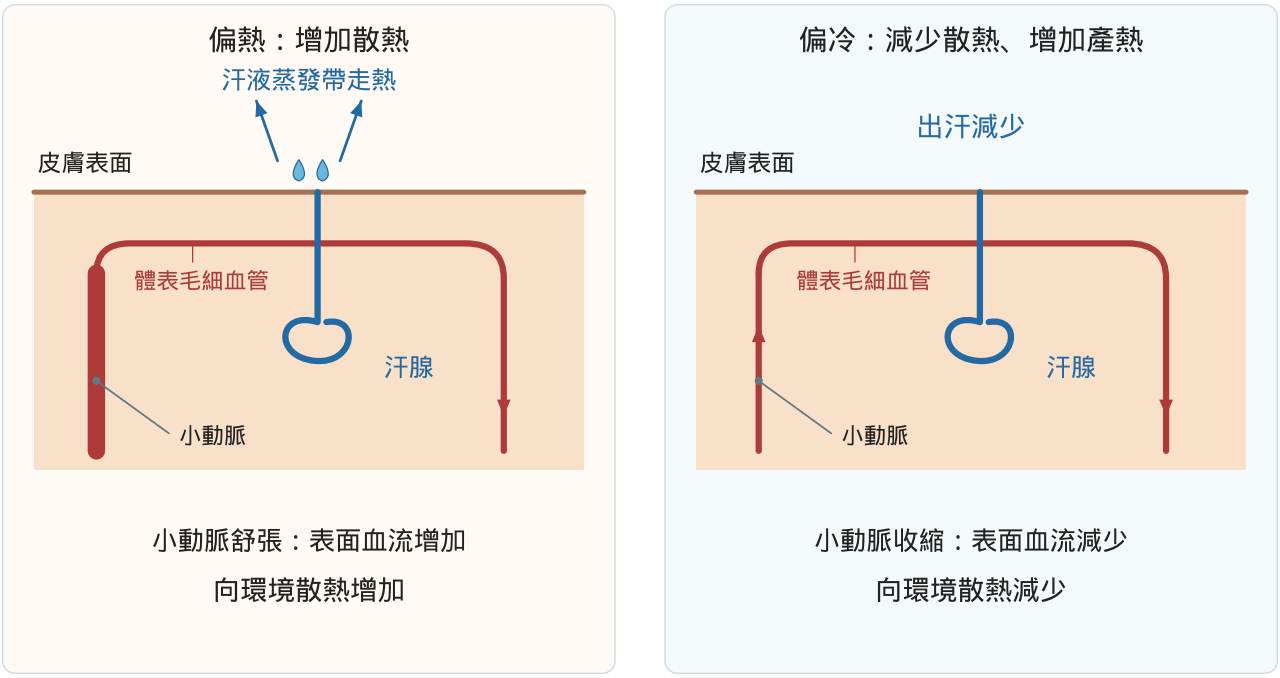
④ 寒冷時，皮膚小動脈收縮，減少接近表面的血流，降低散熱；骨骼肌顫抖增加代謝與產熱。激素如甲狀腺素可提高代謝水平，參與較長時間的調節。添衣、尋找陰影、改變姿勢等行為亦改變散熱或吸熱；衣物本身不會主動產生人體所需的熱。

⑤ 比較兩組體溫曲線，先讀同一時段的溫度變化，再用產熱和散熱解釋。體溫較高可以刺激更強的排汗反應，而空氣濕度較低則可以令同一份汗較容易蒸發；「排汗量」與「蒸發效率」必須分開。

由偏差到反應：過熱與寒冷分開追蹤

項目	過熱時的一般反應	寒冷時的一般反應
皮膚小動脈	擴張，更多血流接近體表	收縮，減少體表血流
汗腺	分泌增加；蒸發吸熱	分泌一般減少
骨骼肌顫抖	通常不由此增產熱	顫抖增加代謝產熱
結果	增加散熱、抵消過熱	減少散熱及增加產熱、抵消降溫

體溫調節：散熱與產熱是兩條不同路徑



血管已簡化。小動脈改變口徑調節流量；毛細血管不是靠自身主動收縮來調節。

小動脈控制流向體表毛細血管的血量；汗液蒸發帶走熱。血管改變散熱，顫抖增加產熱。

動手檢查

1. 汗液由液態變成氣態並吸熱，稱為____。
2. 寒冷時皮膚小動脈通常____，有助減少散熱。

填空答案：

1. 蒸發。；2. 收縮。

點石成金　先判體溫偏高還是偏低，再分別追蹤產熱及散熱；曲線須先描述實測變化，才推論調節機制。

知 V.c　血液氣體含量的調節

知識梳理

① 快步上樓後，腿部細胞的呼吸作用增加，使用較多氧並產生較多二氧化碳。呼吸變深和變快，心臟亦調整泵血，讓肺、血液和活動組織的物質交換相配合。不能只把「運動」與「心率增加」相連，中間還有代謝需要和調節訊號。

② 血液二氧化碳增加會影響酸鹼狀態，化學感受器感受相關變化，延腦的呼吸中樞再改變傳往呼吸肌的訊號。呼吸頻率和深度增加，使更多空氣到達交換表面，有利排出二氧化碳及補充氧；原先偏離縮小後，刺激減弱。把中樞、傳出神經和呼吸肌分清，才能解釋反饋如何完成。

③ 每搏量是心室一次收縮泵出的血量，心率是一分鐘的心搏次數，心輸出量則是一分鐘泵出的血量。

④ 心輸出量 = 每搏量 × 心率。

⑤ 若每搏量為 70 cm^3，心率為每分鐘 75 次，表示每次泵出 70 cm^3，一分鐘共泵 75 次：

⑥ 心輸出量 = 70 × 75 = 5250 $cm^3\ min^{-1}$。

⑦ 若另一時段每搏量升到 80 cm^3、心率降到每分鐘 60 次，則：

⑧ 心輸出量 = 80 × 60 = 4800 $cm^3\ min^{-1}$。

⑨ 雖然每次泵得較多，一分鐘泵出的總量反而較少。兩個因子方向不同時，須比較乘積，不能只看其中一項。

⑩ 心動週期中，心房和心室依序收縮及舒張。瓣膜按兩側壓力差開閉，使血液主要沿單一方向流動。竇房結的起搏活動引發心搏，心肌可自行產生節律；神經和激素則調節這個節律及收縮。交感神經一般提高心率和泵血活動，迷走神經可降低心率，腎上腺素亦可提高心臟活動，以配合身體需要。

⑪ 運動期間，較多血液可送往活動肌肉，帶來氧和底物並帶走二氧化碳。劇烈活動後呼吸及心率未必立即回到靜止值，因恢復過程仍需要氧，用於恢復能量儲備、氧儲備及處理代謝產物等。課程中的「氧債」描述這種額外需氧的恢復需要，不能把整個恢復期的氧耗一律歸因於單一反應。

動手檢查

1. 每搏量 80 cm^3、心率 60 次 min^{-1}，心輸出量為____。
2. 呼吸加深加快，有助增加二氧化碳的____並補充氧。

填空答案：

1. 4800 $cm^3\ min^{-1}$。；2. 排出。

點石成金　容積圖先取一次收縮的高低差，週期圖先量完整週期；調節題由代謝需要、感受訊號和效應器依序解釋。

知 V.d　生殖週期的激素控制

知識梳理

① 把一個月經週期中的卵巢變化、子宮內膜厚度及激素曲線放在同一時間軸上，可看出它們相互連接：卵泡發育、排卵、黃體形成並不是互不相關的三個事件，激素把這些變化與子宮準備接在一起。

② 腦垂腺前葉分泌促卵泡激素 FSH，促進卵泡發育。發育中的卵泡分泌雌激素，促進子宮內膜增厚。雌激素在週期大部分時間可抑制 FSH 等訊號，限制持續募集更多卵泡；但排卵前持續較高的雌激素可促成正反饋，引發促黃體激素 LH 的高峯，促進排卵。因此不能把整個週期的所有激素作用都寫成同一方向的負反饋。

③ 排卵後，卵泡形成黃體，分泌較多黃體酮及一定量雌激素，維持較厚和適合胚胎着牀的子宮內膜。若沒有維持妊娠的訊號，黃體逐漸退化，激素水平下降，子宮內膜部分脫落，形成月經。抑制減弱後，FSH 可再次上升，開始下一輪卵泡發育。

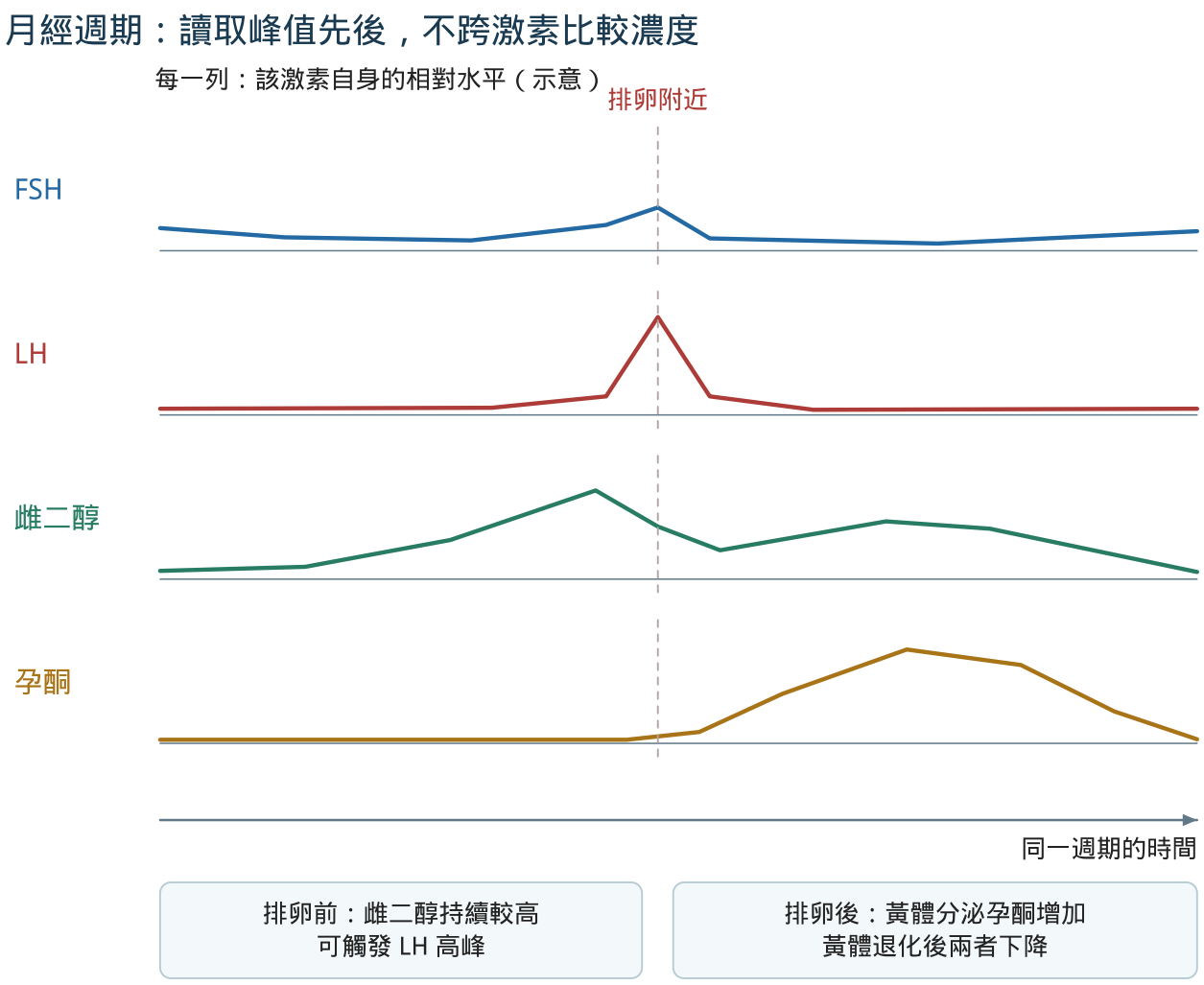
④ 讀圖時，先找到排卵和 LH 高峯的位置，再把卵泡期、黃體期及內膜變化對應。個體週期長度可以不同，不能把示意圖上的第 14 天當成所有人的固定排卵日期。

⑤ 激素避孕利用外加激素影響原有調節，例如抑制 FSH 和 LH 的相關變化，使卵泡成熟或排卵受到抑制；某些作用亦涉及宮頸黏液和子宮內膜。這是在改變生殖步驟的條件，不是把已形成的配子任意殺死。

⑥ 某些不育情況與排卵調節有關，可透過醫療中的激素處理促進卵泡發育及排卵。若題目涉及體外受精，則須另分清取得配子、體外受精、早期胚胎培養及胚胎植入；激素處理幫助的是相關準備步驟，不能保證所有原因的不育都能以同一方法解決。

把卵巢、激素及子宮放在同一週期內

階段	卵巢事件	主要激素關係	子宮內膜
月經及早期卵泡期	新一批卵泡開始發育	上週期激素下降後，FSH 抑制減弱	部分脫落，之後開始修復
排卵前	優勢卵泡發育	雌激素上升；持續高水平可促成 LH 高峯	增厚
排卵	卵由卵巢排出	LH 高峯促進排卵	繼續準備着牀
黃體期	黃體形成	黃體酮及一定量雌激素維持內膜	保持較厚
未懷孕時的週期末	黃體退化	黃體酮及雌激素下降	支持減少，開始下一次月經



不同人的週期長短不同；此圖不把排卵固定在第 14 天，也不表示四種激素使用相同數值刻度。

各激素曲線只顯示自身的相對變化，不能跨曲線比較濃度數值；排卵位置是示意，並非所有人都固定在同一天。

動手檢查

1. 排卵前最明顯的促性腺激素高峯通常是____。
2. 排卵後分泌較多黃體酮的構造是____。

填空答案：

1. LH／促黃體激素。；2. 黃體。

點石成金　將激素、卵巢構造和子宮內膜放在同一時間軸；逐段判斷促進或抑制，不能把整條曲線套成一種反饋。

應用生態學

Chapter 4

知 VI.a　人類對環境的影響

知識梳理

① 一個魚羣每年都能繁殖，並不表示任何捕撈量都可以長期維持。若捕走的數量持續超過補充，尤其把尚未繁殖的個體大量捕走，種羣可逐年下降。魚類雖屬可更新資源，更新速度仍有限；煤和石油則在人的使用時間尺度上不能迅速補回，屬非更新資源。

② 人口增加會提高食物、淡水、能源和土地需求，也增加廢物處理的壓力。影響大小不只取決於人口數，還與每人使用量、技術和資源分配有關。評估人口政策時，應把資源與環境影響及社會因素一併考慮，不能只由一個人口總數推定唯一結果。

③ 農業中，肥料可補充礦物質並提高產量，過量使用後隨地表徑流進入水體，卻可能造成水質問題；殺蟲劑可減少害蟲，也可能影響天敵和其他非目標生物。單一作物種植、過度捕撈及不當土地使用，都可改變物種組成和生境。

④ 城市化及工業化可透過清除植被、填海和分割生境減少可用棲息地。污染物則可影響空氣、水和健康；例如呼吸系統接觸某些空氣污染物，與由污染水攝入病原體，是不同的作用路徑。

⑤ 某些難分解、易被生物吸收且不易排出的毒性物質，可在同一個體內逐漸累積。捕食者吃下多個含污染物的獵物後，污染物濃度可能沿食物鏈升高，稱為生物放大。不是所有污染物都會有同樣現象，必須檢查其持續性、吸收及排出特性。

把生物累積與生物放大分開

比較	具體情況	判斷依據
同一個體的不同時間	某魚的污染物濃度隨年齡增加	攝入與吸收長期超過排出及分解，可累積
同一食物鏈的不同營養級	捕食魚吃下多條含污染物的小魚	若毒性物質持續且不易排出，濃度可向較高營養級增加

動手檢查

1. 可更新資源能否持續利用，仍取決於使用速度與____速度的比較。

填空答案：

1. 補充／更新。

點石成金　把人類活動連到資源用量、棲息地或污染物，再連到生物的存活、繁殖或健康結果。

知 VI.b　污染控制

知識梳理

① 一個可重用水瓶能多次盛水；如果從一開始少買一次性瓶，便減少了需要處理的廢物。減少使用、重複使用、回收再造及替代材料分別作用於不同步驟。回收仍需要收集、運輸和處理，因此比較方案應計入實際資源消耗，而不是只看包裝上的一個詞。

② 污水中的大固體可先由格柵移除，較容易沉降的顆粒可在沉澱過程分離，這些物理步驟不會自動移除所有溶解有機物。生物處理讓微生物分解有機污染物，降低之後排入環境的耗氧負荷；需氧處理提供氧，使相關微生物能持續進行代謝。

③ 在活性污泥等系統中，微生物形成的物質可經後續沉澱分離，部分污泥可迴流以維持微生物量；剩餘污泥須另行處理。某些處理還針對氮、磷或病原體，不能把沉澱、微生物分解和消毒混成同一個過程。

④ 若比較處理前後水樣的耗氧量，較低的生化需氧量可支持可生物分解有機物的負荷減少；它不是直接數出所有病原體，也不代表每一種化學污染物都已消失。要評價排水品質，應按所關心的污染類型選擇相應指標。

污水每一步移除的是不同東西

步驟	主要作用	不能由此單獨推出
格柵	擋住較大的固體	所有溶解物已移除
沉澱	分離可沉降顆粒	水已沒有病原體
微生物處理	分解可生物分解有機物，降低耗氧負荷	所有化學污染物已消失
合適消毒	降低相關病原體風險	水已具有所有飲用水標準所需性質

動手檢查

1. 格柵主要移除較大固體；溶解有機物可由____進行生物分解。

填空答案：

1. 微生物。

點石成金　先找污染物屬固體、有機物、養分還是病原體，再判斷處理步驟是否針對該問題。

知 VI.c　保育物種與棲息地

知識梳理

① 保護一種濕地鳥類，需要的不只是保留幾隻鳥。牠們要有覓食地點、足夠食物、繁殖空間及安全的遷移停歇地；若周圍環境已不能供應這些條件，單獨增加個體數也未必能維持野外種羣。

② 生物多樣性包括不同物種、物種內的遺傳差異，以及不同生態系統。多種生物參與授粉、分解及物質循環，也可提供食物、藥物研究材料和文化景觀。保育的理據可涉及生態、經濟、審美及道德，作答時應說清每項理據實際保護了甚麼。

③ 就地保育在原有環境內維持種羣及其關係，例如保護區、郊野公園、海岸公園及濕地；遷地保育則在其他受管理環境保存個體或遺傳材料，例如種子庫和合適的繁殖計劃。遷地保育可降低短期滅絕風險，但不能完全代替野外生境及其生態互動。

④ 生境恢復需要處理原來造成退化的因素，例如污染、侵蝕或入侵物種，再建立適合本地物種的條件。只種大量同一樹種，不等於已恢復原有物種多樣性及食物網。比較森林管理方案時，樹高、木材產量和物種多樣性是不同評價指標。

⑤ 政府可制定保護及土地管理措施，研究者提供監測資料，公眾則可減少破壞和非法野生生物消費。保育方案也涉及土地及經濟取捨，應用可比較的證據說明代價和效益，而不是只寫「保護環境很重要」。

動手檢查

1. 在原有棲息地保護生物稱為____保育；種子庫屬____保育。

填空答案：

1. 就地；遷地。

點石成金　先確定威脅、保護對象和尺度，再解釋措施如何改善生存繁殖或保留遺傳差異。

知 VI.d　全球性環境議題

知識梳理

① 農地的肥料被雨水沖入池塘後，水中氮、磷增加，可促進藻類大量生長。藻類及其他植物的光照條件改變，死亡後的有機物又被微生物分解；分解者呼吸消耗溶解氧，可使魚等動物缺氧。這條優養化因果鏈要包含養分增加、藻類生長、死亡分解及耗氧，不能只寫「藻類把所有氧吸走」。

② 全球暖化涉及地球能量收支的改變。增加的二氧化碳、甲烷等溫室氣體吸收及再發射部分向外的紅外線，改變向外散熱，使氣候系統升溫。燃燒化石燃料及某些土地利用改變可增加大氣中的溫室氣體；植被及海洋等亦參與碳的吸收和交換。溫室效應不是把臭氧層「挖洞」的同一個過程。

③ 氣溫改變可影響生物發育速率、繁殖次數、分佈及物種間互動。例如某昆蟲在合適範圍內的發育時間縮短，一年可能完成更多世代；若超過適溫範圍則可能有害。由溫度曲線推生態結果，須保留物種和條件，不把升溫一律解釋成所有生物都增多。

④ 硫及氮的某些氧化物在大氣中轉成酸性物質，可使雨水酸度增加。酸沉降可影響水體和土壤酸鹼值、離子供應及生物存活；它與優養化的原因及主要路徑不同。控制排放和降低相關燃料使用可作用於來源。

⑤ 可持續發展需要考慮當代需要與未來資源和環境的維持。漁業可透過保留繁殖個體、降低過度捕撈及保護生境，讓利用量與種羣補充配合；農業則可改善肥料和害蟲管理、保持土壤及節約用水。評價時須同時看產量、資源更新、生物多樣性及成本，而不是只選短期產量最高的方案。

⑥ **酸雨還可改變土壤中的離子去向：**某些有毒金屬在較酸條件下較易溶出，可增加根部接觸的毒性離子；有用的礦物養分則可能隨水淋溶流失。兩者都涉及物質移動，後果卻分別是毒性暴露增加與土壤肥力下降。

動手檢查

1. 優養化後，大量有機物分解可令水中溶解氧____。

填空答案：

1. 減少。

點石成金　把議題拆成來源、環境變量、生命過程及後果；管理方案要對應因果鏈中可改變的一步。

本節的全球暖化、酸雨及物質循環，可在後面的「污染控制與全球環境議題」中練習。2015 年卷二第 2 題示範氣候與水體變化的因果解釋，練習卷卷二第 2 題把同樣步驟用於候鳥分佈及森林恢復；珊瑚耐熱的相關例子見「保育物種與棲息地」。

微生物與人類

Chapter 5

知 VII.a　微生物學

知識梳理

① 麵包酵母由單細胞構成，卻有細胞核，屬真菌；細菌沒有核膜包圍的細胞核；某些原生生物則有不同的運動和攝食構造。微生物是一個按個體微小而使用的稱呼，並不是把所有成員放進同一個演化類羣。

② 病毒沒有完整細胞構造，須感染活細胞，利用宿主的物質和合成系統複製遺傳物質及製造病毒成分，再組裝新病毒。離開合適宿主細胞，不能像酵母般單靠養分溶液獨立增殖。病毒複製與細菌的二分裂是不同過程。

③ 微生物生長受溫度、pH、碳源、氮源、水分及氧的供應影響，不同物種的需要不同。有些需要氧，有些在缺氧條件下能利用其他代謝途徑；不能把「有氧一定長得最好」套到所有微生物。

④ 在有限養分、封閉的培養物中，常可見延滯期、對數增長期、穩定期及衰亡期。延滯期有細胞適應環境及合成所需物質，細胞數未必明顯增加；對數期的細胞可按倍數增加；資源受限及代謝產物累積時，增加與死亡可大致平衡；之後活菌數可能下降。曲線階段必須依測量指標判斷。

⑤ 光密度反映混濁程度，常與細胞量相關，但死細胞也可散射光。直接細胞計數可能包含死細胞，生物量反映總物質量，菌落計數則估計能形成菌落的存活單位。菌羣結成一團也可能只形成一個菌落，因此菌落形成單位不一定等於單個細胞。

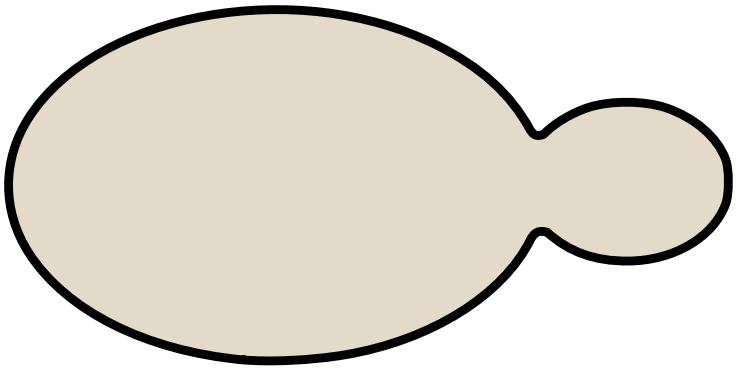
⑥ 若從稀釋為原液千分之一的樣本取 0.10 mL，得到 40 個可計數菌落，原液的估計值為：

⑦ 原液濃度 = $40 \div 0.10 \times 1000 = 400000$ CFU mL^{-1}。

⑧ 這個計算只示範把取樣體積及稀釋程度還原；實際數據仍須有適當培養與測量條件。無菌操作旨在避免外來微生物污染樣本、保護操作人員及防止材料散播，需使用合適的器具處理、減少暴露並按規範處理使用後材料。

先確認測量指標，再讀微生物生長曲線

方法	讀到甚麼	主要限制
直接細胞計數	觀察到的細胞數	可能同時計入死細胞
光密度	混濁或散射程度	死細胞也可能影響讀數
生物量	樣本的物質量	不同細胞大小可使數目與質量不成固定比例
菌落形成單位	能在相應條件下形成菌落的存活單位	一團細胞可能只形成一個菌落

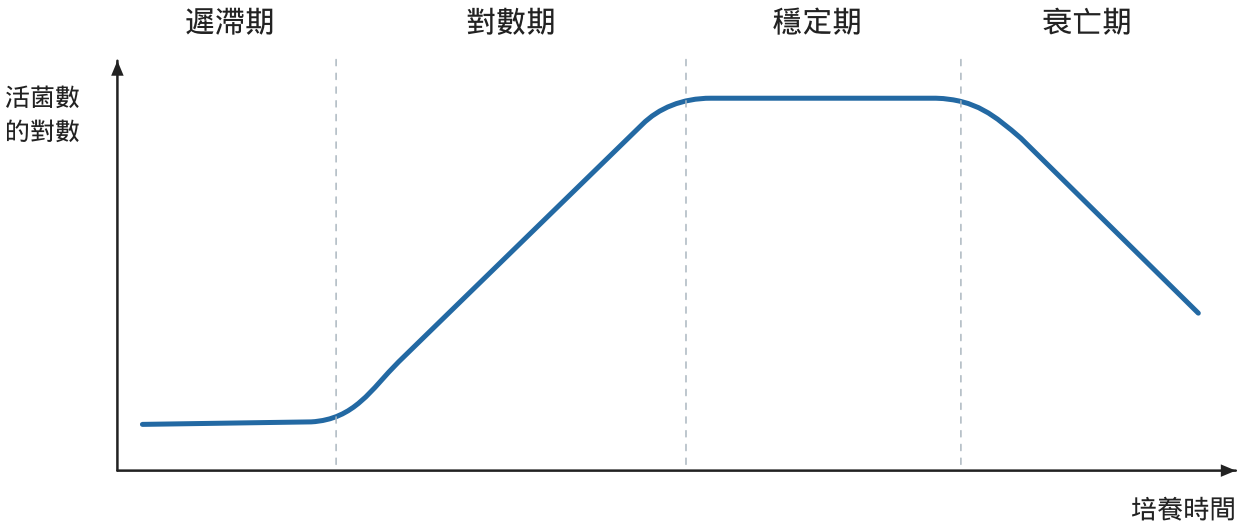


酵母出芽外形示意：較小的芽體由母細胞形成。酵母屬真菌，有細胞核；此輪廓圖未畫出內部構造。



具有鞭毛的桿狀細菌外形示意。細菌的形態及附屬構造多樣，不能由這一幅圖推斷所有細菌都有鞭毛。

密閉批次培養：活菌數的四個階段



階段	用數目和過程解釋
遲滯期	適應環境、製造所需物質；活菌數未明顯上升
對數期	條件適宜，按近似固定比例增加；對數圖近似直線
穩定期	新生與死亡數目約相抵；不等於全部細胞停止代謝
衰亡期	死亡多於新生；營養及代謝廢物等成為限制

總細胞計數可包括死細胞；活菌數與濁度不能在所有階段直接當成同一個量。

縱軸為活菌數的對數，橫軸為培養時間。穩定期表示活菌淨數目大致穩定，不等於每一細胞停止代謝。

動手檢查

1. 光密度反映混濁度，不能直接分辨____細胞與____細胞。

填空答案：

1. 活；死。

點石成金　先辨認微生物類羣和測量方法，再解讀生長曲線；菌落換算先還原體積，再還原稀釋程度。

知 VII.b　微生物的用途

知識梳理

① 麵團中酵母利用糖，形成的二氧化碳使麵團膨起；釀製某些酒類時則利用酵母形成的乙醇。兩種應用可涉及相近代謝，保留和利用的產物卻不同。乳酸菌把糖轉成有機酸，使奶的酸鹼度下降並改變蛋白質狀態，可用於某些發酵乳製品。

② 工業培養要把產品需要與微生物生長條件配合。溫度及 pH 影響酶，供氧程度影響代謝途徑，養分和水則影響生長；攪拌可協助混合及傳熱。最有利細胞增殖的條件，未必在所有時段都最有利目標產物形成，因此要讀題目實際量的是細胞量還是產品量。

③ 某些微生物能產生抗生素，亦可用來製造工業酶。洗衣產品中的蛋白酶、脂酶或澱粉酶分別針對不同污漬；果膠酶分解植物組織中的果膠，可提高果汁釋出並改善澄清。酶的專一性和適合條件是應用有效的原因，不是所有酶放到任何污漬都會有用。

④ 疫苗可利用病原體的相關抗原或由適當系統製得的抗原，刺激免疫反應。製造疫苗、用抗生素抑制細菌，以及給予現成抗體，作用機制不同，不能只因都與微生物或防病有關便寫成相同用途。

⑤ 污水生物處理利用微生物分解有機物；沼氣生產則利用缺氧條件下的微生物羣落，把有機材料逐步轉成含甲烷的氣體等產物。前者着重降低污染負荷，後者還可回收部分能量。分解所需條件和最終產品必須依系統區分。

同類代謝可有不同用途

情境	所用作用	主要利用的結果
麵團	酵母代謝糖	二氧化碳使麵團膨起
某些釀酒過程	酵母代謝糖	保留乙醇
果汁提取	果膠酶分解果膠	促進汁液釋出及澄清
污水生物處理	微生物分解有機物	降低排放後的耗氧負荷
沼氣系統	缺氧下微生物羣落轉化有機物	取得含甲烷的氣體

動手檢查

1. 果膠酶作用的主要對象是____，不是所有食物分子。

填空答案：

1. 果膠。

點石成金　先指出用哪一種微生物或酶、轉化哪一種材料、取得甚麼產品，再用其代謝條件解釋。

知 VII.c　微生物遺傳學

知識梳理

① 細菌原來不會自行製造人胰島素，若把能在其細胞內適當表達的相關 DNA 放進宿主，便可利用它的蛋白質合成系統製造所需產物。改變的關鍵是引入可使用的遺傳資料，不是把現成胰島素注入細菌後等它自動繁殖出更多。

② 微生物可快速繁殖，且某些種類的遺傳操作和大量培養較容易，適合作為製造藥物或酶的宿主。宿主必須能讀取有關調控訊號，製造的蛋白質亦須具有合適構造和功能；有 DNA 插入不等於產品一定正常表達。

③ 比較改造微生物的效益，可看產量、純度、成本及是否能穩定供應。可能的問題則包括改造生物在非預期環境中存活、遺傳資料轉移、非目標產物或污染。因此生產系統需要合適的隔離、監測及產品純化，評價時應把問題連到具體生物機制，不能只寫「基因改造一定危險」。

動手檢查

1. 把基因放進宿主後，仍需成功____，才可能製造所需蛋白質。

填空答案：

1. 表達。

點石成金　分別檢查基因有沒有進入、能否表達、產品能否使用，以及生物在生產系統之外可能造成的影響。

知 VII.d　微生物的有害影響與控制

知識梳理

① 食物放置後變酸、有異味或發黴，可能是微生物把其中物質分解並產生新的代謝產物。微生物也可使材料腐敗或變質。外觀沒有明顯改變則不保證沒有致病風險，因為某些病原體或毒素未必造成容易察覺的變化。

② 食源性感染涉及攝入能在身體內造成感染的微生物；某些食物中毒則主要涉及吃下已在食物中形成的毒素。殺死細胞不一定能破壞所有既有毒素，因不同毒素的穩定性不同，因此不能把「再次加熱」當成可消除一切食物風險的通則。

③ 不同保存方法改變不同生長條件。低溫通常減慢酶反應和增殖，乾燥減少可用水，較高糖或鹽含量可降低水勢，酸化改變 pH；它們未必使所有微生物立即死亡。加熱處理、消毒及滅菌也有不同目的和作用範圍，應依處理條件和所需效果分辨。

④ 控制污染還需要管理來源與傳播，例如把未處理材料與即食食物分開，保持器具及環境衞生，並在適當條件下儲存。實驗評估控制方法時，應量度相同生物及同一指標，區分生長變慢、活菌減少及完全不能檢出。

控制方法先問它改變哪個條件

方法	作用原理	不能直接推成
冷藏	降低相關酶反應及增殖速率	全部微生物死亡
乾燥	減少可用水	所有毒素都被破壞
較高糖或鹽	降低外界水勢，限制某些微生物生長	任何微生物都完全不能生長
合適加熱處理	使相關結構或分子受損	所有處理強度都等於滅菌

動手檢查

1. 冷藏通常使微生物增殖____，不等於把它們全部殺死。

填空答案：

1. 減慢。

點石成金　先判有害作用來自感染、毒素還是材料變質，再說明控制方法改變哪一項生長或存活條件。

生物技術

Chapter 6

知 VIII.a　現代生物技術

知識梳理

① 要讓微生物製造人胰島素，需要把相關遺傳資料放到它能使用的表達系統。限制酶在特定序列切開 DNA，所需片段與載體可具有相容末端，再由 DNA 連接酶連成重組 DNA。質粒可作為某些細菌的載體；把構造引入宿主後，還須辨認成功改造者，並確認所需基因能表達。

② 選限制酶時，不能只找在兩幅圖都出現的名字。先定位欲取得的完整基因及調控區，再確認切點不破壞所需序列、末端能配合、插入位置不損害必要功能。真核基因可能有內含子，某些宿主無法按同樣方式剪接；使用適合宿主的編碼序列和調控元件，才有機會得到正確產品。

③ PCR 把特定 DNA 區段大量複製。加熱使雙鏈分開，引物與互補序列配對，耐熱 DNA 聚合酶從引物開始延伸；反覆循環便能增加目標片段。引物決定複製區段的邊界及專一性，不能只因樣本含大量 DNA 就假定任意引物都會擴增目標。

④ 在理想而每輪都使目標倍增的模型中，一份起始目標經三輪，數目依次為 1、2、4、8：

⑤ 目標份數 = 1 × 2 × 2 × 2 = 8 份。

⑥ 實際反應效率和資源限制可令結果偏離這個理想倍增。題目問能否辨認不同轉基因株時，可選擇能跨越特定插入接點或對應不同外接序列的引物，讓產物與目標身份相連。

⑦ 凝膠電泳讓 DNA 片段在電場中移動。DNA 通常帶負電，朝正極方向移動；在相同凝膠及條件下，較短片段通常走得較遠。比較條帶須用相同基準及大小標記，不能把顏色更深直接當成片段更長。

⑧ DNA 指紋利用個體間有變異的區域。親子分析中，子代某些標記應能在雙親來源中找到相應解釋；身份比較則看實際樣本在多個標記是否相符。少數相同條帶不是所有情況下的身分確證，也不表示全基因組完全相同。

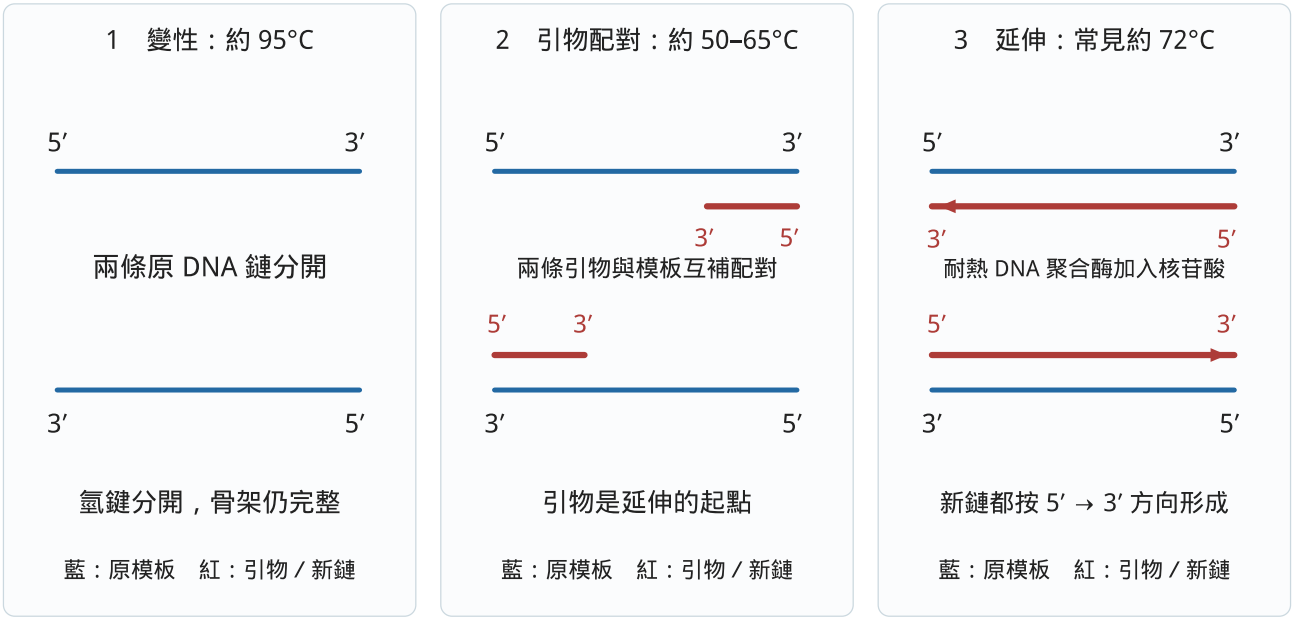
⑨ 動物體細胞核移植把體細胞核放進已去核的卵細胞，再令其發育並把適合的早期胚胎移入代孕個體。複製個體的核 DNA 主要來自供核者，線粒體 DNA 則主要來自卵細胞來源；代孕者提供發育環境，並不因懷胎便成為核 DNA 供者。即使核 DNA 相近，發育和環境仍可造成表現差異。

⑩ 植物組織培養利用某些植物細胞能再生完整植株的能力。選取適當組織，在合適而避免污染的培養條件下形成細胞或組織，再調節生長條件使根和芽形成，最後培育成植株。它可迅速繁殖某些有利品種，但也須注意污染、遺傳變化及大量相近植株對同一威脅的敏感性。

追蹤核移植的三種來源

來源	主要提供	不能據此推成
體細胞供核者	核 DNA	所有環境及表現型都相同
去核卵細胞供者	細胞質及主要的線粒體 DNA	仍保留原來完整細胞核
代孕個體	胚胎及胎兒發育環境	因懷胎便成為核 DNA 供者

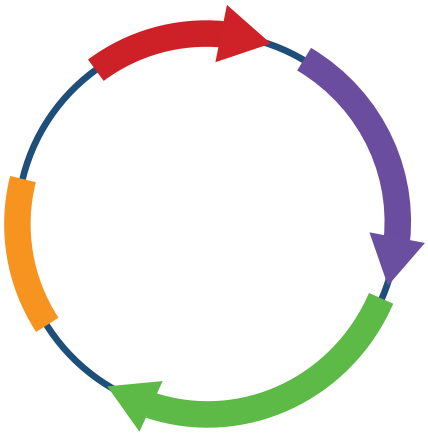
PCR 一輪：分開模板、引物配對、由 3′ 端延伸



重複三個步驟，理想條件下每輪加倍：1 → 2 → 4 → 8 份雙鏈 DNA。

溫度依所用酶與引物而調整；圖中箭頭只表示延伸方向，並非 DNA 聚合酶能從任意位置開始合成。

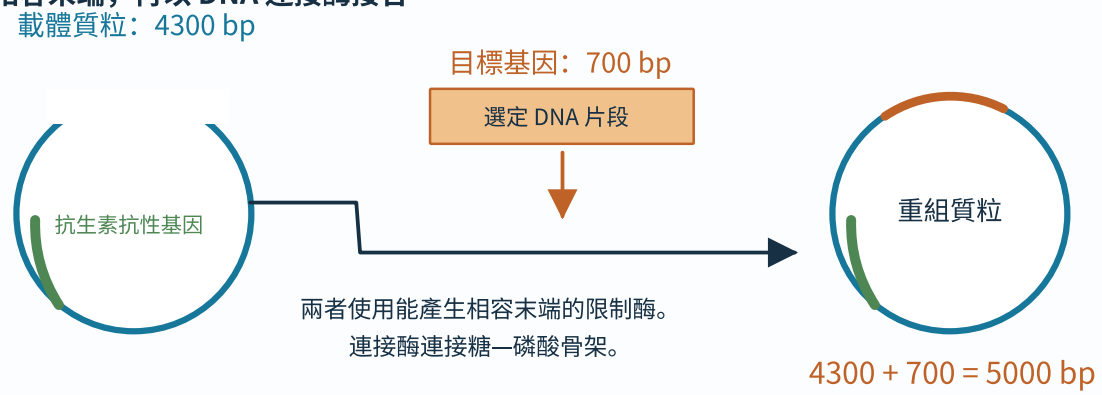
一輪包含變性、引物配對、延伸；耐熱 DNA 聚合酶由引物的 3′ 端延伸。溫度為常見條件示意，須按酶與引物調整。



質粒的環狀 DNA 示意。不同色段只用來分辨示意區域；真正作題時須以原圖標記及指定位置判斷載體功能。

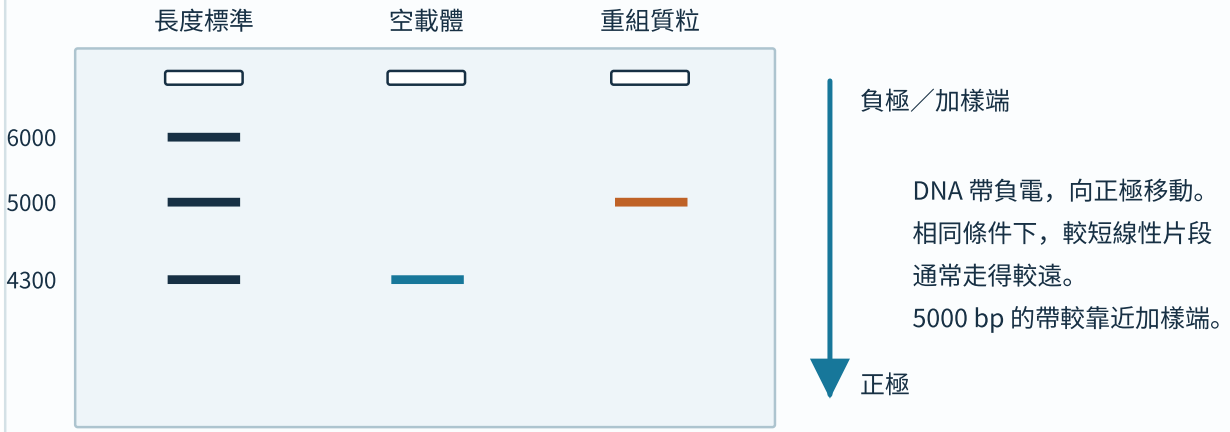
重組 DNA 與電泳：先弄清楚最後得到多長的片段

切出相容末端，再以 DNA 連接酶接合



其後需轉化至合適宿主並篩選；有抗性只能證明相關標記存在，未必已證明含正確插段。

比較電泳條帶之前，把待比較質粒以單一切位點線性化



長度單位：bp（鹼基對）。此處僅比較線性 DNA，不能忽略環狀 DNA 的形態影響。

700 bp 是插入片段的長度；完整重組質粒應把載體與插段的長度相加。

以抽象片段長度檢查總長，並由線性片段大小預測電泳條帶。

動手檢查

1. 連接 DNA 片段所需的酶是____；PCR 中決定目標邊界的重要材料是____。
2. 相同電泳條件下，較短 DNA 片段通常移動得較____。

填空答案：

1. DNA 連接酶；引物。；2. 遠。

點石成金　把取得片段、連接載體、引入宿主、確認表達分開；PCR 看引物邊界，電泳看方向和長度，核移植逐一追蹤核與細胞質。

知 VIII.b　生物技術的應用

知識梳理

① 利用合適宿主製造胰島素或生長激素，可取得特定人類蛋白質作藥物原料。微生物只是生產系統的一部分，產物仍需要分離、純化和品質檢查；不能把未處理培養液直接等同藥物。某些疫苗也可利用重組技術取得抗原。

② 單株抗體來自同一細胞克隆，針對相同的特定抗原部位，可用於檢測或某些治療。若檢測系統利用抗體結合形成可見訊號，陽性結果的意思取決於它識別的是哪一個抗原；不能把任何顯色都直接解釋為所有疾病陽性。

③ 體細胞基因治療把遺傳資料送到患者的某些體細胞，目的是補充、調節或改變與疾病相關的功能。送入的資料是否到達足夠多目標細胞、表達是否合適及作用是否持久，會影響效果。只改變體細胞通常不會把該改變經配子傳給後代，這與改變生殖細胞系不同。

④ 幹細胞能自我更新，並在適當條件下分化成某些細胞類型。不同來源的幹細胞分化潛能不同；用它們修復組織，需要控制分化、移植後存活及組織功能，也要考慮免疫排斥和異常增殖等問題。「能分化」不是「放到任何器官都會自動完成修復」。

⑤ 轉基因動植物可用於研究基因功能，或在農業中引入特定性狀，例如對某類害蟲具有抗性。評價時要比較所增加的性狀、實際產量、資源投入及對其他生物的影響。種子較重、某基因表達較高與萌發率較高是不同指標，不能用其中一項代替全部表現。

生物技術應用先辨認它改變的對象

應用	核心對象或作用	判斷效果時要查
重組蛋白生產	宿主按引入資料製造蛋白質	正確表達、功能及產品品質
單株抗體檢測	辨認相應抗原部位	訊號是否真的對應目標抗原
體細胞基因治療	改變患者部分體細胞的功能	送達、表達及持續性
幹細胞應用	自我更新及分化潛能	分化是否合適、移植後功能與風險

動手檢查

1. 體細胞基因治療通常不會把改變經____傳給後代。

填空答案：

1. 配子。

點石成金　說清改變的是基因、細胞還是蛋白質產品，再把作用機制連到目標用途和具體限制。

知 VIII.c　生物倫理

知識梳理

① 如果某轉基因作物能減少特定害蟲造成的損失，這是一項可討論的農業利益；是否影響非目標生物、是否使害蟲抗性增加，以及種子取得成本如何，則是另外幾項需要證據的問題。完整評價應把每項利益或疑慮連到具體機制，不能只說「天然較好」或「科技一定較好」。

② 動物複製可保存某些遺傳特徵或用於研究，但也可能涉及胚胎成功率、代孕動物和後代的健康與福利。植物大量複製可快速提供品質相近的苗，卻可能降低栽培羣體的遺傳差異，使同一威脅影響較多植株。兩種複製的倫理及生態問題不必完全相同。

③ 基因組資料可協助研究或風險評估，也可能暴露個人及家人的敏感遺傳信息。誰能取得資料、是否取得知情同意、如何避免不公平使用，屬重要社會及法律考量。基因與某疾病相關，也不表示每個帶有該變異的人都必然發病，傳達資料時須保留不確定性。

④ 幹細胞和基因治療的討論可涉及材料來源、可預期利益、風險、治療機會是否公平，以及受影響者的意願。科學資料可幫助估計某種後果，但是否接受這個代價還涉及價值判斷。作答可先提出立場，再以生物學證據、受影響者及可行管理措施支撐，並回應一項合理限制。

評價轉基因抗蟲作物：每項都須有具體理由

要評價的面向	可以提出的理由	仍需要的證據
農業效益	減少特定害蟲造成的產量損失	同條件產量、成本及使用情況
生態影響	可能影響非目標生物或改變食物網	實際接觸、非目標效應與野外監測
演化影響	持續選擇可能提高害蟲抗性比例	跨世代抗性資料
社會與經濟	種子成本及取得條件影響農戶	成本、收益與受影響羣體資料

動手檢查

1. 評價一項技術時，列出利益後還應以證據分析其____及受影響者。

填空答案：

1. 風險／限制。

點石成金　先說清技術及用途，依相同指標比較利益、風險和影響對象，最後提出有理由的判斷。

把本節的權衡方法應用於以下整題中的相關分問：HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 4 題（VIII.b 題型 1 例題 2）；HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 4 題（VIII.b 題型 1 練習 3）；HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 4 題（VIII.b 題型 1 練習 1）。先說明誰受益、誰承擔風險，再用題目資料支持判斷。

Chapter 7

人體生理學：調節與控制：題型與練習

V.a　水分調節：從血液到尿液

先讀「知 V.a」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　沿腎元的物質去向解釋水分調節

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

① 假設一段時間有 100 單位葡萄糖進入腎小球濾液，之後全部回到血液，尿液便不含這 100 單位；這是先超濾、後重吸收，並非葡萄糖從未離開血液。水被重吸收時，留在管腔內的尿素濃度可以上升，不能由濃度較高便推斷管腔新製造了尿素。

② 失水時血液水勢下降，ADH 釋放增加，集合管對水的通透性提高，較多水回到血液，尿量減少。讀重吸收曲線還須檢查運輸能力是否已達上限。

點石成金　把血液、濾液、尿液分成三個位置，再逐一追蹤水、葡萄糖及尿素；激素題按偏離→ADH→通透性→重吸收→尿液寫。

例 1　[HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 1 題]

(a)　下表顯示經由腎臟處理的不同物質的量：

	過濾至腎小管的量	重吸收至微血管的量	經由尿液排出的量
葡萄糖 ($g\ day^{-1}$)	180	180	0
碳酸氫鹽 ($mEq\ day^{-1}$)	4 320	4 318	2
鈉 ($mEq\ day^{-1}$)	25 560	25 410	150
氯 ($mEq\ day^{-1}$)	19 440	19 260	180
鉀 ($mEq\ day^{-1}$)	756	644	92
尿素 ($g\ day^{-1}$)	47	23.5	23.5

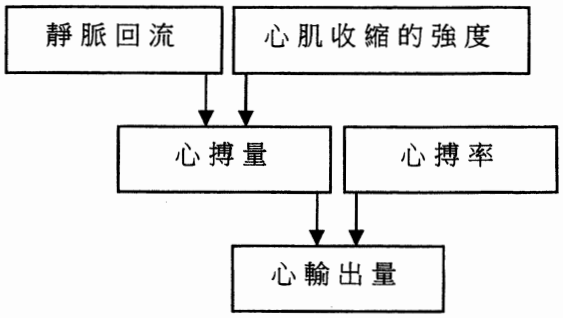
(i)　根據重吸收所涉及的機制，解釋腎臟處理葡萄糖量和尿素量的差異。(4 分)

(ii)　腎臟重吸收水分的總量中，只有小部分是由激素所調控。

(1)　利用上表的資料，解釋大多數水分是如何在非激素調控下被重吸收的。(3 分)

(2)　寫出負責調控重吸收水分的激素，並寫出它如何運作。(2 分)

(b) 心輸出量即是進入體循環的血容量。下圖顯示某些影響心輸出量的因素：



(i) 哪個心腔的收縮構成心搏量？ (1 分)

(ii) 解釋心搏量是如何受靜脈回流和心肌收縮的強度所影響。 (2 分)

(iii) 提出**一項**原因，解釋為什麼當某人進行運動時，其靜脈回流會有所增加。 (3 分)

(iv) 跑者在馬拉松賽跑的平均速度通常較於 100 米賽跑的低很多。解釋為什麼馬拉松跑者不可能以 100 米跑者的平均速度來跑畢馬拉松賽跑。 (5 分)

解答 **a(i)；原評分 4 分**

葡萄糖的 180 g day^{-1}全部重吸收，因腎小管有主動運輸機制將它從濾液移回血液。尿素的 47 g day^{-1}中只有 23.5 g day^{-1}被重吸收，即一半；尿素主要隨濃度梯度擴散回去，並非被主動回收至全部。

引用表中數字，分別說明全部與一半，再配對主動運輸及擴散。

a(ii)(1)；原評分 3 分

表中葡萄糖及大部分無機離子被重吸收，使周圍血液／組織液相對濾液的水勢降低；水因此由腎小管濾液經滲透作用進入血液。

水跟隨溶質重吸收所建立的水勢差，不必每一段都靠激素直接控制；水本身不是被主動泵走。

a(ii)(2)；原評分 2 分

抗利尿激素（ADH）；增加集合管對水的通透性，使更多水沿水勢梯度重吸收。

激素改變的是管壁水通透性，真正的水移動仍由滲透驅動。

b(i)；原評分 1 分

左心室。

題目把心輸出量定義為進入體循環的血量，故取左心室每次收縮送入主動脈的血量。

b(ii)；原評分 2 分

靜脈迴流增加時，心室舒張期充盈的血量通常增加，可供下一搏泵出的血量增多；心肌收縮更強時，同次收縮可排出更多血，因此心搏量提高。

一項影響充盈，一項影響排出，兩者都作用於每搏輸出的體積。

b(iii)；原評分 3 分

運動時四肢骨骼肌交替收縮，壓縮靜脈，把血向心臟推進；靜脈瓣防止倒流，因此經大靜脈迴流至心臟的血量增加。

也可用呼吸加深、胸腔壓更負、促進靜脈血迴流的完整三步解釋。不能說靜脈靠自身像心室一樣強力搏動。

方法：分開血液、濾液和尿液，逐項追蹤物質。

b(iv)；原評分 5 分

馬拉松需要肌肉長時間持續收縮。若全程用 100 米短跑速度，ATP 需求會超過長時間可持續的需氧供能能力，氧供不足以配合需求，因而大量依賴無氧途徑並出現較高乳酸生成。這種高強度供能只能維持短時間，疲勞及內環境變化令肌肉不能長久維持相同收縮強度，所以速度必須降低。

官方以長時間收縮、氧供不足、無氧呼吸與乳酸、乳酸積聚、疲勞作五個得分環節。現代解釋下疲勞是多因素結果，不應背成乳酸是唯一直接毒因；本題核心是最大需氧供能限制使衝刺速度不可長時間維持。

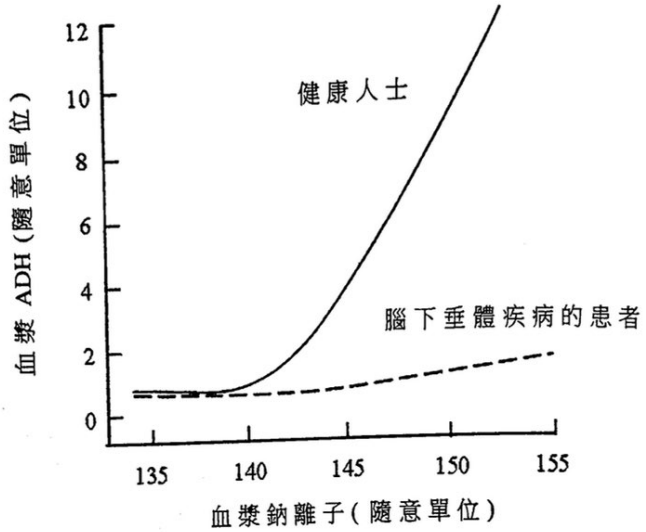
評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

葡萄糖與尿素回收差異須講運輸機制，不能只說有用所以全部留住；靜脈迴流是進入右心房的血量，不等於心率；水的回收機制須說水勢與通透性。

評分依據：HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 7 頁。

例 2　[HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 1 題]

(a) 在一項研究中，將兩組人士的血漿抗利尿激素 (ADH) 水平與血漿鈉離子水平進行比較。他們分別是健康人士和患有腦下垂體疾病的病人。下圖顯示他們體內該兩種物質水平的關係：



(i) 參考上圖，描述這兩組人士血漿 ADH 水平的變化。 (3 分)

(ii) 根據你在 (a)(i) 的答案，解釋腦下垂體疾病的患者所產生的尿液，在體積和濃度上如何有別於健康人士所產生的尿液。 (3 分)

(iii) 解釋健康人士的血漿鈉離子水平的增加，如何引致血漿 ADH 水平的變化。 (3 分)

(iv) 一些腦下垂體疾病的女患者沒有月經。根據你對腦下垂體功能的認識，試舉出一項可能的解釋來說明這個現象。 (3 分)

(b) 在一項探究中，一名自願者在靜止狀態下吸入含不同二氧化碳濃度的空氣，然後量度與呼吸相關的參數。結果如下表所示：

吸入空氣內的二氧化碳濃度 (%)	呼吸速率 (min^{-1})	呼吸的深度 (L)	換氣速率 ($L\ min^{-1}$)
0.04	14	0.5	7.0
0.80	14	0.6	8.4
1.50	14	0.8	11.2
2.70	14	1.2	16.8
3.50	15	1.6	24.0
4.30	17	1.7	28.9
5.60	24	1.7	40.8
6.50	29	1.7	49.3

(i) 寫出在不同二氧化碳濃度範圍內，主導換氣速率變化的參數。 (2 分)

(ii) 試提出為什麼在二氧化碳濃度超越 4.3% 後，呼吸深度保持恆定。 (1 分)

(iii) 描述二氧化碳濃度增加對該自願者換氣速率的效應。 (1 分)

(iv) 解釋二氧化碳濃度增加如何導致換氣速率變化。 (4 分)

解答 **a(i)；原評分 3 分**

鈉離子水平約低於 140 時，兩組的 ADH 都維持在相近的低水平；鈉離子再升高時，健康者 ADH 大幅增加，垂體疾病患者則只有輕微增加。

橫軸是鈉離子水平，不是時間，所以不應用「健康者較快分泌」取代兩變量之間的關係。先描述低鈉範圍的共同點，再描述高鈉範圍的差別。患者曲線不是完全水平，仍略有上升，但增幅遠小於健康者。

a(ii)；原評分 3 分

患者產生的尿液體積較大、濃度較低。其 ADH 較低，使集尿管對水的通透性較低，水重吸收減少。

沿同一鈉離子水平比較，患者的 ADH 較少，不能像健康者一樣提高集尿管對水的通透性。較少水由濾液回到血液，較多水留在尿液中，故尿量增加並較稀。要同時寫體積和濃度，並說通透性是「對水」而言，不把它說成所有溶質都更易通過。

a(iii)；原評分 3 分

鈉離子水平上升令血液水勢下降；下丘腦的滲透感受器偵測這個變化，促使垂體後葉釋出更多 ADH 入血。

感受器實際偵測的是滲透狀態的改變，而不只是抽象地「知道鈉高」。ADH 在下丘腦合成，由垂體後葉儲存及釋放；這條輸出使腎臟其後重吸收更多水，幫助降低原來的偏差。不能把合成、感受或釋放位置都混寫成腎臟。

a(iv)；原評分 3 分

垂體分泌不足的 FSH，不能充分刺激卵泡發育；雌激素維持較低，子宮內膜不能正常增厚及形成周期，因而可能沒有月經。

題目要一條由垂體疾病引起的可能機制。FSH 由垂體前葉分泌，作用於卵巢；卵泡才是雌激素的重要來源，雌激素再影響子宮內膜。不要寫成垂體直接製造雌激素或孕酮，也不把前面的 ADH 當作控制月經的激素。

b(i)；原評分 2 分

在 0.04%–2.70% 的較低二氧化碳範圍，換氣增加主要來自呼吸深度增加；約 3.50%–6.50% 的較高範圍，主要來自呼吸速率增加。

方法：分開血液、濾液和尿液，逐項追蹤物質。

先使用關係：
每分鐘換氣量 = 每分鐘呼吸次數 × 每次呼吸深度。
低範圍的呼吸速率一直是 14 min^{-1}，深度由 0.5 L 增至 1.2 L，所以變化來自深度。
高範圍的深度接近 1.6–1.7 L 的平台，速率卻由 15 增至 29 min^{-1}，所以主要靠頻率。不能把三欄的「速率」都當成同一個量。

b(ii)；原評分 1 分

肺部的擴張已接近該條件下的體積上限，呼吸深度不能再明顯增加。
深度是每次吸入或呼出的空氣量，肺及胸廓不能無限擴大；到 4.3% 後維持 1.7 L，往後增加每分鐘換氣量主要靠增加呼吸次數。不要把這個肺容量限制寫成膀胱或潮氣以外的構造。

b(iii)；原評分 1 分

吸入空氣的二氧化碳濃度愈高，換氣速率愈大。
表內每分鐘換氣量由 7.0 L/min 增至 49.3 L/min，整體持續上升。題目此處只要求描述結果，機制留在下一問；不把換氣速率升高誤說成呼吸深度在所有範圍都持續增加。

b(iv)；原評分 4 分

血液二氧化碳增加並使 pH 下降，相關化學感受機制使延腦呼吸中樞增加輸出；更多神經脈衝傳到膈肌和肋間肌，使收縮更頻密或更強，換氣量增加。
按刺激 → 偵測及中樞 → 神經輸出 → 呼吸肌的順序寫。二氧化碳和酸鹼狀態改變是刺激，中樞控制呼吸肌的動作，肺容積變化再造成空氣流動。只說「負反饋令呼吸增加」沒有顯示中間步驟；本題也不是問心率控制。

評分依據：HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

例 3 [HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 1 題]

下表顯示來自缺氧呼吸和需氧呼吸所供應的能量相對百份比如何隨着進行劇烈運動的時間而改變：

進行劇烈運動的時間	能量供應相對百份比	
	缺氧呼吸	需氧呼吸
10 秒	95	5
30 秒	85	15
1 分鐘	70	30
2 分鐘	50	50
8 分鐘	30	70
12 分鐘	15	85
30 分鐘	5	95

(i) 進行劇烈運動的時間跟兩種呼吸途徑所供應的能量有什麼關係？(1 分)

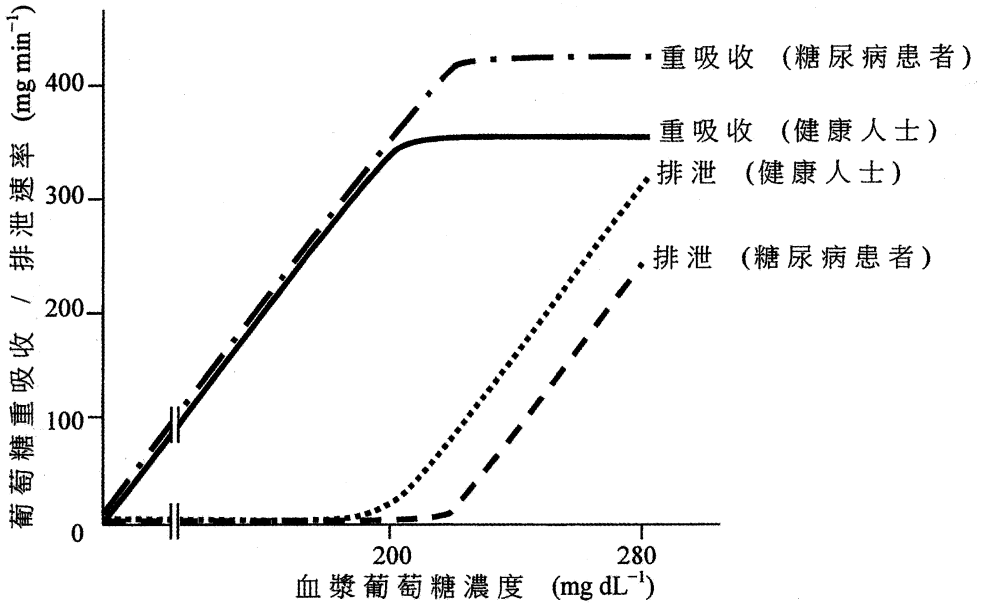
(ii) 進行為時短暫的劇烈運動 (10-30 秒) 時，能量主要來自分解肌肉內的食物貯備。

(1) 以流程圖顯示經由缺氧途徑將這食物貯備轉化為可用能量的兩個主要步驟。(2 分)
(注意：不需要途徑內中間物的細節。)

(2) 雖然能量主要來自缺氧途徑，運動員進行短暫的劇烈運動之後，仍需要急速呼吸一段時間。解釋這現象的重要性。(2 分)

(iii) 進行運動期間，交感神經系統受到刺激。解釋這如何引致生理上的改變以維持運動。(4 分)

下圖分別顯示一名健康人士和一名非胰島素依賴型（二型）糖尿病患者的腎臟對葡萄糖的處理能力（重吸收和排泄）：



(i) 若血漿葡萄糖濃度由 0 增加至 280 mg dL^{-1}，該名健康人士的腎臟對葡萄糖處理有什麼改變？試加以描述。（4 分）

(ii) 已知在二型糖尿病患者的腎小管內，編碼着膜葡萄糖載體的基因的表達機會增加。

(1) 這些膜葡萄糖載體位於腎小管的哪個區域？（1 分）

(2) 試提出為什麼二型糖尿病患者有較高的葡萄糖重吸收能力。（2 分）

(iii) 若沒有適當地控制糖尿病患者的病情，患者的血漿葡萄糖濃度可升超過 300 mg dL^{-1}。解釋為什麼這些糖尿病患者排尿較健康人士頻密。（4 分）

解答 **(a)(i)；原評分 1 分**

劇烈運動持續越久，需氧呼吸供能的相對百分比越高，缺氧呼吸所佔比例越低。例如 10 秒時需氧供能 5%，30 分鐘時增至 95%。題目給的是百分比，不能直接斷言缺氧呼吸提供的能量絕對量一定隨時間下降。

方法：分開血液、濾液和尿液，逐項追蹤物質。

(a)(ii)(1)；原評分 2 分

糖原 → 葡萄糖 → 乳酸／乳酸鹽＋ATP。

先把肌肉儲存的糖原分解，供應可參與糖酵解的糖；再經缺氧途徑形成乳酸，並藉底物水平磷酸化取得少量 ATP。依題目要求以兩個主要步驟表示，不需把途徑所有中間物列出。

(a)(ii)(2)；原評分 2 分

持續急速呼吸可供應額外氧，處理運動時累積的乳酸並恢復能量儲備。

肌肉停止劇烈運動，不代表代謝立即回到靜息水平。部分乳酸可被氧化，或經肝臟轉回葡萄糖等；這些恢復過程需要能量及氧。因此急促呼吸可延續一段時間。

(a)(iii)；原評分 4 分

交感神經對竇房結及心肌的刺激增加，使心率和收縮力提高，心輸出量增加，較多含氧血流向活動肌肉。

把神經訊號連到供能需求：竇房結較快產生衝動→心率提高；心肌收縮較強→每搏輸出量可增加；兩者使每分鐘送到肌肉的血量增加，提供氧及呼吸底物，支持持續收縮。骨骼呼吸肌本身由運動神經控制，無須把交感神經說成直接支配橫膈膜。

(b)(i)；原評分 4 分

血糖約 0 至 200 mg dL^{-1}時，重吸收量隨血糖上升而增加，尿中幾乎沒有葡萄糖；超過約 200 mg dL^{-1}後，重吸收量趨平，排出量開始隨血糖上升而增加。

先把曲線分成腎閾值前後兩段，每段同時說重吸收和排出。健康者的重吸收上限約 350 mg min^{-1}；當運輸能力接近飽和，多餘的濾出葡萄糖便留在尿液。原圖的彎曲過渡是近似值，官方容許閾值約 200±20。

(b)(ii)(1)；原評分 1 分

近曲小管（第一曲小管）。

葡萄糖通常在近曲小管被大量、選擇性重吸收。不要把主要調節水量的集尿管當作主要吸收葡萄糖的位置。

(b)(ii)(2)；原評分 2 分

相關基因表達增加，膜上的葡萄糖運輸蛋白較多，使每單位時間的重吸收容量提高。基因表達的結果是製造更多相應蛋白質；運輸蛋白數目增加，便有更多運輸途徑同時工作。因此糖尿病患者曲線的重吸收平台較高。不是說每個載體必然改變成速度更快。

(b)(iii)；原評分 4 分

過量葡萄糖未能完全重吸收，使小管液水勢降低；水的重吸收比例減少，尿量增加，因而較頻密排尿。

當血糖超過運輸容量，葡萄糖留在濾液中，增加溶質濃度，減少水從小管／集尿管回到血液的水勢差。結果更多水隨尿液排出。須把『有尿糖』接到水勢和尿量，不能只寫血糖高所以喝水多。

運動肌肉中由糖原獲取能量



由葡萄糖至乳酸的途徑可形成少量 ATP；ATP 形成在糖酵解階段。

對應原題的作圖答案

評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

運動時間與能量供應的趨勢不能任意說成正比例。葡萄糖在尿中出現須連到過濾量超過重吸收能力；其引起失水的直接因素是濾液水勢降低。

評分依據：HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

V.b　體溫的調節

先讀「知 V.b」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　把核心體溫、皮膚與水分反應接起來

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

① 吃冰塊後，冰在體內融化和升溫會吸熱；量到皮膚溫度的變化，則還取決於皮膚血流，兩處不必同方向改變。運動後的散熱也要分開看產熱、流向皮膚的血液、排汗量及汗的蒸發。

② 相同排汗量遇上不同濕度，帶走的熱可以不同；失去不同水量時，ADH 和尿量亦可出現另一組反應。先逐條讀曲線，再把器官之間的因果關係連起來。

點石成金　先確認量度部位和處理條件；皮膚升溫不能直接當作核心體溫上升，排汗較多也不必等於蒸發散熱較有效。

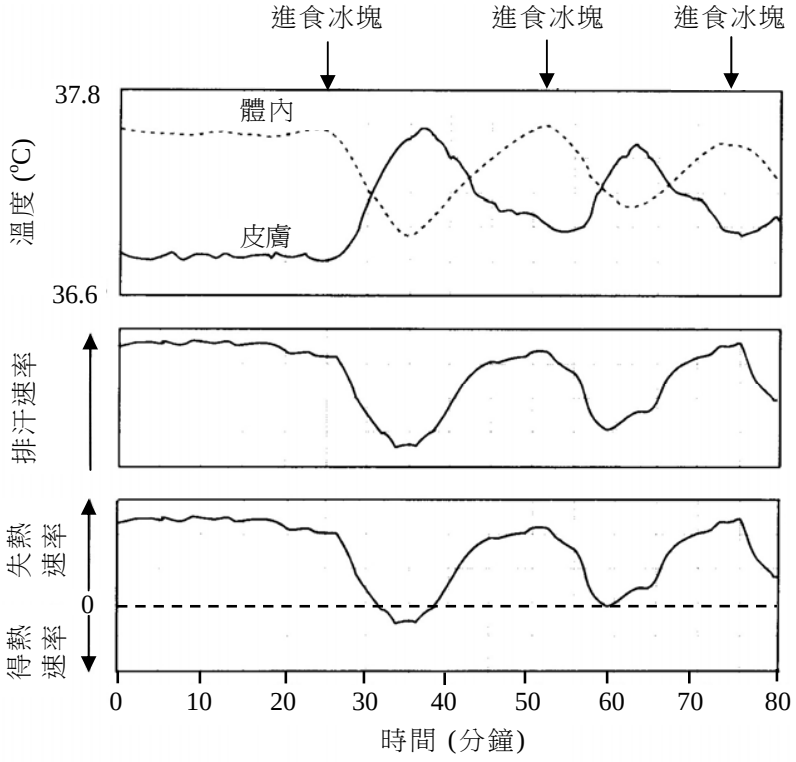
例 1　[HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 1 題]

(a)　在一個實驗中，一名健康的男子在室溫 45°C 的房間內，於不同時間進食大量碎冰塊 (約 500 g)。在實驗進行期間，量度了這名男子下列有關的參數：

- 體內溫度 (於耳膜量度，這顯示供應給下丘腦的血液的溫度)
- 皮膚溫度
- 排汗速率
- 散失／獲得體熱的速率

(註：在實驗期間，這名男子的代謝速率**維持不變**。)

以下曲線圖顯示有關數據：



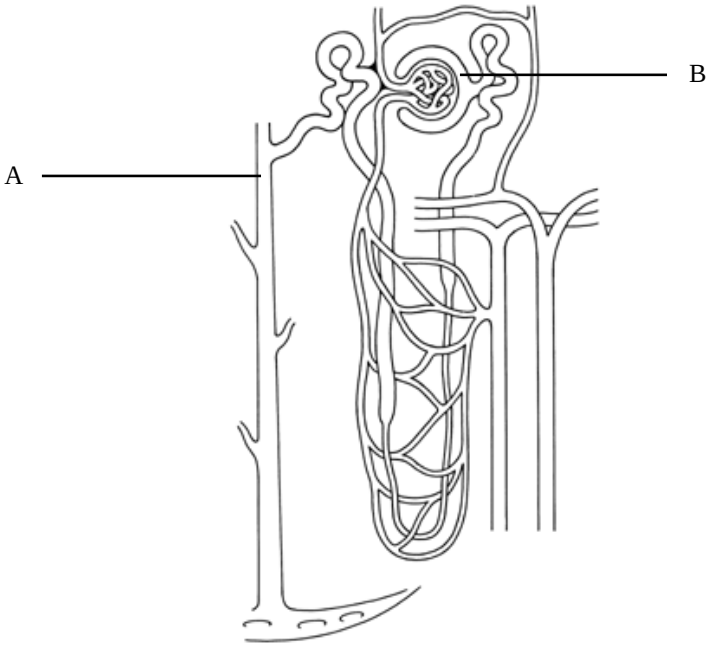
(i)　描述進食冰塊後的五分鐘內，這名男子的體內溫度和皮膚溫度的變化。　(2 分)

(ii)　解釋進食冰塊如何導致你在題 (i) 指出的體內溫度變化。　(2 分)

(iii)　進食冰塊後的五分鐘內，皮膚溫度的變化屬體內平衡反應的結果。參考以上曲線圖，解釋導致皮膚溫度這樣變化的機制。　(4 分)

(iv)　根據這項實驗的結果，可作出以下推論：
「與體內溫度比較，環境溫度在引致排汗方面擔當較為次要的角色。」
有什麼證據支持這個推論？　(3 分)

(b)　下圖顯示一個腎元的結構：



(i)　解釋為什麼 A 內液體所含的葡萄糖百分率較 B 內的低，但尿素的百分率則較高。　(2 分)

(ii)　解釋大量排汗後，A 內液體濃度的變化。　(5 分)

(iii)　患腎衰竭的病人需要接受透析機的治療，其運作所基於的生物學原理與腎臟的相似。透析機內人工膜與腎元的管壁，在運作上有什麼相似和相異之處？各舉**一項**。　(2 分)

解答　**a(i)；原評分 2 分**

體內溫度下降，皮膚溫度上升。

以每次進食冰塊的箭頭為起點，只看之後五分鐘：虛線代表的體內溫度往下，實線代表的皮膚溫度往上。題目先要求描述，應把兩條曲線各自的變化寫出；不能只寫「身體變冷」，漏掉皮膚反而變暖的觀察。

方法：先核量度位置，再連接血流、汗及散熱。

a(ii)；原評分 2 分

冰塊在體內融化和升溫時吸收熱，令流經消化道的血液降溫；較冷的血液流到下丘腦，反映體內溫度下降。

冰塊的作用先是熱的轉移：體內把熱交給冰，使冰融化並升溫，所以附近血液失去部分熱。血液循環再把這個溫度變化帶到下丘腦。不是冰塊直接接觸腦部，也不是飲食後人體停止產熱；題幹已指定代謝速率維持不變。

a(iii)；原評分 4 分

下丘腦偵測到體內溫度下降後，發出神經訊號減少汗腺分泌；汗液蒸發帶走的熱減少，因此皮膚溫度上升。

完整鏈條從感受器開始：供應下丘腦的血液變冷，引起保留體熱的負反饋反應。汗腺受到的刺激減少，排汗速率曲線隨之下降，皮膚蒸發散熱也減少。房間仍為 45°C，皮膚仍可從較熱環境得熱；當散熱不足以抵消得熱時，皮膚便升溫。這能同時解釋排汗、熱交換與皮膚溫度三組數據；不能在代謝速率固定的題設下，把升溫歸因於提高代謝產熱。

a(iv)；原評分 3 分

室溫一直維持 45°C，但每次體內溫度下降，排汗速率仍明顯下降，之後又隨體內溫度回升而增加；這說明排汗主要隨體內溫度變化。

若環境高溫是這次反應的唯一主導因素，持續 45°C 應一直驅動強排汗。然而圖中在環境不變、皮膚甚至變暖時，排汗卻跟著體內降溫而減少，支持體內感受資訊更有影響。這是本實驗條件下的相對作用推論，不能擴大成環境溫度在任何情況都不影響排汗。

b(i)；原評分 2 分

流體由 B 經腎小管到 A 時，葡萄糖被重吸收，所以 A 的葡萄糖百分率較低；重吸收的水所佔比例高於尿素，令剩餘尿素的百分率較高。

A 位於集尿管，接收已經過腎小管處理的流體。正常情況下，濾液中的葡萄糖幾乎全在近曲小管回到血液，因此 A 很少或沒有葡萄糖。另一方面，很多水被收回，而尿素留下的相對比例較高。尿素濃度升高不代表腎小管在這段路製造了尿素，也不代表尿素總量必定增加。

b(ii)；原評分 5 分

大量排汗失水令血液水勢下降，促使腦下垂體後葉釋放較多 ADH；ADH 增加遠曲小管和集尿管對水的通透性，較多水重吸收到血液，因此 A 內尿液更濃。

汗帶走水，先改變的是血液濃度與水勢。下丘腦感受這個偏離後，透過 ADH 增加腎臟保水。當更多水由管內經滲透回到血液，剩餘的尿素等溶質被留在較少水中，尿量下降而濃度升高。ADH 在下丘腦製造、由腦下垂體後葉釋放；不能把「通透性增加」理解成水更易從人體排走。

b(iii)；原評分 2 分

相似：兩者都具有選擇透過作用，讓部分小分子通過並保留血細胞及大分子蛋白。

相異：腎小管的活細胞能主動、選擇性地重吸收有用物質，人工透析膜沒有這種代謝功能。

比較的是實際交換機制。透析膜可使尿素等小分子沿濃度差移動，但不會自行辨認身體需要多少葡萄糖並耗 ATP 運回。腎元由有生命的細胞構成，其運輸蛋白和能量供應可完成這些調節。因此透析液須配合合適成分，避免必要物質大量流失，不能把透析膜當成會主動工作的腎細胞。

評分依據：HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 7 頁。

V.c　血液氣體含量的調節

先讀「知 V.c」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　由心輸出量與氣體變化解釋運動調節

綜合程度 ★★★☆☆

知識梳理

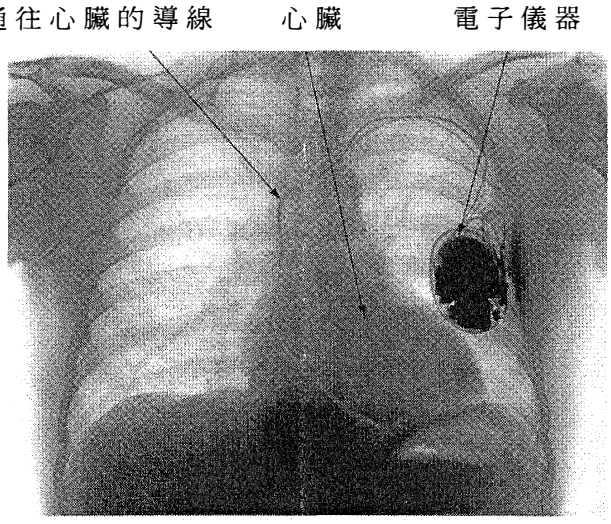
① 若甲每搏量 70mL、心率 75 次／分鐘，心輸出量為 5250mL／分鐘；乙每搏量 90mL、心率 60 次／分鐘，則為 5400mL／分鐘。乙心率較低，心輸出量仍較高，因此訓練效果不能只看一條心率曲線。

② 活動組織呼吸增加，產生的二氧化碳及相關酸鹼變化參與調節，令換氣及心血管活動配合需要。整題同時涉及補水或激素時，須保留各條調節路徑各自的刺激與效應器。

點石成金　先計每搏量×心率，再比較氧供及代謝需要；分清引發心搏的起搏活動與改變心率的神經、激素調節。

例 1　[HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 1 題]

a) 以下 X 光照片顯示透過手術植入一名心臟病患者的胸腔內的微型電子儀器。該儀器能使病人的心臟維持正常的節律。



(i) 該電子儀器在功能上是用來取代心臟哪個構造？ (1 分)

(ii) 題 (i) 提及的構造會觸發一系列過程，使心臟正常運作。試描述這些過程。 (4 分)

(iii) 在心動週期的某段時間內，兩個心房和心室均處於鬆弛狀態。概述在這期間血液由肺部回流入心臟空腔的途徑。 (3 分)

(iv) 根據一種激素，描述它如何令心輸出量增加。 (3 分)

b) 潔茹已婚兩年，在第一年她服用含有孕酮的避孕丸。停止服用避孕丸後，她便懷孕。三個月後，她發現陰道有出血現象。她的醫生給她孕酮，使她停止出血。

(i) 解釋避孕丸內的孕酮如何幫助潔茹避免懷孕。 (5 分)

(ii) (1) 從潔茹的陰道出血顯示，有什麼可能成因和後果？ (2 分)

(2) 在這種情況下，醫生處方的孕酮對潔茹有什麼幫助？ (2 分)

解答　**a(i)；原評分 1 分**

竇房結，即心臟的天然起搏點。

植入式電子儀器按節律發出電刺激，代替或補助正常開始心搏的功能。

a(ii)；原評分 4 分

竇房結發出的電衝動沿兩個心房壁傳播，令心房同時收縮；衝動傳到房室結，之後再沿傳導組織到達兩個心室壁，令心室在心房之後收縮。

依序寫出起始、心房傳播與收縮、房室結、心室後續收縮。這種先後次序讓血先進入心室，再被泵出心臟。

a(iii)；原評分 3 分

血液由肺經肺靜脈回到左心房，再通過此時開啟的二尖瓣流入左心室。

方法：先算心輸出量，再連到氧供與調節。

兩個心房和心室鬆弛時，靜脈迴流仍可使血進入心腔，不需等到心房主動收縮後才有任何血流入。

a(iv)；原評分 3 分

腎上腺素使心肌收縮更快及更強；心率與每搏輸出量增加，故每分鐘心輸出量增加。心輸出量＝心率×每搏輸出量。回答須說明激素如何改變至少這兩個決定量，而不是只說「刺激心臟」。

b(i)；原評分 5 分

避孕丸維持較高孕酮水平，對垂體產生負反饋，抑制 FSH 和 LH 分泌；FSH 低使卵泡不充分發育，LH 低使排卵受到抑制，沒有卵子排出便不會受精。

按題設解釋孕酮參與的激素迴路。關鍵不是孕酮直接殺精子，而是抑制促性腺激素，阻斷卵泡發育及排卵。

b(ii)(1)；原評分 2 分

按題設的解釋，出血可能表示子宮內膜開始分解，若支持妊娠的內膜失去穩定，可能導致流產。

原題以孕酮處理這個情境，要求說明內膜和胚胎依附的關係；這是對題設的生理解釋，不能僅憑真實個案出血便自行確定原因。

b(ii)(2)；原評分 2 分

孕酮維持子宮內膜厚度和血液供應，使胎盤／胚胎可穩定依附於內膜，支持妊娠繼續。

這裏的孕酮在已懷孕後的用途是維持內膜，須與前面用高孕酮抑制排卵的用途區分。

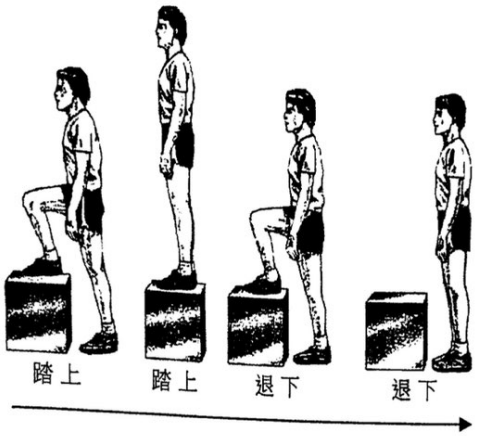
評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

心臟電衝動不應寫成由神經元傳來的神經衝動；舒張期迴流不能誤寫成依靠心房收縮。心輸出量有心率及每搏輸出量兩部分。

評分依據：HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 7 頁。

例 2　[HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 1 題]

1(a) 兩名年青學生小美和小光進行一連串強度漸進的登階運動。他們每次運動都以一固定速度（每 10 秒鐘 2 次、 6 次或 10 次）上落木箱，歷時 3 分鐘，如下圖所示：



在靜止狀態和每次運動後立即量度他們的心率和血液乳酸濃度。在進行下一次運動之前，容許兩名學生休息，直至心率和血液乳酸濃度回復靜止狀態時的水平。結果如下表所示：

運動強度（每 10 秒登階次數）	心率（每分鐘跳動次數）		血液乳酸濃度 ($mmol\ L^{-1}$)	
	小美	小光	小美	小光
0（靜止狀態）	58	80	0.42	0.43
2	64	91	0.63	0.82
6	94	132	0.82	2.40
10	130	178	1.20	5.80

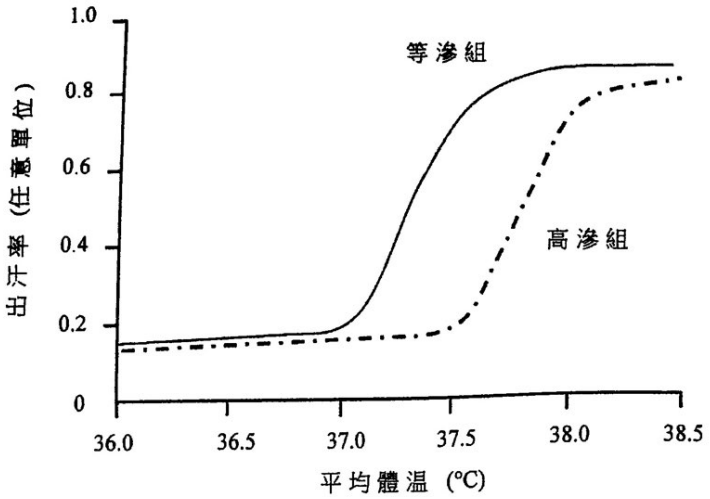
(i) 描述增加運動強度對心率和血液乳酸濃度的整體效應。 (1 分)

(ii) 根據你在(i)的答案，解釋在運動期間血液乳酸濃度的變化。 (3 分)

(iii) 參考你在(i)的答案，描述神經系統如何引致在運動期間心率的變化。 (4 分)

(iv) 小美是一名受過訓練的運動員。從數據中舉出兩項證據以支持這說法。 (2 分)

1(b) 進行一項實驗以研究血液的水含量對體温調節反應的效應。將自願者分為兩組，其中一組的血液水含量維持在等滲情況，另一組則維持在高滲情況。他們需要浸於淹至中胸的熱水中 30 分鐘。實驗期間，持續監測自願者前額的出汗率和體温。在這兩組自願者中，兩個參數之間的關係如下圖所示：



(i) 指出在等滲組的體温調節反應所涉及的感受器和反應器。 (2 分)

(ii) 參考上圖所示等滲組的體温調節反應，解釋為什麼這反應帶來的變化被視作負反饋的一個例子。 (4 分)
(提示：答案內**不需**提及該反應的神經協調。)

(iii) 參考上圖，推斷血液的高滲情況對自願者的體温調節的負反饋機制有什麼效應。 (2 分)

(iv) 在 (iii) 所描述的效應，有利於高滲組的自願者調節其體內水平衡。試加以解釋。 (2 分)

解答 **a(i)；原評分 1 分**

運動強度愈高，心率與血液乳酸濃度整體愈高。

兩名學生由靜止到較快登階時，兩欄數值均增加。描述須同時提及兩個因變量。

方法：先算心輸出量，再連到氧供與調節。

a(ii)；原評分 3 分

肌肉需能量的速率超過有氧呼吸所能供應的速率，額外進行缺氧呼吸並產生乳酸；產生快於清除使乳酸累積。

運動愈劇烈，氧的供應可能未能完全滿足肌肉需能量的速率，因此有氧與缺氧供能可同時存在。不能寫成所有有氧呼吸完全停止；表中血乳酸上升表示生成與清除之間有淨累積。

a(iii)；原評分 4 分

血液酸化由延腦的化學感受器偵測；心血管中樞經交感神經增加送往竇房結的訊息，令心率上升。

本題把乳酸濃度上升所伴隨的血液 pH 下降作為刺激。延腦心血管中樞向起搏點／竇房結發出更多神經脈衝；竇房結更頻密地產生電訊號並傳遍心肌，使心肌更快收縮。答案要連接刺激、感受、中樞、竇房結與心肌反應，不能只寫「交感神經加快心跳」。

a(iv)；原評分 2 分

小美的靜止心率較低；相同運動強度下乳酸濃度較低。

靜止時小美為 58 次／分，小光為 80 次／分。最高登階強度下，小美乳酸濃度為 1.20 mmol/L，小光為 5.80 mmol/L；相同工作要求下的較低心率及乳酸累積，與較佳心肺適能相符。比較必須使用相同運動強度，不能拿不同列互比。

b(i)；原評分 2 分

感受器是下丘腦的溫度感受器；反應器是汗腺。

圖中調節的是核心體溫與出汗，故應由體內溫度偵測到汗腺分泌的反應相連。

b(ii)；原評分 4 分

體溫偏離約 37°C 的正常水平後引起出汗，汗液蒸發帶走熱，使體溫回落，抵消原有偏離。

負反饋包含正常值、偏離引發反應，以及反應反過來減少偏離。汗液必須蒸發才有效吸收熱能；只說排出熱汗，沒有交代散熱的主要過程。

b(iii)；原評分 2 分

高滲組開始大量出汗的門檻較高，曲線向右移，定點約移至 37.5°C。

比較曲線開始明顯上升的橫軸位置；等滲組約 37.0°C 開始，高滲組則較遲。不要只比較某一溫度的出汗量而漏掉門檻的改變。

b(iv)；原評分 2 分

延遲出汗能減少水分流失，協助高滲組保水，但代價是較遲散熱。

高滲組體液的水勢較低，身體已有保留水分的需要；提高出汗門檻使相同溫度下失水較少，反映水分平衡與散熱需求之間的取捨。

評卷報告提醒（原資料第 8、9 頁）

解釋運動後高呼吸率要連到乳酸處理所需氧；神經調節要寫由感受器至心臟調控中樞再至心臟的路徑。汗率曲線整體向右移代表體溫調節設定點改變，不能只摘述某溫度的讀數。

評分依據：HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 7、8 頁。

V.d　生殖週期的激素控制

先讀「知 V.d」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　從激素曲線推排卵、避孕及運動反應

綜合程度 ★★★☆☆

知識梳理

① 週期中雌激素降低，可減少對腦垂腺的抑制，讓 FSH 上升；排卵前持續較高的雌激素卻可促成正反饋及 LH 高峯。判斷時要看處於哪一階段，不能把任何激素上升都叫作負反饋。

② 外加激素若抑制卵泡成熟和 LH 高峯，可減少排卵機會；這是影響生殖步驟的調節。對照正常、患病和處理後曲線，要先比較同一時段的實際數值，再提出機制。

點石成金　把腦垂腺、卵巢和子宮分開，對應每一種激素的來源、作用位置及時間；跨問涉及運動時，另列水分或血流的完整因果鏈。

例 1　[HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 1 題]

小玲是一名健康的年青女士，她在數月前的一宗交通意外中腹部受傷。其後，她月經持續的時間較平常長了很多。醫生為她安排血液測試，以檢查她在月經週期的激素水平變化。其結果如下所示：

姓名：小玲　　性別：女　　年歲：27

28 日月經週期	激素	水平	正常範圍
第 1-11 日	雌激素	34.3	125.9-661.2
	促卵泡激素 (FSH)	31.7	4.3-7.1
	孕酮	0.6	0.6-1.0
第 12-16 日	雌激素	138.1	320.6-914.8
	促卵泡激素 (FSH)	38.5	5.3-11.5
	孕酮	1.5	2.6-5.1
第 17-28 日	雌激素	92.3	151.2-552.8
	促卵泡激素 (FSH)	22.3	2.4-6.2
	孕酮	6.8	9.5-40.3

* 所有數據以任意單位表達。

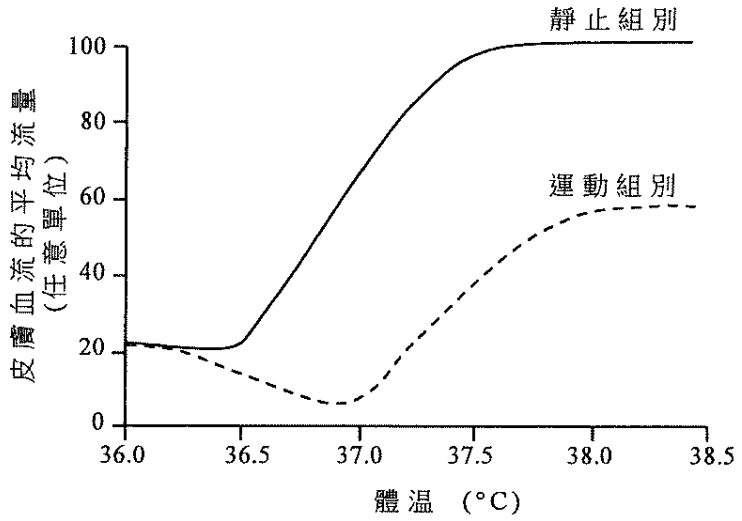
(i) 參考雌激素的分泌，小玲在腹部受傷後，其生殖系統的哪個部分可能受到影響？解釋這如何引致血液測試結果所顯示的那些雌激素水平。 (3 分)

(ii) 參考雌激素與 FSH 之間的相互作用，解釋小玲血液測試中 FSH 水平的整體結果。 (3 分)

(iii) 在意外前，小玲的月經只持續 4 至 5 天，在意外後她月經持續的時間長了很多。參考以上結果，解釋這個現象。 (2 分)

(iv) 若要檢查小玲在月經週期是否有排卵，應該量度哪種激素的水平？若確實有排卵，這種激素的水平會有什麼預期的變化？ (2 分)

(b) 在一項關於高溫環境下進行運動對體溫調節效應的研究中，將健康的自願參加者分為兩組，並一同處於室溫及相對濕度分別為 38°C 及 50% 的房間內。其中一組保持靜止狀態，另一組則在固定速度為 5 $km\,hr^{-1}$ 的跑步機上走動，為時 45 分鐘。實驗期間持續監測參加者的腿部皮膚血流量和體溫。這兩個參數之間的關係如下圖所示：



(i) 解釋為什麼靜止組別的皮膚血流量有所增加。 (4 分)

(ii) (1) 參考運動組別的曲線圖，當體溫從 36°C 升至 37°C 時，推斷通往皮膚表面的小動脈的狀態。 (2 分)

(2) 這改變對運動組別有什麼重要性？ (2 分)

(iii) 除了在 (ii) 的改變外，試就皮膚血流量所出現的體溫調節反應，寫出兩組之間的另外**兩個**不同之處。 (2 分)

解答 **a(i)；原評分 3 分**

卵巢或發育中的卵泡可能受損，雌激素分泌減少，使全週期雌激素低於正常範圍。雌激素主要由卵巢內發育中的卵泡分泌。受傷若損害該組織，產生激素的能力便下降；表中 34.3、138.1、92.3 都低於相應正常範圍的下限，與這個解釋一致。

方法：先對齊激素來源、作用部位與時間。

a(ii)；原評分 3 分

雌激素低使對腦下垂體 FSH 分泌的負反饋減弱，腦下垂體便釋出更多 FSH。

正常雌激素會在適當濃度範圍抑制 FSH 分泌。全週期雌激素不足，抑制訊號減少，因此 FSH 三時段均高於正常上限；FSH 高不表示卵巢一定能回應，因題中卵巢本身可能受損。

a(iii)；原評分 2 分

孕酮不足使子宮內膜難以維持，較早開始脫落，令出血期延長。

表中尤其第 12–16 日和第 17–28 日孕酮低於正常範圍。孕酮平常維持子宮內膜的厚度和穩定，水平過低時內膜容易提早、持續脫落，因此經期可較長。

a(iv)；原評分 2 分

量度促黃體激素 LH；正常排卵前應出現明顯的 LH 高峯。

LH 的急升能觸發排卵，所以連續監察 LH 是否有短時間急升，比只看一個雌激素讀數更直接對應排卵前的激素事件。

b(i)；原評分 4 分

高溫造成體熱積累，溫度感受器把訊息傳至下丘腦，散熱中樞發出神經訊號，使皮膚小動脈擴張、皮膚血流增加。

房間 38°C 高於開始時體溫，加上身體代謝繼續產熱，體溫會上升。皮膚及下丘腦的溫度感受器偵測變化，下丘腦經神經調節皮膚小動脈的平滑肌，使管腔擴大。較多血把體內熱帶到表面，配合汗液蒸發有助散熱；在外界比皮膚更熱時，不能單靠向外傳導或輻射解釋熱量散失。

b(ii)(1)；原評分 2 分

小動脈收縮，因運動組在 36–37°C 的皮膚血流由約 20 降至約 5。

在其他因素相近下，皮膚血流減少表示供血小動脈管腔收窄、阻力增加。推斷應先指出圖中的下降趨勢，再連到血管狀態。

b(ii)(2)；原評分 2 分

血液重新分配到運動肌肉，提供較多氧和呼吸底物以支持收縮。

活動中的腿部肌肉 ATP 需求增加。減少流向皮膚的血液，可把較多血流優先供應肌肉，增加氧與葡萄糖運送及代謝廢物移除。

b(iii)；原評分 2 分

運動組要到較高體溫才開始明顯增加皮膚血流；其最高平台血流也較低。

靜止組約 36.4°C 後便上升，約 37.6°C 已接近 100；運動組約 36.9°C 才回升，約 38°C 才接近平台，且最高僅約 60。兩項分別比較反應開始的溫度和反應最大幅度。

評卷報告提醒（原資料第 9、10 頁）

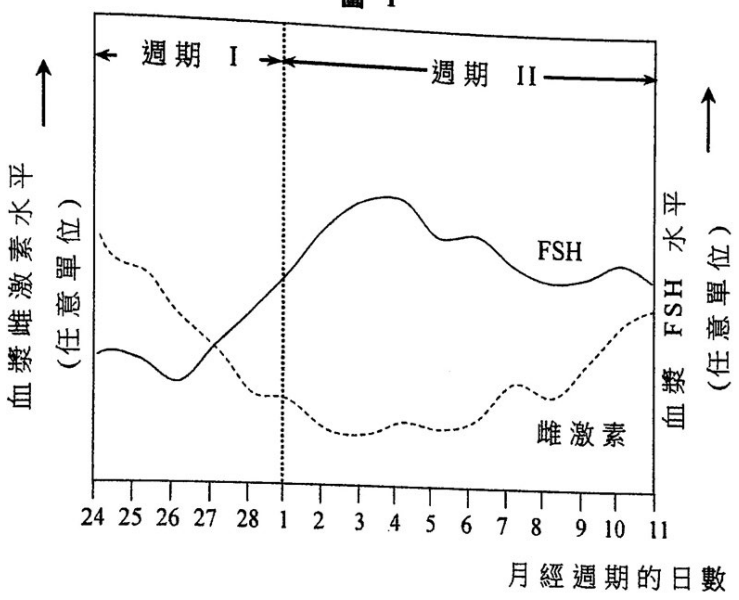
雌激素低解除的是對腦下垂體分泌 FSH 的負反饋，不是直接刺激 FSH 分子。皮膚血流圖的橫軸是體溫而非時間；血管舒縮的效應器是小動脈，微血管沒有相同的平滑肌調節。

評分依據：HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 9、10 頁。

例 2 [HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 1 題]

(a) 為探究雌激素與促卵泡激素 (FSH) 之間的相互關係，在一時段內，量度一組女性她們體內該兩種激素的血漿水平。圖 1 顯示在研究進行期間該兩種激素的血漿水平變化：

圖 1



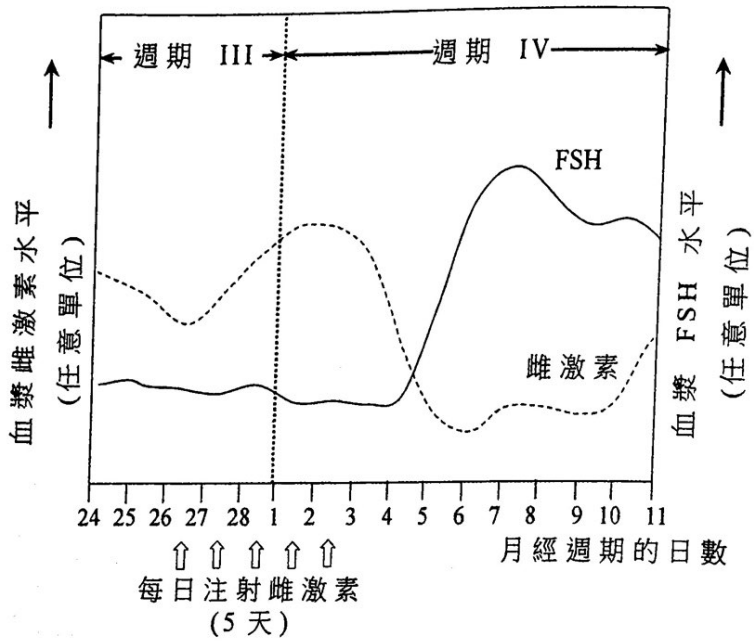
(i) 就卵巢內發生的事情而言，解釋在以下時段血漿雌激素水平的變化：

(1) 由週期 I 的第 24 天至週期 II 的第 3 天 (2 分)

(2) 由週期 II 的第 5 天至第 11 天 (2 分)

(ii) 同一組女性由週期 III 的第 26 天起，連續 5 天每天接受額外的雌激素注射。圖 2 顯示在同一時段該兩種激素的血漿水平變化：

圖 2



(1) 圖 2 的血漿 FSH 水平的變化模式已被額外注射的雌激素所改變。參考圖 1 及圖 2，推斷雌激素對 FSH 的效應。解釋你的答案。 (4 分)

(2) 避孕丸通常含有雌激素及孕酮，參考你在 (1) 的答案，解釋在這些避孕丸中雌激素的功用。 (2 分)

(b) 為研究脫水對心血管功能的效應，將職業單車選手分為兩組(缺水組和水分充足組)，兩組選手均在設定相同阻力的健身單車踩動 120 分鐘。缺水組在實驗期間沒有飲用任何液體，而水分充足組則飲用等滲液體以補充踩動健身單車時所流失的水分。下表顯示他們心血管功能的改變：

運動時間 (分鐘)	心率 (次數/分鐘)		心搏量 (升)		心輸出量(升/分鐘)	
	缺水組	水分充足組	缺水組	水分充足組	缺水組	水分充足組
10	138	139	0.138	0.136	19.0	18.9
60	155	148	0.120	0.129	18.6	19.1
110	168	150	0.093	0.128	15.7	19.2

(i) 實驗期間，水分充足組踩動健身單車的速度維持穩定，缺水組的速度則緩慢下降。參考心輸出量的數據，解釋兩組單車選手在踩動健身單車的速度上的表現。 (5 分)

(ii) (1) 參考缺水組的心率和心搏量的數據，哪個參數引致他們心輸出量的變化？ (1 分)

(2) 參考缺水組的水分平衡，解釋在 (1) 所指出的參數在實驗期間的變化。 (2 分)

(iii) 提出為什麼缺水組的心率較水分充足組的心率增幅較大。 (2 分)

解答 **a(i)(1)；原評分 2 分**

卵巢黃體退化，雌激素分泌減少，所以由週期 I 第 24 日至週期 II 第 3 日，雌激素下降。

此時是上一週期末至下一週期初，應把激素下降連到原來分泌激素的黃體退化，而非說雌激素因月經血排出而下降。

方法：先對齊激素來源、作用部位與時間。

a(i)(2)；原評分 2 分

卵巢中卵泡逐漸發育及成熟，分泌越來越多雌激素。

週期 II 第 5–11 日處於卵泡發育階段，新卵泡增加雌激素供應，對應圖中虛線回升；此時不應說由排卵後的新黃體分泌。

a(ii)(1)；原評分 4 分

雌激素對 FSH 分泌有負反饋／抑制作用。

圖 1 在週期 I 末雌激素下降時，FSH 反而上升；圖 2 在對應時段注射雌激素的五天內，FSH 維持低水平。停止注射後，雌激素下降而 FSH 再上升。把正常情況、注射期間及停止後三項證據合起來，支持較高雌激素抑制 FSH，而不是只因曲線不同便下結論。

a(ii)(2)；原評分 2 分

避孕丸中的雌激素抑制 FSH，使卵泡不能正常發育，沒有成熟卵子供排卵及受精。

題目要求雌激素在此負反饋機制中的作用，所以先說明 FSH 受抑制，再連到卵泡、排卵；不應只泛寫「阻止懷孕」，或把全部作用換成孕酮。

b(i)；原評分 5 分

水分充足組心輸出量約維持 19 L min^{-1}，缺水組由 19.0 降至 15.7 L min^{-1}，使活動肌肉獲得的氧和養分供應下降，產 ATP 較少，故踩車速度減慢。

心輸出量是每分鐘送出的血量。水分充足組由 18.9 到 19.2 L min^{-1} 大致穩定，可持續供應肌肉呼吸所需氧及底物；缺水組供血減少，肌肉能持續釋放的能量及 ATP 供應下降，收縮難以維持原來速度。必須把表中血流數據連到呼吸、能量及肌肉收縮。

b(ii)(1)；原評分 1 分

心搏量。

缺水組心率由 138 升至 168 次 min^{-1}，方向本來會提高心輸出量；但每搏血量由 0.138 降至 0.093 L，下降幅度使總輸出仍減少。由心輸出量＝心率×心搏量，可判定關鍵是心搏量下降。

b(ii)(2)；原評分 2 分

缺水組持續經汗液及呼吸失水，卻沒有補充，血液體積下降，心搏量因而下降。循環血量減少會減少迴心血量與心室充盈，下一次收縮可泵出的血量便較少。不能把心搏量解釋成心臟每分鐘跳多少次，兩者是不同參數。

b(iii)；原評分 2 分

缺水組每搏輸出較少，心率增加較多是一種補償，試圖維持足夠心輸出量。

加快心跳能部分抵消每搏血量下降，但數據顯示仍未完全補足，所以其心輸出量和踩車速度依然下降。補償反應不等於功能已完全恢復。

評卷報告提醒（原資料第 8、9 頁）

雌激素的升降須連到黃體退化或卵泡發育，再用注射前後數據支持負反饋。運動題要比較兩組：補水組心輸出量大致穩定，缺水組心搏量下降，較高心率只能部分補償；不可把兩組差異改寫成一般心率神經調節。

評分依據：HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 7 頁。

練習 V.a　水分調節：從血液到尿液

對應題型 1 沿腎元的物質去向解釋水分調節

綜合程度 ★★★★☆

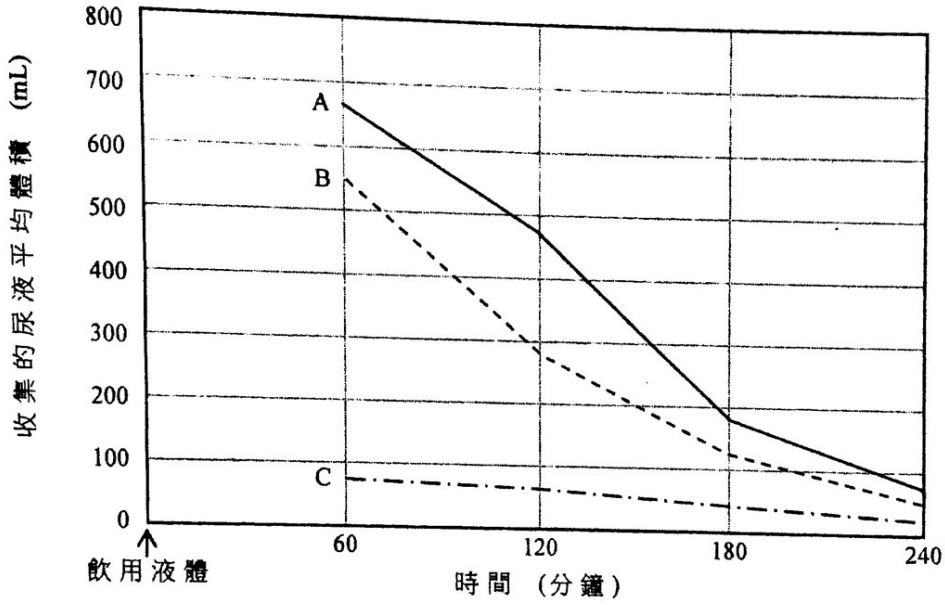
針對練習

1. [HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 1 題]

提示：分開血液、濾液和尿液，逐項追蹤物質。

(a) 在一項研究飲用不同液體對產生尿液的效應中，將健康人士分為三組，進行相同類型活動和食用相同的膳食。然後，A 組喝 1500 mL 含酒精飲品；B 組喝 1500 mL 水；C 組沒有喝任何液體。每隔 60 分鐘收集尿液並量度尿液體積，為時 240 分鐘。實驗結果如下圖所示：

圖例：
——— A 組：每人飲用 1500 mL 含酒精飲品
- - - - - - B 組：每人飲用 1500 mL 水
—·—·— C 組：沒有飲用任何液體



(i) 參考激素對滲透調節的控制，解釋為什麼 C 組人士產生的平均尿液體積較 A 組和 B 組人士的為低。 (5 分)

(ii) (1) 參考 A 組與 B 組的結果，指出飲用含酒精飲品對尿液產生的整體效應。 (1 分)

(2) 根據 (ii)(1)，推斷酒精在激素對滲透調節的控制方面可能產生的一種效應。 (1 分)

(iii) 解釋為什麼參與者須避免在研究期間進行劇烈活動。 (2 分)

(b) 現今許多天氣預測應用程式，除了氣溫外，也列出「體感」溫度。體感溫度把影響人體散熱效能的多種因素計算在內，效能愈高，體感溫度愈低。下表列出在不同空氣溫度和相對濕度下的體感溫度(其他環境因素維持不變)：

相對濕度 (%)	空氣溫度 (°C)			
	24	28	32	36
40	24	29	34	39
50	24	29	35	41
60	25	30	36	41
70	26	31	37	42
80	26	32	37	44
90	27	32	38	45
100	27	33	39	46

註：灰色區域顯示體感溫度

(i) 描述相對濕度對體感溫度的效應。參考人體散熱效能，解釋這個現象。(3 分)

(ii) 在較高空氣溫度時，在 (i) 所描述的效應如何改變？參考人體散熱效能，解釋這個現象。(3 分)

(iii) 除了相對濕度和空氣溫度外，試提出可以影響體感溫度的兩個環境因素。解釋你的答案。(4 分)

(iv) 香港天文台在發出酷熱天氣警告時，建議在戶外工作或活動的人士多飲水。根據你的生物學知識，為這建議提出一個解釋。(1 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 5 分**

C 組沒有喝水，血液水勢較 A、B 組低，因而釋放較多 ADH；集尿管重吸收較多水，產生較少尿液。

先比較飲水條件：A、B 都喝了 1,500 mL 液體，C 沒有補水。C 的血液水勢相對較低，被下丘腦的滲透感受器偵測後，促使腦下垂體後葉釋放較多抗利尿激素（ADH）。ADH 使集尿管管壁對水的通透性增加，較多水由濾液回到血液，留在管內成為尿液的水便較少。這是一條完整的「血液水勢—感受器—激素—腎臟反應—尿量」因果鏈。ADH 在下丘腦製造、由腦下垂體後葉釋放，不能把來源寫成延腦；管壁通透性增加也不是讓更多水流到體外。

a(ii)(1)；原評分 1 分

酒精使尿液產量增加。

A、B 組喝入的液體都是 1,500 mL，主要差別是 A 組含酒精。在前幾段收集時間中，A 的尿量比 B 高，支持酒精有利尿作用。必須把 A 與同樣飲入液體的 B 比較；只拿 A 與完全不喝水的 C 比較，不能排除飲水量的影響。

a(ii)(2)；原評分 1 分

酒精可能抑制 ADH 的釋放。

ADH 較少時，集尿管對水的通透性較低，重吸收的水較少，因此尿量增加，與 A 組結果相符。這是用尿量提出的激素機制推論；圖本身沒有直接量度血中 ADH，不能把相關結果說成已直接觀察到激素變化。

a(iii)；原評分 2 分

劇烈運動會增加出汗失水，進而減少尿量，幹擾飲品對尿量的影響。

例如同樣喝 1,500 mL，一人安坐、另一人跑步大量出汗，兩人經皮膚流失的水不同。運動者較低的血液水勢可促進 ADH 釋放及腎臟保水。若不控制運動程度，便無法判斷尿量差別來自飲品還是出汗，因此實驗期間要避免劇烈運動。

b(i)；原評分 3 分

相對濕度越高，熱感溫度越高，因為汗液較難蒸發，蒸發帶走的熱較少。

固定實際氣溫讀一行，例如氣溫 32°C 時，相對濕度由 40% 升至 100%，熱感溫度由 34°C 升至 39°C。潮濕空氣已有較多水蒸氣，皮膚濕表面與空氣之間的水蒸氣差較小，汗液蒸發較慢。蒸發需要吸收熱，蒸發量減少便使散熱效果降低，所以感覺較熱。關鍵是汗液蒸發，而不是只說「汗流得多」或把濕度直接等同輻射增強。

b(ii)；原評分 3 分

氣溫越高，皮膚與周圍空氣的溫差越小，靠傳導、對流和輻射散熱較少，人體便更依賴汗液蒸發；濕度對蒸發的限制因此更明顯。

比較表中同一段濕度變化：由 40% 至 100% 時，24°C 那行熱感溫度只由 24°C 升至 27°C，而 36°C 那行由 39°C 升至 46°C。高氣溫削弱以溫差驅動的散熱；此時若高濕度再抑制蒸發，總散熱下降便更明顯。46°C 是表中的熱感溫度，不能當成實際氣溫，也不能據此聲稱表中每個情況都是空氣向人體傳熱。

b(iii)；原評分 4 分

風速增加會促進對流及汗液蒸發，令熱感溫度降低；日照增強會增加人體吸收的輻射熱，令熱感溫度升高。風把貼近皮膚的暖濕空氣帶走，以較乾的空氣補上，維持蒸發的梯度，因而增加散熱。另一項可比較相同氣溫與濕度下的陰處和陽光直射處：直射時人體吸收更多太陽輻射，所以感覺更熱。每項都要交代因素改變的方向，以及它如何改變熱的收支；只列「風、陽光」未完成解釋。

b(iv)；原評分 1 分

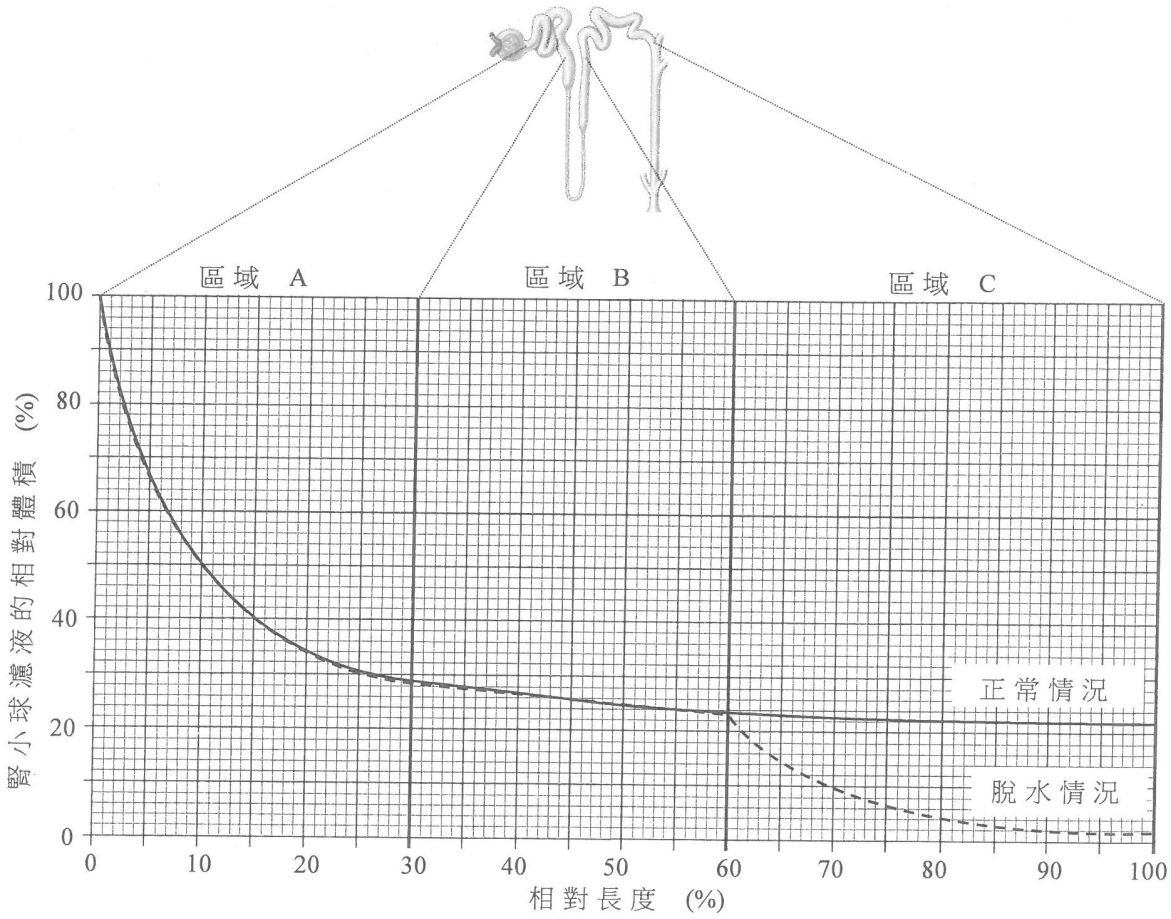
補充因出汗流失的水，維持足夠水分供體溫調節。

炎熱時汗液蒸發帶走熱，同時消耗體內水分。飲水補回這部分流失，使循環及出汗散熱能繼續運作。本問重點是補水支援散熱，並非多喝水就一定要增加排尿。

評分依據：HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 6 頁。

2. [HKDSE 生物 2022 年 卷二 原第 1 題]
提示：分開血液、濾液和尿液，逐項追蹤物質。

1(a) 在正常和在脫水情況下，於流經腎小管不同區域時，腎小球濾液的體積變化如下圖所示：



(i) 描述腎小球濾液如何在鮑曼氏囊內形成。 (2 分)

(ii) 參考上圖，寫出大部分水分在腎小管哪個區域被重吸收。 (1 分)

(iii) 若每日形成的腎小球濾液的平均體積為 180 L，在 (ii) 提及的區域內每日所重吸收水分的體積是多少？ (1 分)

(iv) 解釋水分是如何在 (ii) 提及的區域內從腎小球濾液被重吸收入血液。 (3 分)

(v) 參考滲透調節的激素控制，解釋在上述兩種不同的情況下，腎小管區域 C 末端的腎小球濾液在相對體積上的差異。 (4 分)

1(b) 為探究健康人士和肺組織硬化患者在運動時的呼吸反應，這兩組人士參與一項實驗。他們在一部設定了相同阻力的單車機上，以固定而緩慢的速度進行踏單車十分鐘。實驗期間持續監測他們的呼吸速率、呼吸深度和血漿氣體水平。結果如下表所示：

時間（分鐘）	呼吸速率（每分鐘呼吸次數）		呼吸深度（L）		血漿氧水平（隨意單位）		血漿二氧化碳水平（隨意單位）	
	健康人士	患者	健康人士	患者	健康人士	患者	健康人士	患者
0	14	20	0.9	0.7	82.5	75.8	42.5	42.0
2	16	29	1.8	1.0	83.9	70.2	43.2	42.4
4	18	35	2.2	1.1	84.0	67.1	43.3	43.5
6	19	37	2.3	1.2	84.3	63.2	43.8	43.6
8	20	40	2.4	1.2	84.3	62.0	43.9	43.7
10	20	44	2.4	1.2	84.3	60.5	43.9	43.7

(i) 寫出患者的呼吸深度如何有別於健康人士。（2 分）

(ii) 根據患者的狀況，就 (i) 指出的差異提出一項解釋。（2 分）

(iii) 在實驗開始六分鐘後，哪個參數（血漿氧水平或血漿二氧化碳水平）較顯著導致患者在呼吸速率上的變化？參考所示的數據，提供理據支持你的推論。（3 分）

(iv) 若實驗再延續十分鐘，患者會感到暈眩。參考血漿氣體水平，試解釋為什麼會發生這現象。（2 分）

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

腎小球高血壓把血液中的水及小分子濾入鮑曼氏囊，血細胞及大部分蛋白質留在血內。

高流體靜壓推動血漿成分穿過腎小球微血管及鮑曼氏囊的過濾屏障。能通過的水、葡萄糖、尿素和離子形成腎小球濾液；血細胞及大蛋白質因體積較大不能通過。

a(ii)；原評分 1 分

區域 A。

A 內曲線由 100% 下降至約 29%，即約 71% 濾液中的水已被重吸收；其他單一區域的下降幅度較小。不要以末端剩餘量最少便判定該處吸收最多。

a(iii)；原評分 1 分

約 127.8 L。

區域 A 重吸收比例=100%−29%=71%，體積=180 L×0.71=127.8 L。因讀圖誤差，約 126–129.6 L 可接受；答案須有體積單位。

a(iv)；原評分 3 分

有用溶質從濾液被主動重吸收入血，使血液水勢降低；水沿水勢梯度經滲透進入血液。

區域 A 相當於近曲小管，大量葡萄糖、離子等被重吸收。溶質轉移使附近血液相對於管內濾液具有較低水勢，水便被動跨膜流向血液。水的滲透本身不需要以 ATP 直接推動。

a(v)；原評分 4 分

脫水時 C 末端剩餘濾液較少，因下丘腦感知較低血液水勢，垂體釋出較多 ADH，提高 C 管壁對水的透性，增加水重吸收。

脫水使血液較濃、水勢降低；下丘腦的滲透感受器觸發抗利尿激素調節。較多 ADH 使集尿管等末端區域對水較易通透，水更大量返回血液，所以虛線終點低於正常實線，尿量較少而較濃。這是保留體內水分的負反饋。

b(i)；原評分 2 分

患者在各時間的呼吸深度都較低，並較早到達最高值。

例如第 6 分鐘患者為 1.2 L，健康者為 2.3 L；患者自第 6 分鐘已維持 1.2 L，健康者至第 8 分鐘才到 2.4 L。比較需指出水平及達平台的時間兩項差異。

b(ii)；原評分 2 分

肺組織硬化使肺的彈性、擴張能力減少，每次吸氣能進入的空氣量受限。

正常吸氣時肺可隨胸腔擴大而充分膨脹；硬化組織較僵硬，不能同樣擴張，因此每次呼吸深度較小，也較快到達可擴張的上限。

b(iii)；原評分 3 分

血漿氧水平較可能是這段呼吸速率持續上升的刺激。

第 6–10 分鐘患者血氧由 63.2 降至 60.5，呼吸速率同時由 37 升至 44 次/分鐘；健康者血氧約保持 84.3，速率約保持 19–20。兩組的二氧化碳在這時段均大致穩定，患者只由 43.6 到 43.7，難以解釋患者特有的持續加快，故數據較支持低氧刺激。

b(iv)；原評分 2 分

患者血氧可能繼續下降，腦部供氧不足而感到暈眩。

即使呼吸次數增加，僵硬的肺仍限制有效換氣。血氧下降使輸送到腦部的氧不足，腦細胞有氧呼吸受限，因而可能出現暈眩。

評卷報告提醒（原資料第 8、9 頁）

超濾由血壓推動，不是血漿所有成分都滲透入鮑曼氏囊。水重吸收要解釋溶質運輸如何造成梯度；呼吸刺激的判斷則必須依患者數據，不能只背誦二氧化碳通常是主要刺激。

評分依據：HKDSE 生物 2022 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 9、10 頁。

練習 V.b　體溫的調節

對應題型 1　把核心體溫、皮膚與水分反應接起來

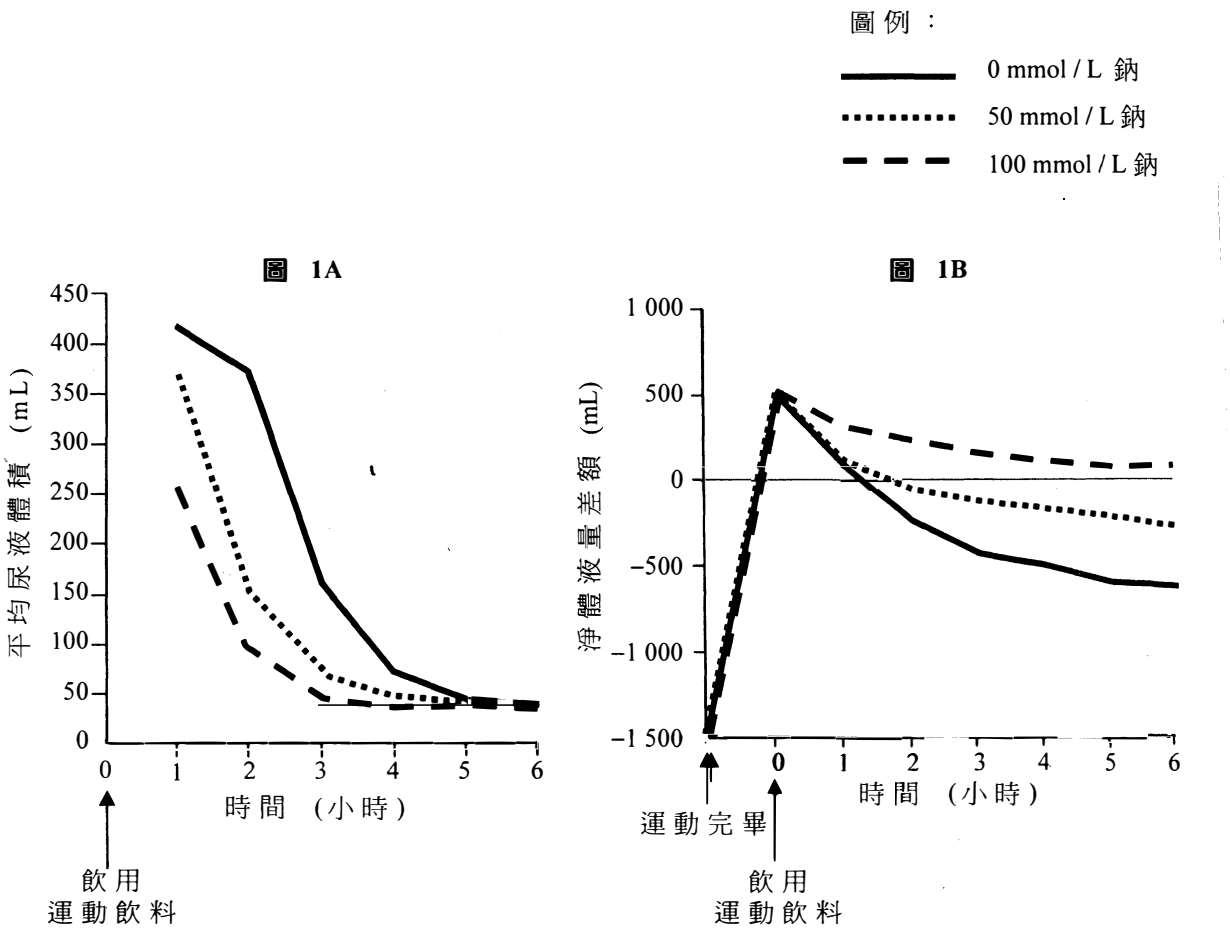
綜合程度 ★★★★☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 1 題]

提示：先找量度位置，再連接血流、汗及散熱。

(a) 在一項有關運動後補充水分的研究中，參與者進行運動直至流失 1 500 mL 水分，然後把他們分爲 3 組，分別飲用 2 000 mL 含有 0、50 和 100 mmol / L 鈉的運動飲料。其後的 6 小時內，每隔 1 小時收集尿液樣本，並在整個實驗過程中測定淨體液量差額。結果如圖 1A 和 1B 所示：



(i) 描述飲用含不同鈉濃度的飲料後，尿液排泄量的一般模式。 (4 分)

(ii) 飲用含 0 mmol / L 鈉運動飲料的參與者，尿液排泄量高。試加以解釋。 (4 分)

(iii) 就補充水分而言，你會建議運動員在運動完畢後飲用哪種運動飲料？解釋你的答案。 (3 分)

(b) 在 (a) 描述的實驗，參與者在維持 34ºC 和 60-70% 相對濕度的室內進行運動。

(i) 寫出參與者進行運動時水分流失的**兩種**主要途徑。 (2 分)

(ii) 如果室內的溫度和相對濕度調校至更高水平，會對參與者構成危險。試加以解釋。 (4 分)

(iii) 在運動完畢後，參與者的呼吸速率維持在頗高水平。解釋其重要性。 (3 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 4 分**

三組在飲用後第一小時排尿量最高，之後一直下降，至約第五小時接近穩定並趨於相同；飲料的鈉濃度越高，最初數小時的排尿量越低。

把共同的時間趨勢和組間差異分開描述。例如第一小時 0 mmol/L 組約 420 mL，100 mmol/L 組約 250 mL；到第五、六小時，各組均接近約 40 mL。不能只比較一個時間點。

a(ii)；原評分 4 分

飲用不含鈉的飲料後，血液水勢上升，下丘腦偵測到變化；垂體後葉釋出的抗利尿激素減少，集尿管對水的通透性下降，較少水被重吸收，因而排出較多尿液。

調節鏈的方向須一致：水勢高 → ADH 少 → 通透性低 → 重吸收少 → 尿量多。下丘腦偵測、垂體後葉釋放 ADH，不能把兩者功能混寫。

a(iii)；原評分 3 分

按本實驗的補水結果，選 100 mmol/L 鈉的飲料。這組排尿較少，保存較多水；圖 1B 顯示飲用後整段觀察期的淨體液差額均維持在零以上。

問題要求依研究判斷補水成效，所以同時用圖 1A 的排出量及圖 1B 的淨保留量支持。這是此實驗條件下的答案，不把單一研究濃度當作所有人的通用飲用指引。

b(i)；原評分 2 分

經汗液流失；經呼出氣體中的水蒸氣流失。

運動增加產熱及通氣，因此出汗與呼吸兩條途徑的水分散失都增加。

b(ii)；原評分 4 分

運動持續產生熱量；更熱、更潮濕的環境使散熱困難，可能導致過熱。濕度高使汗液較難蒸發，蒸發帶走的熱減少；若周圍溫度接近或高於體溫，對流及輻射散熱減少，甚至可能從環境吸熱。

不能只說「出汗更多所以必能降溫」。真正帶走大量熱的是汗液蒸發，而高濕度可使汗流下卻未有效蒸發。

b(iii)；原評分 3 分

維持較高呼吸速率可供應更多氧，供處理運動時累積的乳酸，例如氧化乳酸或供能使肝臟將其轉回糖原，並讓血液 pH 恢復正常。

停止運動不代表所有代謝恢復工作立即完成。增加氧的供應有助運動後恢復；答案要把較快呼吸與代謝需要連起來。

評卷報告提醒（原資料第 2 頁）

補水建議須用淨體液差額；運動後較快呼吸還須連到血液 pH 恢復。

評分依據：HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 6 頁。

2. [HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 1 題]

← 提示：先按量度位置，再連接血流、汗及散熱。

愛玲與朋友在一個大風的日子去游泳。她們比試誰在水底閉氣的時間最長。愛玲最後以閉氣 2 分鐘勝出。

(i) 愛玲在閉氣時，她腦部的哪個部分控制呼吸動作？ (1 分)

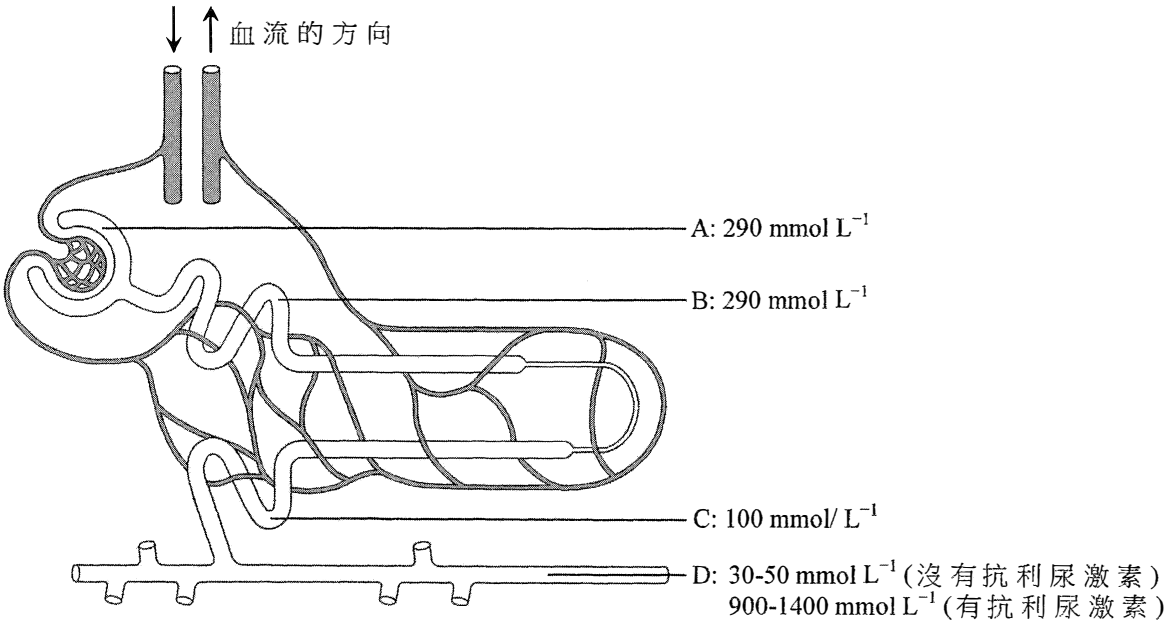
(ii) 愛玲離開水後，呼吸急促和有力。

(1) 導致這個反應的刺激是什麼？當愛玲在水底閉氣時，這個刺激是怎樣形成的？ (3 分)

(2) 描述導致這反應的神經協調。 (4 分)

(iii) 愛玲離開水後，在風中她覺得有點寒意。舉出她身體會出現的**一種**生理反應以幫助她調節體溫。寫出該反應的重要性。 (3 分)

1(b) 下圖顯示腎元及其有關構造，並標示在小管內不同位置液體的溶質濃度：



(i) 根據所涉及的生理過程，解釋為什麼當小管內的液體由 A 點流至 B 點時，其溶質濃度沒有變化。 (4 分)

(ii) 在有或沒有抗利尿激素 (ADH) 的情況下，D 點內的液體溶質濃度有差異。解釋這差異。 (3 分)

(iii) 若 D 點內的液體含蛋白質，腎元的哪部分最有可能受損？解釋你的答案。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 1 分**

大腦的運動區。

閉氣是有意識控制呼吸動作，涉及大腦皮質；平時自動調節呼吸節律主要由延腦呼吸中樞參與。題目特別問閉氣時，應先分清隨意控制與自動反應。

(a)(ii)(1)；原評分 3 分

血液二氧化碳濃度升高；閉氣時細胞仍進行呼吸產生 CO_2，但不能經呼氣排出，故在血液累積。

回答需包括刺激、產生途徑及無法排走三部分。不是因人在水中，水裏的二氧化碳便大量直接進入血液；主要來源是自身細胞代謝。

(a)(ii)(2)；原評分 4 分

延腦、頸動脈體等的化學感受機制偵測 CO_2／相關 pH 變化，刺激延腦呼吸中樞；中樞增加送往呼吸肌的神經衝動，使收縮較快、較有力。

用受器→中樞→運動神經→效應器的順序組織。肋間肌和橫膈膜收縮頻率及幅度提高，呼吸變得較急促、較深，幫助排出累積的 CO_2。此處的效應器是骨骼肌，不能籠統改寫成激素直接令肺自行收縮。

(a)(iii)；原評分 3 分

皮膚微動脈收縮，使流向皮膚表面的血量減少，降低向環境的散熱，維持核心體溫。

皮膚較冷不表示身體調節失敗；把較多熱留在深部，是寒冷環境下的保溫反應。也可答戰慄，使肌肉反覆收縮、呼吸代謝增加並產熱；選一條機制寫完整即可。

(b)(i)；原評分 4 分

近曲小管重吸收有用溶質，水再依水勢差經滲透跟隨；若水與溶質大致按比例減少，濾液濃度仍可維持 290 mmol L^{-1}。

濃度相同不等於沒有重吸收。葡萄糖、氨基酸和鈉等離開小管液，使周圍液體水勢降低，水隨之回到血液。溶質量及水量一起減少，就像從相同比例的溶液移走一部分，剩餘濃度仍可相同。

(b)(ii)；原評分 3 分

有 ADH 時，遠曲小管及集尿管對水的通透性提高，更多水重吸收，因此 D 的溶質濃度較高；缺 ADH 時則形成較稀尿液。

原圖有 ADH 時 D 為 900–1400 mmol L^{-1}，無 ADH 時僅 30–50。ADH 主要改變水通透性；水減少而多數尿中溶質留下，使濃度提高，不是 ADH 把大量蛋白質加入尿液。

(b)(iii)；原評分 2 分

腎小球的過濾屏障可能受損。

正常血漿蛋白分子較大，大部分被腎小球過濾屏障保留在血液中；若 D 的尿液有明顯蛋白質，可能是屏障受損使蛋白漏入濾液。題目問最可能的腎元部位，故指向腎小球，而不是只答整個腎。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

閉氣使二氧化碳積聚，不應先假定乳酸增加。呼吸調節須交代感受器、延腦中樞和呼吸肌，並同時描述頻率與收縮強度的改變。

評分依據：HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

練習 V.c　血液氣體含量的調節

對應題型 1　由心輸出量與氣體變化解釋運動調節

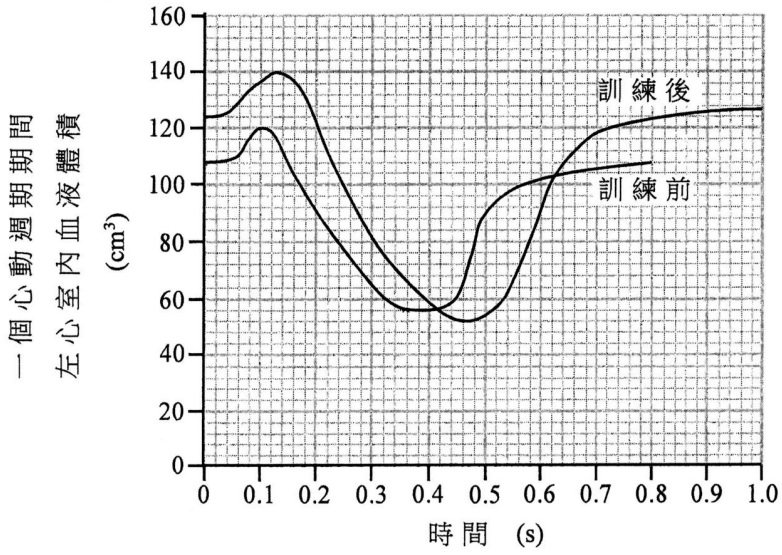
綜合程度 ★★★☆☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 1 題]

提示：先算心輸出量，再連到氧供與調節。

(a) 一名青年男子參與一項為期 12 個月的需氧運動訓練計劃。訓練計劃開始前和完成後，由研究人員量度他在靜止狀態下，一個心動週期期間左心室內血液體積的變化。結果如下圖所示：

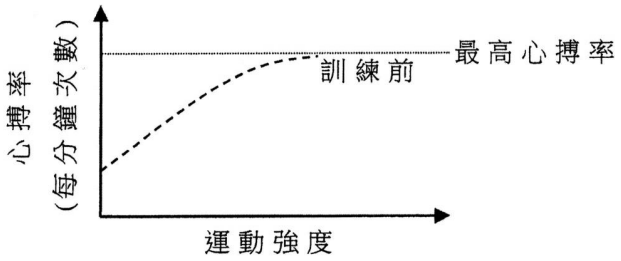


(i) 計算該青年男子在訓練前和訓練後的心搏量、心搏率和心輸出量。將下表抄在答題簿內，並加以完成。　(3 分)

	訓練前	訓練後
心搏量 (cm^3)		
心搏率（每分鐘次數）		
心輸出量 ($cm^3\ min^{-1}$)		

(ii) 根據你在 (i) 所提供的答案，提出**一項**心臟在構造上的改變，導致經訓練後，該青年男子處於靜止時心搏量的變化。解釋你的答案。　(3 分)

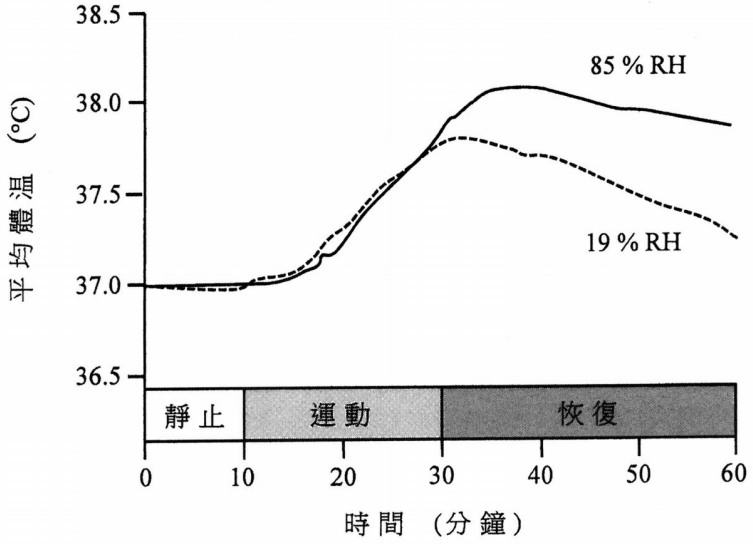
(iii) 下圖顯示在接受訓練前，該青年男子處於不同的運動強度時的心搏率：



將上圖抄在答題簿內(包括虛線)，然後草繪一條曲線，顯示在訓練後，該青年男子處於不同運動強度時的心搏率。 (2 分)

(iv) 解釋訓練前和訓練後，心輸出量在靜止時的變化。 (3 分)

(b) 為探究炎熱環境 (30 °C) 下，相對濕度 (RH) 在運動期間和恢復期間對體温調節反應的效應，兩組志願者分別被置於高濕度 (85 % RH) 和低濕度 (19 % RH) 的環境。經過 10 分鐘靜止後，兩組志願者開始以設定於固定速度的跑步機上跑動 20 分鐘。跑步完畢，即以站立開始恢復期。實驗期間，記錄志願者的體温變化，並顯示如下圖：



(i) (1) 參照上圖，指出在恢復期間，兩組志願者平均體温的**兩項**差異。 (2 分)

(2) 根據你在 (1) 所提供的答案，推論在恢復期間 19 % RH 組別的散熱的主要途徑。 (3 分)

(ii) 參照上圖，預測在恢復期間哪組志願者的血液中會有較高水平的 ADH。解釋你的答案。 (4 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 3 分**

訓練前：心搏量 64cm^3，心搏率 75 次／分鐘，心輸出量 4800cm^3／分鐘。訓練後：心搏量 88cm^3，心搏率 60 次／分鐘，心輸出量 5280cm^3／分鐘。

先讀同一週期的最高與最低心室血量：訓練前 120−56＝64cm^3，訓練後 140−52＝88cm^3。再讀一個心動週期的時長：訓練前約 0.8 秒，故 60÷0.8＝75 次／分鐘；訓練後約 1.0 秒，故 60÷1.0＝60 次／分鐘。最後用心輸出量＝心搏量×心搏率，分別得 64×75＝4800 及 88×60＝5280。

(a)(ii)；原評分 3 分

訓練後心搏量增加。可提出心室腔增大，使泵出前可容納較多血液；或心肌壁增厚，使收縮能泵出較多血液。本小問要求一項結構改變及其作用。只寫「心臟更強」沒有指出結構；只寫「心臟變大」亦未分清是腔室容量還是肌壁。選其中一組，按結構→功能→心搏量增加作答即可。

(a)(iii)；原評分 2 分

訓練後的曲線在相同的次最大運動強度下較低；要到較高運動強度才達到與訓練前相同的最高心搏率。見下方作答圖。

保留原有最高心搏率的水平線。新曲線起點較低，整段在原曲線下方逐漸上升，並在較右方接近同一最大值；不能把最大值也畫成更低。

(a)(iv)；原評分 3 分

靜止時心輸出量由 4800 增至 5280cm^3／分鐘。雖然心搏率下降，但心搏量增加對兩者乘積的影響較大，所以心輸出量仍增加。

本題已有實際計算結果，應先承認此個體的心輸出量增加，再解釋乘積。心搏量增加 37.5%，心搏率下降 20%，合成後為 1.375×0.8＝1.10，即心輸出量增加 10%。不能把一般印象「運動員靜止心率低」直接當成本題心輸出量必定下降。

(b)(i)(1)；原評分 2 分

恢復期間，19%RH 組的平均體溫較早開始下降，下降得較快；其後平均體溫亦低於 85%RH 組。

選兩項整段趨勢差異即可。先找恢復期開始的位置，再比較下降起點、斜率或整體高低；不要只抽取單一時間點的溫差當作兩項獨立差異。

(b)(i)(2)；原評分 3 分

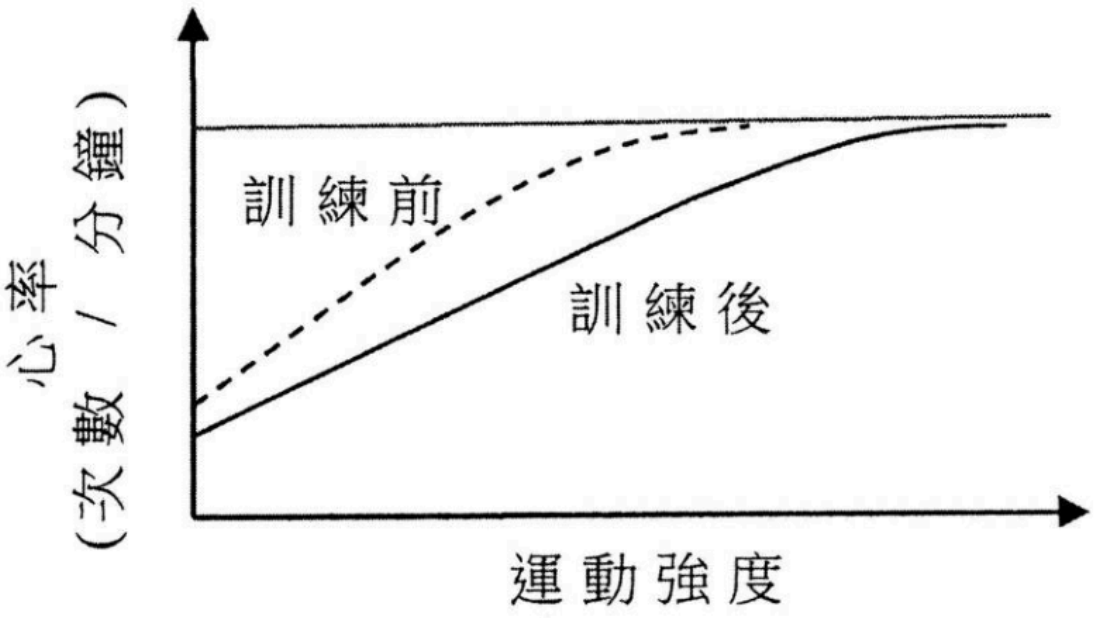
19%RH 組主要靠汗液蒸發散熱。它的體溫下降較快，支持散熱較有效；較低相對濕度有利汗液蒸發，蒸發時從身體吸收熱。

兩組環境溫度相同，主要改變的是相對濕度。解釋須把濕度較低→蒸發較快→散熱較有效連起來；只寫「出汗」未說清真正帶走熱的過程。

(b)(ii)；原評分 4 分

按本題圖表及評分參考，預測 85%RH 組的 ADH 較高。它恢復期體溫較高，會引起較強排汗反應及較多水分流失，血液水勢較低，因而刺激較多 ADH 釋放。

汗液排出量與蒸發效率必須分開：在高濕度下，汗液較不易蒸發，散熱較差，體溫保持較高，仍可能令身體分泌更多汗。此處是由體溫反應推測失水及 ADH，並非圖中直接量得汗量或激素濃度；若要實測驗證，仍須有相應數據。



官方評卷參考中的作答圖：訓練後曲線較低，並在較高運動強度達到相同最高心搏率。

評卷報告提醒（原資料第 75、76 頁）

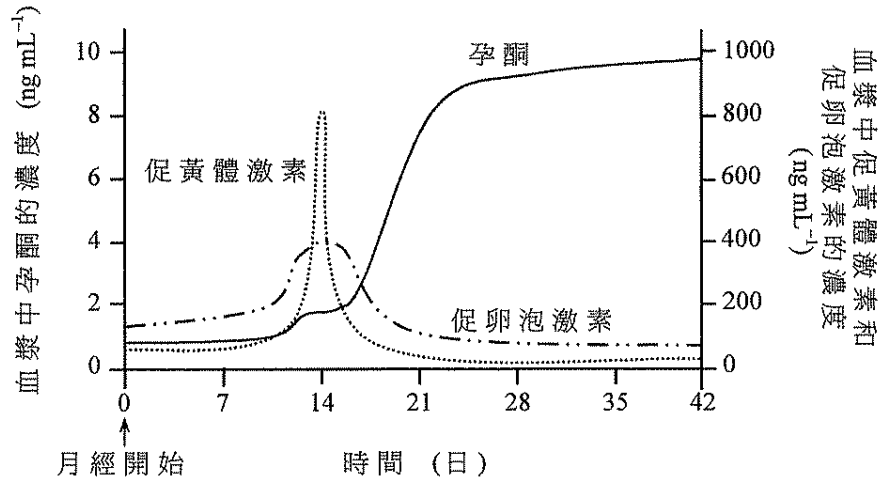
先從圖中取得心搏量及週期時長再計算。作答圖須在較高運動強度才達同一最高心搏率；濕度題必須分開排汗與汗液蒸發，不能只憑乾燥便斷言失水更多。

評分依據：HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 61、62 頁。

2. [HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 1 題]

提示：先算心輸出量，再連到氧供與調節。

(a) 以下曲線圖顯示一名女子在一段時間內，孕酮、促黃體激素和促卵泡激素在其血漿內的濃度：



(i) 寫出在第 14 日於卵巢發生的過程的名稱。 (1 分)

(ii) 解釋在第 14 日至 42 日期間血漿中孕酮濃度的變化。 (3 分)

(iii) 若該名女子的孕酮水平在第 35 日時顯著下降，將有什麼事情發生？ (1 分)

(iv) 根據以上曲線圖所示激素濃度的變化，解釋爲什麼孕酮可用作避孕藥物。 (3 分)

(b) 下表顯示一名未經訓練的健康人士，在靜止、進行輕微運動和劇烈運動時，其心血管系統和呼吸系統一些參數的數據：

	靜止	輕微運動	劇烈運動
心搏率 (次/分鐘)	75	145	190
心搏量 (dm^3)	0.07	0.09	0.11
呼吸速率 (次/分鐘)	14	24	40
潮氣量 (dm^3)	0.86	1.67	2.50

(i) 利用所提供的數據，分別計算這人在靜止時、進行輕微運動時和進行劇烈運動時的心輸出量 (dm^3/分鐘) 及換氣率 (dm^3/分鐘)。 (2 分)

(ii) 指出隨着這人的運動量上升，其心輸出量和換氣率出現的變化。這些變化有什麼重要性？ (4 分)

(iii) 描述在運動時，這人的交感神經如何令心輸出量改變。 (2 分)

(iv) 解釋爲什麼這人在劇烈運動後所產生的尿液量較平常的少。 (4 分)

✓ **答案**　各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析　**a(i)；原評分 1 分**

排卵。

第 14 日 LH 出現高峯，與排卵相對應。

a(ii)；原評分 3 分

LH 高峯促使排卵後留下的卵泡細胞形成黃體；黃體分泌孕酮，使第 14 日後孕酮上升。第 28 日後孕酮仍維持高水平，支持女子已懷孕，早期黃體繼續分泌孕酮以維持子宮內膜。

不能只逐段報高低，要交代來源及為何沒有像未受孕週期般下降。

a(iii)；原評分 1 分

子宮內膜可能剝落，妊娠可能流產。

孕酮維持妊娠早期內膜；原題情境下突然大跌意味着支持減少。

a(iv)；原評分 3 分

持續較高孕酮對下丘腦—垂體軸產生負回饋，使 FSH 及 LH 保持較低水平；卵泡發育及 LH 高峯受抑制，因而不易排卵。

按圖比較孕酮高時 FSH/LH 低，再連到沒有成熟卵泡及排卵；不是孕酮直接殺死卵子。

b(i)；原評分 2 分

心輸出量=心率×心搏量：靜止 75×0.07=5.25；輕微 145×0.09=13.05；劇烈 190×0.11=20.9 $dm^3\ min^{-1}$。

換氣率=呼吸頻率×潮氣量：14×0.86=12.04；24×1.67=40.08；40×2.50=100 $dm^3\ min^{-1}$。

每組三個結果正確各 1 分。兩個公式都是每次體積×每分鐘次數，結果單位為體積／分鐘。

b(ii)；原評分 4 分

運動量增加時，心輸出量與換氣率均增加；血液運輸及肺氣體交換加快，供給工作肌肉更多氧及葡萄糖，支持較高呼吸速率及 ATP 供應；也加快運走二氧化碳及代謝物，有助維持內環境。

由數據趨勢連到供應、能量及清除，不是只說呼吸、心跳都快。

b(iii)；原評分 2 分

交感神經對心臟的作用增加，使竇房結發出衝動的頻率加快，並增強心肌收縮，因而心率及心搏量上升，心輸出量增加。

神經末梢主要以去甲腎上腺素作用於心臟；腎上腺髓質分泌的腎上腺素也可增強反應，不能把兩個來源混寫。

b(iv)；原評分 4 分

劇烈運動出汗失水，使血液水勢下降；下丘腦感受這個變化，促使垂體後葉釋放較多 ADH。ADH 增加集合管對水的通透性，使更多水經滲透重吸收，故尿量減少、尿較濃。

要連續寫失水、水勢、ADH、通透性及重吸收；腎臟不是直接憑感到熱便停止造尿。

評卷報告提醒（原資料第 3、4 頁）

良好示例列出公式、代入與單位，並把數據趨勢接到肌肉需氧及代謝。孕酮題須解釋黃體及懷孕的維持，不能只有描述曲線。

評分依據：HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 11 頁。

練習 V.d　生殖週期的激素控制

對應題型 1 從激素曲線推排卵、避孕及運動反應

綜合程度 ★★★☆☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 1 題]

提示：先對齊激素來源、作用部位與時間。

1(a) 家言和思琪這對年青夫婦渴望有孩子。嘗試一年後，思琪仍未懷孕。因此他們徵詢家庭醫生的意見。醫生建議檢測他們兩人的生育能力。

(i) 醫生要求家言提供精液樣本進行顯微鏡觀察。提議對該樣本應檢查的**兩個**項目。 (2 分)

(ii) 收集思琪的月經週期資料後，醫生要求思琪提供一些血液樣本以量度其 LH 和 FSH 的水平。

(1) 為什麼需要檢查 LH 和 FSH 的水平？ (3 分)

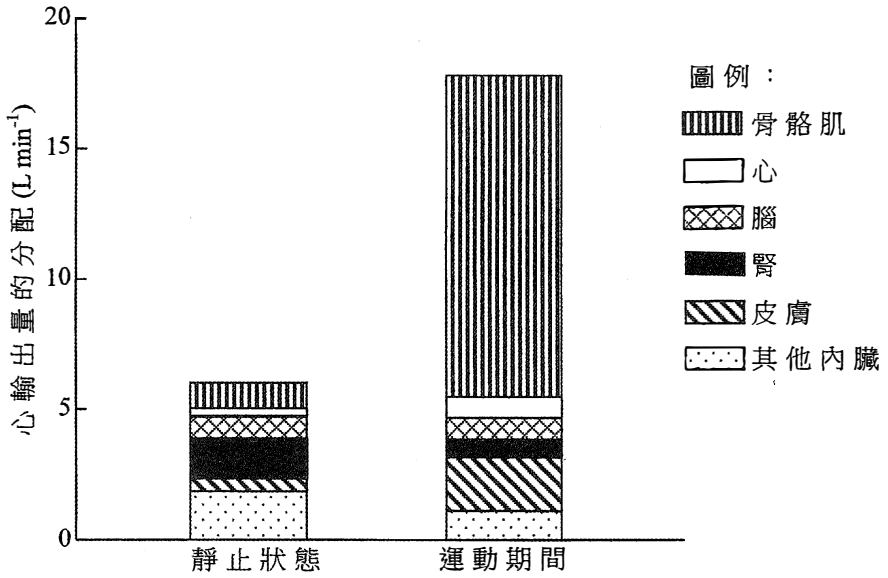
(2) 醫生也檢查思琪輸卵管的狀況。這個檢查有什麼重要性？ (2 分)

(iii) 全部檢查結果均屬正常。三個月後，思琪在預期的日子沒有月經。

(1) 解釋為什麼沒有月經可能是懷孕的表徵。 (2 分)

(2) 在思琪的血液和尿液內找到一種名為 HCG 的激素。HCG 會防止黃體的退化。根據 HCG 的作用，解釋思琪為何沒有月經。 (2 分)

1(b) 下圖顯示在靜止狀態和在運動期間，心輸出量至人體各部分的分配：



(i) 根據心跳的控制，簡述**兩項**調節方法可令運動期間的心輸出量得以增加。 (2 分)

(ii) 解釋在運動期間骨骼肌的供血量有最大增幅的重要性。 (3 分)

(iii) 解釋為什麼在運動期間流往皮膚的血液有所增加。 (4 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 2 分**

檢查精子數目，以及精子的遊動能力；精子形態是否異常亦可作其中一項。

受精需要足夠數量的精子到達卵，亦需要精子能有效遊動並具有正常構造。題目要求兩個可在樣本中檢查的項目，應寫出實際觀察量。

(a)(ii)(1)；原評分 3 分

檢查排卵前 FSH 和 LH 能否正常上升；FSH 促進卵泡發育，LH 的急升誘發排卵。

卵泡須先發育，卵才可在適當時間釋出。FSH 與 LH 分別參與這兩個相連步驟，因此其濃度及隨週期的變化有助判斷生育能力。

(a)(ii)(2)；原評分 2 分

確認輸卵管沒有閉塞，使精子與卵能沿輸卵管移動並在其中相遇受精。

即使激素分泌及排卵正常，若路徑被阻塞，配子仍可能無法相遇。這一檢查評估的是運輸通道，而不是再次量度激素。

(a)(iii)(1)；原評分 2 分

沒有月經表示子宮內膜沒有按上一個週期脫落，可能已有胚胎植入並使內膜得以維持。

月經是內膜脫落的結果；若內膜保留，便有可能是懷孕的表徵。『可能』不等於只憑月經延遲已確定懷孕。

(a)(iii)(2)；原評分 2 分

HCG 使黃體不退化，黃體繼續分泌孕酮及雌激素，維持子宮內膜，所以沒有月經。

由題給 HCG 的作用開始，接上黃體、激素和內膜三個環節。不能只說 HCG 抑制月經，而不說它透過哪個構造和哪些激素產生作用。

(b)(i)；原評分 2 分

心血管中樞增加通往起搏點的交感神經刺激；腎上腺分泌較多腎上腺素。

兩條調節路線均可使心臟更快或更有力地收縮，增加每分鐘泵出的血量。一項是神經訊號，另一項是隨血液運送的激素，應分別寫清。

(b)(ii)；原評分 3 分

較多血流向骨骼肌提供更多氧和營養物供呼吸作用形成 ATP，支持肌肉收縮，並更快運走二氧化碳。

圖中骨骼肌的血流增幅最大，應以運動時肌肉的能量需求增加作解釋。供應與廢物移走是同一循環流量提高所帶來的兩種作用。

(b)(iii)；原評分 4 分

肌肉活動產生較多熱，體溫上升被下丘腦或皮膚的溫度感受器偵測；散熱中樞發出神經訊號，令皮膚附近小動脈舒張，使更多血流經表面以散熱。

完整因果由產熱開始，經感受器及中樞，再到血管反應和散熱結果。皮膚血流增加是受調節的反應，不是血液隨意改變路線。

評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

判讀生殖激素要看整個週期是否出現應有高峯，不能因某一時刻 LH 或 FSH 低就診斷異常。解釋運動反應要依次寫神經訊號、器官反應、氧供應和 ATP 需求。

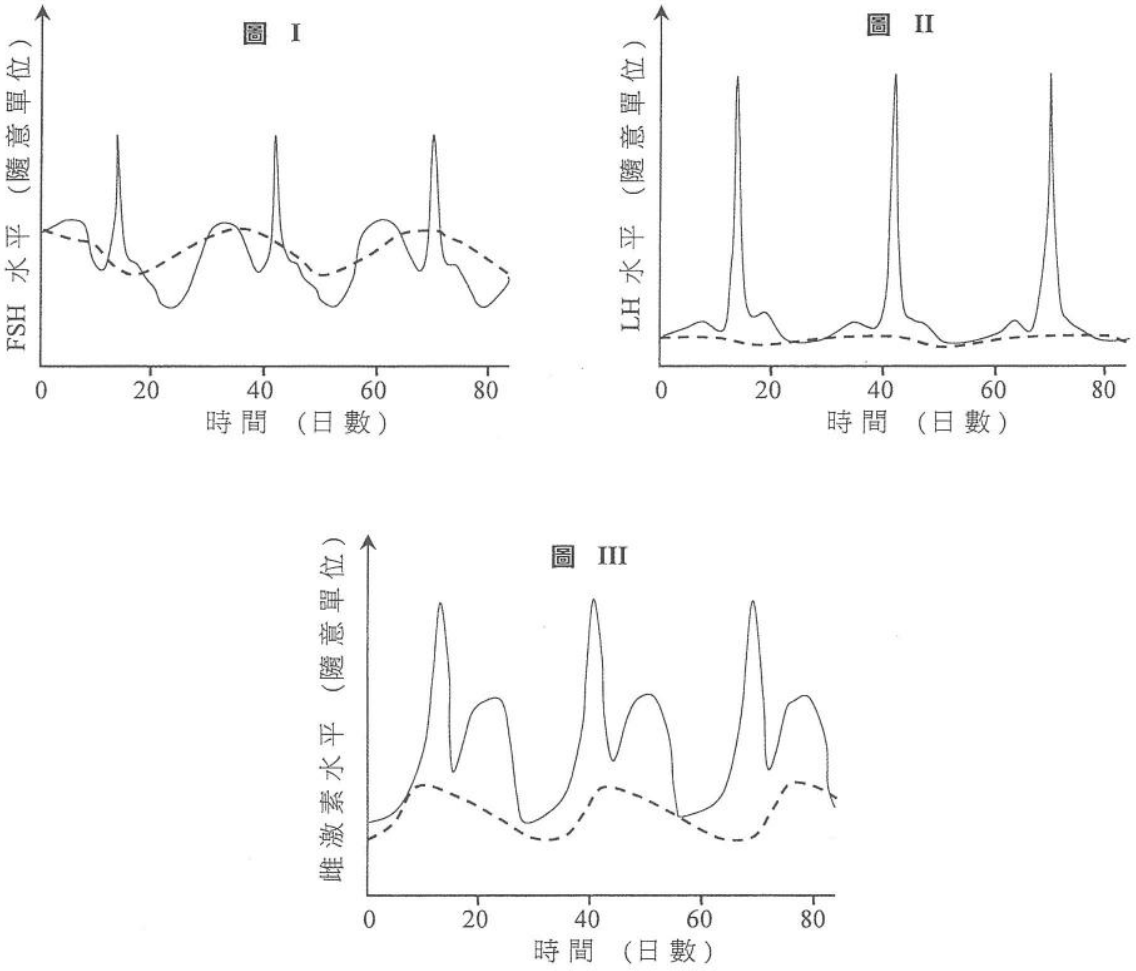
評分依據：HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 7 頁。

2. [HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 1 題]
提示：先對齊激素來源、作用部位與時間。

(a) 某避孕藥含有一種合成激素 X。下圖顯示一名女士在正常月經週期時和當她每天服用該避孕藥時，血漿內三種激素的水平：

圖 I：促卵泡激素 (FSH)
圖 II：促黃體激素 (LH)
圖 III：雌激素

圖例：
——— 在正常週期時的激素水平
- - - - - 每天服用避孕藥時的激素水平



(i) 參考圖 I 和圖 II，解釋這避孕藥怎樣運作。 (4 分)

(ii) 這合成激素 X 與其中一種雌性激素有相似的效應。這是哪一種雌性激素？解釋你的答案。 (2 分)

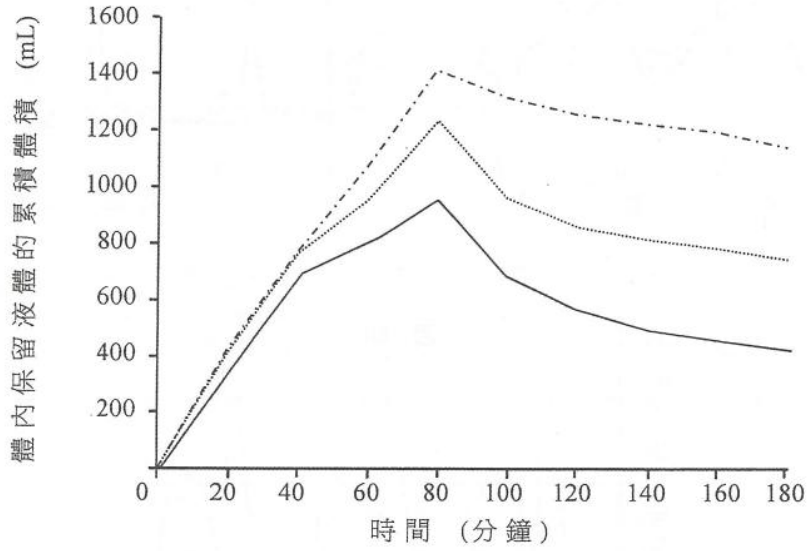
(iii) 服用這避孕藥的另一種效應是使子宮內膜變薄。解釋為什麼這現象也有助避孕。 (1 分)

(iv) 參考圖 III，解釋為什麼她的子宮內膜在她每天服用避孕藥時會變得較薄。 (2 分)

(b) 在一項比較飲用不同飲料後身體保留水分能力的研究中，健康的參與者在實驗的前一天進食同樣的膳食和進行相同的體力活動。

在實驗當天，參與者排清膀胱內的尿液，然後靜坐 20 分鐘。將參與者分為三組，每組飲用不同的飲料(水、含甘油的運動飲料和含鹽的運動飲料)。參與者在 0、20、40 和 60 分鐘時喝下 500 mL 飲料，並在 180 分鐘內每 20 分鐘收集他們的尿液。在實驗過程中，參與者在設定相同溫度和濕度的實驗室內靜坐。他們體內保留液體的累積體積的變化如下圖所示：

圖例：
——— 只飲用水
..... 飲用含甘油的運動飲料
-·-·-·- 飲用含鹽的運動飲料



(i) 此項實驗以飲用飲料後體內保留液體的累積體積來代表身體保留水分的能力。列出一項文字公式以顯示如何從所收集的數據計算保留液體的累積體積。 (1 分)

(ii) 解釋飲用水和飲用含鹽的運動飲料這兩組參與者之間在保留液體的累積體積上的差異。 (4 分)

(iii) 因為馬拉松賽跑選手取得水的機會有限，所以身體保留水分的能力對他們極其重要。解釋為什麼保留更多水分對馬拉松賽跑選手有利。 (3 分)

(iv) 對這項實驗提出**兩項**修改，以印證你在 (iii) 的答案。 (2 分)

(v) 試提出馬拉松賽跑選手飲用含甘油的運動飲料的另一個好處。 (1 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 4 分**

藥物使 FSH 缺乏正常高峯、維持較低水平，卵泡不能正常成熟；LH 亦沒有急升，因而不排卵。

先按兩幅圖各作比較，再各連到一個作用。FSH 刺激卵泡發育，分泌受抑制便減少成熟卵泡；LH 的週期中期高峯是觸發排卵的關鍵，藥物消除這個高峯，便沒有成熟卵子釋出供受精。

a(ii)；原評分 2 分

孕酮。

孕酮處於較高水平時，對下丘腦及腦下垂體產生負反饋，抑制 FSH 和 LH 分泌。X 造成相同的抑制效果，因此與孕酮作用相似。

a(iii)；原評分 1 分

較薄的子宮內膜不利於胚胎著牀。

即使受精發生，早期胚胎仍須在適當發育的子宮內膜植入，才能建立後續營養供應；內膜過薄可妨礙這一步。

a(iv)；原評分 2 分

服藥時雌激素整體較低，刺激子宮內膜增厚的作用減弱。

圖 III 的服藥曲線沒有正常週期的高峯。雌激素本來促進子宮內膜增生，水平受抑制便無法形成正常厚度；不能把原因只寫成「因為沒有排卵」。

b(i)；原評分 1 分

保留液體累積體積＝累積飲入液體體積－累積收集尿液體積。

兩項須取同一時間範圍的累積量。這是題目指定的水分保留指標，不能用某一個 20 分鐘的尿量去減去全部飲水量。

b(ii)；原評分 4 分

含鹽運動飲料組保留液體較多；相對純水組，其血液水勢較低，ADH 釋放較多，集尿管對水透性較高，重吸收更多水。

相同飲入體積下，鹽增加血液溶質，所以與只喝水相比，血液水勢較低。下丘腦對此作出反應，促使腦下垂體後葉釋出較多 ADH；集尿管壁插入較多水通道，更多濾液中的水回到血液，尿量減少。比較的是兩組相對差異，毋須聲稱喝下任何飲料後血液水勢必定比喝前低。

b(iii)；原評分 3 分

保留更多水可供出汗，汗水蒸發帶走跑步時肌肉產生的熱。

肌肉持續收縮及代謝使體熱增加。跑者取水機會有限，若預先保留較多水，可較長時間維持排汗；汗水由液態變成氣態需要吸熱，因而有助防止體溫過度上升。

b(iv)；原評分 2 分

把靜坐改為在固定速度的跑步機上跑步；除原有量度外，量度體溫或流汗量。

第一項使活動狀態符合馬拉松運動；第二項直接檢驗較多保留水能否支援散熱。兩組應保持相同運動強度、時間及室內環境，才能比較飲料效應。

b(v)；原評分 1 分

甘油可作代謝的能源來源。

甘油可進入細胞代謝途徑，為持續運動提供可利用的能量；這項好處與前面所述保留水分分開。

評卷報告提醒（原資料第 74、75 頁）

避孕機制要逐圖比較正常和服藥曲線，不能只背 FSH／LH 功能。飲料題要比較兩組血液水勢及 ADH，不能套用另一年運動後補水情境；新增實驗應讓兩組以相同速度跑步，並量體溫或汗量，才檢驗散熱。

評分依據：HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 1 題官方評卷參考，原資料第 60、61 頁。

應用生態學：題型與練習

Chapter 8

VI.a　人類對環境的影響

先讀「知 VI.a」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　以資源補充、競爭與多樣性評估管理

綜合程度 ★★★☆☆

知識梳理

① 某魚場把捕撈船數加倍，即使總捕獲量略升，也不能立即說魚羣變多。應比較每單位捕撈努力的捕獲量，並考慮魚類生長、繁殖及補充。

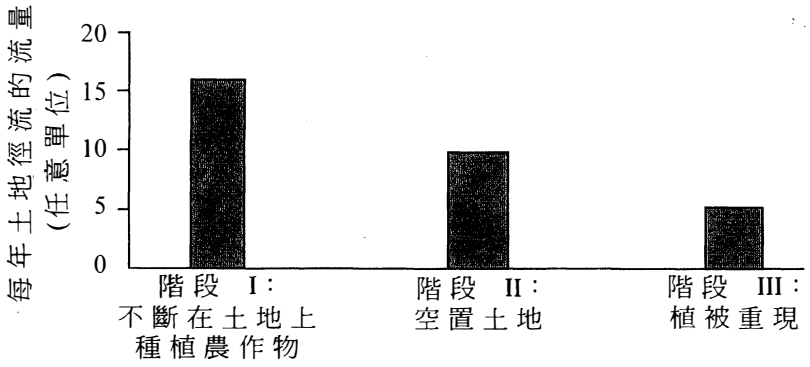
② **森林管理同樣有多個指標：**留下的樹長得較高，可能來自競爭減少，卻不自動代表物種更多。若表格列的是多樣性指數的增加量，應比較同一類增加量，不能把它當作最終總指數。

點石成金　先確定比較的是總量、單位努力、最終值還是增幅；再用資源、競爭、生境及補充速度解釋管理效果。

例 1　[HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 2 題]

.(a) 遷移農業是將山坡上的樹木伐去，把土地用作種植農作物；同時，把砍掉的樹木焚燒，並將灰燼灑在田間，用作肥料。在種植農作物數年後，當土壤的肥力失去時，土地便被空置。一段時間後，自然植被會在該幅土地重現。圖 2A 顯示，在遷移農業的 3 個不同階段的每年土地徑流（從泥土流走的水分）的流量：

圖 2A



(i) 簡略描述在階段 II 發生什麼過程，令自然植被重現成爲階段 III。（3 分）

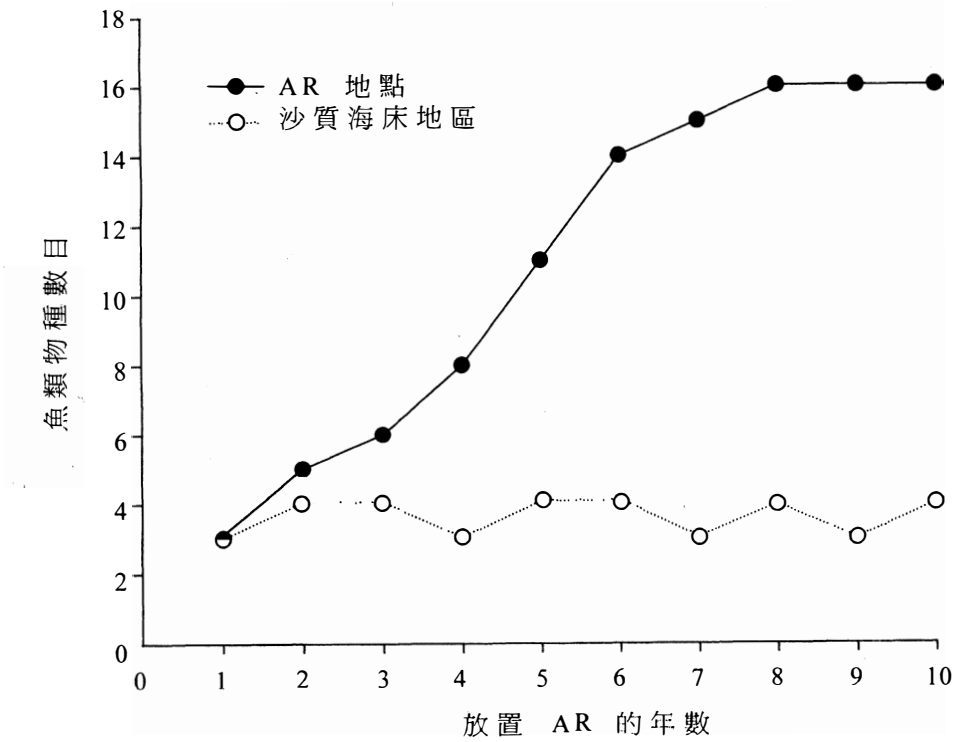
(ii) 試提出**兩項**農業活動以解釋階段 I 和階段 III 每年徑流流量的分別。（5 分）

(iii) 當土壤的營養素耗盡時，階段 I 的農作物的葉片會變黃。試提出可能缺乏的土壤營養素，並解釋你的答案。（2 分）

(iv) 寫出土壤營養素從土地流失的**兩個**途徑。（2 分）

(b) 人工魚礁 (AR) 是置於海床的人造結構，用以增加生物多樣性。爲了研究 AR 對魚類物種數目的效應，在某個沙質海床進行了一個爲期 10 年的研究。在 AR 地點 (在 AR 四周和在 AR 內) 的魚類物種數目與鄰近另一個相似的沙質海床地區比較，結果如圖 2B 所示：

圖 2B



(i) 就魚類物種數目而言，比較 AR 地點和沙質海床地區的結果。 (3 分)

(ii) 解釋爲什麼 AR 對在 AR 地點魚類物種數目有所影響。 (3 分)

(iii) 提出**兩項**準則，用以挑選建造 AR 的合適材料，並解釋這些準則的重要性。 (2 分)

解答 **a(i)；原評分 3 分**

空置土地先由生長快、養分需求較低的植物如苔蘚及蕨類定居；它們死亡後分解，增加土壤肥力；之後土壤能支持灌木及樹木，這些植物逐漸成為主要植被。

這是羣落演替。要說明早期植物如何改變土壤，使後期植物有條件建立，而不是只列出「草、灌木、樹」三個名稱。

方法：先定比較基準，再分析資源補充及競爭。

a(ii)；原評分 5 分

階段 I 的徑流量較階段 III 大。其一，不斷翻土破壞及鬆動土壤結構，使土壤較易被雨水沖走；其二，收割把植物中的有機物帶走，返回土壤的有機物較少，腐殖質減少，保水能力下降。

先寫圖中實際差異 1 分，再對兩項農業活動各連到土壤改變及水分流失。不要把「肥料多」當作保水較好的直接證據。

a(iii)；原評分 2 分

可能缺鎂，因鎂是製造葉綠素所需的元素；或缺氮／硝酸鹽，因氮是合成葉綠素等含氮物質所需。

葉片變黃表示綠色的葉綠素不足。選一種元素並說出與葉綠素的關係即可，不能只寫籠統的「缺肥」。

a(iv)；原評分 2 分

一些養分溶於水，隨徑流被帶走；另一些養分吸附在土壤顆粒上，隨被侵蝕的土粒流失。

前者是溶解後搬運，後者是固體土粒攜帶。兩條路徑要區分清楚。

b(i)；原評分 3 分

人工魚礁處的魚類物種數目由第一年約 3 種增加至第八年約 16 種，之後維持穩定；沙質海牀處一直只在約 3 至 4 種間波動。因此除最初接近外，人工魚礁處的物種數較高。

比較的是物種數，不是魚的個體總數。應包含上升後平台、對照沒有明顯變化，以及組間高低。

b(ii)；原評分 3 分

魚礁增加棲息環境的種類，吸引能利用不同條件的魚；孔隙提供躲避捕食者的庇護，也提供覓食及繁殖場所。較多生物定居後，還可吸引以它們為食的其他魚。

用棲息地的具體功能說明物種數增加。只說「環境更好」沒有交代哪種資源或相互作用改變。官方此問最多 3 分。

b(iii)；原評分 2 分

選無毒材料，避免傷害生物；選耐腐蝕的材料，使魚礁持久。亦可選表面粗糙的材料，讓幼蟲等生物容易附著。

任選兩項，各須把材料特徵連到生態上的用途或保護效果。

評卷報告提醒（原資料第 2 頁）

土壤養分既可溶在水中流失，也可吸附土粒被帶走；人工魚礁的意義包括增加不同棲境。

評分依據：HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 7 頁。

例 2 [HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 2 題]

(a) 下表顯示於 1980 至 1987 年間，於大西洋的吞拿魚總漁穫和所有漁船用於捕捉吞拿魚的總日數，即捕撈力量。

年	總漁穫 (10^3 噸)	捕撈力量 (10^3 日數)	每日每單位捕撈力量的漁穫 (噸)
1980	40	5	8.00
1981	45	8	5.63
1982	44	12	3.67
1983	60	20	3.00
1984	80	30	2.67
1985	85	35	2.43
1986	90	40	*x*
1987	100	60	*y*

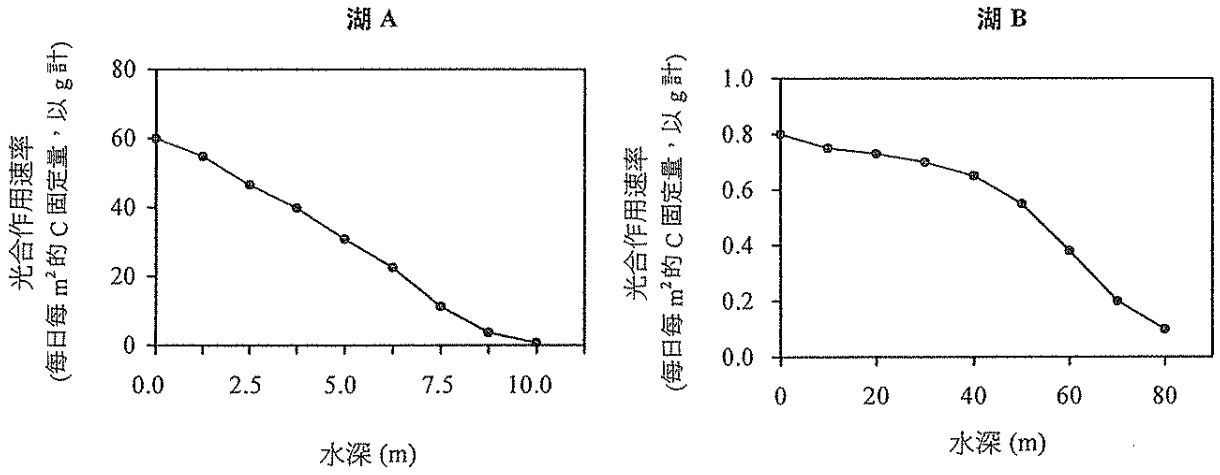
(i) 計算 *x* 和 *y* 的值，它們分別代表於 1986 和 1987 年的每單位捕撈力量的漁穫。 (1 分)

(ii) 繪畫一幅曲線圖顯示 1980 至 1987 年間的每單位捕撈力量的漁穫。 (3 分)

(iii) 參考你的曲線圖及以上數據，解釋由 1980 至 1987 年間每單位捕撈力量的漁穫的變化。 (3 分)

(iv) 建議**兩項**捕魚的管制措施，並描述每項措施如何有助維持可持續的漁穫供應。 (4 分)

(b) 下圖顯示 A 和 B 兩個湖的光合作用速率隨着水深的變化。其中的一個湖受到從附近農地淋溶出來的化學肥料所污染。



(i) 解釋湖 A 的光合作用速率隨着水深增加的變化。 (2 分)

(ii) 哪個湖受到化學肥料污染？解釋你的答案。 (3 分)

(iii) 哪個湖的溶解氧量較可能出現較大的晝夜變化？解釋你的答案。 (4 分)

解答 **a(i)；原評分 1 分**

x = 2.25，y = 1.67。

每單位捕撈力量的漁穫，是把總漁穫除以總捕撈日數。兩欄同有 10^3 的倍率，在相除時抵消。

x = 90 ÷ 40 = 2.25。

y = 100 ÷ 60 ≈ 1.67。

保留兩個小數位，與表中其他年度一致。

a(ii)；原評分 3 分

以年份為橫軸、每日每單位捕撈力量的漁穫為縱軸，標出八個數據點並依年份連成下降曲線。

先選均勻的刻度：橫軸 1980–1987，縱軸需容納 0 至 8.00。各年數值依序為 8.00、5.63、3.67、3.00、2.67、2.43、2.25、1.67。兩軸都須寫名稱及縱軸單位，再加上能說明內容的標題。把每一點按所屬年份定位後依序相連；不能把總漁穫的 40、45 等數字畫上去，也不能只畫一條沒有實際數據位置的斜線。

a(iii)；原評分 3 分

每單位捕撈力量的漁穫持續下降，因捕撈力量增加得比總漁穫快；這可能反映過度捕撈令魚類資源減少，捕獲相同量魚需要更多努力。

1980 年用 5×10^3 個捕撈日取得 40×10^3 噸，1987 年雖取得 100×10^3 噸，卻用了 60×10^3 個捕撈日。總漁穫只增為 2.5 倍，捕撈力量卻增為 12 倍，因此每單位努力的回報下降。總漁穫增加不等於魚羣一定增加；要先把努力量標準化。過度捕撈是合理解釋，但僅憑這些資料不能排除所有影響捕獲效率的其他因素。

a(iv)；原評分 4 分

訂定最小網目尺寸，讓幼魚逃出並長至繁殖年齡；在繁殖季節設禁捕期，讓成魚繁殖、補充種羣。

方法：先定比較基準，再分析資源補充及競爭。

第一項控制被捕的體型，較大的網孔讓部分小魚通過，減少牠們在繁殖前被捕。第二項控制時間，在產卵或繁殖重要時段降低捕撈壓力，使新個體補入。每項都須有措施和它如何維持補充率的解釋；只寫「少捕魚」沒有交代可實行的調節。可持續的要點是捕獲不能長期超過種羣的恢復能力。

b(i)；原評分 2 分

水越深，光被水及其中物質吸收、散射等而減弱，光合作用受光限制，速率隨深度增加而下降。

湖 A 近水面光合作用較強，往下逐漸接近零。可利用的光需要先穿過上方水層，深處接受到的光較少，因此光反應與後續碳固定受限。不能只寫「深水比較冷」，因圖中未提供溫度證據。

b(ii)；原評分 3 分

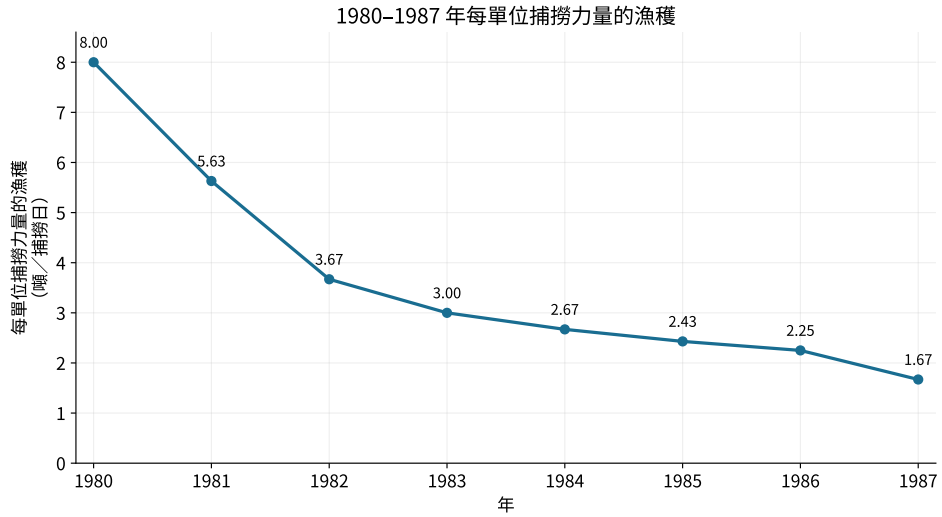
湖 A。它近水面的光合作用速率遠高於湖 B，符合肥料增加營養鹽、促進浮游植物生長的情況。

先核對縱軸：湖 A 近表面約為 60，湖 B 約為 0.8，量綱相同但刻度範圍差很大，不能只比較兩張曲線在紙上的高度。硝酸鹽、磷酸鹽等營養增加可解除限制，使生產者大量生長，在表層有較高光合作用；密集浮游植物又會阻擋光向深處穿透。單說湖 A 曲線較陡而不看兩軸尺度，不足以完成判斷。

b(iii)；原評分 4 分

湖 A。白天大量浮游植物光合作用產氧，使溶氧上升；夜間沒有光合作用，而較大的生物量繼續呼吸耗氧，令溶氧降得更低，晝夜差異較大。

比較的是一天內的氧收支變化。白天湖 A 的生產者較多，產氧能力較高；入夜後光合作用停止，但植物、動物及分解者仍呼吸。較多浮游植物本身也消耗氧，所以從日間高值到夜間低值的變動更大。不能只寫「藻多所以氧少」，漏掉白天和夜間方向不同的兩個過程。



1980–1987 年每單位捕撈力量漁穫的數據圖。

評分依據：HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 8、9 頁。

VI.b　污染控制與全球環境議題

先讀「知 VI.b」的污染控制及「知 VI.d」的全球性環境議題，再用本節例題練習由環境數據建立因果解釋。涉及森林恢復及物種保護時，同時運用「知 VI.a」的資源管理與「知 VI.c」的保育概念。

題型 1 由污染與環境變量解釋生態後果

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

① 先把人類活動帶來的改變說清楚，再追蹤「環境變量→生命過程→生態後果」。排入池塘的有機物可被微生物利用，分解者需氧呼吸增加，水中溶氧便可能下降，較不耐缺氧的動物會死亡或離開。

② 生化需氧量量度的是樣本在指定條件下的耗氧需求；現場溶氧則是當時水中已有的氧，兩者不能當成同一讀數。沿溪流向下游走，有機物逐漸耗盡，而空氣中的氧繼續溶入，溶氧可恢復；即使溶氧相同，流速、遮蔭及食物仍可令兩處羣落不同。

③ 污染物的去向須另行追蹤。同一個體隨時間累積污染物，與濃度沿食物鏈升高，是兩種比較；先看橫軸是年齡、攝食量還是營養級。

④ 若利用植物吸收重金屬，金屬只是轉移到植物體內，還須適當移走或處理含金屬的部分。比較處理前後時，也須分清污染物濃度、總量及其在不同部位的百分比。

⑤ 氣候題要把碳的移動與熱的傳遞分開。燃燒化石燃料增加大氣中的二氧化碳；二氧化碳吸收地表向外放出的長波紅外輻射，並向各方向再發射。

⑥ 在地表溫度尚未改變時，向太空散失的淨熱量減少，氣候系統因而升溫。植物光合作用可吸收二氧化碳，但增加的原料能否提高光合速率，還取決於光、溫度及氣體進入葉片的條件。

⑦ 若氣孔密度下降，氣體交換能力和蒸騰都可能下降：前者可能抵消部分光合增幅，後者使進入大氣的水蒸氣減少，可能改變地區降雨。

⑧ 把變暖接到生物時，必須多寫一步。

⑨ 較北地區的冬季若變得較適合某鳥種生存，並有足夠食物，鳥便可能在較北地方越冬，毋須像以前飛得那麼南。新增鳥羣可與當地鳥爭食，也可能成為捕食者的食物，結果取決於具體食物網。

⑩ 氣溫曲線即使逐年波動，仍可有長期上升趨勢；先讀趨勢及地圖上的方向，再解釋食物、棲地和物種互動。

⑪ 酸雨使用另一條因果鏈。

⑫ 燃燒排出的二氧化硫和氮氧化物可在大氣中形成酸性物質，使雨水酸度增加。水體 pH 下降可令對酸敏感的生物受損；土壤中的礦物養分可較易淋失，有些有毒金屬離子也可能較易溶出。

⑬ 這些改變會分別影響植物的養分供應與根部健康。酸雨的成酸過程不能代替溫室氣體吸收紅外輻射的解釋。

⑭ 森林恢復也要追蹤留下的物質。若伐木移走地上的木材，應比較地面及地下仍保留多少養分，以及這些養分如何再支持植物生長，不能只看砍走前哪個森林的木材最多。

⑮ 選擇造林樹種須考慮當地土壤、氣候和生長條件；大片單一樹種遇到專一病原體或害蟲時，可能一同受損。植物生長恢復、生物多樣性恢復與污染量下降，是需要各自證據的不同結果。

點石成金　先圈出比較的是污染物、溶氧、pH、氣溫、物種數還是養分分佈，核對單位、分母與比較條件，再選相應機制。每段依次寫「資料顯示甚麼→哪個生命或環境過程造成→對哪類生物有何後果」。遇到管理措施，再指出它改變因果鏈中的哪一步；暖化、酸雨和有機污染須各用自己的中間過程。

例 1　[HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 2 題]

(a) (i) 進行一項研究，以測定海洋浮游植物和它的消費者（濾食性雙殼動物）體內每一單位生物量中銅與鎘的濃度。濃度如下表所示：

	銅（任意單位）	鎘（任意單位）
浮游植物體內濃度 (Cp)	20	0.6
雙殼動物體內濃度 (Cb)	16	1.2
Cb/Cp 比率	0.8	?

(1) 計算鎘的 Cb/Cp 比率。（1 分）

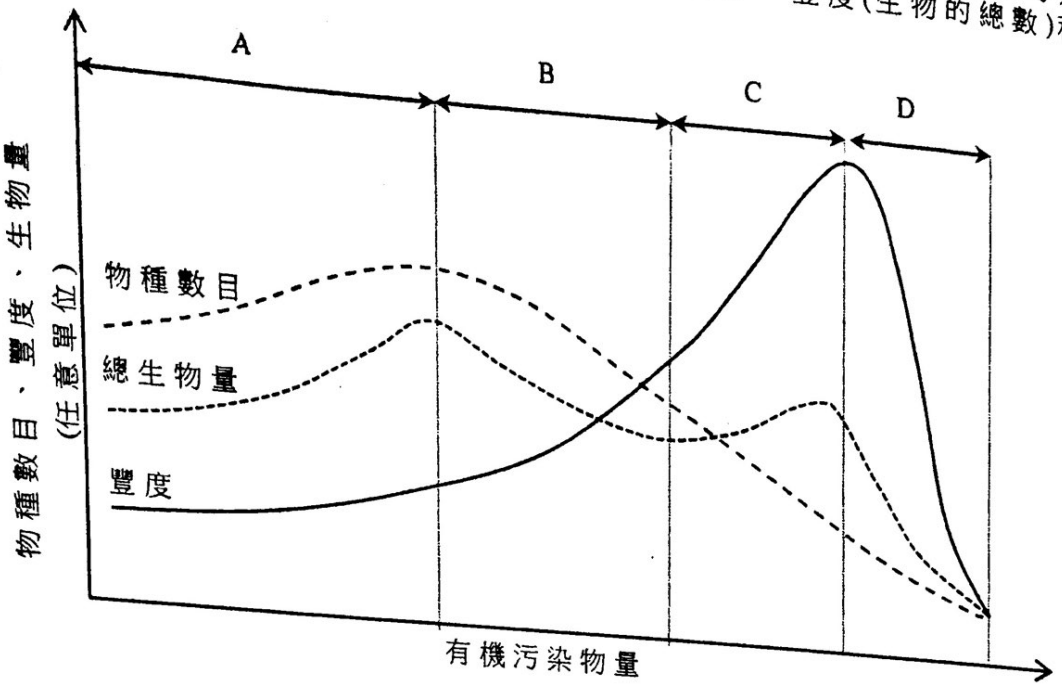
(2) Cb/Cp 比率大過 1 有什麼含意？（1 分）

(3) 比較銅與鎘的 Cb/Cp 比率。列出引致這種差別的**兩種**可能原因。（3 分）

(ii) 簡述一項實驗，用以研究不同濃度的鎘對雙殼動物死亡率的效應。（3 分）

(iii) 可再充電電池中的鎘是構成環境中鎘污染的其中一個源頭。試提出可減低這種污染的**兩種**方法。（2 分）

(b) 在海床表面、海床內與海床附近生活的無脊椎動物是沿岸生態系統的主要成員。這些無脊椎動物是進食有機物質的。下圖顯示家居污水中有機污染物量的增加，對某港灣內無脊椎動物群落的物種數目、豐度(生物的總數)和總生物量三方面的效應：



(i) 解釋為什麼當有機污染物量在階段 A 增加時，無脊椎動物群落有所擴大。(2 分)

(ii) 當有機污染物量在階段 B 繼續增加時，較大的無脊椎動物在群落中的比例下降。

(1) 參考圖表，提供支持以上陳述的證據。

(2) 試解釋為什麼有機污染物量在階段 B 增加，會導致較大的無脊椎動物在群落中的比例下降。(3 分)

(iii) 雖然無脊椎動物的豐度和生物量在階段 C 繼續增加，但該群落正在衰落。從上圖指出一項證據以支持這陳述。(3 分)

(iv) 試提出在階段 C 中無脊椎動物群落內的優勢物種的一個特性。(1 分)

解答 **a(i)(1)；原評分 1 分**

鎘的 Cb/Cp 比率是 2。

題目把 Cb 定義為雙殼動物每單位生物量的濃度，Cp 是浮游植物的相應濃度，所以分子、分母不能倒轉。

Cb/Cp = 1.2/0.6 = 2。

a(i)(2)；原評分 1 分

比率大於 1，表示該重金屬在消費者體內的濃度高於其食物來源，在這兩個營養級之間出現濃度放大。

方法：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

例如鎘的比率為 2，表示相同單位生物量下，雙殼動物的鎘濃度是浮游植物的兩倍。不是說雙殼動物總生物量較大，也不是說每一隻動物必定只吃了兩個浮游植物；比較的是標準化後的濃度。

a(i)(3)；原評分 3 分

鎘的比率 2 高於銅的 0.8。可能因鎘較難排泄，以及較難經解毒或代謝相關過程轉成容易清除的形態，因此在體內留存較多。

先用實際數字完成比較，再提出兩項能影響留存量的生理過程：進入體內的金屬若排出較慢，就較容易累積；若較難被處理成可安全運送及清除的形態，亦可增加留存。這些是解釋濃度差異的可能機制，單憑表格不能確定各機制所佔比例。銅和鎘是元素，不能說被分解後「消失」；解毒或代謝在此涉及其結合、化學形態和清除過程。

a(ii)；原評分 3 分

把相同或相近數量的雙殼動物分組，置於不同鎘濃度；經同一固定時間後，記錄各組的死亡數目或死亡百分率，再比較濃度與毒性的關係。

自變量是鎘濃度，因變量是死亡反應。各組應用同種、體型相近的動物，並控制溫度、鹽度、食物及暴露時間，令主要差別是鎘濃度。若每組起始數目稍有不同，死亡百分率比單比死亡隻數更公平。

死亡百分率 = 死亡數目 ÷ 起始數目 × 100%。

a(iii)；原評分 2 分

減少使用含鎘產品，或以適合的不含鎘產品取代；把含鎘電池等交到合適回收渠道，回收其中材料。

第一項從源頭減少鎘進入廢物流，例如選用適合而不含鎘的替代電池。第二項把已使用的含鎘物品集中回收，避免隨垃圾散落或進入水體。兩項要對應具體的減少／取代與再循環做法；只寫「提高環保意識」沒有說明如何減少污染。

b(i)；原評分 2 分

A 區間的有機物增加，為這些無脊椎動物提供較多食物，提高環境容納量，使繁殖或遷入增加，數量上升。

題幹已說明這些動物以有機物為食，所以少量新增有機物首先是食物資源增加。在資源限制放鬆時，出生數可超過死亡數，或吸引其他個體遷入，令羣落數量增加。橫軸是有機污染量，不能直接把圖當成某一天到另一天的時間記錄；也不應無視題目食性，另寫一整套藻類優養化流程。

b(ii)(1)；原評分 3 分

B 區間的總生物量下降，但個體總數上升，表示平均每隻動物的生物量降低，因此較大型動物的比例下降。

必須同時使用兩條曲線：只有總生物量下降，亦可能只是所有大小的個體都變少；但題圖同時顯示總數增加，才支持平均體型變小。

平均每隻生物量 = 羣落總生物量 ÷ 個體總數。

分子變小而分母變大，商必定下降。這個量連接了圖中的兩個觀察與「大型個體比例降低」的結論。

b(ii)(2)；原評分 3 分

大量有機物被微生物分解時消耗氧，水底變得缺氧；較大型無脊椎動物一般總需氧量較高，較易死亡或遷離，所佔比例下降。

由污染量增加出發，先寫分解者的呼吸耗氧，再寫動物所面對的低氧環境，最後接到體型組成的改變。不能跳成「污染使動物縮小」，也不能說食物不足，因為此圖中有機食物供應正在增加。這是利用題目的體型趨勢作合理羣落解釋，不是把所有大型物種的耐氧性當成完全相同。

b(iii)；原評分 1 分

C 區間的物種數目仍持續下降。

即使個體數目或總生物量增加，也可能只是少數耐污染物種大量繁殖。圖中物種數目繼續下降，顯示羣落的物種組成仍受損；不能只見動物變多就判斷生態已恢復。

b(iv)；原評分 1 分

具有高缺氧耐性的物種。

有機污染造成大量耗氧時，能在低溶氧下生存的物種較容易成為優勢種。題目要求一項特徵，寫出耐缺氧便已對應前面的環境篩選；泛稱「適應力強」不夠具體。

評分依據：HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 7 頁。

例 2　[HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 2 題]

(a) 在非洲的一些細小村落引入人工濕地處理污水，並收集排放物用以灌溉農田，紓緩水分短缺和污水處理的問題。在一項研究中，將經過初級處理的家居污水轉運至污水處理廠或人工濕地，然後收集兩者的排放物並加以比較。

(i) 扼要描述污水的初級處理所涉及的過程。 (2 分)

(ii) 下表顯示由污水處理廠及人工濕地收集得的流入物和排放物的一些參數：

	流入物（經初級處理後的污水）	來自不同系統的排放物	
		污水處理廠	人工濕地
氧含量 ($mg\ L^{-1}$)	5.0	5.3	3.5
有機氮含量 ($mg\ L^{-1}$)	35	3	12
磷含量 ($mg\ L^{-1}$)	29	28	27
鎂含量 ($mg\ L^{-1}$)	42	40	41

(1) 根據兩個系統對有機氮的處理方法，解釋來自污水處理廠和人工濕地的排放物的有機氮含量之差異。 (4 分)

(2) 利用這研究的排放物灌溉農田有利於農作物的生長。就生產生物分子而言，除了排放物含有硝酸鹽外，簡略解釋另一好處。 (2 分)

(iii) 對細小村落而言，採用人工濕地較污水處理廠有哪些優勝之處？列舉**兩項**。 (2 分)

(b) 採礦活動往往產生大量重金屬廢料，這些廢料會對生態系造成污染。以下照片顯示某廢棄礦區及其經過 10 年的生態修復後的情況：

照片 I – 廢棄礦區



照片 II – 經生態修復後的礦區



(i) 除了重金屬污染，指出該廢棄礦區的另外**兩個**生態問題。 (2 分)

(ii) 在一項測試兩種原生植物物種 (A 和 B) 是否適用於修復廢棄礦區的研究中，將取自採礦區含高濃度重金屬 X 的泥土置於盆內栽種幼苗。每種物種的盆栽，半數施予肥料，另一半則沒有。圖 1 顯示實驗第八周時植物的乾質量。圖 2 則顯示重金屬 X 在根部和枝條的濃度：

圖 1

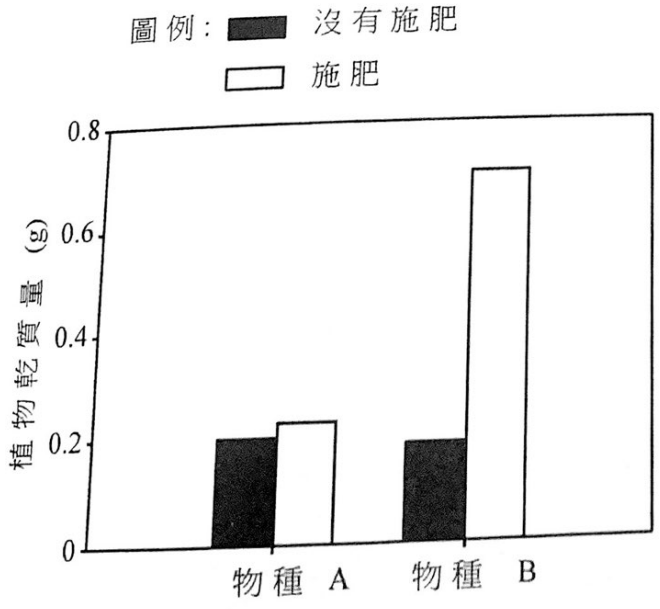
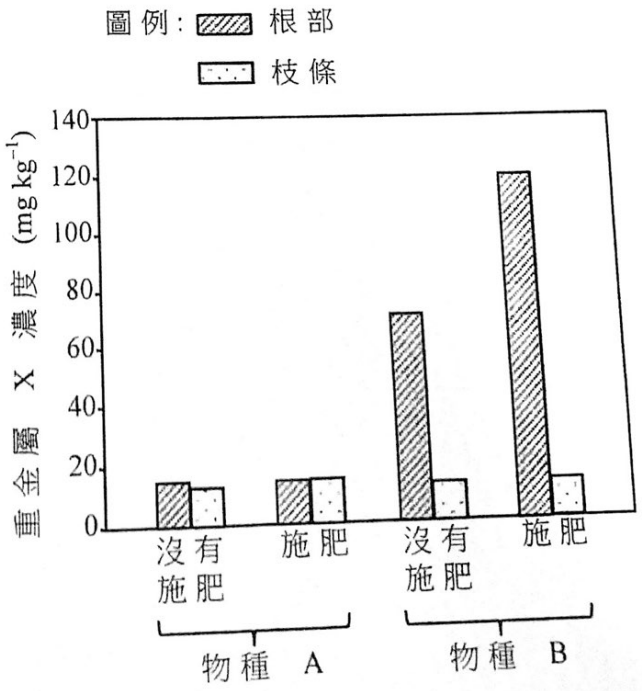


圖 2



(1) 就清除泥土內的重金屬 X 而言，物種 B 較適宜用作修復該礦區。參考上述兩圖，提供證據以支持這個選擇。(4 分)

(2) 有另一植物物種 C，重金屬 X 在其枝條所積聚的濃度，比在其根部高很多。你會選擇哪一物種 (B 或 C) 來修復該廢棄礦區？試加以解釋。(2 分)

(3) 提供**兩個**理由，解釋為什麼採用原生植物物種進行這項實驗。(2 分)

解答 **a(i)；原評分 2 分**

先用篩隔／過濾去除較大固體，再讓懸浮固體沉降，移走底部污泥。

初級處理主要是物理分離。篩隔處理較大雜物，沉澱處理可下沉的懸浮顆粒；它未把全部溶解有機物或病原體清除，後面仍需要其他處理。

方法：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

a(ii)(1)；原評分 4 分

污水處理廠排放物的有機氮較低，為 3 mg L^{-1}，人工濕地則為 12 mg L^{-1}。

處理廠主動把空氣注入污水，供應較多氧；表中其排放物氧為 5.3 mg L^{-1}，濕地只有 3.5 mg L^{-1}。較充足氧促進分解微生物活動，使有機氮較快分解成銨化合物，因此殘餘有機氮較低。不要把有機氮變成銨化合物稱為硝化，硝化是之後銨轉成亞硝酸鹽／硝酸鹽。

a(ii)(2)；原評分 2 分

例如含鎂，可用來合成葉綠素；或含磷，可製造核酸、ATP 及磷脂。

答案須由題表的礦物元素連到具體生物分子。鎂是葉綠素的組成元素，磷則進入核酸、ATP 或磷脂；只說礦物質令植物長得好，沒有回答分子層面的理由。

a(iii)；原評分 2 分

建設及配套成本較低；運作所需能源與人手較少。

人工濕地可利用植物和微生物自然處理小村落有限的污水量，不需處理廠同等程度的機械曝氣和設備操作。兩項可從建造與日常運作成本分別說明；這是依題設小規模村落作比較。

b(i)；原評分 2 分

例如土壤侵蝕／土壤退化；天然植被及生境受破壞。

圖 I 顯示大片裸露地面，失去植被固定土壤後較易被水沖走；原有植物及動物棲息條件也減少。題目已排除重金屬污染，需提供另外兩類生態後果。

b(ii)(1)；原評分 4 分

B 施肥後生物量增加較明顯，根部 X 濃度也較高並進一步增加，所以可在植物體內累積較多 X。

圖 1：A 乾質量只由約 0.20 增至 0.24 g，B 則由約 0.20 增至 0.72 g。圖 2：B 根的 X 濃度本已約 70 mg kg^{-1}，高於 A 的約 15；施肥後 B 更升至約 120，A 變化很小。生長量與根部濃度兩項都較有利於 B，不能只比較其中一幅圖。

b(ii)(2)；原評分 2 分

可選 C，以收割枝條把累積的 X 帶離污染地。

C 把較多重金屬存於地上枝條，較方便收割和移走，符合從礦區移除金屬的目標。若以降低食物網暴露為主要判準，也可選 B，因其枝條 X 較低，草食動物及後續消費者攝入較少；選擇須與理由一致，題目不只接受一個字母。

b(ii)(3)；原評分 2 分

原生物種已適應本地環境；可較好恢復原有羣落並降低引入入侵物種的風險。

本地適應提高在修復地建立的機會；與原羣落相容則可提供本地動物所需食物及棲息地。外來植物若競爭力過強，反而可能在修復污染後造成另一種生態壓力。

評卷報告提醒（原資料第 9 頁）

初級污水處理是物理分離，毋須加化學處理。氮轉化要分清分解、固氮和硝化；礦物質須連到題目要求的生物分子。植物 B 的證據要同時使用乾質量與根部 X 濃度；選 C 則以收割枝條把金屬移離土地作理由。

評分依據：HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

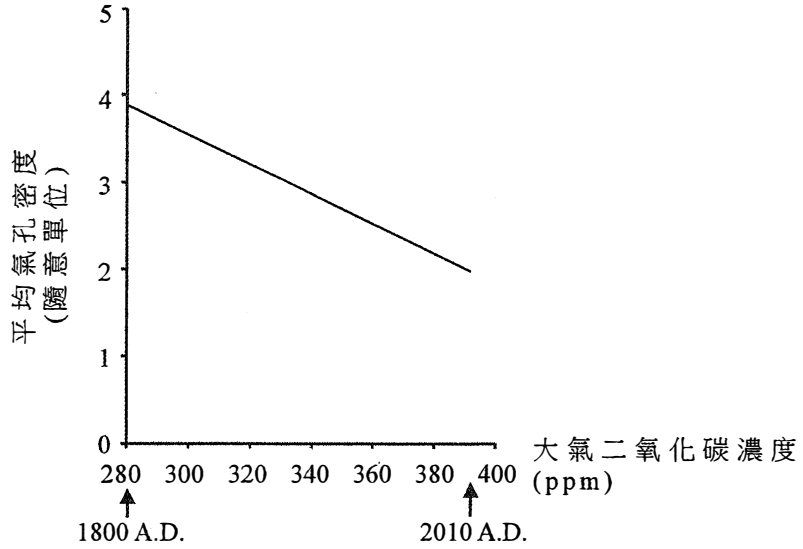
例 3 [HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 2 題]

2(a) 大氣中的二氧化碳濃度在過去 210 年持續增加，科學家相信這是全球氣候變化的主要原因。

(i) 解釋為什麼二氧化碳濃度增加會引致大氣溫度改變。 (2 分)

(ii) 有科學家提出二氧化碳濃度增加的速率可能因光合作用而放緩。寫出這個說法背後的生物學原理。 (3 分)

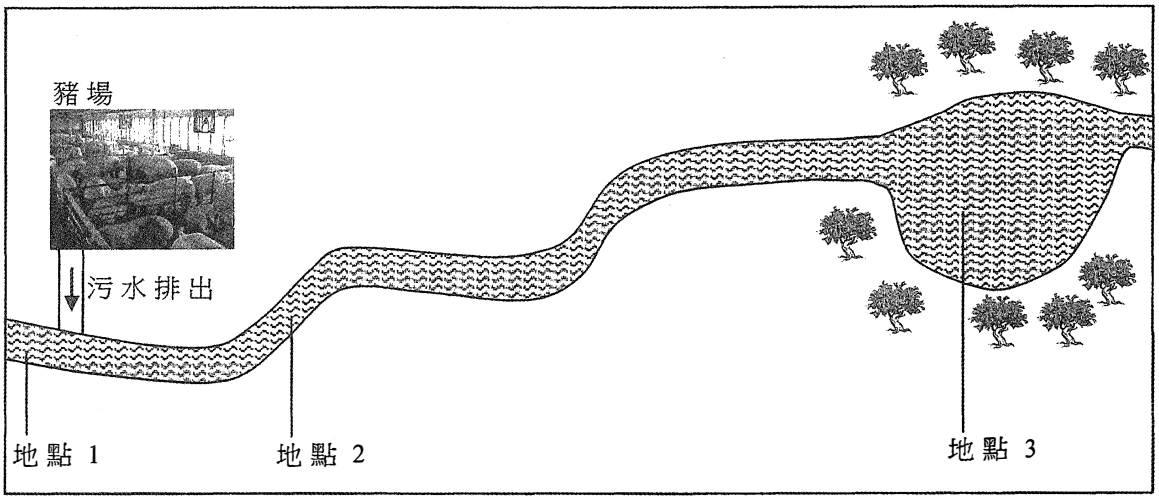
(iii) 下圖顯示在過去 210 年，一些植物物種的平均氣孔密度和大氣二氧化碳濃度的變化：



(1) 以上這項觀察如何可與題 (ii) 的說法互相矛盾？ (3 分)

(2) 有假說指出，植物物種的平均氣孔密度下降可能進一步影響地區性氣候。根據水循環，試說明這個假說背後的原理。 (2 分)

2(b) 位於淡水溪流上游的豬場，將污水非法排放到溪中。為了研究排放污水的影響，從接近排污點的上游（地點 1）和下游 50 m 的位置（地點 2）搜集水樣本和水生動物。下圖顯示豬場及溪流的位置：



下表顯示在地點 1 和地點 2 所搜集的數據：

	地點 1	地點 2
溶解氧（% 飽和）	95	22
動物群落	魚物種 A	魚物種 C
	魚物種 B	昆蟲物種 A 的幼蟲
	蝸牛物種 A	
	蟹物種 A	

(i) (1) 解釋當水由地點 1 流到地點 2 期間溶解氧水平的變化。（4 分）

(2) 根據溶解氧水平的變化，解釋動物物種在地點 2 相比地點 1 的差異。（2 分）

(ii) 已知在排出污水下游 1 km 的位置（地點 3），溶解氧水平回復到 95%。

(1) 試提出地點 3 的溶解氧水平如何能有所恢復。（2 分）

(2) 雖然溶解氧水平有所恢復，但地點 3 的動物群落跟地點 1 的不一樣。試加以解釋。（2 分）

解答 **(a)(i)；原評分 2 分**

二氧化碳吸收地表向外放出的長波紅外輻射，增加大氣保留的熱量，使溫度上升。

地面吸收太陽能後會向外放出熱輻射；溫室氣體使這些能量較難直接流失到太空。

應說明吸收的是地面發出的熱輻射，不把它簡化成阻擋所有陽光。

方法：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

(a)(ii)；原評分 3 分

二氧化碳是光合作用的原料；若二氧化碳原本為限制因素，其濃度增加可提高光合作用速率，使植物吸收更多二氧化碳，從而減慢大氣濃度的增加。

這是一種可能的負反饋。先交代原料增加，再交代固定碳的速率可增加，最後才說大氣增幅受抵消；其他因素成為限制時，反饋幅度便有限。

(a)(iii)(1)；原評分 3 分

圖示二氧化碳濃度上升時氣孔密度下降；較少氣孔可降低葉片氣體交換及二氧化碳進入的能力，抵消原料濃度提高的部分作用，使光合作用未必有預期增幅。

兩個效應方向不同：外界原料增多可能促進光合作用，而進入葉片的通道減少可能限制交換。把兩者一起考慮，才能指出前一推測的限制。

(a)(iii)(2)；原評分 2 分

氣孔密度下降可減少蒸騰，進入大氣的水蒸氣減少，因而可能改變凝結、降雨量或降雨分佈。

須從植物水分散失接到大氣水分及降雨，不能把氣孔直接等同雨量。這是題設假說所關注的區域水循環效應。

(b)(i)(1)；原評分 4 分

溶氧由 95% 飽和度降到 22%。污水帶入大量有機物，分解微生物利用這些物質並進行需氧呼吸，消耗溪水中的氧，令下游溶氧降低。

先用兩個讀數說明下降，再指出耗氧者和耗氧過程。不是有機物一進水就把氧憑空變沒，而是微生物分解活動造成較大耗氧量。

(b)(i)(2)；原評分 2 分

低溶氧使原來需要較高氧水平的動物死亡或遷離；耐低氧的魚物種 C 和昆蟲幼蟲能留下，所以羣落與上游不同。

不同動物的耐受範圍不同。應把表中的物種變化連到溶氧這項環境條件，而不是只重抄兩地名單。

(b)(ii)(1)；原評分 2 分

有機物逐漸被分解及耗盡，微生物耗氧活動減少；同時空氣中的氧繼續溶入水，水生植物光合作用也可補充氧。

恢復發生在耗氧減少與補氧持續兩方面共同作用下。只說『下游較乾淨』沒有解釋氧的來源和去向。

(b)(ii)(2)；原評分 2 分

地點 3 雖然溶氧相同，仍可能有較慢水流、較多遮蔭或其他生物關係的差異，因此適合生存的物種組合未必與地點 1 相同。

溶氧只是眾多環境因子之一。圖中河道寬度及岸邊植物不同，可支持對其他棲地條件的比較；不能把一個讀數相同推成整個生境相同。

評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

污水中的有機物會增加分解者需氧量，不必先假定出現藻華。比較上下游須把流速、光照、分解者和有機物的變化與資料連上。溫室效應涉及地表放出的紅外輻射。

評分依據：HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

VI.c　保育物種與棲息地

先讀「知 VI.c」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　把保護措施與可檢驗的生態結果配對

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

① 設立保護區可減少區內捕撈，讓魚有較多存活和繁殖機會；若成年魚移出或幼體擴散，區外也可能受益。這個推論需要比較區內外及不同距離的資料，不能只憑保護區名稱成立。濕地管理、採蜆限制或指標物種監測，都要把措施與實際受影響的生境、物種或污染暴露接起來。

② **先看恢復到哪裏，再比較恢復得多快**

③ 假設兩組植物受幹擾前的光合作用速率都定為 100，受幹擾後分別降到 40 和 20。之後兩組都回到原來的相同環境條件。這時要追蹤的不是「現在有沒有光合作用」，而是速率離原來的 100 還差多少。

④ 看錶中第 1 日，甲由 40 回到 80，乙由 20 回到 45；第 3 日甲回到 100，乙只回到 70。甲較快恢復，而且在第 3 日已達到原基準；乙在這段觀察期內仍未完全恢復。即使乙已明顯上升，也不能把 70 當作已回到原來的 100。

⑤ 「第 3 日未完全恢復」不等於「永遠不能恢復」，因為後面的日子沒有資料。若同樣幹擾在尚未恢復前反覆出現，植物長時間的光合作用可能維持較低，製造和累積的有機物便可能不足。由曲線推生存影響時，要把這個中間過程寫出來。

⑥ **兩組植物回到相同原環境後，與各自原基準比較**

⑦

時點	甲的相對光合速率	乙的相對光合速率
受幹擾前	100	100
受幹擾後，開始恢復時	40	20
恢復第 1 日	80	45
恢復第 3 日	100	70

點石成金　先說措施改變了甚麼，再用種羣、羣落或污染資料評估；若只有某一物種的數據，結論須保留對象範圍。

例 1 [HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 2 題]

2(a) 在某海域設立海洋保護區，區內禁止捕魚以確保漁業資源得以持續。而保護區外則容許底拖網。在圖 I 所示的六個隨機選擇區域進行初步研究，以估計該等區域的動物生物量 ($kg\ km^{-2}$)。各區域的動物生物量如圖 II 所示。

圖 I

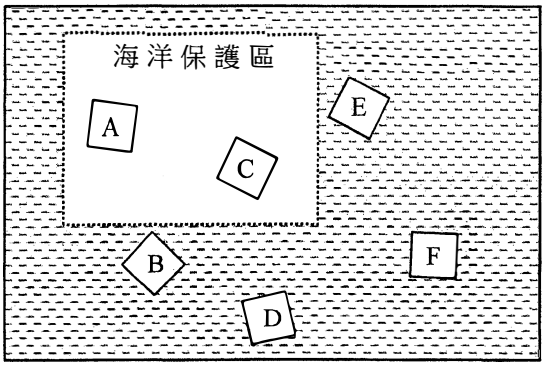
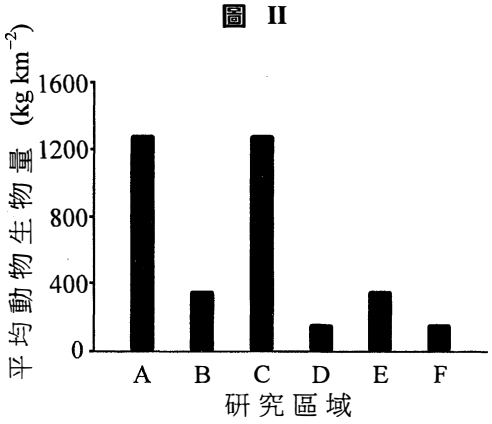


圖 II



(i) 底拖網是一種捕魚方法，將魚網放在海底，然後用漁船拖行。提出底拖網對海底的物理環境構成的**兩種**潛在效應。 (2 分)

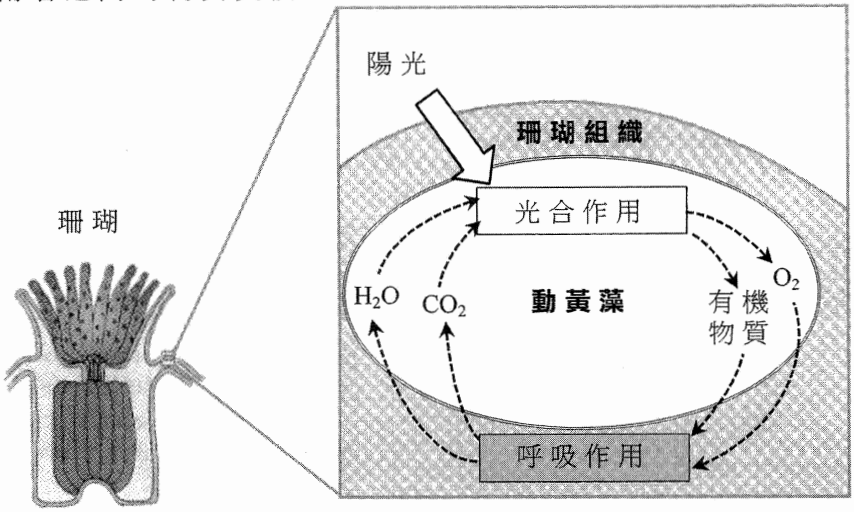
(ii) (1) 比較在保護區內外的生物量，你能觀察到什麼模式？ (2 分)

(2) 為這模式提出一個可能的解釋。 (3 分)

(iii) 這個初步研究有什麼局限？應作出什麼測量以增加這研究的有效性？ (4 分)

(iv) 指出在香港的**一個**海洋保護區。 (1 分)

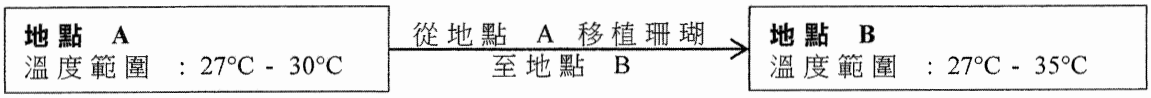
2(b) 珊瑚有不同色彩，這是因為體內有互利共生的單細胞海藻，名為動黃藻。下圖顯示兩者之間的物質交換。



(i) 當海水溫度上升時，珊瑚會將動黃藻釋出，這稱為珊瑚白化。珊瑚在白化後，最終會因健康惡化而死去。根據圖中的資料，提出為什麼珊瑚的健康會惡化。 (1 分)

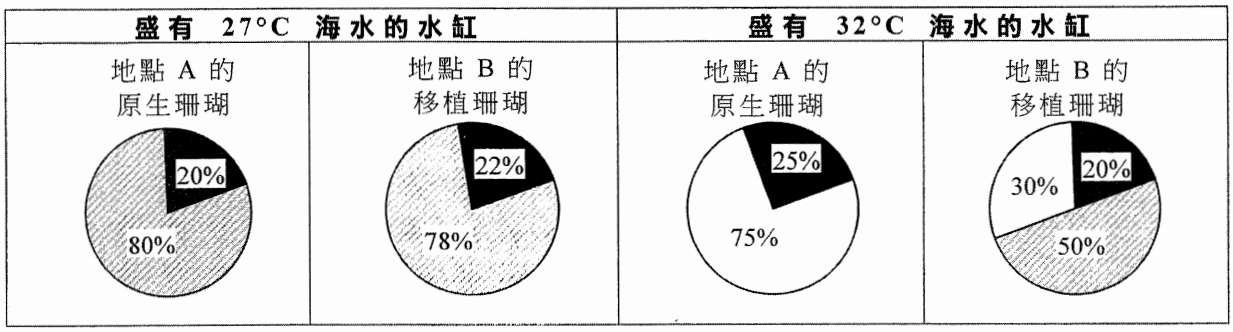
(ii) 大氣中二氧化碳水平的增加被視為是海水溫度上升的原因。試加以解釋。 (3 分)

(iii) 進行一項移植實驗，以研究海水溫度上升對珊瑚健康的效應，步驟如下圖所示：



14 個月後，收集地點 A 的原生珊瑚及地點 B 的移植珊瑚，並置於盛有不同溫度海水的水缸內。下圖顯示在 6 個月後珊瑚健康的情況：

圖例：▨ 健康　□ 白化　■ 死亡



(1) 比較海水溫度上升對原生珊瑚和移植珊瑚健康的效應。利用圖中的資料來支持你的答案。 (3 分)

(2) 面對全球暖化的威脅，這項研究對珊瑚白化的問題有什麼啓示？ (1 分)

解答 (a)(i)；原評分 2 分

底拖網可翻起海底沉積物、增加混濁或釋出污染物；也可破壞海底棲地、庇護所及繁殖場所。

方法：先說措施改變甚麼，再用資料評估結果。

要回答物理環境效應，因此列出攪動沉積物和破壞底質棲地，比只說『捕走很多魚』更切題。兩項應分別對應水體狀態及棲地結構。

(a)(ii)(1)；原評分 2 分

保護區內 A、C 最高，附近 B、E 次之，較遠 D、F 最低；越接近保護區，動物生物量越高。

圖中 A、C 約 1300 kg km^{-2}，B、E 約 350，D、F 約 150。先把地圖距離與柱高配對，才能寫出空間模式，不能把所有區外地點說成同樣低。

(a)(ii)(2)；原評分 3 分

禁捕區讓動物存活、繁殖並累積較高生物量；部分動物移到鄰近區域，使近旁生物量高於較遠處。

保護區減少捕捉及棲地幹擾，提供繁殖及食物條件；當種羣增長，部分個體向外移動，形成鄰近區受益的溢出效應。這條路線同時解釋『區內高』及『近區外比遠區外高』。

(a)(iii)；原評分 4 分

總生物量沒有顯示各物種受益或受損，亦不能代表多樣性；應增加物種數等調查，以評估保護對生物多樣性的影響。

例如一種大型魚增加就可令總生物量升高，即使其他物種減少。調查物種豐富度，並可記錄各物種豐度，能補上只量總量的盲點。提出測量時須說明它修補哪項限制。

(a)(iv)；原評分 1 分

海下灣海岸公園。

寫一個香港已設立的海洋保護區名稱即可，無須把一般泳灘當成保護區。

(b)(i)；原評分 1 分

失去共生藻後，珊瑚得到的光合作用有機養分減少。

圖示動黃藻把光合作用產生的有機物供給珊瑚；白化排出藻後，這項供應被切斷，使珊瑚能量來源不足而健康轉差。

(b)(ii)；原評分 3 分

增加的 CO_2吸收地表向外發出的長波紅外輻射，使較多熱留在地表—大氣系統，增加氣溫並帶動海水升溫。

溫室效應涉及地表吸收陽光後『發出』的紅外線，不應把它一概寫成地球像鏡子『反射』熱。要從 CO_2的吸收作用連到能量散失減少，再連到海水溫度。

(b)(iii)(1)；原評分 3 分

32°C 對原生珊瑚的健康影響較大；原生組沒有健康個體、75% 白化、25% 死亡，移植組仍有 50% 健康、30% 白化、20% 死亡。

27°C 時兩組大多健康：原生 80%，移植 78%；到 32°C，原生健康比例降得更多。較熱地點 B 移植組的白化和死亡比例都較低，故支持其耐熱性較高。比較結論至少配兩項數據，不要只挑一個百分比。

(b)(iii)(2)；原評分 1 分

預先經歷較高溫環境可能提高珊瑚對後來升溫的耐受性，提示部分珊瑚有適應或調節能力。

本實驗支持的是處理歷史與耐熱反應的關係。單憑這些結果，不能斷言一定發生遺傳突變，也不能說所有珊瑚都能完全抵抗全球暖化。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

比較海洋保護區內外還要考慮距離保護區的遠近。總生物量不能代替物種多樣性；珊瑚是動物，失去共生藻才使食物及氧供應受影響。

評分依據：HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

練習 VI.a　人類對環境的影響

對應題型 1 以資源補充、競爭與多樣性評估管理

綜合程度 ★★★☆☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 2 題]

提示：先定比較基準，再分析資源補充及競爭。

(a) 傳統農業涉及採用人造化學物，例如除草劑和殺蟲劑，然而有機農業則否。在一項比較一個傳統農場和一個有機農場的調查中，於一年內的不同時間，在農場內和農場周圍進行隨機取樣。所得數據如下表所示：

		傳統農場		有機農場	
		農場周圍	農場內	農場周圍	農場內
物種豐度（物種數目）	農作物以外的植物	7	3	28	18
	傳粉生物	1	0	10	6
豐度（個體數目）	害蟲 A	310	160	51	49
	A 的捕食者	9	3	24	11

(註：所顯示數目為最接近整數的平均值。)

(i) 參考農場內所得的數據，討論使用除草劑的效用。使用除草劑如何能增加農作物的產量？ (3 分)

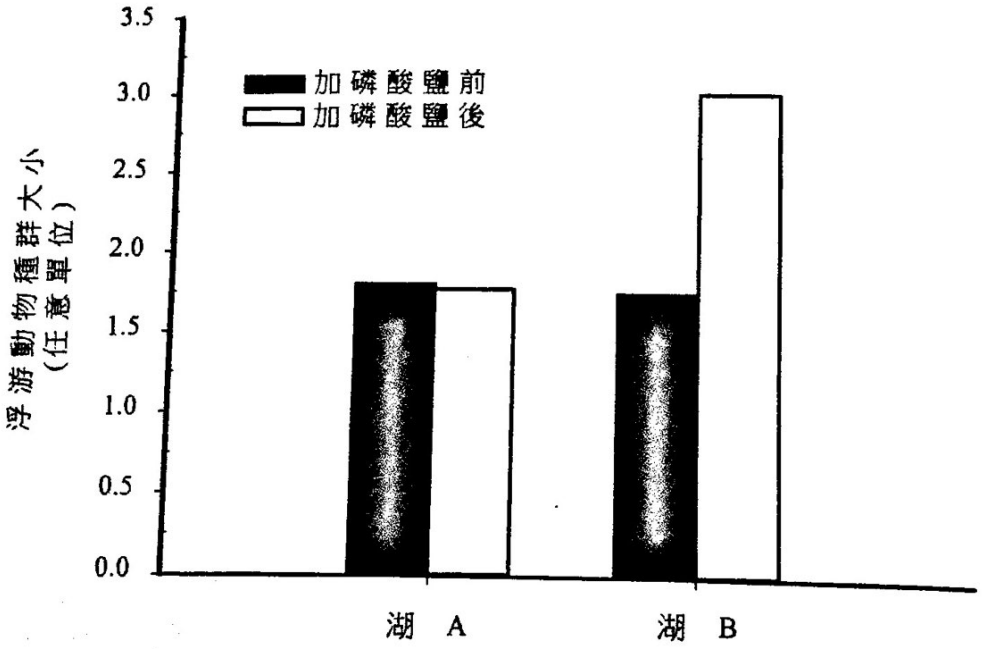
(ii) 根據農場內所得的數據，討論化學防治和生物防治對害蟲種群的效用。從數據中舉出證據以解釋你的答案。 (4 分)

(iii) 參考物種豐度，解釋為什麼有機農業有利於農場周圍的群落的可持續發展。 (3 分)

2(b) 當一個水生生態系受家居污水污染後，通常會發生藻類過量繁殖的情況。湖 A 和湖 B 的環境條件相若。與湖 A 相比，湖 B 發生藻類過量繁殖的頻率較低。兩個湖內的主要食物鏈如下所示：

湖 A：　浮游植物 → 浮游動物 → 魚類物種 1
湖 B：　浮游植物 → 浮游動物 → 魚類物種 1 → 魚類物種 2

有人提出一項假說：食物鏈的營養級的數目會影響兩個湖發生藻類過量繁殖的頻率。為測試這個假說，在湖內加入磷酸鹽，然後監測浮游動物的種群大小。以下棒形圖顯示湖 A 和湖 B 在加入磷酸鹽的前後，湖內浮游動物的種群大小：



(i) 加入磷酸鹽對浮游植物的種群大小產生什麼效應？解釋你的答案。　(2 分)

(ii) 參考棒形圖，試提出為什麼湖 B 發生藻類過量繁殖的頻率較湖 A 的低。　(3 分)

(iii) 根據湖 B 的食物鏈，解釋為什麼湖 B 在加入磷酸鹽後，其浮游動物生物量較高。　(3 分)

(iv) 解釋為什麼藻類過量繁殖會在夜間引致水中的溶解氧減少。　(2 分)

✓ **答案**　各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析　**a(i)；原評分 3 分**

除草劑有助減少雜草，降低其與農作物的資源競爭，從而可能提高產量。

應比較農場內的數據：傳統農場的非農作物植物只有 3 種，有機農場有 18 種。這與除草劑移除雜草的作用一致；較少雜草爭奪光、水和礦物質，讓農作物可取得較多資源。

a(ii)；原評分 4 分

在這個調查中，有機農場的生物防治對害蟲 A 較有效。

農場內害蟲 A 在有機農場為 49，傳統農場為 160；而其捕食者在有機農場有 11，傳統農場只有 3。傳統農業的殺蟲劑也可能殺死天然捕食者，削弱捕食壓力；有機農場保留較多捕食者，能抑制害蟲種羣。結論限於本組調查，不能泛化成所有化學防治必定無效。

a(iii)；原評分 3 分

有機農場周圍較高的植物與傳粉者物種豐富度，有利維持羣落的繁殖與食物供應。

有機農場周圍有 28 種非農作物植物與 10 種傳粉者，均高於傳統農場的 7 和 1。更多種傳粉者有助不同開花植物繁殖；較豐富植物又提供多種食物及棲息資源，支持動物羣落延續。

b(i)；原評分 2 分

磷酸鹽能促進浮游植物增殖。

磷是合成核酸等物質所需的營養元素；若原先供應不足，加入磷酸鹽可解除這項生長限制，使浮游植物種羣增加。

b(ii)；原評分 3 分

湖 B 的浮游動物在加磷後大幅增加，較強的攝食可控制浮游植物，降低藻類大量繁殖的機會。

圖中湖 A 的浮游動物大致不變，湖 B 則由約 1.7 升至 3.0 個任意單位。新增的浮游動物以浮游植物為食，所以湖 B 能較有效把額外初級生產轉移到下一營養級。

b(iii)；原評分 3 分

湖 B 的魚類 2 捕食魚類 1，減少魚類 1 對浮游動物的捕食壓力。

加入磷酸鹽後，浮游植物增多，提供較多食物；同時較低的捕食壓力讓浮游動物能利用這些食物而增加。須同時交代從上而下的捕食控制與食物供應，不能只寫多了一級就必定增加。

b(iv)；原評分 2 分

夜間藻類停止光合作用，卻繼續以呼吸作用消耗溶解氧。

白天光合作用可補充氧；夜間光反應停止，氧的補充減少，而大量藻細胞仍需呼吸，因而使水中溶解氧下降。

評卷報告提醒（原資料第 9 頁）

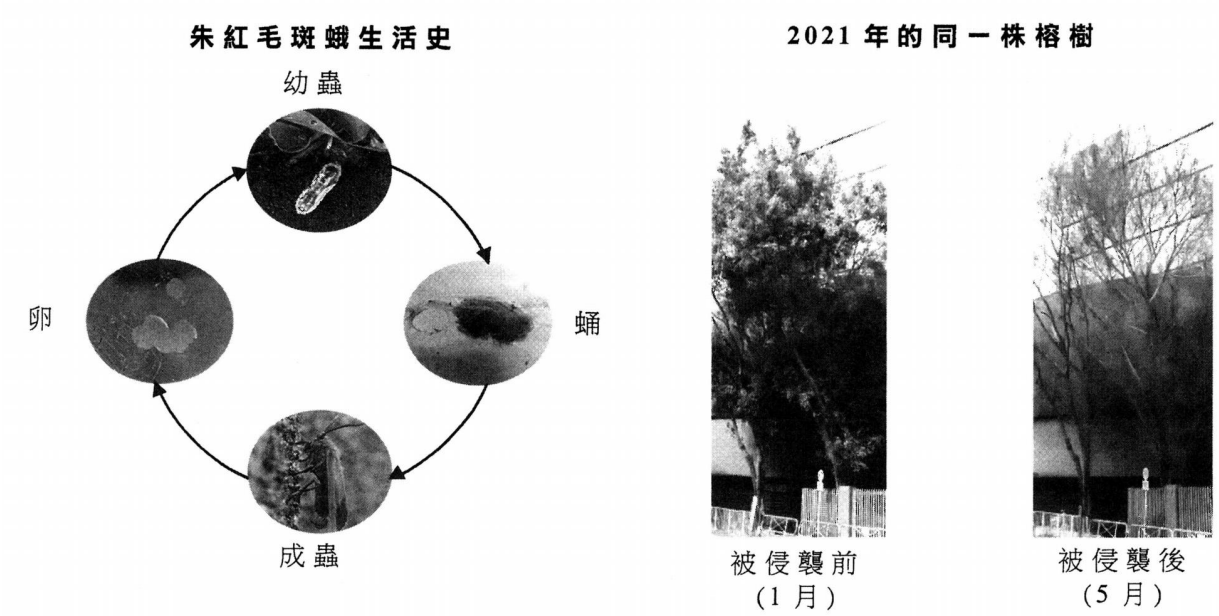
比較農業方式要引用相應生物數據，並把物種豐富度連到持續發展。水域題要完整追蹤磷增加、浮游植物及浮游動物的變化，不能把浮游動物誤作光合生物。

評分依據：HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 8、9 頁。

2. [HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 2 題]

提示：先定比較基準，再分析資源補充及競爭。

(a) 朱紅毛斑蛾 (*Phauda flammans*) 是一種本地蛾種。牠們的幼蟲以榕樹的葉作為食物。以下顯示朱紅毛斑蛾的生活史，以及同一株榕樹在 2021 年被朱紅毛斑蛾侵襲前後的照片。

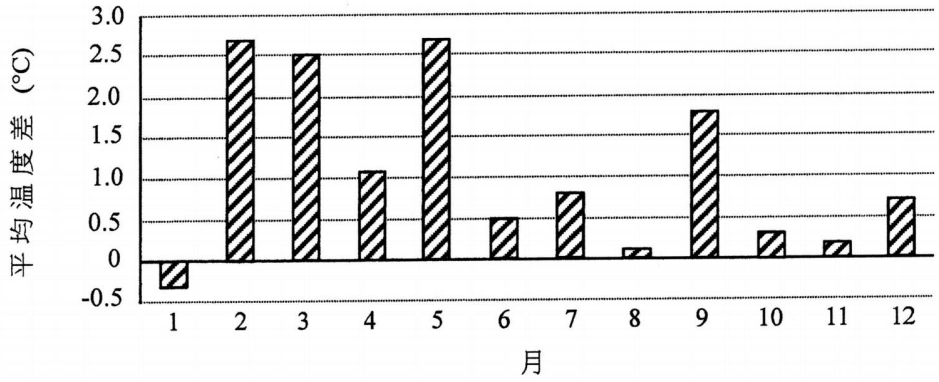


下表顯示不同溫度下，朱紅毛斑蛾在不同階段所需發育時段的估值：

平均溫度 (°C)	不同階段所需的發育時段（日數）			
	卵	幼蟲	蛹	成蟲
20	16.0	105.6	29.0	11.0
24	12.6	72.0	19.0	7.7
28	9.3	38.4	8.9	4.4

(i) 參照表列數據，就溫度對朱紅毛斑蛾發育時段的效應，描述觀察所得的大致模式，並加以解釋。 (3 分)

(ii) 以下棒形圖顯示香港 2021 年的月平均溫度與 1991 至 2020 的月平均溫度之間的差異：

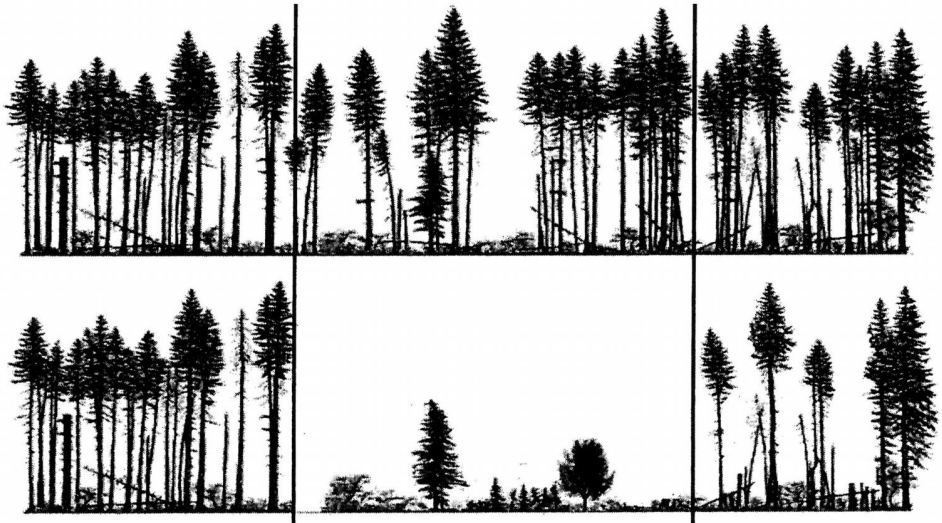


(1) 與 1991 至 2020 年的月平均溫度比較，這棒形圖對 2021 年的平均溫度提供了什麼訊息？ (1 分)

(2) 朱紅毛斑蛾通常每年產生 3 至 4 代。根據前一頁圖表和上面棒形圖，解釋 2021 年朱紅毛斑蛾的爆發為什麼造成榕樹出現如照片所示的變化。 (4 分)

(iii) 為什麼不建議廣泛使用化學除蟲劑來控制朱紅毛斑蛾？提出**兩項**理由。 (2 分)

(b) 香港早年的造林，主要栽種快速生長的外來樹種，用以控制土壤侵蝕和保護集水區。但是，由單一外來樹種所形成的樹林，其生物多樣性頗低。近年，生態學家採用一項稱為疏伐的新策略，即移除外來樹種的樹，來解決這個問題。以下示意圖闡釋處理樹林的不同方法：



(i) 方法 I 下，屬外來樹種的樹木經數年生長後，其樹幹的平均直徑和樹冠覆蓋面積，均小於方法 III 下的樹木。就這項觀察所得，提出一個解釋。(4 分)

(ii) 在一個本地造林區，隨機選取六塊土地(20 m x 20 m)進行測試。下表撮述該六塊土地的操作方法，及經生長一年後各塊土地的物種豐富度、絕對豐度和生物多樣性指數*：

土地	方法	起始			一年後		
		物種豐富度	絕對豐度	生物多樣性指數*	物種豐富度	絕對豐度	生物多樣性指數*
1	I	4	174	1.086	8	133	1.326
2	I	5	297	1.120	6	171	1.258
3	II	4	247	0.824	9	195	1.417
4	II	7	201	1.197	10	128	1.671
5	III	5	224	0.958	9	147	1.372
6	III	4	255	1.095	5	142	1.251

*數值越大，生境的生物多樣性越高。

(1) 根據表內數據，你會推薦哪種方法？展示如何運用相關數據以得出你的答案。(3 分)

(2) 雖然在採用方法 III 中度疏伐的土地上沒有栽種本地樹苗，但該土地的物種豐富度仍錄得增加。就這個結果，提出一項解釋。(2 分)

(3) 試提出植物的生物多樣性增加後，能使生境內的野生生物得到的**一項**好處。(1 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 3 分**

在表中 20—28°C 的範圍內，平均溫度上升時，卵、幼蟲、蛹及成蟲各階段所需的時段均縮短。較高溫度可提高代謝和生長速率，令整個生活史完成得較快。

先逐欄比較相同階段，例如幼蟲期由 105.6 日降至 72.0 日，再降至 38.4 日；再總結全部階段的共同趨勢。解釋要有代謝速率這個中間環節；不可把表中有限溫度範圍推成溫度愈高就永遠愈快。

(a)(ii)(1)；原評分 1 分

除 1 月外，2021 年其餘 11 個月的平均氣溫均高於 1991—2020 年相應月份的平均值。

每根柱表示同一月份相對基準的差值。零以上表示較暖，零以下表示較冷；不是比較 2021 年相鄰兩個月之間的溫差。

(a)(ii)(2)；原評分 4 分

多數月份較暖，可縮短每一代的生活史，使一年內能產生較多代。幼蟲種羣因而較快增加，更多幼蟲取食榕樹葉片，造成照片中較嚴重的葉片損失。

把兩份資料接起來：前表說明溫度影響發育時段，柱狀圖顯示 2021 年多數月份較暖。因果鏈是生活史縮短→一年內世代增加→幼蟲較多→取食總量增加；只說「天氣暖，所以蟲多」會漏掉關鍵推理。

(a)(iii)；原評分 2 分

例如：化學除蟲劑可殺死其他有益昆蟲；也可能殺死這種蛾的天敵，減弱對蛾種羣的自然控制。

兩個理由分別指向非目標有益生物與天敵，不要把「有毒」和「造成污染」當成已解釋的兩條理由。亦可依題意提出有害物沿食物鏈累積或抗藥性個體被選擇等合適影響。

(b)(i)；原評分 4 分

方法 I 保留較多同種樹木，種內競爭較強。它們競爭相同的光、土壤養分及空間，每株得到的資源較少，生長較差，故樹幹平均直徑和樹冠覆蓋面積小於方法 III。

原題比較的是樹幹直徑及樹冠覆蓋面積，並非平均樹高。方法 III 移走部分樹木，降低密度，留下的樹可獲得更多資源。要先從圖中樹木數量建立競爭差異，再連到生長表現。

(b)(ii)(1)；原評分 3 分

推薦方法 II。三種方法的生物多樣性指數平均增幅分別為：I＝0.189；II＝0.534；III＝0.285。方法 II 的平均增幅最大。

各土地先用一年後減起始值，再把同一方法的兩塊土地取平均。I：[(1.326−1.086)+(1.258−1.120)]÷2＝(0.240+0.138)÷2＝0.189。II：[(1.417−0.824)+(1.671−1.197)]÷2＝(0.593+0.474)÷2＝0.5335，約 0.534。III：[(1.372−0.958)+(1.251−1.095)]÷2＝(0.414+0.156)÷2＝0.285。比較平均增幅才能處理起點不同；不能把這些差值寫成最終指數。

(b)(ii)(2)；原評分 2 分

方法 III 疏伐後，更多光能穿透到樹林下層，使原本受遮蔽、需要較高光強度的植物有機會建立及茂盛生長，所以即使沒有另種本地樹苗，物種豐富度仍可增加。

本問要解釋植物種類增加，應圍繞林下光照改變。只說「為鳥類提供棲息地」沒有回答植物如何增加。

(b)(ii)(3)；原評分 1 分

植物多樣性增加，可為具有不同生態位的野生動物提供較多種類的食物來源。

只須提出一項具體好處，亦可答更多不同的棲息地或繁殖場所；避免只重述「對動物有益」。

評卷報告提醒（原資料第 76 頁）

說明溫度對生活史的影響，要經過代謝速率及一年內世代數。森林比較須扣除各地起點求平均增幅；方法 III 增加植物豐富度則與林下光照有關。

評分依據：HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 62、63 頁。

3. [HKDSE 生物 2022 年卷二 原第 2 題]

提示：先定比較基準，再分析資源補充及競爭。

在熱帶雨林進行伐林的主要目的，是將它改變為牧養牛隻的草原。

(i) 下表比較初級雨林和伐林後形成的草原內的植物群落：

植物群落的類型	植物的平均高度 (m)	植物物種的數目	*個別植物物種的覆蓋百分率 (%)	
初級雨林	28	18	物種 A	15
			物種 B	19
			物種 C	12
			物種 D	20
			物種 E	14
草原	0.3	3	物種 H	95

* 只包括覆蓋率高於 10% 的物種。

(1) 將熱帶雨林改變為草原，對植物的平均高度和植物物種的數目有什麼影響？ (1 分)

(2) 就估算這個案中的植物物種相對豐度而言，為什麼量度覆蓋百分率比數算個別物種數目為佳？ (1 分)

(3) 參考個別植物物種的覆蓋百分率，伐林對植物群落的組成有什麼影響？ (3 分)

(ii) 從雨林和草原收集土壤樣本，測定土壤孔隙率 (土壤顆粒之間的空間)。再將土壤樣本在實驗室內培育 7 天，然後計算氨和無機氮 (硝酸鹽和亞硝酸鹽) 的含量的淨變化。結果如下表所示：

土壤樣本	土壤孔隙率 (%)	每 1 kg 土壤的氨含量 (mg)	每 1 kg 土壤的無機氮含量 (mg)
初級雨林	80	13	14
草原	60	7.3	9.8

(1) 根據表中的資料，推論伐林對土壤氧水平的影響。 (2 分)

(2) 參考氮循環和在 (1) 的答案，回答以下問題：

(I) 解釋初級雨林和草原的土壤樣本在氨含量上的差異。 (2 分)

(II) 解釋初級雨林和草原的土壤樣本在無機氮含量上的差異。 (2 分)

2(b) 在第二次世界大戰時，香港有很多森林被砍伐用作燃料。政府在戰後建新的水塘及重修現存的水塘時，引入外來的樹木物種種植在水塘的四周。

(i) 解釋在水塘四周植樹對水塘運作的重要性。 (2 分)

(ii) 大埔滘自然護理區由次級森林和植林區組成。次級森林具本地樹木物種，而植林區則具外來樹木物種。在這兩個林區進行一項關於鳥類群落的調查。結果如下表所示：

	具本地樹木物種的次級森林	具外來樹木物種的植林區
雀鳥物種的總數	44	46
依賴森林的雀鳥物種數目	16	9
遷徙的雀鳥物種數目	28	37
在森林築巢的雀鳥物種數目	12	2
每公頃內雀鳥個體的數目	44	12

(1) 次級森林是什麼意思？ (1 分)

(2) 森林對鳥類群落而言，有什麼重要性？舉出其中**兩項**。 (1 分)

(3) 提出鳥類對樹木群落的**一項**好處。 (1 分)

(4) 根據以上結果，推論哪種樹木（本地樹木物種或外來樹木物種）對本地鳥類群落有較大貢獻。 (4 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)(1)；原評分 1 分**

植物平均高度下降，植物物種數目減少。

初級雨林平均高 28 m、有 18 種植物；草原只有 0.3 m、3 種。兩項數據同時顯示植被變矮及物種豐富度下降。

a(i)(2)；原評分 1 分

不同植物的體型差異很大，覆蓋百分率較能反映其在羣落所佔的空間或生物量。

一棵大樹和一株小草若各計一個，對羣落的實際貢獻會被當成相同。覆蓋面積能較合理地比較它們佔用空間及初級生產的相對重要性。

a(i)(3)；原評分 3 分

草原幾乎由單一物種 H 優勢支配；雨林各主要物種的相對覆蓋較平均，兩者物種組成亦不同。

H 覆蓋草原 95%，而雨林 A–E 各約 12–20%。因此砍伐後不只是物種數目減少，也由較均勻的多物種羣落轉成由 H 佔絕大部分空間的羣落。

a(ii)(1)；原評分 2 分

砍伐後土壤氧水平較低。

草原土壤孔隙率 60%，低於雨林的 80%。較少孔隙容納及交換空氣，推測土壤通氣較差、氧供應較低。題目要求由所給物理數據推論，不能單說少了樹便少了光合作用氧。

a(ii)(2)(I)；原評分 2 分

草原土壤含氨較少，因較低氧供應使需氧分解者分解有機含氮物質的速率降低。

氨化作用把有機氮轉為氨或銨化合物。通氣較差時，需氧分解活動減慢，七天內形成的氨較少，因此草原 7.3 mg 低於雨林 13 mg。

a(ii)(2)(II)；原評分 2 分

草原硝酸鹽、亞硝酸鹽等無機氮較少，因缺氧使硝化減慢，也可使反硝化加快。

硝化細菌把銨化合物氧化為亞硝酸鹽和硝酸鹽，這過程需要氧；氧不足便減少其生成。較缺氧的條件亦有利反硝化，把硝酸鹽轉為氣態氮而流失，所以草原 9.8 mg 低於雨林 14 mg。

b(i)；原評分 2 分

樹根穩固土壤、樹冠減低雨滴沖刷，減少泥沙進入水塘，避免淤塞和容量下降。

要把植物的作用連到水塘運作：攔截雨水及鞏固坡面減少侵蝕，雨水帶入的泥沙較少，水塘便能維持較多儲水空間。

b(ii)(1)；原評分 1 分

次級森林是原有森林受破壞後，在原址自然重新發展的森林。

原址通常仍保留土壤、種子或周邊生物來源，因此屬次生演替形成的森林，不是從裸岩首次形成的初級森林。

b(ii)(2)；原評分 1 分

提供食物及築巢或躲藏的棲息場所。

果實、種子及樹上昆蟲可作食物，枝葉與樹洞可供繁殖和躲避捕食者。題目要兩項，須分清資源與場所。

b(ii)(3)；原評分 1 分

鳥類可散播樹木的種子。

鳥吃果實後在別處排出仍可萌發的種子，把種子帶離母樹，促進樹木羣落更新；清除食葉害蟲亦可作另一例子。

b(ii)(4)；原評分 4 分

本地樹種較有利於本地鳥類羣落。

雖然外來樹種林的鳥類總物種數略多（46 對 44），其遷徙鳥種也較多（37 對 28）。本地樹種的次級森林有較多依賴森林的鳥種（16 對 9）及築巢鳥種（12 對 2），表示能支持更多以森林為常住和繁殖地的鳥。每公頃總鳥數沒有區分本地與遷徙鳥，不能直接用作本地鳥較多的證據。

評卷報告提醒（原資料第 9、10 頁）

草原 H 的 95% 覆蓋率說明優勢種及均勻度，不能只重複數字。土壤氨的增加涉及分解及氨化，不是硝化；本地鳥的推論宜用森林依賴及築巢鳥種，未分本地與遷徙的每公頃總鳥數不能直接證明本地鳥較多。

評分依據：HKDSE 生物 2022 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 10、11 頁。

練習 VI.b　污染控制與全球環境議題

對應題型 1 由污染與環境變量解釋生態後果

綜合程度 ★★★★☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 2 題]

提示：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

a) 爲研究酸雨對種植在兩種不同土壤的豆類幼苗盆栽在生長上的效應，進行一項實驗，這兩種土壤分別含有重金屬 X 和沒有重金屬 X。每天用同量 pH 6 或 pH 3 的水灌溉幼苗，並在 30 天後量度它們所增加的平均鮮重。結果如下表所示：

	豆類幼苗所增的平均鮮重(g)	
	pH 6	pH 3
沒有重金屬 X 的土壤	13.0	7.7
含有重金屬 X 的土壤	7.5	4.3

註：雨水的 pH 值通常爲 6。

(i) 你能從實驗結果得出什麼結論？ (3 分)

(ii) 實驗期間，收集由植物盆栽流出來的過量水分，並測定水中的重金屬 X 離子濃度。結果如下表所示：

	pH 6	pH 3
過量水分中重金屬 X 離子的濃度(任意單位)	5	10

根據這項資料，解釋以 pH 3 的水灌溉種於含有重金屬 X 土壤的那些幼苗的影響。 (3 分)

(iii) 寫出引致酸雨的一些空氣污染物，並寫出與這些空氣污染物相關的人類健康問題。 (3 分)

b) 污染物 Y 可於工業排放的污水中找到，並會引致生物體內出現生物積聚。

(i) 寫出會令化學物易於被生物積聚的**三種**特性。 (3 分)

(ii) 由一個已知有污染物 Y 排放的地點收集一些樣本。下表列出由該地點收集所得的海水、沉積物和一些生物含有的污染物 Y 的水平：

	污染物 Y 濃度(任意單位)
海水	2
沉積物	36
蛤	163
鳥類	1557
魚類	519

根據上表所列的資料，在該地點的哪一種生物最有可能是食物鏈中的頂級消費者？解釋你的答案。 (3 分)

(iii) 參考在生態系內生物的功能角色，指出上表沒有包括在內的**一組**生物，並舉出這組生物在生態系的重要性。 (3 分)

(iv) 倘若人類食用受污染物 Y 污染的魚類，試提出哪個人體器官會有高濃度的污染物 Y，並加以解釋。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 3 分**

低 pH 會抑制幼苗生長；土壤含重金屬 X 也會抑制生長；兩者同時存在時生長最少。無 X 時 pH6 與 pH3 的平均鮮重增加量為 13.0 及 7.7 g；有 X 時分別為 7.5 及 4.3 g。

利用兩組適當對照分別判斷 pH 和重金屬的影響，再指出共同存在時的最低結果；不能只比較全表最大與最小而不分因素。

a(ii)；原評分 3 分

酸性水使土壤中更多重金屬 X 以離子形式釋出，流出水中的 X 由 5 增至 10 單位；更高的可利用重金屬離子濃度對幼苗更有毒，進一步抑制生長。

第二張表提供了中間機制：低 pH 改變金屬的可溶性及可接觸濃度，而不是金屬無中生有地增加。

a(iii)；原評分 3 分

二氧化硫及氮氧化物；這些污染物可刺激眼睛及呼吸道，造成相關呼吸不適或疾病。

兩類氣體各 1 分，合適健康問題 1 分。二氧化碳不是本題以燃燒污染造成強酸雨的主要答案。

b(i)；原評分 3 分

容易積聚的物質常具有高脂溶性、不易被代謝或生物降解，以及不易排泄等特徵。

物質進入後若長期保留，攝入量大於清除量，便會積聚；只說「毒性強」不能解釋為何濃度隨時間增加。

b(ii)；原評分 3 分

鳥類最可能是頂級消費者。鳥的污染物 Y 濃度最高（1557 單位）；上層消費者吃下大量已受污染的獵物，難以排出的 Y 沿食物鏈放大，因此頂級消費者通常濃度最高。

本題是根據生物放大作最可能推斷，不能把鳥的體型或活動範圍當作主要依據。

b(iii)；原評分 3 分

可填生產者：把太陽能轉化為有機物中的化學能，為其他生物提供食物及能量。或填分解者：把有機物分解成無機物，使礦物質回到環境並再被利用。

只需選擇一組並寫出兩層作用。海水和沉積物是環境組成，不算題目要求的一組生物。

b(iv)；原評分 2 分

肝臟；它處理血液中的多種外來及有毒物質，因而可能吸收並積聚題設污染物 Y。

根據本卷評分語境解釋器官與處理外來物質的關係，不能推成所有污染物永遠只在肝臟積聚。

評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

先認清 pH6 對應正常雨水、pH3 對應酸雨，再解釋酸使金屬離子釋出；化學物是否易積聚與脂溶性及清除困難有關。

評分依據：HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

2. [HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 2 題]

提示：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

在 2000 年，香港進行了一項調查，評估污染物 X 於人體內的生物積聚情況。該項調查收集了人類母乳樣本作分析，並以問卷收集參與者的年齡、膳食和健康狀況等各項資料。以下兩圖顯示母乳內污染物 X 濃度與年齡組別 (圖 I) 和每週進食海鮮次數 (圖 II) 的關係。

圖 I

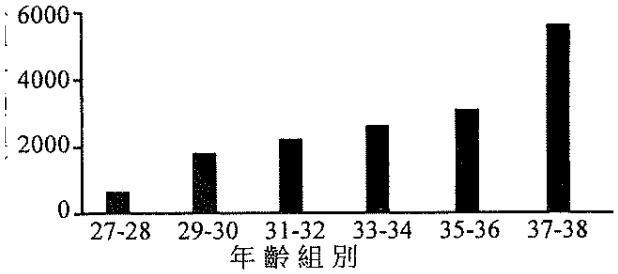
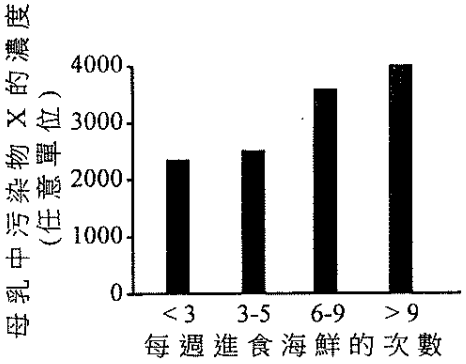


圖 II



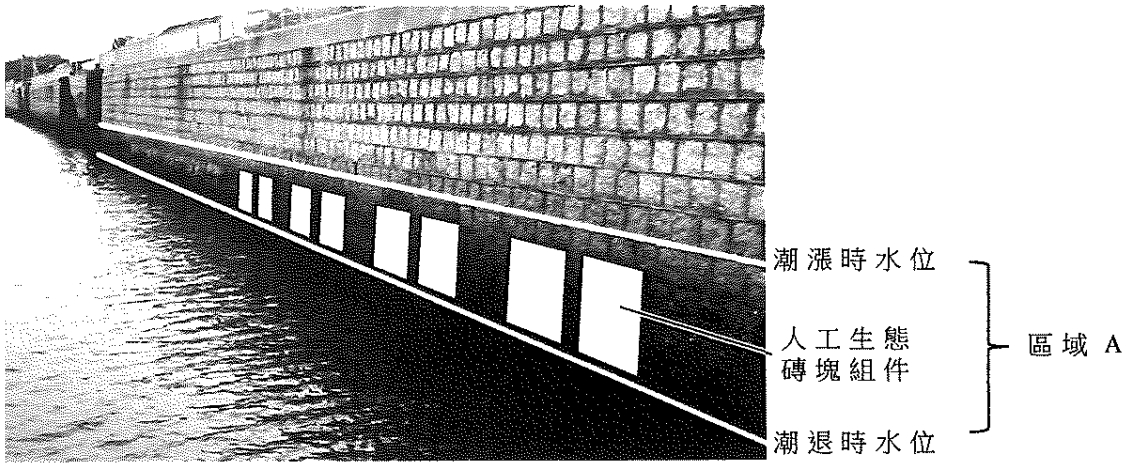
(i) 參考以上兩圖，指出**兩項**證據以支持污染物 X 是可於人體內積聚。解釋你的答案。 (4 分)

(ii) (1) 列出引致生物積聚的污染物的**三種**常見特徵。 (3 分)

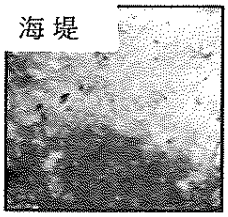
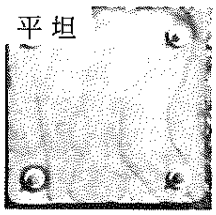
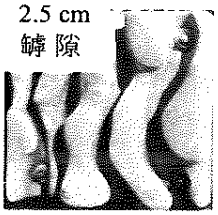
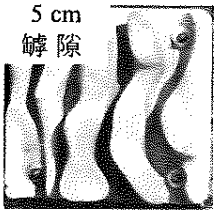
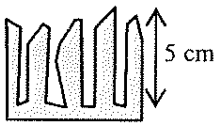
(2) 提出為什麼母乳可作生物積聚的其中一個指標。 (2 分)

(iii) 參考上述個案，提出會引致釋放可生物積聚的污染物到環境的**兩項**人類活動。 (2 分)

為了增加海岸線的生物多樣性，故在本地海堤裝置人工生態磚塊組件。以下照片顯示海堤上裝置了人工生態磚塊組件的區域：



在本港某海堤裝置不同的人工生態磚塊組件，以進行一項實驗。下表顯示四個不同的處理方法，以及 12 個月之後在各表面上生長的無脊椎動物物種數目：

處理方法	表面圖	側面圖	在表面上生長的無脊椎動物物種數目
(1) 原有的海堤表面		---	4
(2) 裝置平坦表面的磚塊			8
(3) 裝置具 2.5 cm 深度罅隙的磚塊			13
(4) 裝置具 5 cm 深度罅隙的磚塊			17

(i) 比較相關的處理方法，推論裝置人工生態磚塊組件的**兩種**效應。按照以下格式在答題簿內以表列形式回答。 (4 分)

比較兩個處理方法的結果	推論

(ii) 提出人工生態磚塊組件的罅隙如何幫助區域 A 內的生物應付以下環境情況所帶來的威脅：

(1) 潮退時暴露的海堤表面 (1 分)

(2) 海浪的作用 (1 分)

(iii) (1) 提出在評估裝置人工生態磚塊組件對區域 A 內生物多樣性的效應時，應要收集的另一組數據。 (1 分)

(2) 要確認裝置人工生態磚塊組件能否增加區域 A 的生物多樣性，收集到的數據需要符合某些特定條件。列出這些條件。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 4 分**

年齡越大，母乳污染物 X 越高，支持隨暴露時間累積；每週吃海鮮越多，X 越高，支持經食物持續攝入後積聚。

圖 I 由 27–28 歲組的低值上升至 37–38 歲組約 5600，符合長期暴露後在體內保留的情形。圖 II 由每週少於 3 次海鮮約 2400，升至超過 9 次約 4000，支持飲食帶來的攝入量越大，體內保留量越大。這些是支持關聯的證據，不能把一次橫斷面調查當成已排除所有其他因素。

a(ii)(1)；原評分 3 分

脂溶性、不易被分解或代謝、不易排泄。

脂溶性物質可進入並保留在脂肪組織；若體內難以分解，且排出速度慢，反覆攝入就可能超過清除速度，使體內總量隨時間增加。三項分別說明分佈、持久性及清除。

a(ii)(2)；原評分 2 分

母乳含脂肪，脂溶性污染物可隨脂質進入；母乳由母體產生，其含量可反映母體中已有的污染物。

乳汁是乳腺由母體物質合成的分泌物。若在其中測到難分解的脂溶性 X，便提供它已進入母體並可隨脂質分配的證據，所以可作其中一種指標。

a(iii)；原評分 2 分

農地使用的持久性殺蟲劑被雨水沖入河海；工業排放把相關污染物帶入水域。

海鮮可能在受污染食物網中累積 X。兩種人類活動要寫出釋放及到達環境的路徑，而不只是單獨列「農業」或「工業」。

b(i)；原評分 4 分

處理 2 比 1∶8 對 4 種，磚塊本身可增加物種豐富度。處理 4 比 3∶17 對 13 種，較深罅隙可進一步增加物種數。第一組比較原海堤與平坦磚，把磚材或磚面提供的附着環境作為因素；第二組比較同為有罅隙的磚，只改深度 2.5 至 5 cm，支持深度的作用。也可用處理 3 對 2 的 13 對 8 種，推論有罅隙較平坦面能支持更多物種。

b(ii)(1)；原評分 1 分

罅隙可保留水分及提供陰涼處，減少退潮曝露時乾燥或過熱。

退潮時平坦表面容易曬乾，凹入的罅隙蒸發較慢，使藏在其中的生物維持較濕潤、溫度較低的微環境。

b(ii)(2)；原評分 1 分

罅隙提供躲藏及附着位置，減少生物被海浪沖走。

波浪對突出平面的生物直接施力，凹槽可減低衝擊並提供較多抓附接觸面，增加留在海堤上的機會。

b(iii)(1)；原評分 1 分

各物種的個體數目或相對豐度。

物種數只反映豐富度；還需知道是否幾乎全由一種生物佔據，才能評估均勻度及較全面的生物多樣性。

b(iii)(2)；原評分 2 分

裝磚後物種數增加，且各物種的相對豐度較均勻。

增加幾個極少量新種而仍由單一物種壓倒性支配，與多種生物均有相當豐度不同。要確認多樣性提升，需同時檢查物種豐富度與均勻度的改善。

評卷報告提醒（原資料第 10、11 頁）

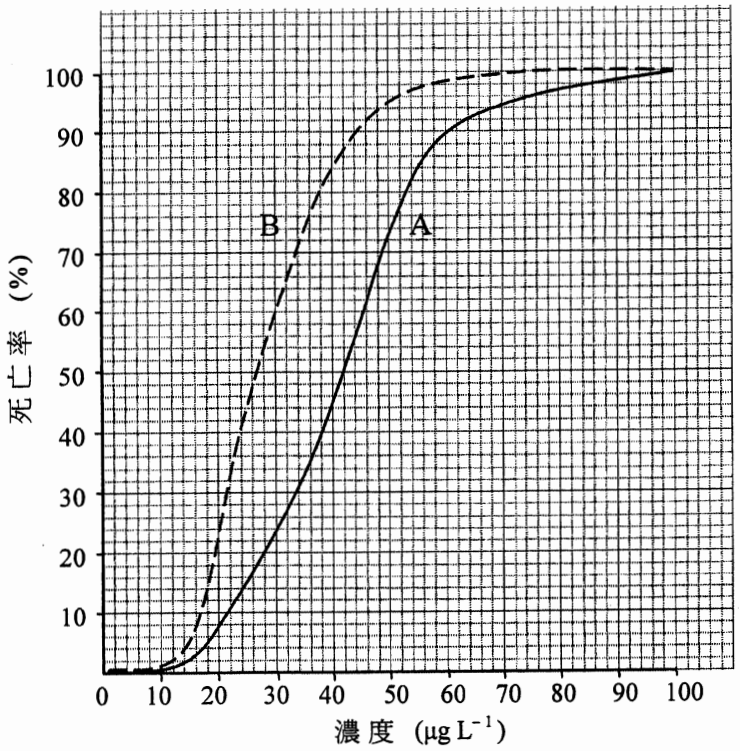
母乳指標須連到其中脂肪與污染物脂溶性。海堤磚的物種數增加只證明豐富度，還需各物種個體數以評估均勻度及整體多樣性。

評分依據：HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 11、12 頁。

3. [HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 2 題]

提示：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

(a) 下圖顯示某種淡水蝦在不同濃度的脂溶性殺蟲劑 A 和 B 中曝露 24 小時後的死亡率：



(i) (1) 分別測定殺蟲劑 A 和 B 殺死 50% 蝦所需的濃度。 (1 分)

(2) 推斷哪種殺蟲劑 (A 或 B) 的毒性較強。 (2 分)

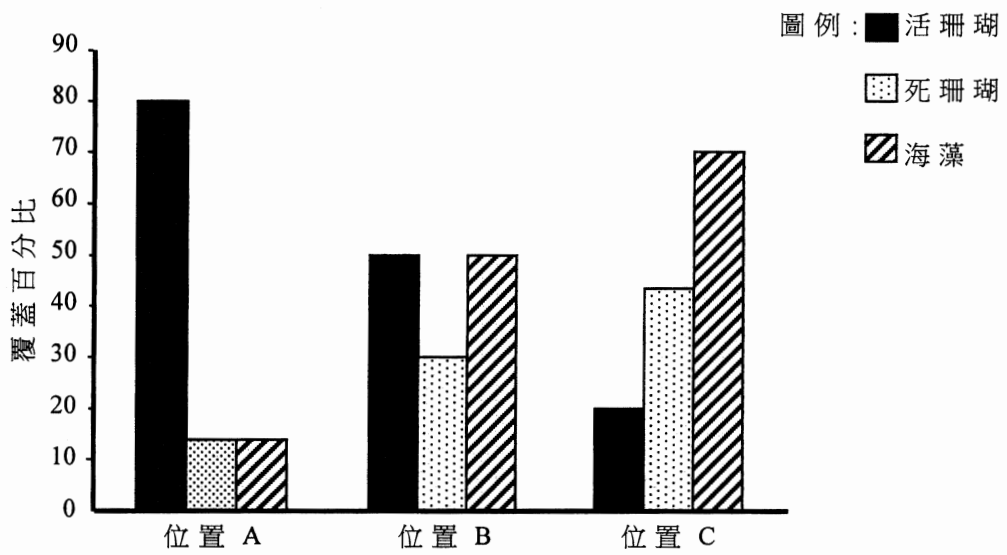
(ii) 爲了進一步研究殺蟲劑 A 和 B 的毒性，將蝦曝露於 5 μg L^{-1} 的殺蟲劑 A 或 B 中 4 天。研究結束時，測定蝦的身體組織內的殺蟲劑濃度。

(1) 從蝦身體組織找到 50 μg kg^{-1} 的殺蟲劑 A 和 80 μg kg^{-1} 的殺蟲劑 B。提出**三個**可能原因，解釋爲什麼身體組織內殺蟲劑 B 的濃度較殺蟲劑 A 的爲高。 (3 分)

(2) 爲什麼在這項實驗採用的殺蟲劑濃度爲 5 μg L^{-1}？ (1 分)

(iii) 爲探究草食性魚類和肉食性魚類身體組織內殺蟲劑 A 的濃度，進行一項實地調查。這兩類魚體內殺蟲劑 A 的濃度，預期會有什麼差異?試加以解釋。 (3 分)

2(b) 為測定沿某海岸線海床上位置 A 、B 和 C 的珊瑚群落的健康狀況，進行一項實地調查。在每個位置，測定活珊瑚、死珊瑚和海藻的覆蓋百分比。結果如下圖所示：



(i) 哪個位置的珊瑚群落看來最健康？以數據支持你的答案。 (2 分)

(ii) (1) 試提出導致位置 C 的海藻覆蓋百分比為最高的**一項**人類活動，並加以說明。 (3 分)

(2) 試提出這人類活動的**一項**可能後果，會令位置 C的活珊瑚覆蓋百分比偏低。 (1 分)

(iii) (1) 海下灣因其豐富的珊瑚群落而被選定為海岸公園。解釋珊瑚群落在生態上的重要性。 (3 分)

(2) 試提出在海岸公園內應予禁止的**一項**人類活動。 (1 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)(1)；原評分 1 分**

A 約 42 μg L^{-1}；B 約 27 μg L^{-1}。

先在死亡率 50% 畫水平線到各曲線，再垂直讀濃度；兩值皆正確得 1 分。

a(i)(2)；原評分 2 分

B 毒性較強，因造成同樣 50% 死亡所需的濃度較低。

比較必須固定同一效果，才能由所需劑量／濃度判斷毒性。

a(ii)(1)；原評分 3 分

B 可能較容易被蝦吸收、較難排出，以及較難被降解或代謝。

三項分別改變進入、離開及體內消除；它們都是能令同濃度環境下 B 體內水平較高的不同原因，不是重複寫三次「B 積聚較多」。

a(ii)(2)；原評分 1 分

5 μg L^{-1}低於圖中開始明顯致死的濃度，有助確保研究期間蝦存活，以量度活體的積聚情況。

若大量死亡，死亡本身及分解會干擾體內濃度比較。

a(iii)；原評分 3 分

肉食性魚預期有較高 A 濃度。A 為脂溶性，能在生物體內累積；肉食性魚位於較高營養級，吃下許多已含 A 的獵物，A 沿食物鏈生物放大。

要交代營養級、經食物攝入及逐級濃度增加；不能只說肉食性魚體型大，因題目問的是濃度。

b(i)；原評分 2 分

A；活珊瑚覆蓋最高，約 80%，而死珊瑚覆蓋最低，約 13%。

用圖中活、死兩項資料支持健康判斷，比只說海藻少更直接。

b(ii)(1)；原評分 3 分

農地含肥料的徑流流入海水，帶入大量硝酸鹽及磷酸鹽等營養物，促進海藻快速生長，令覆蓋百分比增加。

人類活動、入水物質、生物反應三步缺一不可。

b(ii)(2)；原評分 1 分

大量海藻與珊瑚競爭光及空間，可遮蔽珊瑚並阻礙其生長，使活珊瑚覆蓋降低。

也可依具體污染物說明海水條件不適合珊瑚；避免用沒有中間機制的「海藻多所以珊瑚少」。

b(iii)(1)；原評分 3 分

珊瑚羣落提供遮蔽與避敵場所，亦提供食物或繁殖棲地，因而支持多種其他海洋生物在此棲息，提高羣落的生物多樣性。

選兩項具體資源／棲地功能，再連到可支持更多物種。

b(iii)(2)；原評分 1 分

禁止拖網等會直接破壞珊瑚的捕魚活動。

答案應與珊瑚保護相關；拖網刮過海牀會破壞脆弱的珊瑚結構。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

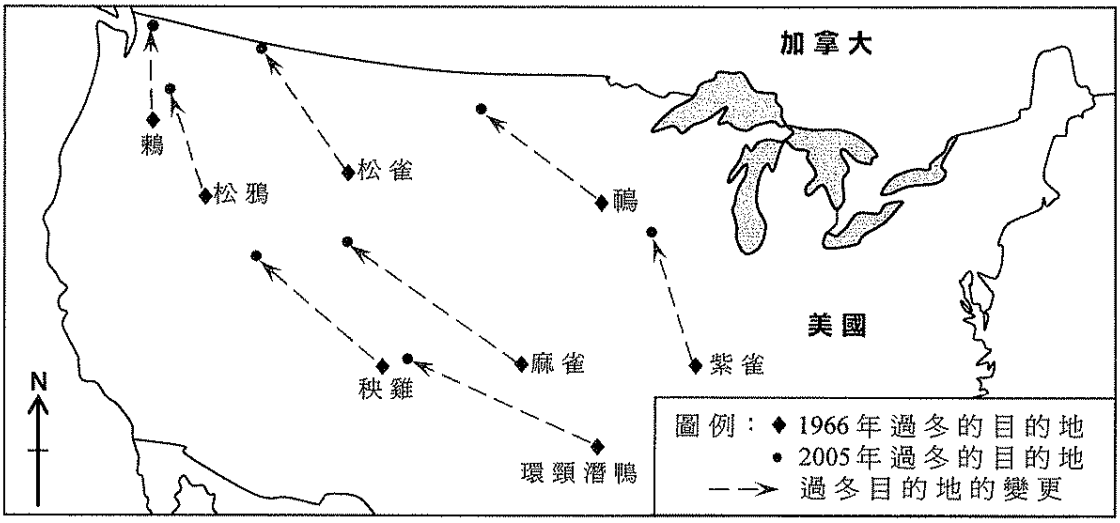
毒性讀數須寫單位並作比較；降解、排泄、排遺不等義。珊瑚健康判斷需兼看活與死覆蓋，農業徑流須指出無機養料促藻生長。

評分依據：HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

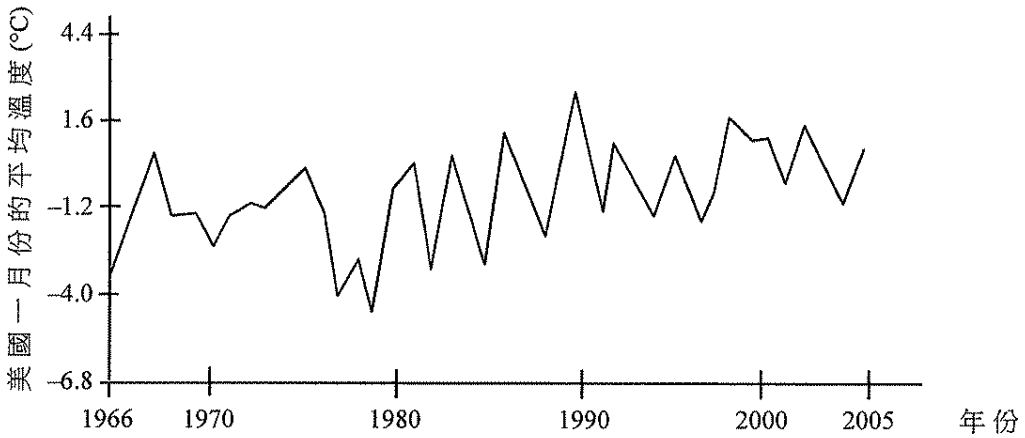
4. [HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 2 題]

提示：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

(a) 很多居於加拿大的雀鳥物種會向南遷徙至美國過冬。下圖顯示在 1966 年和 2005 年一些雀鳥物種在美國過冬的目的地：



以下曲線圖顯示 1966 年至 2005 年美國每年一月份的平均溫度：



(i) 提出一個可用以追踪雀鳥遷徙路線的方法。 (1 分)

(ii) (1) 指出由 1966 年至 2005 年美國一月份平均溫度所顯示的整體趨勢。 (1 分)

(2) 指出雀鳥物種在美國過冬的目的地的變化，和 1966 年至 2005 年美國一月份平均溫度的變化兩者之間的關係。從生態學的角度，提出有關雀鳥改變其過冬目的地的一個理由。 (2 分)

(3) 這些候鳥物種改變其過冬目的地，可能會對原生雀鳥物種造成影響，試提出其中**兩項**。 (2 分)

(4) 美國一月份平均溫度所顯示的趨勢相信是由於人類的活動所致。解釋人類的活動如何導致這個趨勢。 (4 分)

(b) 森林爲人類提供很有用的資源。在探索森林資源的新用途時，需要有恰當的森林管理，以確保林業的可持續性。

(i) 燃燒化石燃料會釋出酸性氣體，可以形成酸雨。指出並解釋酸雨對環境造成的**兩項**影響。 (4 分)

(ii) 有些科學家正探討使用森林的木本生物量代替化石燃料作爲發電廠燃料。森林 A 和森林 B 的樹木被砍伐，用於這項研究及其他用途。下表顯示這兩個森林中含氮和鎂的無機營養素的分佈情況：

	森林 A		森林 B	
	氮 (%)	鎂 (%)	氮 (%)	鎂 (%)
森林地面之上的生物量	35	70	5	25
森林地面的生物量	5	5	5	5
森林地面之下的生物量	60	25	90	70
總計	100	100	100	100

根據這兩個森林中無機營養素分佈上的差異，解釋在伐林後，哪個森林會較快恢復原貌。 (3 分)

(iii) 過度開發森林資源會引致生物多樣性下降。

(1) 提出**一個**理由說明生物多樣性的重要性。 (1 分)

(2) 重新造林是使森林恢復的其中一個方法。早年的重新造林，主要依賴由其他國家引入外來樹種，而大多數的植林區的樹木亦只由一種外來樹種構成。舉出在選擇適當的外來樹種來重新造林時的**一項準則**。指出只用單一樹種來建立一個植林區的**一項缺點**。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 1 分**

在鳥身上安裝合適的 GPS 追蹤器，記錄遷移路徑。

也可用帶識別環的標記及在不同地點重見／重捕資料；方法須能把同一鳥的地點連起來。

a(ii)(1)；原評分 1 分

1966 至 2005 年 1 月平均氣溫雖有年際波動，但整體上升。

不能因不是每一年都增加，就說沒有上升趨勢。

a(ii)(2)；原評分 2 分

越冬目的地整體向北移。北方冬季變暖後，鳥可在較北地區找到適合生存及有足夠食物的棲地，毋須飛到以前那麼南。

用氣溫變化解釋地圖變化，再給生態上的食物／棲地原因。

a(ii)(3)；原評分 2 分

新到的候鳥可與原生鳥競爭食物或棲地；也可能成為當地捕食性鳥類的獵物，增加其食物供應。

兩種作用方向可不同，視食物網而定；不要把所有外來鳥一概說成捕食原生鳥。

a(ii)(4)；原評分 4 分

燃燒更多化石燃料增加 CO_2排放，使大氣溫室氣體濃度上升；溫室氣體吸收地表向外發出的長波紅外輻射，並向各方向再放射，減少在相同地表溫度下向太空散失的淨熱量，導致變暖。

人類活動、具名氣體、濃度增加、紅外熱輻射機制須連成因果。不能把溫室效應寫成臭氧層破洞讓更多紫外線進來。

b(i)；原評分 4 分

酸雨降低水體 pH，令對酸敏感的水生生物受損或死亡，降低種羣及多樣性；酸雨也使土壤礦物養分更容易溶解淋失，降低土壤肥力，妨礙植物生長。

每個影響須包含原因及生物後果，共兩組各 2 分。題目在森林與生態情境，不能只寫雕像被腐蝕而不答生態影響。

b(ii)；原評分 3 分

B 較快恢復。伐木主要移走地面上的生物量；B 的氮 90%、鎂 70% 留在地下，而 A 僅氮 60%、鎂 25% 在地下，所以 B 保留下較大養分庫，可較快支持新的植物生長。

比較的不是地面生物量越多便恢復越快，而是砍走樹後仍留在系統中的營養比例。

b(iii)(1)；原評分 1 分

生物多樣性提供多種食物、藥物及其他可利用資源，並有助維持生態系統功能。

題目只要一個理由，選一項說完整即可，不必把所有用途列滿。

b(iii)(2)；原評分 2 分

選樹原則：能在受破壞的當地土壤及氣候中生長。單一樹種的缺點：若出現專一病原體或害蟲，可迅速影響大片林木，整個植林區較易受損。

也可答快速生長作原則，或單一樹種造成多樣性低；兩部分各 1 分，不能把所選原則與單一樹種缺點混成一句。

評卷報告提醒（原資料第 7、8 頁）

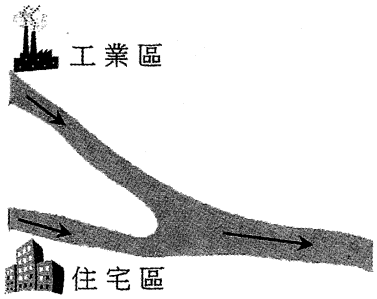
中等示例能指出北移及整體升溫，但選擇造林樹種須給與建立植被相關的標準；酸雨題需答生態後果。B 森林恢復須由伐木移走地上生物量及地下保留養分解釋。

評分依據：HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 12 頁。

5. [HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 2 題]

提示：先讀環境變量，再以相應機制解釋生態後果。

2(a) 分別在沿河的工業區及住宅區搜集水樣本 A 和 B。地圖顯示它們的位置，而水樣本的分析結果如下表所示：



	水樣本 A (工業區)	水樣本 B (住宅區)
生化需氧量 (BOD, 5 天 20°C) ($mg\ L^{-1}$)	20	100
重金屬 (ppm)	30	0.01
殘餘的抗生素 ($\mu g\ L^{-1}$)	0.1	50

(i) 試寫出水樣本 B 內有哪類污染物，令水樣本 A 和 B 的 BOD 有差異，並加以解釋。 (4 分)

(ii) 有些人士喜歡在工業區的河段垂釣，並進食所得的漁穫。解釋進食這些魚對健康構成的風險。 (4 分)

(iii) (1) 試提出為什麼在水樣本 B 有殘餘的抗生素。 (1 分)

(2) 試提出殘餘的抗生素對生態系可能產生的**一項**效應。 (1 分)

2(b) 砷有毒，對人類有害。採用含砷化物的殺蟲劑和除草劑、採礦活動和棄置廢料等，均可能導致土壤受砷污染。為研究添加磷對小麥生長和砷在小麥不同部位累積的效應，進行一項實驗。預備 100 個裝有未經污染土壤的小盆和 100 個裝有受砷污染土壤的小盆，用作種植小麥，又在兩類小盆中各取 50 個添加磷。七個月後，穀粒的乾質量、植物體(根和枝條)的乾質量和砷在小麥不同部位的分布，表列如下：

	每盆小麥的乾質量 (g)		在受砷污染土壤生長的小麥內的砷分布 (%)
	未經污染土壤	受砷污染土壤	
沒有添加磷			
• 穀粒	8	2	10
• 植物體	14	5	90
有添加磷			
• 穀粒	20	12	2
• 植物體	15	14	98

(i) 在沒有添加磷的情況下，比較砷對穀粒生長和植物體生長的效應。 (2 分)

(ii) 根據小麥在兩種土壤的生長，你能就添加磷對穀粒和植物體的效應，得出什麼結論？ (4 分)
(提示：需參考小麥在未經污染土壤的生長情況作為對照。)

(iii) 評論添加磷對砷在小麥不同部分的分布所產生的效應。 (2 分)

(iv) 參考上述結果，添加磷對小麥在受砷污染的土地上的農作生產有什麼重要性？ (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 4 分**

B 含較多生活污水中的可分解有機物，微生物分解時呼吸耗氧較多，所以 BOD 較高。

A 的 BOD 為 20 mg L^{-1}，B 為 100 mg L^{-1}。BOD 比較的是特定條件下微生物分解可用有機物所需的氧，不是當刻水中已有的溶氧量。住宅污水的有機物較多→分解活動較多→耗氧較多→BOD 較高。

(a)(ii)；原評分 4 分

工業區重金屬含量高，可在魚體內積累並沿食物鏈傳遞；長期吃受污染魚可能攝入過量重金屬而中毒。

A 中重金屬 30 ppm，遠高於 B 的 0.01 ppm。某些重金屬不易由生物分解或排走，長期吸收使體內含量增加，捕食又可能加深累積。因此人體吃魚的風險與魚長期累積的污染物有關，不能只看河水外觀是否清澈。

(a)(iii)(1)；原評分 1 分

居民服用的抗生素或其殘留可隨尿液、糞便進入生活污水。

把污染來源接到住宅區排水：藥物未被完全吸收或代謝，排出後經污水系統進入水體。

(a)(iii)(2)；原評分 1 分

抗生素殘留可選擇出較多具抗藥性的微生物。

敏感個體較易被抑制或死亡，原先帶抗性變異的個體相對較能存活繁殖，抗性所佔比例增加。不要寫成抗生素有目的地令每個細菌產生需要的突變。

(b)(i)；原評分 2 分

砷使穀粒和植物體生長都下降，且穀粒受抑制的比例較大。

無加磷時，穀粒乾重由 8 降至 2g，減少 75%；植物體由 14 降至 5g，減少約 64%。兩者都受抑制，但要比較相對幅度，不能只看植物體少了 9g 而穀粒少了 6g。

(b)(ii)；原評分 4 分

加磷提高兩種土壤中的穀粒乾重，但受污染土壤仍較低；對未污染組植物體乾重影響很小，卻使污染組由 5g 升至 14g，接近未污染組。

穀粒在未污染土壤由 8→20g，污染土壤由 2→12g，均提高；加磷後 20g 仍高於 12g。植物體在未污染組 14→15g，大致相若，污染組 5→14g 則明顯恢復。答案要分穀粒和植物體，再在各自內比較土壤。

(b)(iii)；原評分 2 分

加磷使砷分配到植物體的比例由 90% 增至 98%，分配到穀粒的比例由 10% 減至 2%。

表中是砷在部位間的百分比分配，不是砷總量或每克濃度。因此可確定較少比例進入可食穀粒、較多比例留在根和枝條；不能只據此計算全株吸收了多少毫克砷。

(b)(iv)；原評分 2 分

可提高穀粒產量，並減少砷進入可食穀粒的比例，從而有助降低食用暴露風險。

重要性要同時連到農業收益與食物中的污染分配：污染土壤的穀粒由 2 增至 12g，是產量證據；穀粒砷分配由 10% 降至 2%，是風險改善方向的證據。此表不能單獨證明穀粒已達任何安全濃度。

評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

BOD 是微生物分解水中有機物所需的氧量，並非水中現有溶氧量。砷分佈百分比不能單獨給出食物的絕對砷含量，評估食用安全還需食用部分的實際含量。

評分依據：HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

練習 VI.c　保育物種與棲息地

對應題型 1 把保護措施與可檢驗的生態結果配對

綜合程度 ★★★★☆

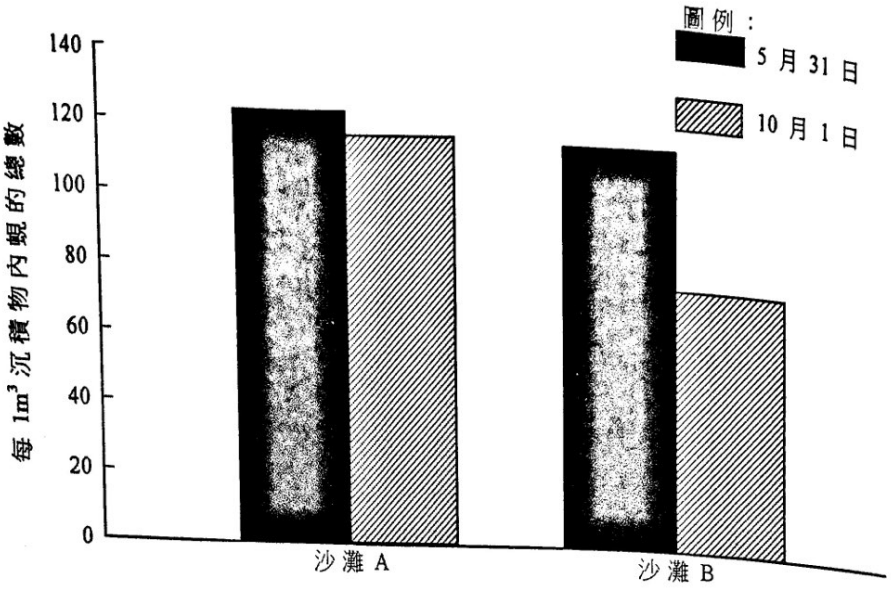
針對練習

1. [HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 2 題]

提示：先說措施改變甚麼，再用資料評估結果。

(a) 在沙灘 A 和 B 進行一項研究，探究採蜆對沙岸動物群落的效應。沙灘 A 全年禁止採蜆；沙灘 B 則在 6 月至 9 月容許採蜆。分別於 5 月 31 日及 10 月 1 日在兩個沙灘進行實地抽樣，然後鑑定和數算沉積物內的動物。

(i) 下圖顯示於 5 月 31 日和 10 月 1 日在兩個沙灘採集到的蜆的數量：



描述在兩個沙灘上蜆的密度的變化。

(2 分)

(ii) 下表顯示在 5 月 31 日和 10 月 1 日，沙灘 A 和沙灘 B 的動物物種的組成(不包括蜆的數據)：

	動物物種	5 月 31 日 每 1 m³ 沉積物內個體的數目	5 月 31 日 個體數目總數的百分比	10 月 1 日 每 1 m³ 沉積物內個體的數目	10 月 1 日 個體數目總數的百分比
沙灘 A	物種 1	20	31.3	19	30.2
	物種 2	15	23.4	16	25.4
	物種 3	8	12.5	8	12.7
	物種 4	21	32.8	20	30.7
沙灘 B	物種 1	19	30.6	7	20.6
	物種 2	16	25.8	5	14.7
	物種 3	7	11.3	21	61.8
	物種 4	20	32.3	1	2.9

根據 (a)(i) 和 (a)(ii) 的結果，推斷採蜆對沙岸動物群落的物種多樣性有什麼效應。

(4 分)

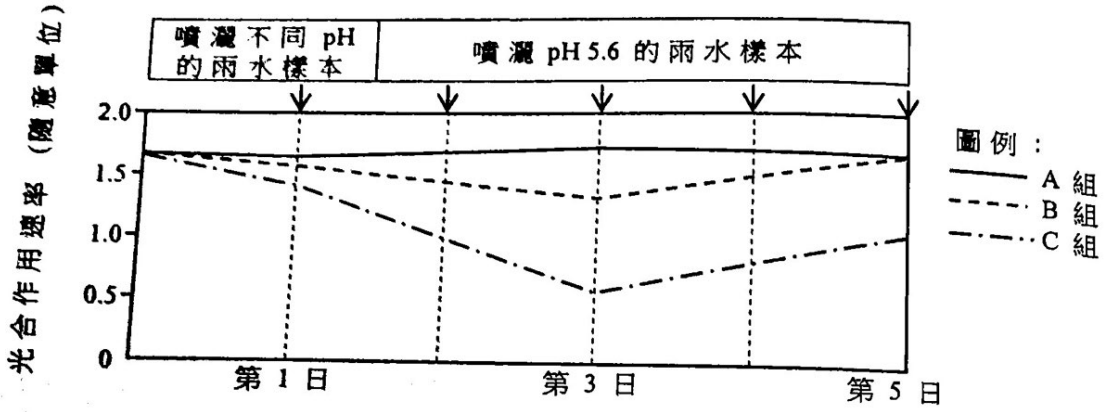
(iii) 世界自然基金會香港分會制定蜆類保育尺，作為採蜆時的指引。其中一類蜆的保育尺如下所示：



解釋只採集不能穿過測量圈的蜆如何有助保育蜆的群落。　　(3 分)

(b) 正常雨水的 pH 值約為 5.6。科學家在 17 世紀首次發現酸雨，在當時的工業區，更有雨水的 pH 值低於 2.5 的紀錄。

(i) 1986 年進行了一項實驗，研究雨水的酸性對某種地衣的光合作用速率的效應。把地衣分為 3 組：A 組為對照組，每天以 pH 5.6 的雨水樣本噴灑；B 組和 C 組在第 1 天分別以 pH 3.5 和 pH 2.5 的雨水樣本噴灑，然後由第 2 天到第 5 天均以 pH 5.6 的雨水樣本噴灑。



(1) 比較噴灑不同 pH 的雨水樣本對這種地衣的光合作用速率的效應。(4 分)

(2) 下表顯示城市 Y 在雨季中某個月份的天氣情況。根據上述實驗的結果，解釋為什麼在城市 Y 的工業區難以找到這種地衣。(3 分)

星期日	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

(ii) 寫出兩種主要的空氣污染物，並描述它們怎樣導致酸雨的形成。(2 分)

(iii) 寫出酸雨對土壤礦物質的兩種效應。(2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

沙灘 A 的蜆密度由約 120 略降至約 113 個/m^3；沙灘 B 則由約 110 明顯下降至約 70 個/m^3。

先在每個沙灘內比較 5 月 31 日與 10 月 1 日，然後指出 B 的降幅較大。A 全年禁止採蜆，B 在兩次調查之間開放採蜆。若只說 A 比 B 多，沒有回答前後密度如何變化。圖讀數可用合理近似，勿把斜拍造成的柱頂視覺差當成精密小數。

a(ii)；原評分 4 分

資料支持採蜆降低沙岸動物羣落的物種多樣性，主要表現在均勻度下降。

沒有採蜆的 A，四個物種的相對豐度前後大致維持，提供沒有採蜆時的比較。B 的物種 1、2、4 個體數下降，物種 3 則由 7 增至 21，其比例由 11.3% 升至 61.8%，變成明顯優勢種；物種 4 的比例由 32.3% 降至 2.9%。B 後次仍有四個物種，物種 4 尚有 1 個個體，不能說它消失或物種數已下降。真正支持多樣性降低的是相對豐度變得不均；再把 B 的採蜆與 A 的對照相連，才能得到有資料依據的推斷。總個體數減少本身不等於多樣性一定減少。

a(iii)；原評分 3 分

只採集較大的蜆，可保留年幼的小蜆，讓它們長大並繁殖，產生後代補充被採走的個體，維持種羣。

能穿過直徑 3 cm 圓孔的較小個體被留下，重點不是牠們「不夠肉吃」，而是牠們還有機會成長到可繁殖的階段。保育尺把採集限制與繁殖補充相連，使資源利用較可持續；不能反寫成只取走幼蜆。

b(i)(1)；原評分 4 分

pH 低於 5.6 的雨水使光合作用速率下降，pH 2.5 的降幅比 pH 3.5 大；其後改用 pH 5.6 雨水，pH 3.5 組到第 5 天恢復至接近正常，而 pH 2.5 組仍未完全恢復。

A 是每天 pH 5.6 的對照，速率大致維持。B、C 只在第 1 天分別用 pH 3.5、2.5，之後第 2–5 天都改用 pH 5.6。B 最低約 1.3，C 最低約 0.5，顯示酸性愈強抑制愈明顯；到第 5 天 B 約回到 A 的水平，C 仍約 1.0，低於正常約 1.6。答案要涵蓋受影響和恢復兩個階段，不能只比較 A、B、C 而不說各自 pH。

b(i)(2)；原評分 3 分

工業區雨水可非常酸，使地衣光合作用明顯下降；雨季經常下雨，地衣可能尚未恢復又再受酸影響，長期不能製造足夠有機養分，難以存活。

實驗顯示一次 pH 2.5 處理後，到第 5 天仍未回復；日曆又顯示雨天密集，缺少長時間恢復間隔。把兩項資料合用，才可解釋工業區難找到地衣，而不只是重述「酸雨令光合作用下降」。地衣需要光合夥伴提供有機物，持續抑制會影響生長和存活。

b(ii)；原評分 2 分

二氧化硫和氮氧化物。它們釋入大氣後，經氧化等反應形成酸性物質，溶於雨水造成酸雨。

要同時答污染物及成酸過程，例如形成硫酸或硝酸。正常雨水本來可因二氧化碳而呈弱酸性，本題所問工業污染造成的強酸雨主要不能用二氧化碳取代 SO_2 和 NO_x。

b(iii)；原評分 2 分

酸雨增加土壤中某些有毒金屬的可溶性；也使養分礦物離子較易淋溶流失。

第一項是原本較不易溶出的金屬離子，例如鋁，在酸性條件下更易進入土壤溶液，毒性風險增加。第二項是有用的礦物養分隨水被沖走，降低土壤肥力。題目指定「土壤礦物質」，只寫根部受傷或土壤 pH 降低還沒有說清礦物質的改變。

評分依據：HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

2. [HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 2 題]
提示：先說措施改變甚麼，再用資料評估結果。

(a) 候鳥每年長途往返於北方的繁殖地與於南方的度冬地。在牠們的長途旅程中，沿岸地區的濕地是重要的中途站。香港是其中一個中途站。

(i) 黃胸鵐 (*Emberiza aureola*) 是在冬季到訪香港的其中一種候鳥。根據國際自然保護聯盟，黃胸鵐在保育狀況上的變化如下表所示：

年份	保育狀況
2000	無危
2004	近危
2008	易危
2013	瀕危
2017	極危

解釋**一種**可能威脅到黃胸鵐的人類活動。 (1 分)

(ii) 在 2005 年，政府與本地環保團體合作在塱原（新界北部）已棄置的淡水濕地實施生境管理措施。以下照片顯示在措施實行前與實行後各生境的情況：

措施實行前



棄置農地



乾涸濕地

措施實行後



旱田



水田



沼澤



水蝕池塘

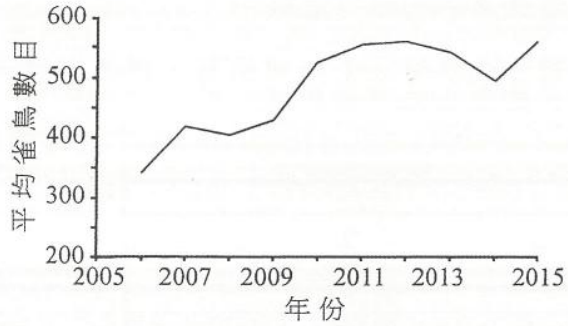


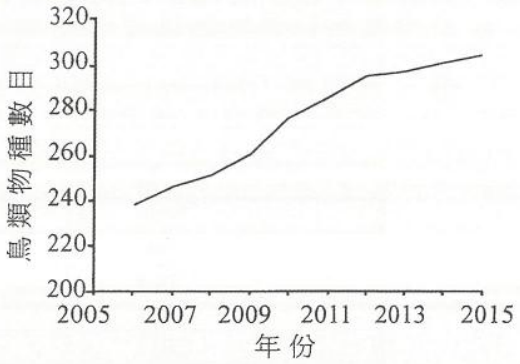
蓮塘



魚塘

下圖顯示塱原自 2006 年至 2015 年間每年記錄到的平均雀鳥數目和鳥類物種數目：





(1) 根據所示數據，你能就生境管理對保育候鳥的效應得出什麼結論？ (4 分)

(2) 解釋生境管理對導致上圖所示的變化有什麼重要性。 (4 分)

(b) 微塑膠是小於五毫米的塑膠微粒。它們可以是大型塑膠廢物分解後的塑膠碎片，或是用於化妝及洗滌用品的微珠。微塑膠可能對水生環境帶來破壞。科學家正在尋找一些監測及解決微塑膠污染的生物學方法。

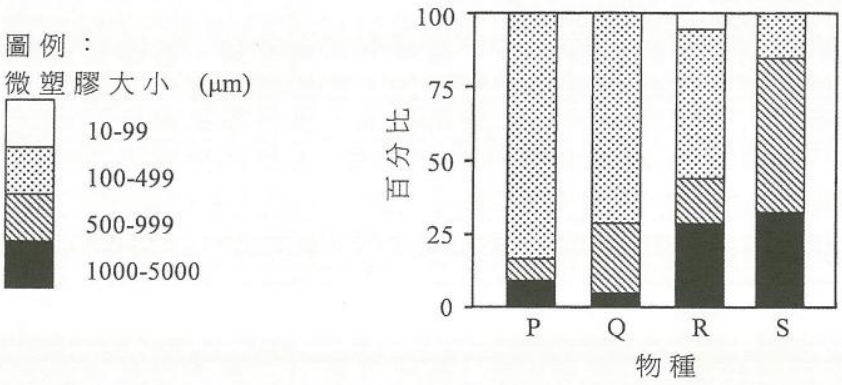
(i) 試提出為什麼固着(不能移動)生物較可移動生物更加合適用以監測水生環境中的微塑膠污染。 (2 分)

(ii) 下表顯示在香港水域中常見的四個固着生物物種及牠們的出現地點：

地點	生境	物種
1	岩岸	A
2	岩岸	A, B
3	岩岸	A, B
4	岩岸	A, C
5	泥灘	C
6	泥灘	C
7	泥灘	D
8	泥灘	D
9	碼頭	C
10	碼頭	C
11	碼頭	D
12	碼頭	D

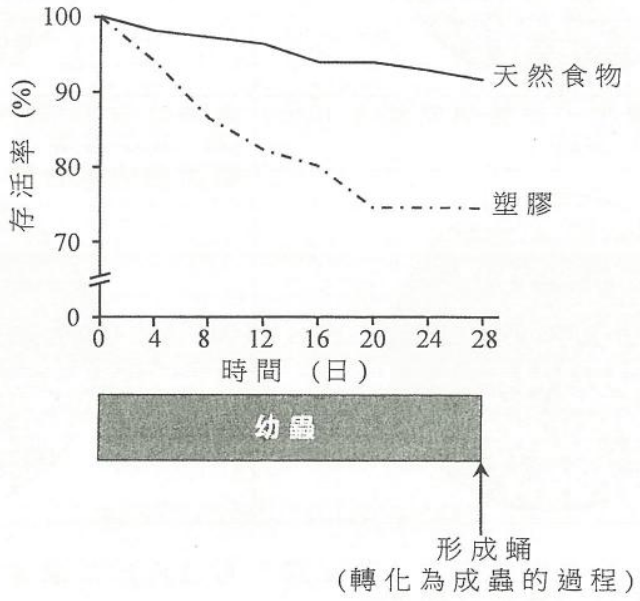
根據表中的數據，應選擇哪個物種監測微塑膠污染？解釋你的答案。 (3 分)

(iii) 下圖顯示在四個固着生物物種的腸道內殘留不同大小微塑膠的相對比例：



根據圖中所示數據，應利用哪個物種 (P、Q、R 或 S) 監測微塑膠污染？解釋你的答案。 (3 分)

(iv) 某蠟蛾物種 (*Achroia grisella*) 的幼蟲能以塑膠作食物並把塑膠降解。在一項探究中，分別以塑膠和天然食物餵飼兩組 *A. grisella* 幼蟲，並記錄兩組幼蟲變成蛹期間的存活率。結果如下所示：



(1) 參考所示數據，數據是否支持該組幼蟲能從塑膠獲取營養？提供證據以解釋你的答案。 (1 分)

(2) 為了研究大規模採用 *A. grisella* 處理塑膠污染的可行性，就這項探究提出另一項測量。解釋你的答案。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 1 分**

例如把沿岸濕地開墾作建設，破壞候鳥遷徙途中補充食物的中途站。

黃胸鷸長途遷徙需要停歇和補充能量；失去濕地食物與棲息地會降低生存及完成遷徙的機會。也可用非法捕獵作食物等具體活動，但需說明其威脅。

a(ii)(1)；原評分 4 分

記錄的平均雀鳥數目及鳥類物種數目均呈增加趨勢，支持生境管理吸引更多雀鳥到訪／停留，並增加到訪物種。

平均雀鳥數由 2006 年約 340 升至 2015 年約 550，中間有波動但整體上升；物種數由約 240 升至約 300，持續增加。前者代表個體豐度，後者代表物種豐富度，必須分別利用，不能用同一個「數量增加」代替兩項。

a(ii)(2)；原評分 4 分

恢復並建立多種生境，增加食物資源及可利用的生態位，使更多個體和不同物種得以使用該地。

照片顯示原本棄置或乾涸的地方變成旱田、水田、沼澤及多種池塘。更多食物可支援更大種羣，令個體數增加；不同水深、植物、食物和棲息條件又滿足不同鳥種的需要，增加可利用的生態位，所以物種數也上升。

b(i)；原評分 2 分

固着生物攝取的微塑膠主要來自其所在水域，較容易把體內污染量連到當地污染來源。

可移動生物可能先在其他水域攝取微塑膠，再移到採樣點；因此不能確定牠體內污染反映哪一處。固定位置的生物較適合比較不同地點。

b(ii)；原評分 3 分

物種 C。

C 同時見於巖岸、泥灘及碼頭三類生境，其他物種的分佈較侷限。用同一物種比較各生境，可較少受到不同物種攝食或累積能力差異影響，使污染比較較公平。並非一定要在十二個地點全都有，關鍵是能跨三類生境使用。

b(iii)；原評分 3 分

物種 R。

R 腸道中見到圖例的四種大小微塑膠，包括 10–99 μm 的最小一類；P、Q、S 缺少某些大小類別。R 涵蓋較完整粒徑範圍，較能反映水域不同大小微塑膠污染，而不是只監測其偏好攝取的一類。

b(iv)(1)；原評分 1 分

支持：只以塑膠餵養的幼蟲仍有約 75% 存活至第 28 日並可形成蛹。

這些幼蟲能維持一段時間的生存和發育，支持能從塑膠取得部分營養；但其存活率低於天然食物組，不能進一步說兩種食物的營養價值完全相同。

b(iv)(2)；原評分 2 分

檢查幼蟲排泄物中塑膠的化學性質及粒徑，判斷是否真正分解而非只變成更小碎片。

若只把大型塑膠咬碎、排出微塑膠，污染仍存在，甚至更難收集；必須證實塑膠物質被分解，才支持作為大規模污染處理方法。也可量度攝食量、繁殖力或生長，但應把量度連到處理效率或能否持續使用。

評卷報告提醒（原資料第 75、76 頁）

雀鳥個體數與物種數增加不自動證明整體多樣性提高，還缺均勻度。監測物種 C 的優點是跨三類生境、可用同種公平比較；R 的優點是涵蓋全部粒徑。幼蟲存活推論須引用 28 日或形成蛹的持續發育證據，不能只看兩條存活率曲線誰較高。

評分依據：HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 2 題官方評卷參考，原資料第 61、62 頁。

微生物與人類：題型與練習

Chapter 9

VII.a 微生物學

先讀「知 VII.a」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1 由生長曲線、光密度與菌落估計微生物

綜合程度 ★★★☆☆

知識梳理

① 假設某題的圖由 100 增至 400 個細胞，代表增至原來 4 倍，即經兩次倍增；若相隔兩小時，平均倍增時間為一小時。光密度反映樣本的混濁程度，可能同時受活細胞、死細胞及其他顆粒影響；菌落計數則反映能形成菌落的單位，細胞團也可能只形成一個菌落。

② 把兩類結果互相比較前，須先說清楚它們實際量度的是甚麼。

點石成金　先讀橫軸時間和縱軸是否對數尺度，再分清總細胞量、光密度及可形成菌落單位；結論應限於圖表實際提供的證據。

例 1 [HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 3 題]

(a) 人類腸臟內有數以億萬計的微生物，其中大部分不會致病，並在人體多項功能中扮演重要角色，包括消化食物、防禦病原體和製造維生素。

(i) 人類與這些腸臟內的微生物在生態學上有什麼關係？解釋你的答案。 (2 分)

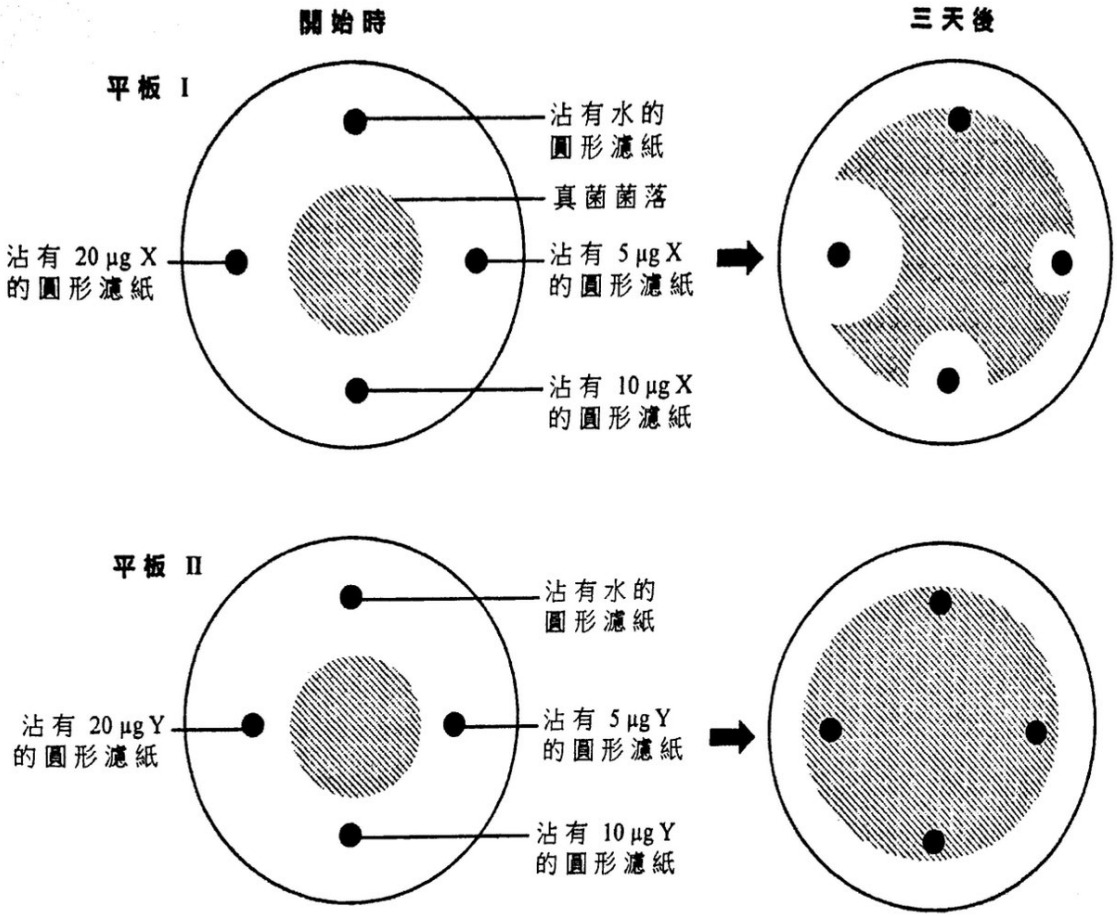
(ii) 根據世界衞生組織的報告，益生菌是對人類健康有益的微生物，但是需要攝取大量的益生菌，才可以在胃消化後，仍有足夠的數量存活，並到達腸臟。

(1) 現提供一瓶益生細菌培養和一個 37°C 恆温箱，用作設計一項實驗，以估算經胃消化後仍然存活的益生細菌數目。這實驗還需要什麼其他資料，才可以在實驗室內模擬胃內的生理狀況？試舉出**兩項**。 (2 分)

(2) 描述在實驗結束後，如何能夠估算仍生存的益生細菌的數目。 (4 分)

(3) 一般認為病人在完成抗生素療程後，應進食含益生菌的食物。試解釋為什麼這做法能保護病人免受感染。 (3 分)

(b) 進行一項實驗，以研究化合物 X 和 Y 對某真菌菌落生長的效應。在已接種真菌菌落的營養瓊脂平板上，放置沾有不同劑量的化合物 X 或 Y 的圓形濾紙。真菌菌落在實驗開始時和三天後的外觀如下圖所示：



(i) 描述化合物 X 和 Y 對該真菌生長的效應。 (3 分)

(ii) 在另一實驗中，把該真菌分別與化合物 X 或 Y 培養一小時，然後加入綠色螢光染劑，該染劑不能穿過細胞膜。經化合物 X 處理過的真菌細胞內，其細胞核染上綠色螢光，經化合物 Y 處理過的真菌細胞則沒有。

(1) 參考結果，試指出化合物 X 對真菌可能產生的作用。 (2 分)

(2) 按照你在 (1) 的答案，解釋上圖中，三天後平板 I 上為什麼呈現透明的區域。 (2 分)

(iii) 將真菌接種到瓊脂平板時，應採用無菌技術。寫出其重要性。 (1 分)

(iv) 這真菌普遍存在於空氣及在家居物件上生長。試提出化合物 X 於我們家居產品中的一項日常應用。 (1 分)

解答 **a(i)；原評分 2 分**

互利共生：微生物獲得宿主提供的食物和棲息環境，宿主則獲得幫助消化、防禦病原體或維生素等好處。

同一關係的雙方都要指出實際得益。腸道提供適合生長的環境及營養；題述微生物能幫助分解食物、限制病原微生物或合成維生素，因此宿主亦受益。「共生」只描述共同生活，還要用雙方受益說明為何屬於互利。

a(ii)(1)；原評分 2 分

需要知道胃內的 pH，以及食物或微生物通常在胃內停留的時間。

方法：先看尺度，再分光密度、細胞數與菌落。

題目已給微生物培養物和 37°C 培養箱，所以這一問是在找尚欠的胃內環境資料。pH 決定要模擬的酸度，停留時間決定酸性暴露應持續多久；兩者都影響能存活的微生物比例。不能把已提供的 37°C 再當成一項欠缺資料。

a(ii)(2)；原評分 4 分

將處理後的培養物作適當系列稀釋，把已知體積塗布在培養基上培養，計算菌落數，再按稀釋倍數和塗布體積推算活菌濃度。

先稀釋是為了讓菌落分開，避免大量菌落融合而數不清。選擇菌落分佈適合計數的平板，假設一個可形成菌落的活菌單位長成一個菌落，據此估算 CFU。

原液活菌濃度（CFU/mL）= 菌落數 ÷ 稀釋比例 ÷ 塗布體積（mL）。

若要整份培養物的總數，再乘培養物總體積。這個方法利用能生長成菌落的性質區分活菌；只量混濁度或直接數所有細胞，可能把死細胞也包括在內。菌落形成單位也不一定嚴格等於單一細胞，因為細胞成團時可共同形成一個菌落。

a(ii)(3)；原評分 3 分

抗生素可能同時殺死腸道有益細菌；補充益生菌可幫助恢復有益菌羣，與病原微生物競爭食物及附着位置，減少病原體繁殖。

先說治療如何改變腸道：抗生素針對的結構或代謝途徑不一定只存在於致病細菌，有益細菌也可能受影響。當原有競爭者減少，病原微生物較容易佔據空間和營養。補入有益菌的預期作用是恢復這種競爭屏障；不能只寫「增加免疫力」，也不能說益生菌能中和所有抗生素。

b(i)；原評分 3 分

X 能抑制真菌生長，而且濾紙片含 X 的量越高，抑菌圈越大；在本試驗條件下，Y 沒有顯示抑制作用。

X 的 5、10、20 μg 濾紙片周圍依次出現較大的無真菌生長區，支持較高用量有較強抑制效果；水對照用來顯示濾紙片或加水本身不是原因。Y 各用量都沒有相應透明圈，所以只能說所試劑量與條件下未見抑制，不能由一次試驗斷言 Y 在任何濃度都毫無作用。

b(ii)(1)；原評分 2 分

X 破壞或增加真菌細胞膜的通透性，使原本不能穿過完整細胞膜的染料進入細胞，令細胞核發出綠色熒光。

把題幹的檢測原理與觀察接起來：完整細胞膜會阻擋染料，但 X 處理後細胞核出現熒光，表示染料已越過原有屏障。Y 處理沒有同樣現象，提供比較。不能只說 X「把細胞染綠」，必須指出被檢驗的是細胞膜完整性或通透性。

b(ii)(2)；原評分 2 分

X 從濾紙片擴散到周圍培養基，損傷真菌細胞膜，使附近真菌不能生長或死亡，形成抑菌圈。

濾紙片是物質來源，X 向周圍擴散後，在足夠濃度的範圍內造成細胞膜損傷。膜失去正常的選擇透過功能，細胞內容物可外漏，真菌不能維持生長，因而留下沒有真菌菌落的區域。圈的形成必須連到「物質擴散—膜受損—生長受抑」，不只是重述看到一個白圈。

b(iii)；原評分 1 分

避免其他微生物污染培養物及培養基，使觀察到的生長反應可歸因於所測真菌。

若外來細菌或真菌混入，它們可能形成額外菌落或改變局部環境，幹擾抑菌圈的判讀。無菌技術在這個比較試驗中的直接作用是維持培養純度與結果可靠性；只寫「為了安全」沒有回答這個實驗的目的。

b(iv)；原評分 1 分

用作防黴塗料的成分。

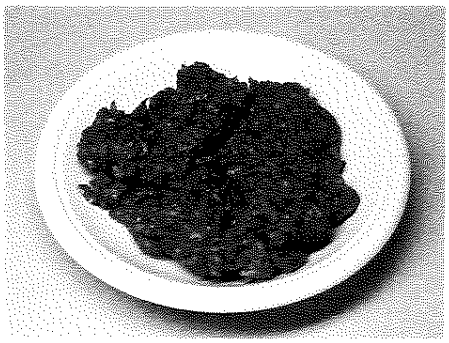
例如把具有合適抗真菌活性的物質應用於防黴塗層，以限制潮濕表面長黴。這一用途與題中抑制真菌的證據直接相連；不能只泛稱「殺菌用品」而沒有說清要抑制的是黴菌。

評分依據：HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

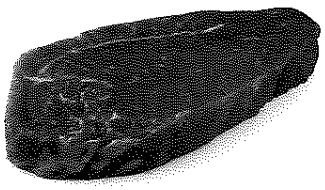
例 2 [HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 3 題]

(a) 食品加工的過程中，若食物處理不當，就會受微生物污染。以下照片顯示兩種肉類產品：碎牛肉和牛扒。

碎牛肉



牛扒



(i) 提出為什麼碎牛肉較牛扒容易受微生物污染。 (2 分)

(ii) 為評估碎牛肉的安全和質素，將四個碎牛肉樣本進行微生物分析。將樣本分別用兩個不同溫度 (5°C 和 20°C) 進行培養，每隔一段時間，就用平板培養法分別數算樣本的細菌 X 和細菌 Y 的菌落數目。記錄菌落數目增加 10 倍所需的時間。結果如下表所示。

樣本	菌落數目增加 10 倍所需時間 (小時)			
	細菌 X		細菌 Y	
	5°C	20°C	5°C	20°C
1	34.95	8.93	79.78	7.28
2	41.51	7.74	65.83	8.47
3	32.86	11.60	44.60	9.65
4	20.69	14.03	40.39	17.66

(1) 計算在 5°C 和 20°C 時，細菌 X 和細菌 Y 的菌落數目增加 10 倍所需的平均時間。按照以下格式在答題簿內以表列形式回答。 (2 分)

	細菌 X		細菌 Y	
	5°C	20°C	5°C	20°C
平均時間 (小時)				

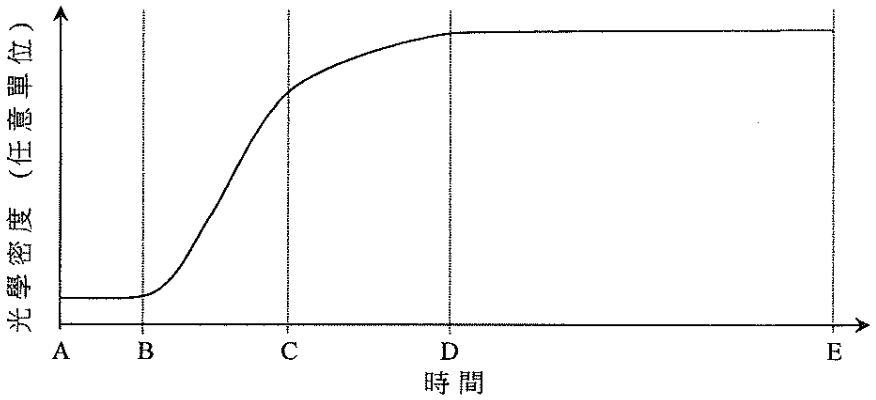
(2) 比較細菌 X 和細菌 Y 在不同溫度的生長速率。 (2 分)

(3) 根據 (2) 的答案，哪種細菌較有可能引致貯藏在雪櫃的食物樣本腐壞？試加以解釋。 (3 分)

(4) 細菌 Y 常見於動物的腸道。解釋為什麼細菌 Y 通常會用作肉類在食品加工過程中受微生物污染的指標。 (2 分)

(b) 透過用光學密度量度細菌培養物的混濁度，對細菌的生長進行監測。結果如下圖 I 所示：

圖 I



(i) 細菌生長的靜止期有什麼特徵？ (2 分)

(ii) 參考量度光學密度的原理，由圖中找出證據以解釋為什麼靜止期是 CD 而不是 DE。 (3 分)

(iii) 參考量度光學密度的原理，解釋為什麼在量度光學密度之前，需要將細菌培養物搖勻。 (2 分)

(iv) *Pseudomonas aeruginosa* 是對多種抗生素具抗性的細菌物種，它導致免疫系統薄弱的住院病人出現嚴重感染。

為評估不同抗生素對治療受 *P. aeruginosa* 感染的病人的效用，從病人取得 *P. aeruginosa* 以製備細菌培養物。將定量的細菌培養物加入盛有相同體積但不同濃度抗生素的小孔，如圖 II 所示。然後進行培養，培養後的結果如圖 III 所示。

圖 II（立體圖）

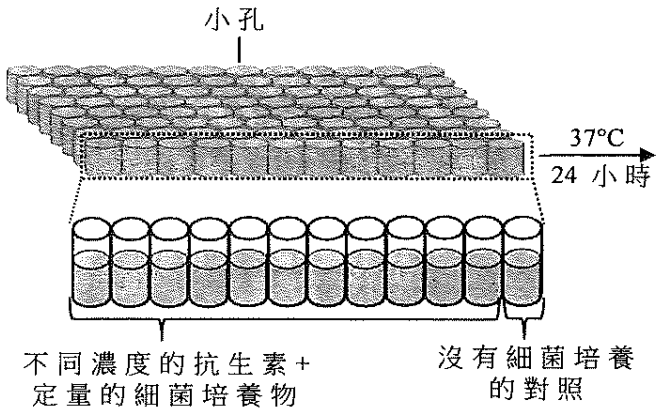
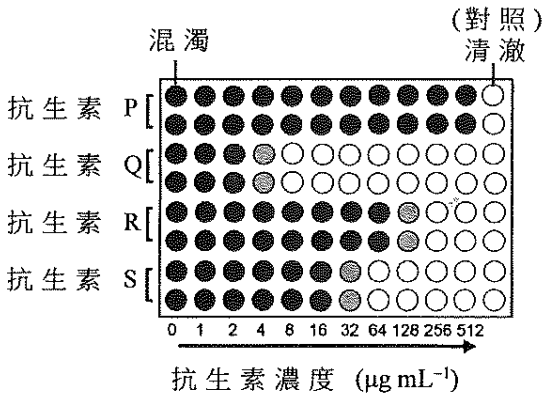


圖 III（俯視圖）



(1) 將抗生素對 *P. aeruginosa* 感染患者的療效按升序排列。 (1 分)

(2) 要有效治療患者，抗生素 S 的最低濃度是什麼？ (1 分)

解答 **a(i)；原評分 2 分**

磨碎增加外露表面積，也增加與器具、手及環境接觸的加工步驟。

同體積肉被分成很多小塊後，更多表面可接觸微生物；攪拌還會把原來表面的污染帶到內部。碎牛肉比完整牛扒更容易在多個位置受到污染。

方法：先看尺度，再分光密度、細胞數與菌落。

a(ii)(1)；原評分 2 分

平均時間：X 在 5°C 為 32.50 h、20°C 為 10.58 h；Y 分別為 57.65 h、10.77 h。

每欄四個數值相加再除以 4。例如 X、5°C：(34.95+41.51+32.86+20.69)÷4=32.5025 h，取兩位小數為 32.50。其餘三欄依次為 10.575、57.65、10.765 h。

a(ii)(2)；原評分 2 分

5°C 時 X 生長較 Y 快；20°C 時兩者生長速率大致相同。

同樣增加十倍，所需時間越短表示速率越快。5°C 下 X 約 32.50 h，明顯少於 Y 的 57.65 h；20°C 下 10.58 與 10.77 h 很接近。不能把時間較長誤讀為生長較快。

a(ii)(3)；原評分 3 分

X 較可能較快造成冷藏食品腐敗。

雪櫃溫度接近實驗中的 5°C，X 在此溫度增至十倍只需 32.50 h，短於 Y 的 57.65 h。它較快增加到大量菌體，代謝及分解食品的作用較早累積，因此相同起始情況下較快腐敗。

a(ii)(4)；原評分 2 分

Y 常在動物腸道，食品中出現 Y 可提示加工時有腸內容物或糞便污染。

屠宰時腸內容物可能接觸肉，亦可經受污染器具或手傳入。以這種本應主要在腸道的細菌作指標，可以反映加工衞生及交叉污染，而不是說所有 Y 都必定直接引起疾病。

b(i)；原評分 2 分

靜止期活細胞的形成速率約等於死亡速率，活細胞數目大致保持不變。

資源漸少和代謝產物增加時，新細胞仍可形成，但被死亡抵消。因此「靜止」指活菌數沒有淨增加，不表示所有細胞都停止代謝或分裂。

b(ii)；原評分 3 分

光學密度同時受到活細胞及仍完整的死細胞影響；CD 仍有新細胞形成並累積散射顆粒，所以光學密度可上升，符合活菌數已穩定的靜止期。

在此題的判讀中，死亡細胞仍會散射光，因此光學密度不是活菌數曲線。靜止期即使活菌數因生死相抵而不變，總細胞顆粒仍可增加；這解釋 CD 的緩慢上升。DE 的讀值平台不應直接等同活細胞數的靜止期。

b(iii)；原評分 2 分

搖勻使細胞均勻懸浮，避免沉底或成團，讓光學讀值代表整個培養物。

光學密度由懸浮顆粒散射或阻擋的光形成。若大量菌體沉底，光路中的細胞偏少，讀數便偏低；分佈均勻後，相同取樣位置才可較可靠反映總菌體量。

b(iv)(1)；原評分 1 分

由低至高：P、R、S、Q。

在此測試中，能用較低濃度使孔內維持清澈的抗生素，抑菌能力較強。Q 最早出現清澈孔，S 次之，R 再後，P 要更高濃度，故由弱至強為 P<R<S<Q。

b(iv)(2)；原評分 1 分

64 μg/mL。

S 的兩排重複孔在 32 μg/mL 仍混濁，到 64 μg/mL 才都清澈，所以題目所示能抑制可見生長的最低濃度為 64 μg/mL；必須寫濃度單位。

評卷報告提醒（原資料第 11、12 頁）

增加十倍所需時間越短，生長越快。光學密度含活、死細胞的散射訊號，不能把它當成活菌數直接分期；最低有效抗生素濃度要找清澈孔並帶單位。

評分依據：HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 12、13 頁。

VII.b 微生物的用途

先讀「知 VII.b」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1 追蹤微生物利用底物、產物與種羣變化

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

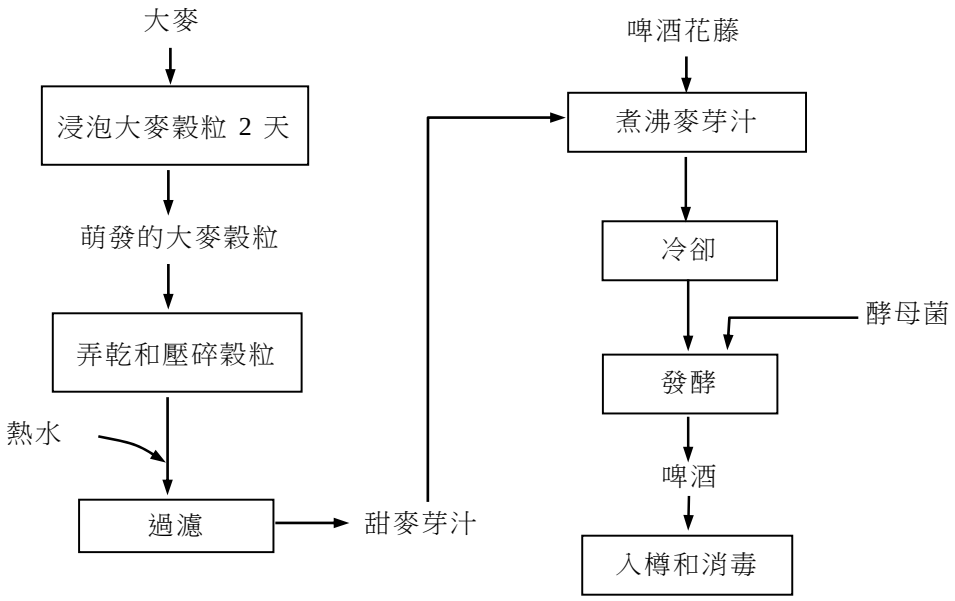
① 大麥儲存的澱粉不能直接當作酵母已得到的葡萄糖。萌發時的水解酶先把儲存物轉成可利用的較小分子，再由微生物進行相關代謝。

② 以釀酒為例，缺氧條件下糖可形成乙醇及二氧化碳；乳製品發酵的主要產物和所用微生物則不同。種羣後期停止增加，可由養分限制、產物累積或其他環境變化解釋，必須與題目所給條件相符。

點石成金　把原料→可利用底物→微生物活動→產物逐步連接；讀生長曲線時，把變化時段與同時量得的 pH、糖或其他資料配對。

例 1 [HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 3 題]

(a) 下圖概述釀製啤酒涉及過程的序列：



(i) 解釋在釀製啤酒中浸泡大麥穀粒於水中兩天的重要性。 (4 分)

(ii) 指出需要煮沸麥芽汁的**兩項**原因。 (2 分)

(iii) 描述酵母菌如何有助釀製啤酒。 (2 分)

(iv) 草繪一幅曲線圖顯示由酵母菌加入麥芽汁至啤酒入樽和消毒期間，酵母菌的種群變化。 (3 分)

(b) 瑪利在超級市場買了兩盒鮮奶，並把它們放進冰箱。兩星期後，她發覺其中一盒奶變酸和有些凝塊。以下照片顯示這些變壞了的奶的模樣：



(i) 鮮奶在送往超級市場出售前，通常會經巴斯德消毒法消毒。巴斯德消毒法如何有助保存鮮奶？ (1 分)

(ii) 簡略解釋存放兩星期後，奶如何變酸和形成凝塊。 (3 分)

(iii) 瑪利發覺另一盒奶看似正常，於是把全盒也喝了。數小時後，她因食物傳染而出現腹瀉。

(1) 解釋喝了這盒奶如何可能導致上述的食物傳染。 (2 分)

(2) 寫出一種可導致食物傳染的病原體的名稱。 (1 分)

(iv) 牛油和芝士也是奶類製品，但它們卻能夠比奶貯存較長時間而不變壞。為什麼？ (2 分)

解答 **a(i)；原評分 4 分**

浸泡讓大麥吸水、種皮軟化並開始萌發；萌發時產生或啟動澱粉酶等水解酶，把儲存的澱粉轉成可發酵的糖，供之後酵母菌使用。

乾燥穀粒中的澱粉不是酵母在這個流程中可直接大量利用的糖來源。先吸水啟動萌發，胚及相關組織提供酶，把澱粉水解成麥芽糖，進一步轉成葡萄糖等糖。這些可溶糖進入甜麥芽汁，才成為發酵受質。兩天浸泡的重要性是連接「水—萌發—酶—糖」，不能只說把穀粒洗乾淨。

方法：沿底物、微生物及產物解釋各時段。

a(ii)；原評分 2 分

減少麥芽汁中會污染發酵的微生物；驅走溶解氧，為其後酒精發酵提供較缺氧的條件。

煮沸可殺死多數混入的微生物，減少與酵母競爭或令產品變壞的機會；加熱也使溶解氣體逸出。之後須冷卻才加入酵母，否則高溫也會傷害所需酵母。煮沸不宜一概稱為能消滅所有耐熱孢子的完全滅菌，作答應聚焦控制污染這一作用。

a(iii)；原評分 2 分

酵母菌進行酒精發酵，把葡萄糖分解形成乙醇，乙醇成為啤酒中的酒精。

在缺氧條件下，酵母仍可透過糖酵解取得少量 ATP，後續反應把丙酮酸鹽轉成乙醇並再生 NAD，使過程持續。

葡萄糖 → 乙醇 + 二氧化碳 + 少量能量。

酵母把已可利用的糖轉成酒精，並不是在這一步把大麥直接變成酵母。

a(iv)；原評分 3 分

活酵母數量先緩慢增加，然後快速上升，再趨於平台；入樽和消毒時迅速降到極低或零。

橫軸是時間，縱軸是每單位體積的活細胞數。剛加入時需要適應，隨後營養充足而快速繁殖；糖等資源減少、乙醇累積，使增長變慢。題目終點包括入樽與消毒，所以圖末須表現加熱殺死酵母造成的突降，而不是一直維持高平台。這是活細胞種羣的示意，不能用總細胞殘骸數目來解釋消毒後的下降。

b(i)；原評分 1 分

巴斯德消毒以受控制的加熱殺死鮮奶中許多細菌，降低病原及使奶變壞的微生物數量。

它延緩變壞，但通常不會把所有微生物和耐熱孢子完全清除，因此產品仍需適當冷藏，而且不能無限期保存。冷藏是減慢繁殖，不等於再把所有殘留微生物殺死。

b(ii)；原評分 3 分

殘留或後來污染的乳酸菌在存放期間繁殖，把乳糖發酵成乳酸，使奶變酸；酸度增加令酪蛋白凝聚，形成凝塊。

觀察有兩項，解釋也需對應兩項：乳酸累積解釋酸味；pH 降低使奶蛋白原有分散狀態不穩定，解釋凝塊。不能把凝塊說成只有細菌堆積，也不能因為奶在冰箱便認為所有微生物活動完全停止。

b(iii)(1)；原評分 2 分

奶雖外觀正常，仍可能含有致病細菌；喝下後活菌進入消化道並繁殖，造成食物傳染及腹瀉。

外觀、酸味和凝塊是某些腐敗反應，並不是所有病原體存在時都會出現。題目指定「食物傳染」，所以要把活病原體進入體內和繁殖說清楚；不要只寫食物中已有毒素引起中毒而完全略過感染機制。

b(iii)(2)；原評分 1 分

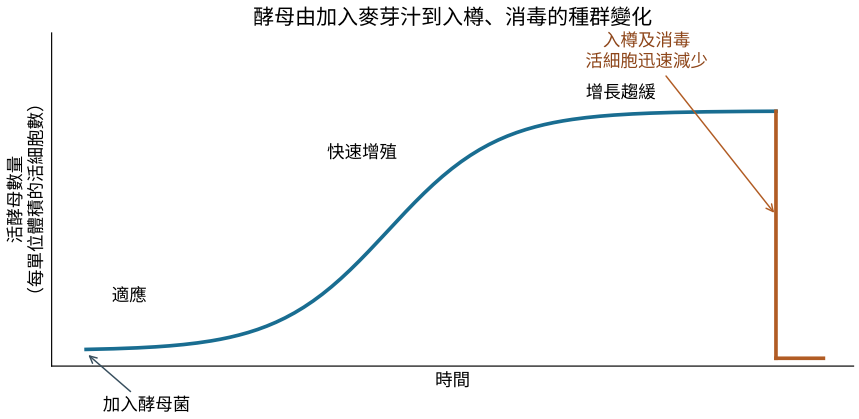
沙門氏菌。

它是可經受污染食物進入消化道、引起感染的細菌例子。只寫「細菌」不符合題目要求的一種病原體名稱。

b(iv)；原評分 2 分

牛油和芝士一般比鮮奶含較少可利用的水，令微生物生長及代謝較慢，因此較耐貯存。

細胞的酶反應、物質運輸和增殖需要合適水分。把奶製成較低水分的產品後，微生物可利用的水減少；部分產品的鹽亦會進一步降低水的可利用性。這是延長保存的原因，並不代表所有牛油或芝士都完全不會變壞。

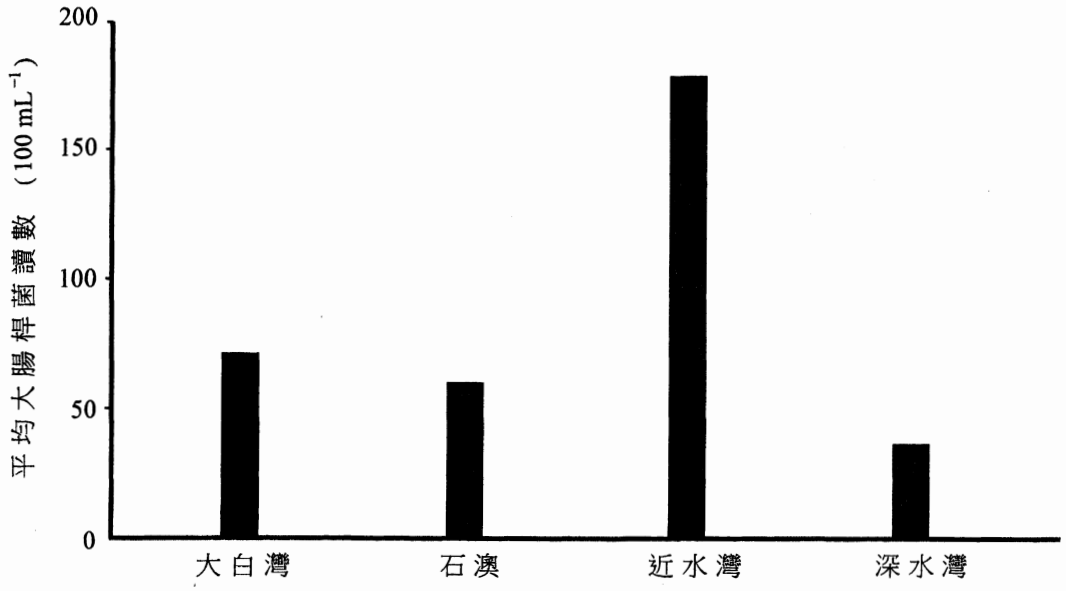


活酵母種羣由接種到入樽消毒的變化。

評分依據：HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

例 2 [HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 3 題]

(a) 在香港，大腸桿菌讀數可用來判斷海灘水質是否適合游泳。以下棒形圖顯示在 2012 年來自四個海灘的水樣本中的大腸桿菌水平：



(i) 為什麼大腸桿菌讀數可以用來反映水質？ (3 分)

(ii) 根據以上資料，你會選擇到哪個海灘游泳？為什麼？ (3 分)

(iii) 寫出利用大腸桿菌讀數來估測水質的**兩項**限制。 (2 分)

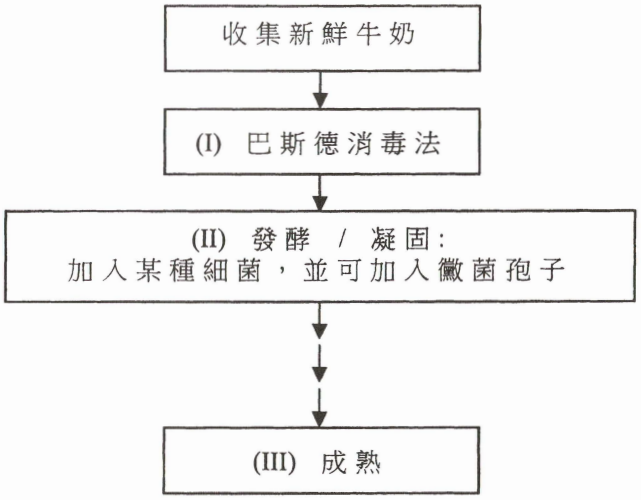
(iv) 量度水樣本中的大腸桿菌數量時，要經過培養步驟，並需要無菌操作。

(1) 在這個過程中，無菌操作有什麼重要性？ (1 分)

(2) 描述**一項**常用於預備培養基的無菌技術，並概述它的原理。 (3 分)

3(b) (i) 從前，芝士是牛奶經周遭微生物活動轉變而成。芝士的味道主要來自微生物的代謝物。同一年內，不同季節生產出來的芝士批次，其味道也不盡相同。試解釋這現象。 (3 分)

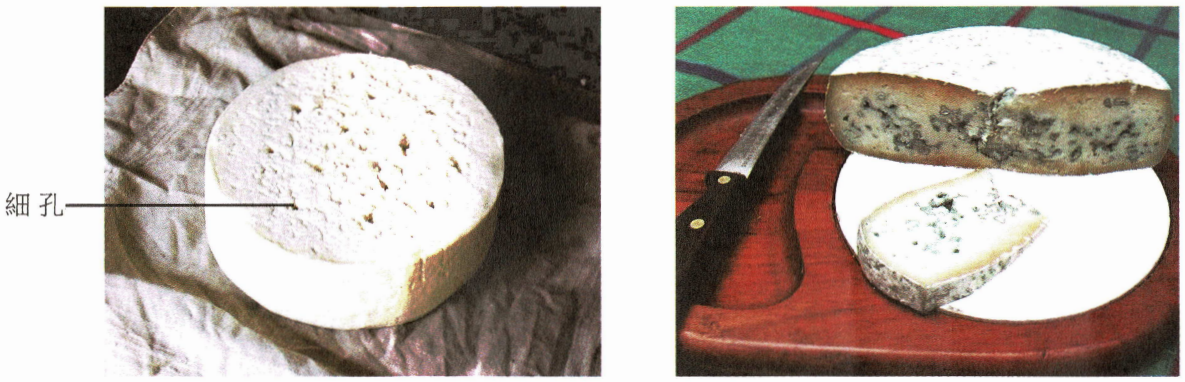
(ii) 現今，芝士是在受控情況下進行大量生產，以確保其品質及穩定性。以下流程圖顯示芝士的生產過程中，一些涉及微生物的步驟：



(1) 就品質及穩定性而言，解釋步驟 (I) 及 (II) 的重要性。 (2 分)

(2) 生產藍芝士時，會在步驟 (II) 把少量某種需氧黴菌的孢子混入凝固的芝士內，並在步驟 (III) 用針在芝士鑽上細孔。當大量孢子在芝士內出現時，孢子的顏色 (藍色) 便會變得明顯。以下照片顯示藍芝士成熟前後的外觀：

成熟前　　**成熟後**



試描述在芝士上鑽孔這個步驟如何令藍芝士出現成熟後的外觀。 (3 分)

解答 **a(i)；原評分 3 分**

大腸桿菌通常生活在人及其他溫血動物的腸道，並隨糞便排出。水中大腸桿菌較多可反映糞便污染，亦提示水中可能同時有糞便傳播的病原體。

它是污染的指標，不等於每一個被數到的大腸桿菌都一定是致病菌。

方法：沿底物、微生物及產物解釋各時段。

a(ii)；原評分 3 分

深水灣；圖中大腸桿菌讀數最低，約 35 個／100 mL，表示四個水樣中糞便污染的指標水平最低。

這是依題中 2012 年資料作比較，不能把歷史樣本直接當成今日泳灘安全公告。

a(iii)；原評分 2 分

不能反映所有其他污染，例如化學污染；大腸桿菌與各種病原體在水中的存活及消失速率不同，菌數不一定與病原體密度成固定比例。

第一項是漏掉污染類型，第二項是指標與真實危害未必一一對應，兩者是不同限制。

a(iv)(1)；原評分 1 分

避免培養物受到原水樣以外微生物污染，使菌數能代表水樣。

無菌操作的測量目的，是確保菌落來源正確；亦有保護操作者的作用。

a(iv)(2)；原評分 3 分

用高壓蒸汽滅菌器處理培養基；加壓使蒸汽能達到較高溫度，熱作用殺死細菌、真菌及其孢子，減少原有微生物污染。

這裡問培養基的滅菌；它與後面牛奶巴斯德消毒的處理程度不同。

b(i)；原評分 3 分

不同季節的溫度等環境條件不同，會影響進入牛奶的微生物種類及其代謝活性；不同微生物或不同代謝條件產生的代謝物組合不同，所以芝士味道不同。

把季節連到微生物，再連到代謝物，不是只說天氣直接改變芝士味道。

b(ii)(1)；原評分 2 分

步驟 I 巴斯德消毒減少原有微生物及病原菌，降低不受控發酵的幹擾；步驟 II 加入指定菌種，使主要代謝產物及風味較可預測，因而提高品質的穩定性。

官方舊句寫成消滅全部原有微生物，過於絕對：巴斯德消毒不是完全滅菌，不能保證殺死所有孢子。正確機制是降低背景菌量，再用指定起始培養控制發酵。

b(ii)(2)；原評分 3 分

鑽孔讓氧進入芝士內部，使青黴菌能進行需氧呼吸取得能量，支持菌絲生長及孢子形成；孢子大量形成後，藍色斑紋便明顯。

題幹已指出藍色來自大量孢子；答案要解釋鑽孔的氧供如何促進其形成，而非說孔洞本身染成藍色。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

大腸桿菌是糞便污染指標，不能說水中出現就必然致病；鑽孔作用須連到氧、需氧呼吸、菌絲與孢子，巴斯德消毒與完全滅菌須區分。

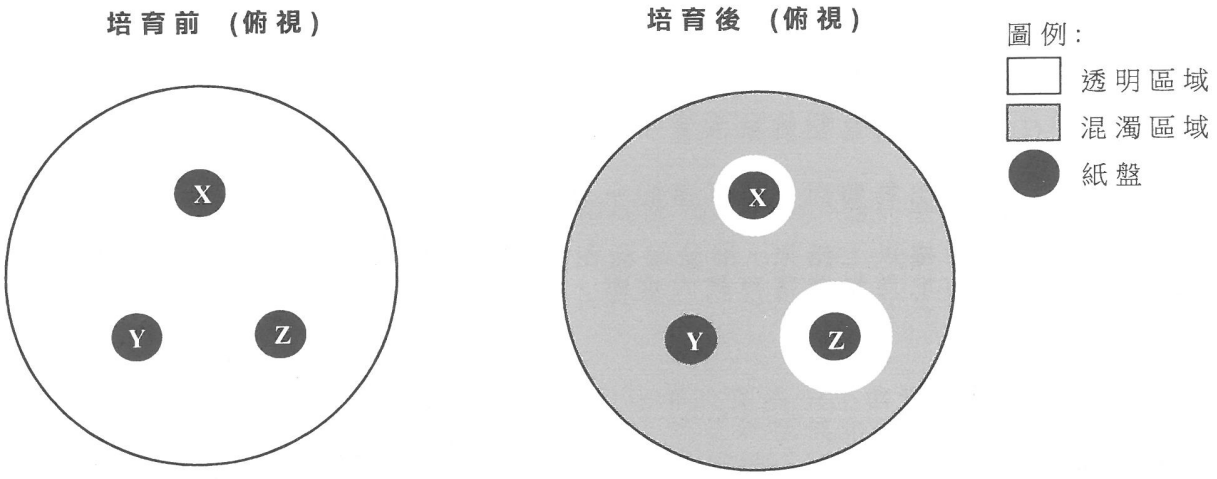
評分依據：HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

例 3 [HKDSE 生物 2022 年卷二 原第 3 題]

(a) 在 2019 冠狀病毒病 (COVID-19) 疫情期間，搓手液是其中一種最常見的抗疫用品。以下列出一項測試的步驟，以評估搓手液樣本 X、Y 和 Z 的抗菌效用：

1. 利用無菌塗抹棒，將細菌培養均勻塗抹在無菌瓊脂平板的表面。
2. 用一塊無菌濾紙盤蘸滿 10 μL 搓手液樣本，然後放置在瓊脂平板上。
3. 將瓊脂平板置於 37°C 培育 24 小時。
4. 量度透明區域的直徑。

下圖顯示瓊脂平板在培育前和培育後的外觀：



(i) 解釋為什麼瓊脂平板經培育後有些區域混濁，有些區域則透明。 (2 分)

(ii) 假設各種搓手液樣本在瓊脂平板上的擴散速率相同，將搓手液的抗菌效用按升序排列，並解釋你的答案。 (2 分)

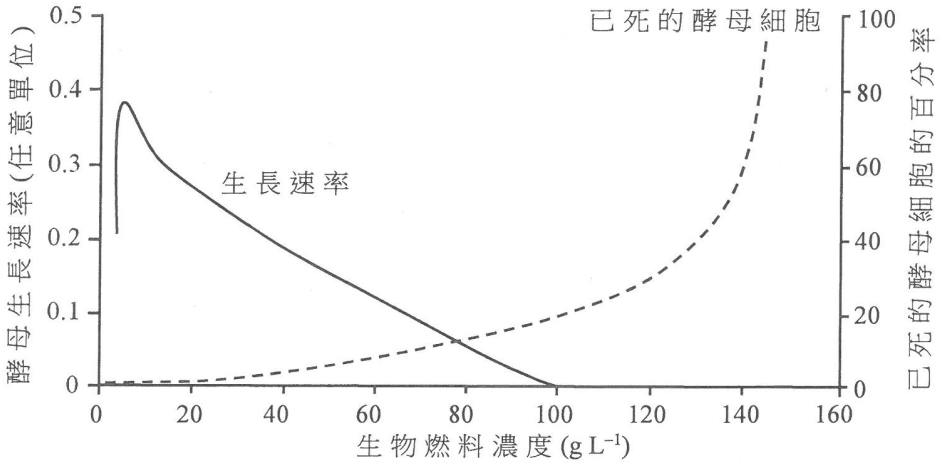
(iii) 測試結果能否真實反映搓手液樣本對抗 COVID-19 的效用？為什麼？ (2 分)

(iv) 指出在瓊脂平板上塗抹細菌培養時，必須採用的**兩項**無菌操作。解釋你的答案。 (4 分)

3(b) 酵母發酵作用可以用來生產生物燃料。

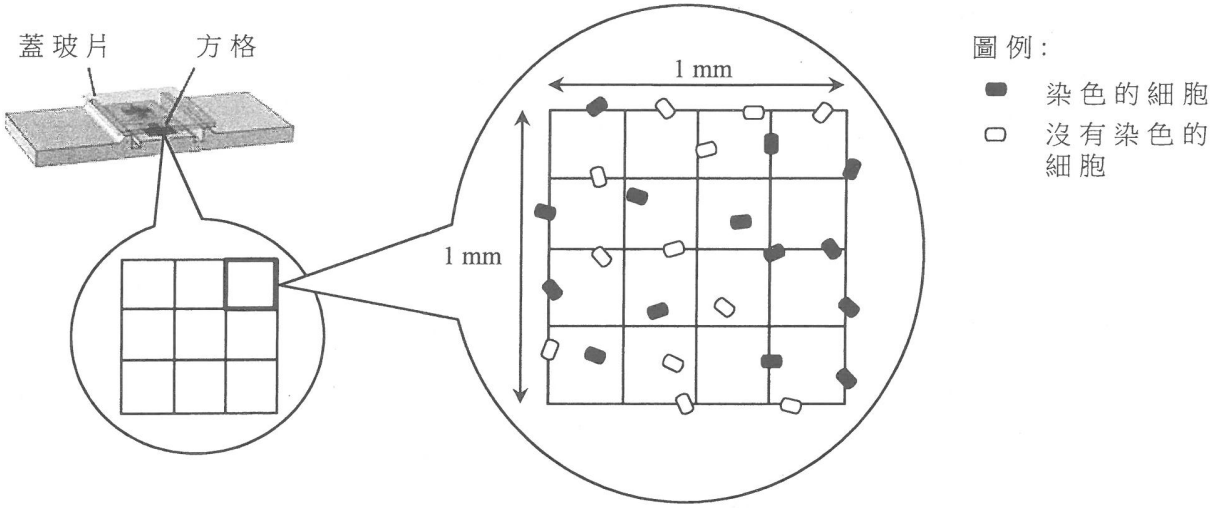
(i) 寫出酵母發酵作用的文字方程式。 (2 分)

(ii) 下圖顯示生物燃料的生產對酵母培養的影響：



(1) 參考上圖，生物燃料的生產對酵母有什麼影響？ (2 分)

(2) 已死的酵母細胞的百分率可用細胞計數器(血細胞計數器)估算。下圖顯示經藍色染劑染色的稀釋酵母培養樣本的外觀，該染劑只將死掉的細胞染色。數算下圖內已死細胞的數目，並計算已死酵母細胞的百分率： (2 分)



(3) 大方格的尺寸是 1 mm x 1 mm，深度是 0.1 mm。稀釋後的酵母樣本，其稀釋因子為 10^4。計算原本每 1 cm^3 酵母培養中，酵母細胞的總數。 (2 分)

(iii) 傳統上生物燃料是用玉米或甘蔗的可進食部分來生產。已研發一種能將纖維素轉化為生物燃料的基因改造(GM)酵母。就生產生物燃料而言，使用這種 GM 酵母較傳統酵母為佳，寫出**兩項**使用 GM 酵母的優點。 (2 分)

解答 **a(i)；原評分 2 分**

混濁區有細菌生長；透明區表示搓手液殺死或抑制附近細菌。

細菌繁殖後形成肉眼可見的菌膜或菌落而使瓊脂表面混濁；搓手液從紙碟擴散，在有足夠有效成分的位置抑制生長，便留下透明抑菌圈。

方法：沿底物、微生物及產物解釋各時段。

a(ii)；原評分 2 分

由弱至強：Y < X < Z。

在擴散速率相同的前提下，透明區越大，表示在離紙碟較遠的位置仍能抑菌。Y 沒有明顯透明圈，X 有較小圈，Z 的圈最大，故依次排列。

a(iii)；原評分 2 分

不能；實驗只測試抗細菌效用，而 COVID-19 由病毒引起。

細菌和病毒的結構及繁殖方式不同。對細菌有效的結果，不能直接當成對相關病毒同樣有效的證據；需要測試相應病毒才可支持該結論。

a(iv)；原評分 4 分

只把培養皿蓋微微打開，以減少空氣中微生物落入；操作時避免說話並戴口罩，以減少飛沫污染。

兩項措施都在避免外來微生物進入培養物：縮小開口及開蓋時間可減少空氣沉降污染；避免說話及遮住口鼻可減少含微生物飛沫。必須逐項解釋污染來源，不能只列出「保持清潔」。

b(i)；原評分 2 分

葡萄糖 → 乙醇 + 二氧化碳。

酵母發酵把葡萄糖部分分解成乙醇，並放出二氧化碳；乙醇是這裏的生物燃料。這是文字方程式，應寫明起始原料及兩種產物。

b(ii)(1)；原評分 2 分

隨生物燃料濃度增加，酵母生長速率整體下降，死亡細胞百分率上升。

除最初很低濃度的一小段外，實線由峯值逐步下降至約 100 g/L 時為零；虛線則隨濃度上升而上升，顯示累積的乙醇會抑制生長，並增加細胞死亡。

b(ii)(2)；原評分 2 分

按上、左邊界計入，下、右邊界不計入：死細胞 11 個，總數 21 個，死亡百分率約 52.4%。

深色是被染色的死細胞，白色是活細胞。只採用一套一致的邊界規則，避免相鄰計數格重複計數；此規則得深色 11、白色 10，故死亡百分率 =11÷(11+10)×100%=52.38…%。邊界上的細胞不能全部計入，也不能全部漏掉。

b(ii)(3)；原評分 2 分

原培養液約有 2.1×10^9 個酵母細胞/cm^3。

計數格體積=1 mm×1 mm×0.1 mm=0.1 mm^3。稀釋樣本濃度=21÷0.1=210 個/mm^3；1 cm^3=1000 mm^3，因此為 2.1×10^5 個/cm^3。再乘稀釋倍數 10^4，原培養液為 2.1×10^9 個/cm^3。

b(iii)；原評分 2 分

能使用農作物不可食部分或非糧食纖維素原料，減少與食物生產競爭；可用的原料增加亦能提高潛在燃料產量。

傳統酵母不能直接利用纖維素，常需可食的糖或澱粉原料。題述 GM 酵母把纖維素也納入原料範圍，可利用秸稈、蔗渣等原本未充分使用的部分，保留可食部分供人或牲畜，並增加燃料來源。

評卷報告提醒（原資料第 10、11 頁）

抑菌圈排序要寫由弱到強，並連到圈的大小。血細胞計數器必須採取一致的相鄰邊界計數規則，算濃度時再處理格體積、單位換算及稀釋倍數三步。

評分依據：HKDSE 生物 2022 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 11、12 頁。

VII.c　微生物遺傳學

先讀「知 VII.c」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1 以宿主專一性與對照理解病毒和菌羣

綜合程度 ★★★☆☆

知識梳理

① 某病毒能在一種細菌內增殖，並不表示它能在所有細菌或人體細胞內完成同樣過程。宿主表面能否被辨認，以及入侵後能否利用宿主系統，均與專一性有關。

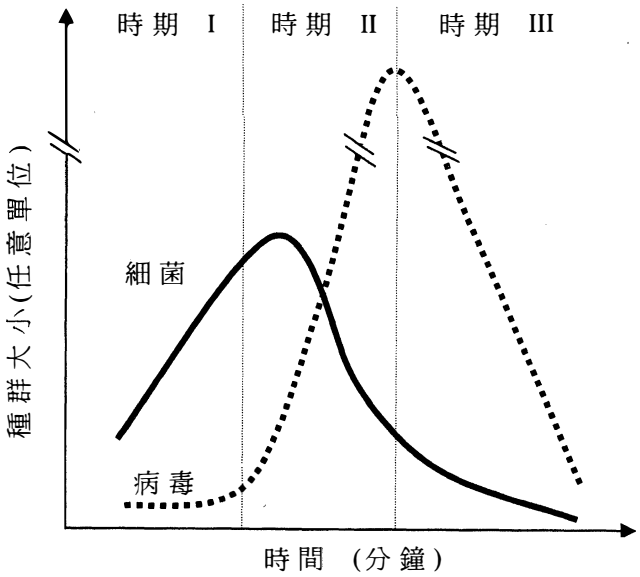
② 比較處理前後菌羣或疾病結果時，要看對照組是否保留相同背景，才知道差異是否支持所提出的因素；菌種改變與症狀同時出現，仍須區分相關與因果。

點石成金　先辨認病毒、宿主及被比較的處理，再問每一組排除了哪個其他解釋；不要由單一宿主結果推成對全部生物相同。

例 1 [HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 3 題]

.(a) 在食物製造行業，感染細菌的病毒可以用來消滅致病的細菌。以下圖 3A 顯示某種病毒和它的細菌宿主在一段時間內的種群大小變化：

圖 3A



(i) 細菌宿主對病毒有什麼重要性？ (1 分)

(ii) 參考病毒的生活週期，解釋在時期 I 和時期 II 的病毒種群大小的差異。 (4 分)

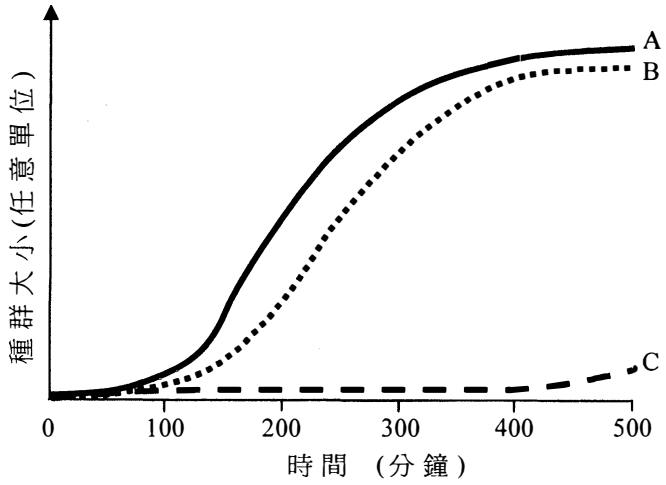
(iii) 病毒種群大小在時期 III 時下降，試加以解釋。 (1 分)

(iv) 科研結果顯示於食物製造行業採用這種技術對人類是安全的。爲什麼這技術會具安全性？ (2 分)

(v) 與傳統消毒技術（例如照射紫外線和蒸氣消毒）比較，利用病毒作消毒用途有局限性。試提出**兩種**限制。 (2 分)

.(b) 在不同培養條件下，觀察某細菌物種的野生型和突變體的生長情況。突變體是不能製造細胞壁的。以下圖 3B 顯示在等滲液體培養基內生長的野生型的細胞數目變化 (A) 和突變體的細胞數目變化 (B)，以及在低滲液體培養基內生長的突變體的細胞數目變化 (C)：

圖 3B



(i) 提出**兩種**方法以測定液體培養內的細菌種群大小。 (2 分)

(ii) 就細胞壁的功能，解釋兩種突變體的培養 (B 和 C) 在生長率上的差異。 (4 分)

(iii) 若在第 400 分鐘加入相同體積的新鮮培養基，野生型 (A) 種群大小會有什麼變化？試加以解釋。 (4 分)

解答 **a(i)；原評分 1 分**

細菌是病毒進行複製的宿主。

病毒不能獨立完成繁殖，必須利用合適宿主的細胞機制。

方法：先辨宿主及對照，再限制可成立的結論。

a(ii)；原評分 4 分

時期 I，病毒附著及感染細菌後，仍需時間在細胞內複製，因此圖示遊離病毒數目維持低水平；時期 II，被感染細菌裂解，釋出大量新病毒，病毒種羣便急升。

病毒在細菌內複製與細菌裂解釋放是先後兩步，所以曲線不會在一開始感染時就立即到高峯。每段都要說明過程及它如何造成相應曲線。

a(iii)；原評分 1 分

細菌宿主數目減少後，病毒較難找到合適宿主複製；未感染宿主的病毒逐漸失活或分解，因此數目下降。

不要說病毒因「吃光細菌」而餓死；其限制是缺少可供複製的宿主。

a(iv)；原評分 2 分

病毒對宿主具有專一性；此處感染細菌的噬菌體不能感染人類細胞。

安全性的理由來自宿主識別差異，不是來自病毒體積很小或全部病毒都有益。

a(v)；原評分 2 分

噬菌體只能針對它能感染的細菌，涵蓋範圍較紫外線或蒸氣消毒窄；細菌也可能出現不能被該噬菌體感染的抗性。

題目要相對於傳統消毒的限制。不能把對某些細菌有效，推成可以一次除去所有致病微生物。

b(i)；原評分 2 分

可用顯微鏡直接數細胞；或將適量稀釋培養液接種，培養後計算菌落數；亦可用濁度估計細胞密度。

任選兩種。菌落數反映可形成菌落的活細胞，濁度則要在相同條件下以校準關係解讀；不能把三種方法的數據當作完全同一種量。

b(ii)；原評分 4 分

C 的低滲培養液水勢高於突變體細胞，水經滲透進入；突變體缺少細胞壁，不能承受體積增加及膨壓，部分細胞裂解，種羣難以增長。B 的等滲培養液與細胞水勢接近，沒有大量淨水流入，因此不易發生滲透性裂解，可正常增加。

比較對象是同一缺壁突變體的 B 與 C，差別在培養液水勢，不是 C 突然缺少營養。需同時解釋進水方向、細胞壁功能以及 B 為何避免裂解。

b(iii)；原評分 4 分

加入新鮮培養基後，營養供應增加，同時稀釋累積的有害代謝物；細菌可再次繁殖，種羣數目增加。經過一段時間，養分再次耗盡或廢物累積，種羣再進入穩定期。

注意原卷的小問是 b(iii)，官方評分頁誤印為 b(iv)，此處按原卷身份記錄。增加的是之後可支持的種羣數量；若談加入等體積時的瞬間濃度，會先被稀釋，不應把密度瞬變與後續細胞總數增長混為一談。

評卷報告提醒（原資料第 2 頁）

病毒低峯期不是像細菌一樣適應環境的遲滯期；細菌無壁時不能抵抗吸水膨脹。寫測量方法不能只給儀器名。

評分依據：HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 8 頁。

VII.d　微生物的有害影響與控制

先讀「知 VII.d」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　以抑菌、存活與食品資料作有限度推論

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

① 在相同材料和比較條件下，較大的透明抑菌區可支持該處理較能抑制附近微生物生長；區域大小還會受物質擴散等因素影響，不能不經條件核對便比較完全不同試驗。食品重新加熱可減少某些活微生物，卻不保證已存在的全部毒素消失。

② 抗藥性增加則可由原有變異在選擇壓力下較易存活繁殖解釋，不是細菌為了需要而主動製造指定變異。

點石成金　先分清量度的是生長受抑、活微生物存活還是毒素；把結論限於對照及量度所支持的範圍。

例 1　[HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 3 題]

就食物中毒而言，壽司是一種高風險食物。經由進食壽司引致食物中毒的其中一種病原體是 *Bacillus cereus*。這種病原體的生長條件如下表所示：

	範圍	最適
pH	5 - 8	6 - 7
温度	10°C - 49°C	30°C

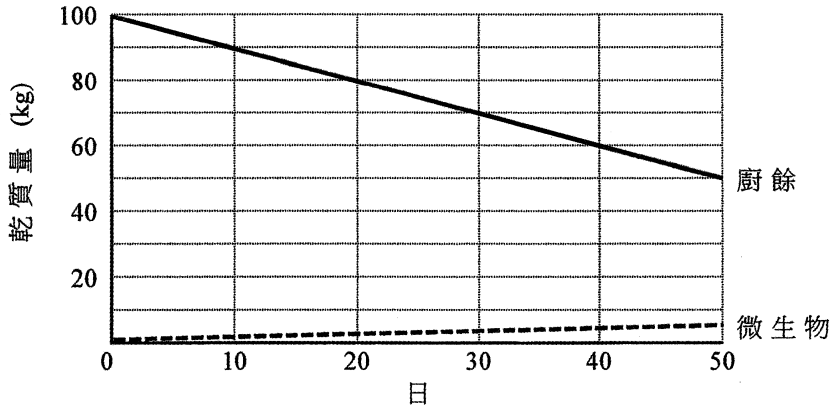
(i) 為什麼壽司本身是一種高風險食物？舉出**兩項**理由。　(2 分)

(ii) 為了令壽司更可口，在製造過程中會加入醋。事實上，如果加添足夠的醋，可有助提高食物的安全性。試加以解釋。　(2 分)

(iii) 簡述如何透過實驗量度 *B. cereus* 在不同 pH 條件下的生長。　(4 分)

(iv) 有些壽司餐館用迴轉傳輸帶將壽司送經每張餐桌。解釋為什麼這種送遞壽司的方法會增加食物中毒的風險。　(2 分)

在自然生態系內，細菌和真菌將已死的生物腐化，並釋放礦物質到環境中供其他生物使用。堆肥就是利用這種生物活動來處理廚餘。下圖顯示廚餘乾質量隨着時間的變化，以及在同一時段內生長在廚餘上微生物的乾質量變化：



(i) 解釋廚餘乾質量的整體變化和生長在廚餘上微生物的乾質量變化。 (4 分)

(ii) (1) 寫出在第 0 天和第 50 天廚餘和微生物的總乾質量。 (1 分)

(2) 解釋在 (1) 答案所反映出的廚餘和微生物總乾質量的變化。 (4 分)

(iii) 寫出經過處理的廚餘在日常生活中的**一種**用處。 (1 分)

解答 **(a)(i)；原評分 2 分**

壽司常含未經煮熟的原料，微生物未被加熱殺死；製作時手部直接接觸也增加污染機會。

兩項理由須彼此獨立。也可指出營養豐富有利微生物增殖。『壽司好吃』不是微生物學理由；要寫出病原體如何仍存在或如何進入食品。

(a)(ii)；原評分 2 分

足量醋使 pH 降至該菌適宜生長範圍以下，例如低於 5，抑制其生長。

原表給出生長範圍 pH5–8、最適 pH6–7。醋提供酸性條件，若確實使最終 pH 降到範圍外，細菌較難增殖。只說加醋改變味道，沒有回應所給生長數據。

(a)(iii)；原評分 4 分

以不同 pH 的相同培養基作比較，接入相同初始菌量，在相同溫度和時間後，用混濁度或細胞數比較生長。

這是實驗設計題：唯一自變量是 pH；培養基成分與體積、初始菌量、溫度和培養時間須一致；因變量可用光密度或計數表示，並設重複以提高可靠性。按原題提供的條件，可固定 30°C 及 24 小時作比較。此處以設計原理作答，無需額外擴展培養細節。

(a)(iv)；原評分 2 分

壽司長時間留在室溫，細菌可大量繁殖或產生毒素，增加食物中毒風險。

輸送帶的關鍵是延長暴露在有利生長溫度的時間。微生物數量及可能的毒素量隨時間累積，食用時因此更可能引致感染或中毒。

(b)(i)；原評分 4 分

廚餘乾質量持續下降，微生物乾質量持續上升。微生物分解廚餘，再吸收分解產物合成自身物質並繁殖。

第 0 日至 50 日，廚餘約 100→50kg，而微生物約 0→5kg。分解把大分子轉成可吸收的小分子，部分被用來形成新細胞，因此一條線下、另一條線上。不能把廚餘減少全都當成轉成微生物，因為兩者變化量不相等。

方法：先分抑制生長、存活與毒素三種量度。

(b)(ii)(1)；原評分 1 分

第 0 日約 100kg；第 50 日約 55kg。

每個時間點都把廚餘與微生物相加：起點 100＋約 0；終點 50＋約 5。不可只抄廚餘一條線。

(b)(ii)(2)；原評分 4 分

總乾質量減少，因為微生物呼吸把部分有機碳轉成二氧化碳，氣體逸散到空氣中。廚餘的一部分成為微生物生物量，另一部分被呼吸消耗；產物中的 CO_2 離開堆肥，故留在系統內可稱到的乾物質減少。已經量乾重，不能用水分蒸發來解釋這 45kg 的乾重差。硫化氫和二氧化硫並非含碳氣體，不應把它們寫成有機碳的直接去向。

(b)(iii)；原評分 1 分

用作堆肥或土壤改良材料。

分解後的材料可為土壤補充有機質及部分礦物養分。回答一項用途即可，無須重述全部分解過程。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

堆肥總乾重的下降要先把所有成分相加，再解釋有機碳經呼吸轉成二氧化碳離開；乾重已排除水分，不能歸因於水蒸發。

評分依據：HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

練習 VII.a　微生物學

對應題型 1 由生長曲線、光密度與菌落估計微生物

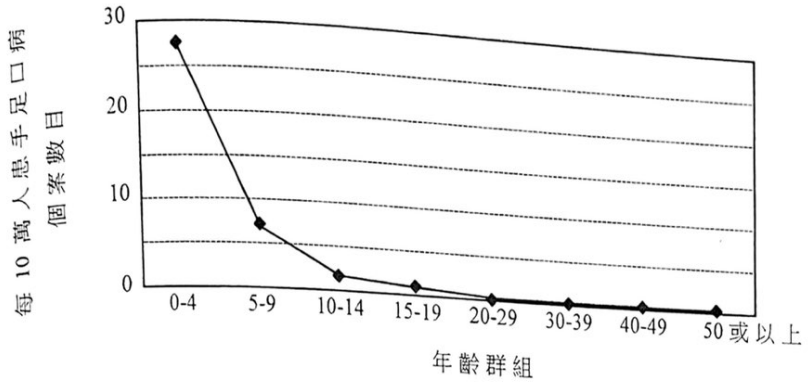
綜合程度 ★★★☆☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 3 題]

提示：先看尺度，再分光密度、細胞數與菌落。

(a) 手足口病是由一種病毒感染所致，病毒是經由接觸受感染者的糞便或分泌物而傳播。2008 年本港曾爆發手足口病。下圖顯示在該次爆發期間手足口病個案的數目：

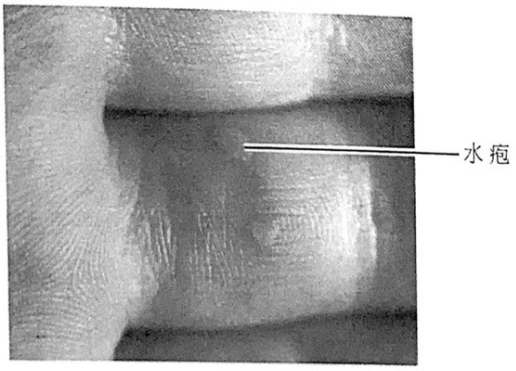


(i) 在 20 歲以下的年齡群組中，手足口病個案的數目如何隨着患者的歲數改變？ (2 分)

(ii) 就 (a)(i) 所描述的變化，提出**兩項**解釋。 (2 分)

(iii) 抗生素能否有效治療手足口病？試加以解釋。 (2 分)

(iv) 手足口病其中一種症狀是患者的口腔內、手掌和腳掌長出水疱。已知水疱內的液體含大量病毒。以下照片顯示手指上的一些水疱：



參考病毒的生活週期，描述水疱內的大量病毒是如何形成。 (4 分)

(b) 食物安全中心制定指引，以評估某些即食食品的安全和質素。其中一種評估方法是估量每 1 克食物樣本所形成的細菌菌落數目。表 1 顯示按照該指引而劃分的食物質素等級。表 2 顯示由本地食肆收集的壽司樣本的菌落數目。

表 1

每 1 g 食物樣本的菌落數目	食物質素等級	建議
<1 000 000	滿意	不會採取任何行動
1 000 000 – <10 000 000	尚可	仍然可供人們進食
≥ 10 000 000	不滿意	考慮找出高菌落數目的原因

表 2

壽司樣本	每 1 g 食物樣本的菌落數目
A	610 000
B	11 240 000
C	9 800 000
D	16 000 000
E	140 000

(i) 根據食物安全中心的指引，列出食物質素屬不滿意的壽司樣本。 (1 分)

(ii) 雖然有些壽司樣本的食物質素屬不滿意，但進食這些壽司樣本未必會引致食物中毒或感染。以數算細菌菌落數目作為食物安全的指標，這做法有什麼局限性？ (1 分)

(iii) 提出壽司樣本出現高菌落數目的**一個**可能原因。 (1 分)

(iv) 以下流程表顯示對壽司樣本進行需氧細菌菌落計數的主要步驟：

將 50 g 樣本攪碎，以製備 500 mL 的儲備溶液

↓

將儲備溶液連續稀釋 (10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4})

↓

將每一稀釋溶液散布在營養瓊脂板上

↓

在 30°C 下培養 48 小時

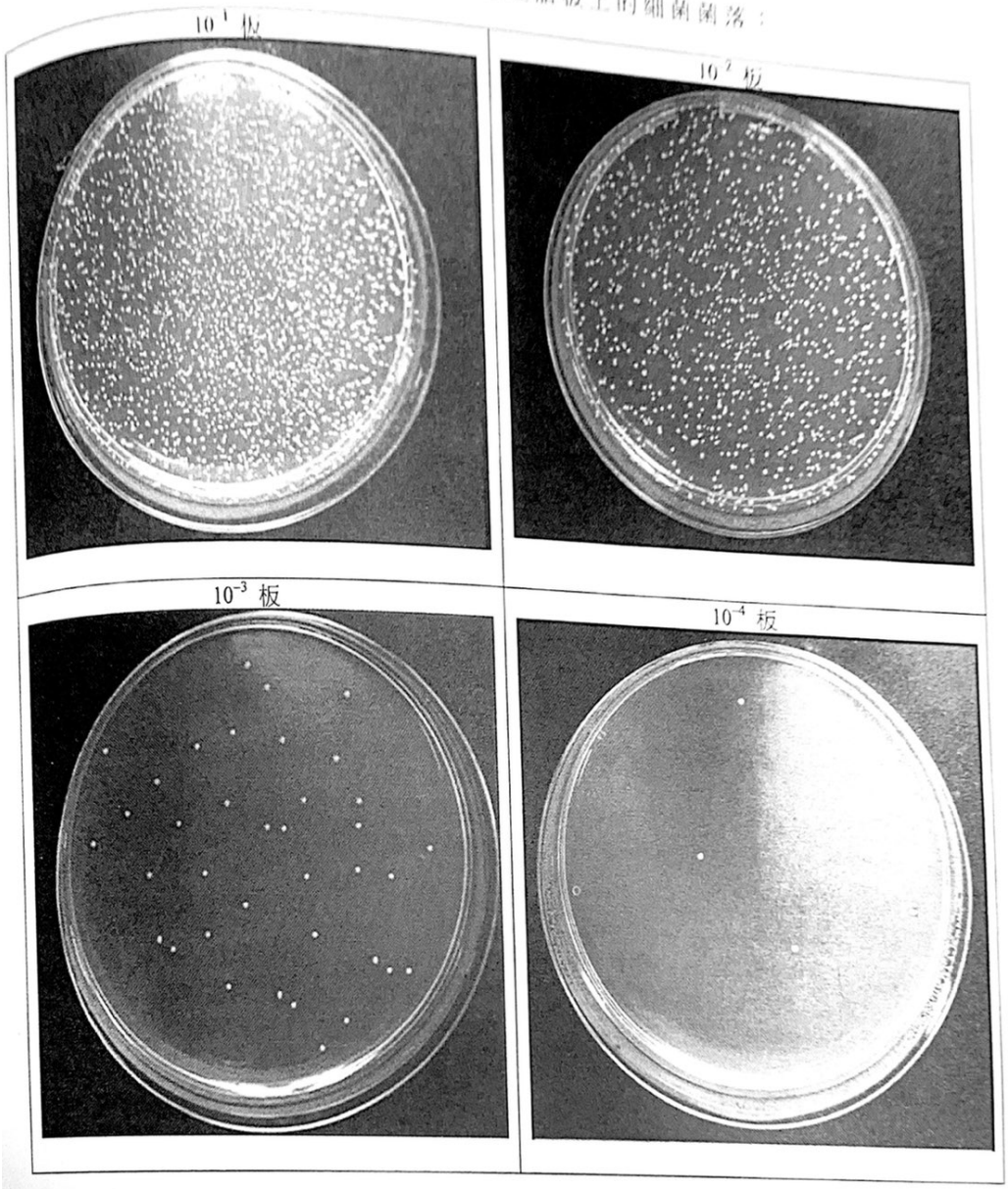
↓

數算所形成的細菌菌落數目

↓

計算需氧細菌菌落計數

以下照片顯示經培養後，在四塊瓊脂板上的細菌菌落：



(1) 應該選擇哪一塊瓊脂板數算所形成的細菌菌落數目？解釋為什麼其他瓊脂板不適合用作數算。 (3 分)

(2) 數算所選擇的瓊脂板的細菌菌落數目，再進一步計算每克壽司樣本所形成的細菌菌落數目。 (2 分)

(3) 在上述過程中，應採用無菌技術避免污染。描述將溶液散布在瓊脂板上時所採用的**一種**無菌技術。解釋所涉及的原理。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

在 20 歲以下，手足口病病例數隨年齡組增加而下降；0–4 歲至 10–14 歲之間下降較大，其後至 15–19 歲下降較少。

不只列各點的數字，還要比較下降程度。縱軸是每 10 萬人的病例數，代表把不同年齡組規模標準化後的比較，不是說年長組本來人數較少。題目限定 20 歲以下，答案可集中在這四個年齡組。

a(ii)；原評分 2 分

年長兒童的個人衞生習慣通常較好，較少經受污染物接觸感染；免疫系統較成熟，也較能抵禦感染。

兩項要是不同原因。勤洗手和較少把手放進口都屬衞生行為的同一方向，不宜只改字眼當作兩種獨立解釋。另一可接受原因是部分年長者曾感染過相應病毒，已形成免疫記憶。這些是能解釋資料的可能因素，圖本身沒有分別量度它們。

a(iii)；原評分 2 分

抗生素不能有效直接治療造成手足口病的病毒。

抗生素主要針對細菌特有結構或過程，殺死細菌或抑制其生長；手足口病的病原體是病毒，不具有同樣的作用靶點。理由是病毒與細菌的差別，並非「這株病毒已對抗生素產生抗藥性」。

a(iv)；原評分 4 分

病毒先附着於合適宿主細胞並把核酸帶入；利用宿主合成系統複製核酸及製造病毒蛋白；新成分組裝成大量病毒，宿主細胞裂解或釋放病毒，使水皰液含有大量病毒。

題目要把病毒生活週期接到水皰液的結果。病毒在表皮等適當宿主細胞內取得複製所需條件，並非在水皰液中像細菌一樣自行二分裂。最後要寫新病毒由受感染細胞釋出，才能解釋為何液體內含大量病毒。

b(i)；原評分 1 分

B 和 D。

不滿意門檻為每克至少 10,000,000 個菌落形成單位。B 為 11,240,000，D 為 16,000,000，都超過門檻；C 為 9,800,000，雖接近但仍低於門檻，不能四捨五入後把它歸入不滿意。

b(ii)；原評分 1 分

總菌落數不能分辨其中是否存在致病細菌，所以高計數不必然表示會造成感染或食物中毒。

這個方法數到的是在指定培養條件下能形成菌落的活微生物，其中可包括非致病者。主要限制是沒有辨認致病性，不應說平板同時把死細菌也數成菌落；死細菌不能在培養時繁殖形成菌落。

b(iii)；原評分 1 分

壽司未適當冷藏，例如貯存溫度高於 4°C，讓微生物較容易增殖。

溫度升高可使許多食物污染微生物的代謝和繁殖加快，原來少量菌在儲存期間變成較高數量。亦可用處理者雙手污染、環境污染或原材料帶菌量高作合理原因；每個原因要連到菌數增加。

b(iv)(1)；原評分 3 分

選 10^{-3} 稀釋的平板。

10^{-1}、10^{-2} 板菌落過多而密集，部分重疊，難以分清每個菌落，容易低估。10^{-4} 板只有很少菌落，即使只漏數或多數一個，相對誤差也很大。10^{-3} 板的菌落較分散且數目較適合計算，所以兼顧可辨認程度與抽樣可靠性。

b(iv)(2)；原評分 2 分

平板有 37 個菌落；按評卷參考的計算條件，原壽司樣本為 3.7×10^5 CFU/g。

先校正 10^{-3} 的稀釋倍數，再把 500 mL 儲備液對回 50 g 壽司。計算採用每板塗布 1 mL 的條件；原題流程沒有另外列出塗布體積，評卷參考的數值相當於使用這個條件。

儲備液濃度 = $37 \div 10^{-3} = 37{,}000$ CFU/mL。

整份儲備液的總數 = $37{,}000 \times 500 = 18{,}500{,}000$ CFU。

每克樣本的數量 = $18{,}500{,}000 \div 50 = 370{,}000$ CFU/g。

若另一實驗塗布的是 0.1 mL，第一步還須除以 0.1，不能直接照搬這個答案。CFU 表示可形成菌落的單位，不必然等於每一個獨立細胞。

b(iv)(3)；原評分 2 分

接種時只稍微打開培養皿蓋並盡量縮短開蓋時間，以減少空氣中的微生物落入培養基。

這是直接用在把溶液散佈到瓊脂板時的無菌技術。若外來微生物也長出菌落，會混入樣本計數而使結果偏高；因此要把操作與避免污染的原因連起來。只說「保持清潔」或「預先把整間房消毒」，未具體回答接種當時的做法。

資料說明

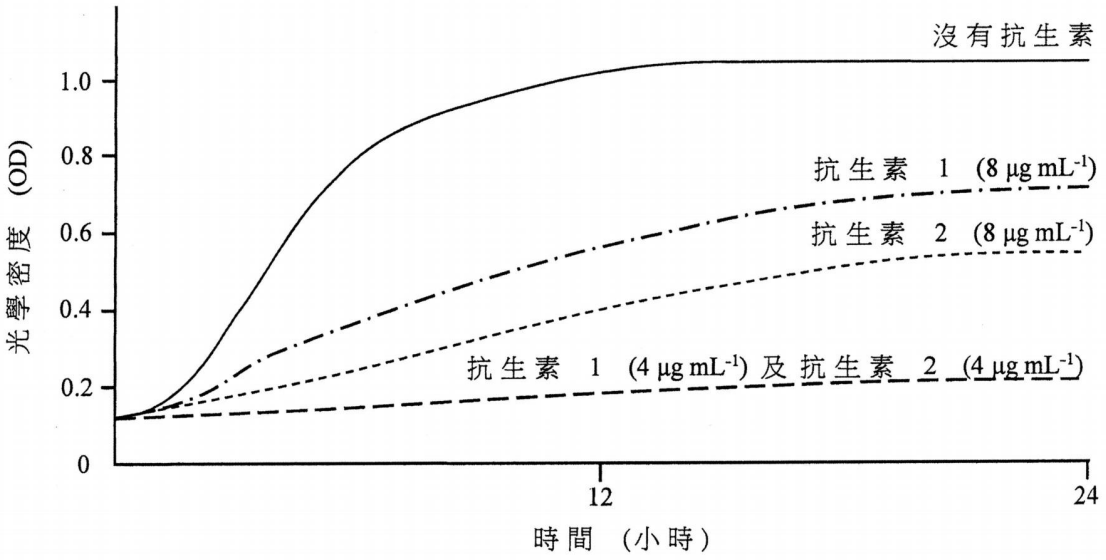
原題未明示塗布體積。官方參考 37÷10^-3÷50×500 的數值路線等同每板 1mL，詳解明示此條件，並給出其他體積的校正方法。

評分依據：HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 11 頁。

2. [HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 3 題]

提示：先看尺度，再分光密度、細胞數與菌落。

(a) 沙門氏菌感染會導致腹瀉，甚或死亡。現行的治療方法通常涉及使用抗生素。為了識別能對付沙門氏菌的抗生素，將一種或多種抗生素加進沙門氏菌培養液中，然後在 37 °C 培育，並監察其在 24 小時內的光學密度。結果顯示如下：



(i) 現有一只平板，內有數個沙門氏菌的菌落。描述上述實驗所需的預備步驟，使每一個培養達致相同的起始光學密度。 (3 分)

(ii) 比較所顯示的數據，當分別單獨使用抗生素 1 和 2 時，你對它們的效用有什麼結論？ (4 分)

(iii) 根據抗生素的作用，提出為什麼同時使用抗生素 1 和 2，能較有效抑制沙門氏菌生長。 (1 分)

(iv) 為探究益生菌於老鼠體內抵抗沙門氏菌感染的效應，進行一項實驗。以下圖表顯示所用的三種處理方法及結果：

裝置	處理方法	結果
A	以沙門氏菌餵飼老鼠	老鼠染病
B	以益生菌餵飼老鼠，一段時間後以沙門氏菌餵飼老鼠	老鼠健康
C	以益生菌餵飼老鼠，一段時間後以抗生素餵飼老鼠，再過一段時間，以沙門氏菌餵飼老鼠	老鼠染病

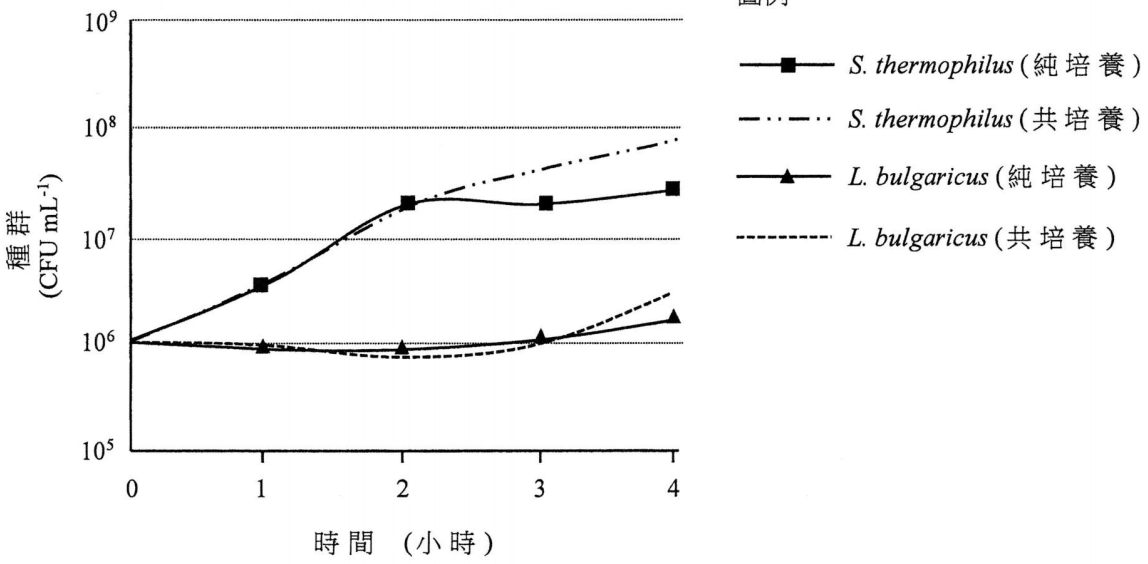
(1) 你對益生菌的效應有什麼結論？ (1 分)

(2) 就益生菌如何達致 (1) 所述的效應，提出**一種**途徑。 (1 分)

(3) 提出為什麼裝置 C 的老鼠會染病。 (1 分)

(b) *Streptococcus thermophilus* 和 *Lactobacillus bulgaricus* 這兩種細菌通常一起用作酸乳酪發酵。發酵過程中，牛奶所含的乳糖被轉化為乳酸。在一項實驗中，將兩種細菌分別單獨(純培養)或一起(共培養)加入牛奶中，然後以塗佈培養法量度每種細菌種群的生長(以每毫升菌落形成單位 CFU mL^{-1} 代表)。下圖 I 顯示實驗結果：

圖 I

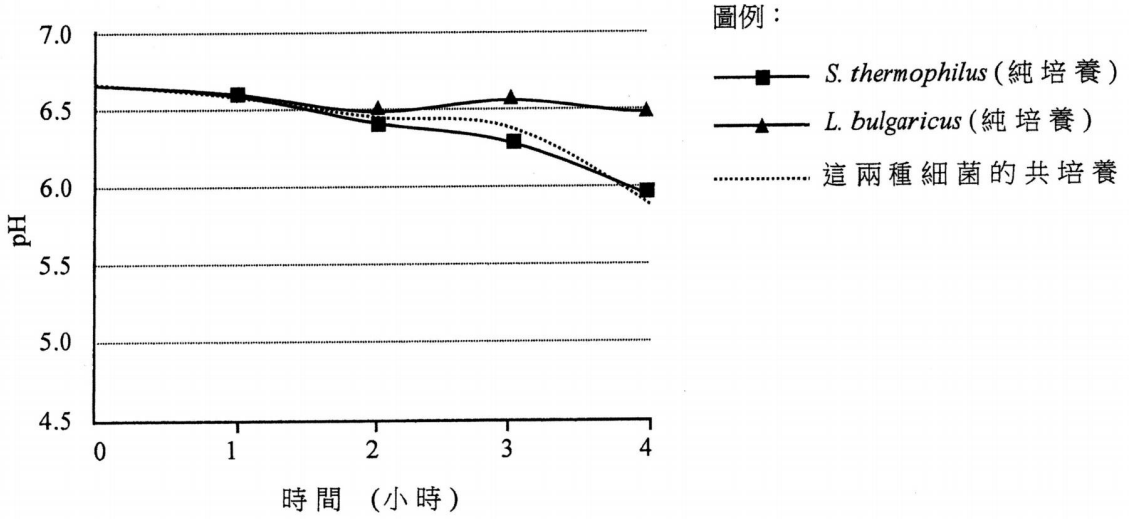


(i) 根據圖 I，提出在酸乳酪發酵過程中，這兩種細菌的關係。列舉證據以支持你的答案。 (2 分)

(ii) 根據圖 I，比較在共培養中這兩種細菌種群的生長趨勢。 (3 分)

(iii) 在同一實驗中，記錄培養的 pH 變化。下圖 II 及下表顯示實驗結果和最適合這兩種細菌生長的 pH：

圖 II



	最適 pH
S. thermophilus	6.5
L. bulgaricus	5.8-6.3

運用上圖 II 和上表內的資料，解釋圖 I 所顯示在共培養中 *L. bulgaricus* 的生長情況。 (2 分)

(iv) 除了在這個實驗所採用的塗佈培養法外，簡述可用於估算培養中活細菌種群的另一種方法。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 3 分**

公平比較的起點須一致：四組應具有相同的細胞來源、可比較的初始羣體及相同的樣本量，使加入不同處理前的光學密度相同。

此問針對相同起始光學密度。來源一致減少羣體本身的差異，均一的比較起點及等量分組則避免一開始細胞量不同；之後才可把圖中的差異用於比較處理效果。只列一般器材處理或改答終點計數，均未對準問題。

(a)(ii)；原評分 4 分

兩種抗生素單獨使用時，光學密度均低於無抗生素組，支持兩者均有抑制生長的作用。在圖中相同用量的單獨處理之間，抗生素 2 組的光學密度較抗生素 1 組低，支持 2 的抑制效果較強。

先做「每種單獨處理對無處理對照」的比較，再做「1 對 2」的比較。不能拿兩者合用的曲線來回答單獨使用何者較有效；光學密度較低也不等於已證明所有細胞死亡。

(a)(iii)；原評分 1 分

兩種抗生素可影響細胞內不同的生物過程，因此合用可呈現較強的抑制作用。

這是原圖所需的機制解釋，重點在作用過程不同。圖中藥物只以編號表示，不能據此推出真實藥物名稱或臨牀療效。

(a)(iv)(1)；原評分 1 分

圖表支持益生菌在此比較中有助減少小鼠感染。

比較 A 與 B：是否有先前的益生菌處理不同，結果也不同。結論限於本實驗所示情境。

(a)(iv)(2)；原評分 1 分

益生菌可與病原菌競爭腸道中的養分或附着位置，降低病原菌建立種羣的機會。

選一種具體機制說完整，不能只寫「益生菌有益」或把它當作抗體。

(a)(iv)(3)；原評分 1 分

抗生素可使有保護作用的益生菌減少，令原有保護作用減弱，所以 C 組仍患病。

由益生菌減少連到保護作用減弱，才可解釋表中結果；不要倒過來說益生菌本身引起該病。

(b)(i)；原評分 2 分

兩者互利。在共同條件下，兩種細菌後段的種羣均高於各自單獨條件，支持雙方受益。

每種菌都要與自身的單獨曲線比對；只指出其中一種增加不足以證明雙方互利。

(b)(ii)；原評分 3 分

共同條件下，S. thermophilus 在四小時內持續增加；L. bulgaricus 在頭三小時大致維持不變，從第三小時之後才明顯增加。

第三小時是後者的重要轉折，不能誤寫為第二小時。縱軸為對數尺度，等高距離代表相同倍數變化，並非相同的細胞數增加量。

(b)(iii)；原評分 2 分

頭三小時 S. thermophilus 的活動使 pH 下降；其後環境更接近 L. bulgaricus 的最適 pH 範圍，因此後者的種羣開始明顯增加。

把圖 I 的增長時段與圖 II 的 pH 下降配對，再用表內最適 pH 作解釋。只說「兩菌互相幫助」沒有指出哪項環境條件改變。

(b)(iv)；原評分 2 分

可用能區分活、死細胞的染色結果配合顯微計數，估計活細胞數；若使用已知容積的計數室，便可換算樣本中的活細胞濃度。

關鍵是先有活死區分的依據，再計數；直接看未經區分的細胞不能判斷哪些仍存活。原題已採用塗布培養法，所以不能再把同一方法當作另一種答案。

評卷報告提醒（原資料第 77 頁）

比較單獨處理時應選相應對照；共同條件下後一種菌的轉折是第三小時。最後一問需要能區分活死的另一種估計方法，不能只說直接看未染色細胞。

評分依據：HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 63、64 頁。

練習 VII.b　微生物的用途

對應題型 1 追蹤微生物利用底物、產物與種羣變化

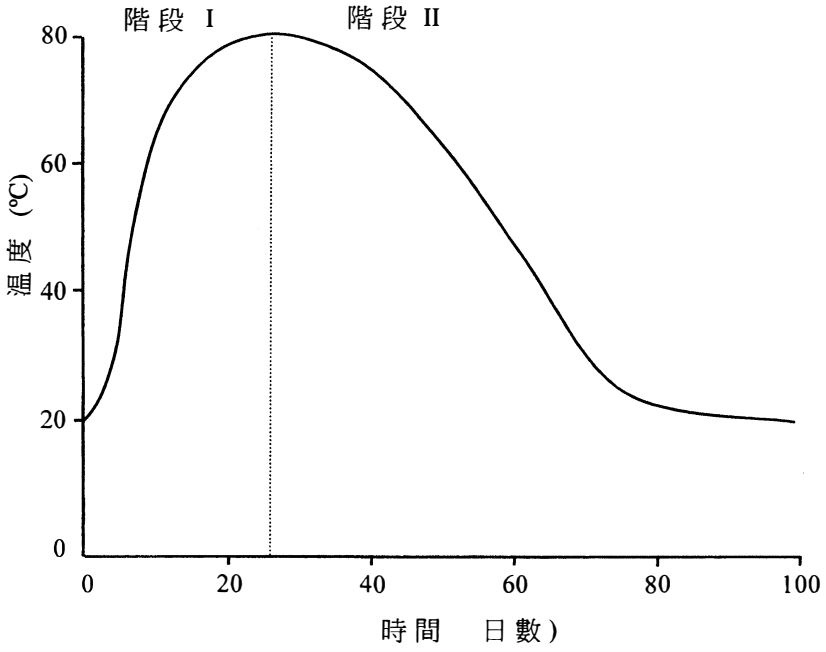
綜合程度 ★★★★☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 3 題]

提示：沿底物、微生物及產物解釋各時段。

a) 庭園堆肥能有效地把廚餘改變成肥料。做法是把適量的廚餘和含有各種活躍的微生物的土壤混合。下圖顯示在爲期 100 天內堆肥的溫度變化：



(i) 描述並解釋階段 I 和階段 II 堆肥內溫度的變化。 (5 分)

(ii) 在階段 I 堆肥內的微生物多樣性會減少。參考曲線圖，試爲這種情況提出一項解釋。 (2 分)

(iii) 1) 廚餘需要切成小塊，才與土壤混合。這做法有什麼目的？ (1 分)

2) 爲使堆肥的過程有效地進行，需要充分和不斷攪拌廚餘和土壤的混合物。試解釋這樣做的重要性。 (3 分)

(b) 黑麴菌是一種令生果腐壞的真菌，它們在生果表面形成菌落時，會分泌一種果膠酶，這種酶可用於生產果汁。

(i) 參考真菌的特徵，解釋黑麴菌如何利用果膠酶獲取生果內的營養素。 (4 分)

(ii) 根據果膠酶的作用，試提出爲什麼以果膠酶生產的果汁

(1) 有較高產量和 (1 分)

(2) 營養較豐富。 (2 分)

(iii) 人類進食受微生物污染的食物後，可能會出現食物傳染或食物中毒現象。試指出食物傳染和食物中毒的分別。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 5 分**

階段 I 溫度由約 20°C 升至 80°C，因微生物分解有機物並呼吸，釋出大量熱。階段 II 溫度逐漸降回約 20°C，因養分減少及代謝廢物累積，微生物活性和呼吸速率下降，產熱減少。

每階段都需先描述變化，再給機制。溫度下降不是自動錶示分解完全停止，而是淨產熱減少並逐漸與環境散熱平衡。

a(ii)；原評分 2 分

不同微生物對高溫的耐受程度不同；溫度上升使不耐熱的物種不能存活，留下較耐熱的物種，因此物種多樣性下降。

這是對現有差異的篩選，不是每一個微生物因需要而立即變成耐熱的新物種。

a(iii)(1)；原評分 1 分

切成小塊增加總表面積，讓微生物及其分泌的酶有更多接觸和分解的部位。

相同總體積切碎後，表面積與體積比上升。

a(iii)(2)；原評分 3 分

攪拌使氧氣持續進入堆肥，讓微生物進行需氧呼吸並取得較多能量，從而支持較快的活動和有機物分解。

只寫「混勻」不足以說明加快堆肥的生理原因；空氣供應是本題核心。

b(i)；原評分 4 分

黑麴菌分泌果膠酶，在體外分解果膠，使植物細胞壁及細胞間的黏合結構鬆開；菌絲因此可長入水果更深處，再分泌消化酶，把有機物分解成可溶的小分子並吸收。

真菌進行體外消化，不能像動物一樣把整塊食物吞入細胞內。說明酶在外部作用、組織被打開、菌絲深入及吸收營養。

b(ii)(1)；原評分 1 分

果膠結構被分解後，細胞內容物較易釋出，能榨出更多果汁。

產量增加來自更有效釋放原有汁液，並不是酶創造出新的水果細胞。

b(ii)(2)；原評分 2 分

酶處理釋出原本被植物細胞壁包圍、人體較難取得的營養物；人體消化系統缺少能有效分解這些細胞壁結構的酶，因此經處理後的汁液可含較多可利用營養。

果膠酶並非維生素，也不是直接給果汁添加大量新營養，而是提高細胞內物質的釋放。

b(iii)；原評分 2 分

食物傳染是吃入的病原體在體內繁殖並引起疾病；食物中毒則可由食物中已形成的微生物毒素引起，即使病原體沒有在體內繁殖也可能致病。

區分的是主要致病原因：活的病原體感染，或預先存在的毒素作用。

評卷報告提醒（原資料第 4 頁）

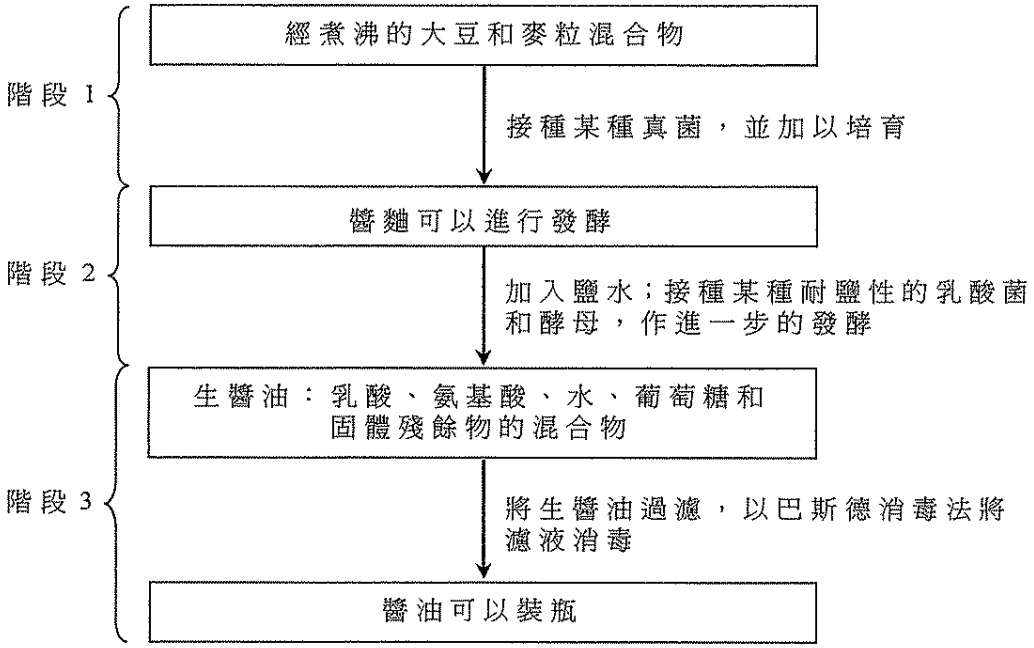
堆肥曲線是溫度而非種羣生長曲線；攪拌供氧促進需氧呼吸及分解。果膠酶須聯繫體外消化和釋放細胞內容物。

評分依據：HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

2. [HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 3 題]

提示：沿底物、微生物及產物解釋各時段。

(a) 醬油是將大豆、麥粒、水和鹽的混合物進行發酵而製成的。釀製醬油包括三個階段：將某種真菌和已煮沸的大豆及麥粒一起培育，產生醬麴；將鹽水加入醬麴，進行發酵；以巴斯德消毒法將生醬油消毒，然後裝瓶。以下流程圖概述釀製醬油的過程：



(i) 對階段 2 而言，爲什麼階段 1 是一個必要的預備步驟？試加以解釋。 (2 分)

(ii) 解釋在階段 2 將鹽水加入混合物的重要性。 (2 分)

(iii) 爲什麼在階段 3 必須要以巴斯德消毒法將生醬油消毒？ (2 分)

(iv) 在涉及微生物的食品製造過程中，會採用無菌操作。舉出無菌操作的原理。 (3 分)

3. (b) 大腸桿菌是天然存活於人類腸道內的一種細菌。

(i) 圖 1 顯示一個大腸桿菌被微生物 M 所感染。圖 2 是圖 1 局部放大後的圖像。

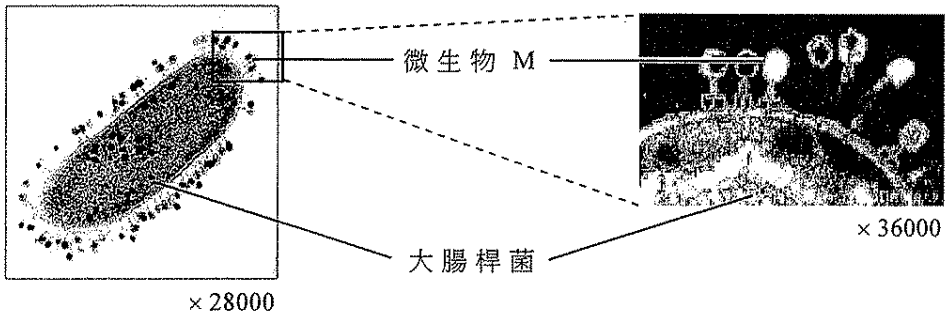


圖 1　　圖 2

(1) 識別微生物 M。根據以上圖片，舉出大腸桿菌和微生物 M 的**一項**可見差別。 (2 分)

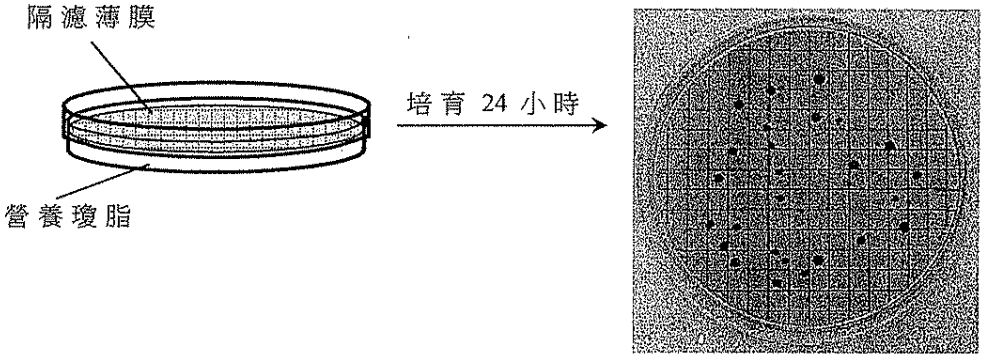
(2) 簡述圖 2 所顯示正進行的事件。 (2 分)

(3) 在大量生產人類胰島素的過程中，大腸桿菌經基因改造後，會載有人類胰島素基因。解釋爲什麼細菌(例如大腸桿菌)適用於重組 DNA 技術。 (2 分)

(ii) 大腸桿菌是用來顯示水污染的指示生物。若一個海灘的每 100 cm^3 海水中的大腸桿菌數目超過 1600 個，環境保護署會將該海灘的評級定爲「極差」，一個「極差」的海灘並不適合游泳。

(1) 試指出爲什麼人們在一個「極差」的海灘游泳會對其健康構成風險。 (1 分)

(2) 一名學生由某海灘收集一個水樣本，用來測定其中的大腸桿菌數目。他以隔濾薄膜將 50 cm^3 水樣本過濾，細菌便被隔濾薄膜截留。隨後將隔濾薄膜置於適合大腸桿菌生長的營養瓊脂平板上，培育 24 小時。這個步驟和培育後的結果如下圖所示：



(I) 解釋這個方法如何能用於測定水樣本中大腸桿菌的數目。 (2 分)

(II) 計算每 100 cm^3 水樣本中大腸桿菌的數目。根據你的計算結果，評定這個海灘是否屬於「極差」。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

階段 1 的真菌分泌酶，把大豆及小麥的大分子食物分解成較小的可利用物質，例如蛋白質分解成氨基酸、澱粉分解成糖，為階段 2 的細菌及酵母提供發酵原料與生長所需營養。

先在原料上作體外消化，後來的微生物才有合適底物；並非階段 1 已把所有營養完全消耗掉。

a(ii)；原評分 2 分

高鹽環境形成選擇性條件，抑制不耐鹽的不良微生物，同時讓題目指定的耐鹽乳酸菌及酵母進行所需發酵。

不是鹽把所有微生物都殺死，否則階段 2 就無法發酵。

a(iii)；原評分 2 分

巴斯德消毒降低活微生物數目，並使部分殘留酶失活，減慢繼續發酵或其他改變，保持風味及品質穩定；適度處理也減少過度高熱對產品成分的改變。

主要理由是控制微生物及後續反應，不應寫成一定完全滅菌，也不應說氨基酸本身像酶一樣被「變性」。

a(iv)；原評分 3 分

保持工作區及設備清潔並適當消毒；防止非目標微生物進入原料或製品；處理產品的人員採取合適衞生措施，例如洗手、穿清潔工作服及遮蓋口鼻以減少污染。

三分是操作原則而非把每個實驗步驟再抄一遍。

b(i)(1)；原評分 2 分

M 為病毒／噬菌體；它比大腸桿菌小得多，且有頭、尾結構，而大腸桿菌呈桿狀。

只需一項照片可見差異；不能用圖片看不到的代謝能力當作可見證據。

b(i)(2)；原評分 2 分

噬菌體先吸附在細菌表面，再把核酸注入細菌。

蛋白外殼大部分留在外面，進入的不是整個頭尾結構。

b(i)(3)；原評分 2 分

細菌具有可作載體的質粒，便於把外源基因引入；細菌繁殖快，可在短時間培養出大量細胞製造所需產物。也可答培養條件清楚而易控制。工程用的是選定、已知安全特性的菌株，不能推成所有大腸桿菌都不致病。

b(ii)(1)；原評分 1 分

高大腸桿菌讀數提示糞便污染較嚴重，水中可能有其他致病微生物，游泳時吞入或接觸可帶來感染風險。

指標數量提供污染線索，不是所有大腸桿菌必然直接致病。

b(ii)(2)(I)；原評分 2 分

薄膜把水中的細菌截留；培養時每個能形成菌落的活細胞或細胞團增殖成可見菌落，計數菌落可估計原水樣中的可培養活菌數。

以菌落形成單位作近似，不是把每個菌落內已增殖的每顆細菌再算作原樣本的一顆。

b(ii)(2)(II)；原評分 2 分

圖中 26 個菌落來自 50cm^{3}水，換算 100cm^{3}為 26×100/50=52 個。52 遠低於題定 1600 個／100cm^3，因此按這項歷史判準並非「極差」。

分母與取水量必須一致；判定只依題中這項指標，不代表本題能排除所有其他污染。

評分依據：HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 13 頁。

3. [HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 3 題]

提示：沿底物、微生物及產物解釋各時段。

釀製啤酒包含一些涉及生物活性的步驟，如下所示：

步驟	描述
麥芽製造	將大麥浸在水中 2 天，在這過程完結時，將糖溶液收集起來。
培養酵母	將小量酵母與糖溶液混和，並連續數小時將空氣泵入混合物中。
酵母發酵	停止泵氣，然後讓混合物發酵數天。

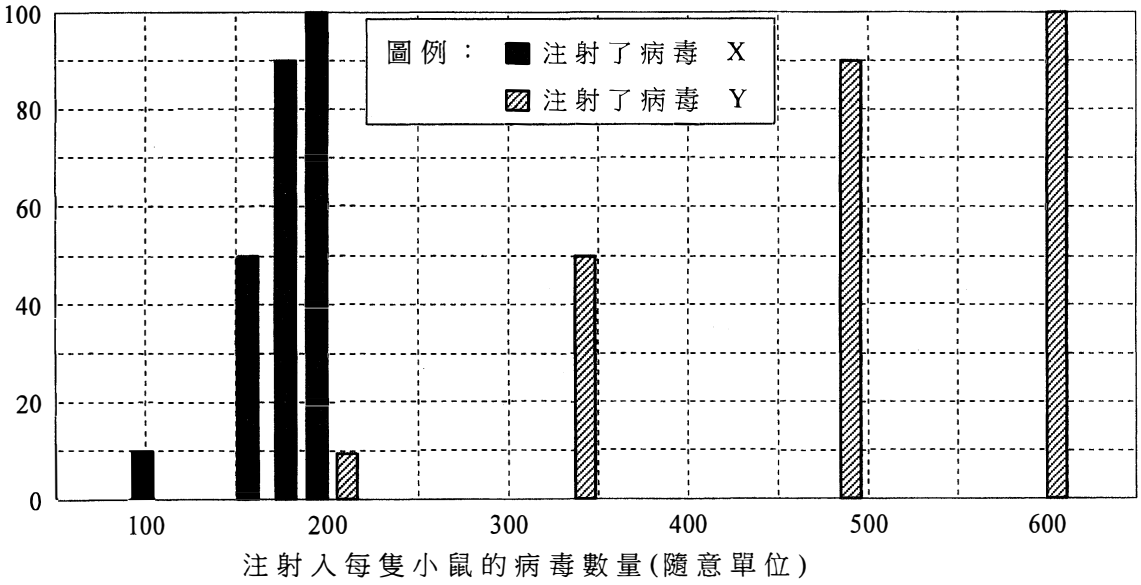
(i) 寫出酵母發酵的簡單文字方程式。 (2 分)

(ii) 描述在麥芽製造期間大麥穀粒的變化。為什麼這對其後的發酵步驟是必需的？ (4 分)

(iii) 解釋在培養酵母時不斷將空氣泵入混合物的重要性。 (3 分)

(iv) 發酵產物怎樣構成啤酒的特性？ (2 分)

進行一項實驗以研究病毒 X 和 Y 對宿主的致死效應。把不同數量的病毒注射入不同組別的小鼠。下圖顯示每隻小鼠所注射的病毒數量與 24 小時後每組小鼠的死亡率之間的關係。



(i) 參考上圖，比較病毒 X 和 Y 對小鼠致死效應的相同及相異之處，從而推斷哪病毒對小鼠有較強的致死效應。 (3 分)

(ii) 提出為什麼有些病毒較其他病毒有較強的致死效應。 (2 分)

(iii) 簡述病毒如何能在小鼠體內繁殖。 (4 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 2 分**

簡單糖（如葡萄糖）→ 乙醇＋二氧化碳。

酵母在缺氧時以酒精發酵取得少量能量，主要可見產物是乙醇和 CO_2。這裏要求簡單文字方程式，不能把乳酸當作啤酒酵母的主要發酵產物。

(a)(ii)；原評分 4 分

大麥吸水萌發，誘導或活化酶的製造；酶分解澱粉等儲備成簡單糖，為後續酵母增殖和發酵提供糖源。

大麥的儲藏主要是澱粉，而酵母不能直接高效利用整顆大麥中的澱粉儲備。麥芽製造把儲藏轉成可利用糖，所以這一步要先於發酵。不能只說吸水讓麥粒變軟。

(a)(iii)；原評分 3 分

前期供氧容許酵母進行需氧呼吸，取得較多能量繁殖，形成較大的菌羣，支援後續較快發酵。

需氧增殖與後續缺氧發酵目的不同。先增加能工作的酵母數，之後停止通氣，才把糖更多轉向所需發酵產物。不要寫成酒精發酵本身需要氧。

(a)(iv)；原評分 2 分

乙醇形成酒精成分及相關氣味；二氧化碳形成氣泡。

把兩項產物各連到一項啤酒特性即可。酵母雖也產生其他風味物質，本題兩個主要得分點是乙醇和 CO_2。

(b)(i)；原評分 3 分

兩者的注入量增加時，24 小時後死亡率都上升；X 在較低量即達到相同死亡率，所以 X 對小鼠的致死效應較強。例如圖中 X 約 200 相對單位可達 100% 死亡，Y 約 600 才達同一水平；達 50% 時 X 也明顯較低。結論須限定於此小鼠及觀察時段，不代表可直接推出對人類的效應。

(b)(ii)；原評分 2 分

不同病毒攻擊的細胞類型可不同；若感染維持生命的重要器官或系統，損傷後果可能更嚴重。

這是機理推論題，可選一條完整理由。也可說複製速度不同使同一時間內的組織損傷不同；不能只把『較強』換成『毒性更大』而沒有解釋。

(b)(iii)；原評分 4 分

病毒附著並進入合適宿主細胞，釋出遺傳物質；利用宿主的物質及合成系統複製基因組、製造病毒蛋白，組裝後釋放並感染其他細胞。

病毒本身不能靠獨立的細胞代謝繁殖，必須利用宿主。按附著／進入→複製及蛋白合成→組裝→釋放的順序寫；不同病毒可經裂解或出芽等方式釋放，不宜把所有動物病毒都說成像噬菌體一樣只注射 DNA、外殼留外面。

評卷報告提醒（原資料第 6 頁）

製麥芽時吸水啟動萌發，酶把貯存物質轉為糖，糖才供後續發酵。病毒致病性的比較要把複製速率與宿主組織受損連結，不能只各自抄一遍死亡率。

評分依據：HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

練習 VII.c　微生物遺傳學

對應題型 1 以宿主專一性與對照理解病毒和菌羣

綜合程度 ★★★☆☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 3 題]

提示：先辨宿主及對照，再限制可成立的結論。

3(a) 李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*) 是一種經食物傳播的病原體，常見於不同的食品。需冷藏的即食食品，例如鮮奶和乳酪等，屬傳播李斯特菌的高危食品。下表列出這細菌生長的溫度範圍：

	下限	最適	上限
溫度 (°C)	-1.5	30 - 37	45

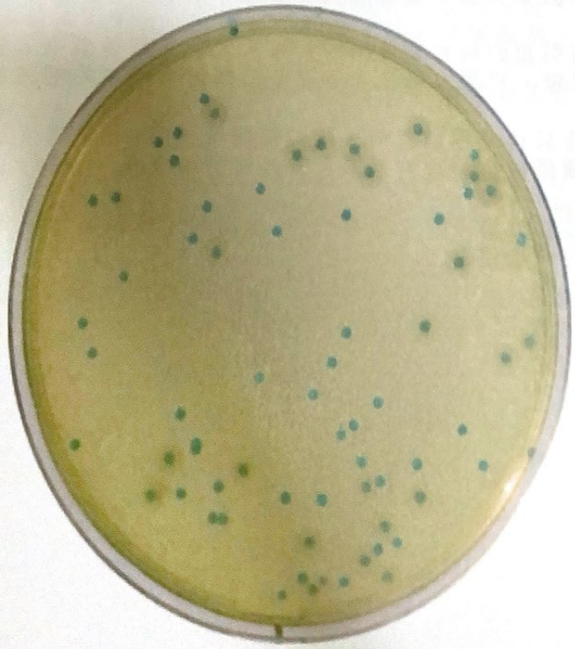
(i) 參考以上資料，解釋為什麼這細菌常經由鮮奶和乳酪傳播，並感染人類。 (4 分)

(ii) 巴斯德消毒法是保存鮮奶的常用方法。

(1) 描述用於鮮奶的巴斯德消毒法的過程。 (2 分)

(2) 解釋為什麼巴斯德消毒法能殺死這細菌。 (1 分)

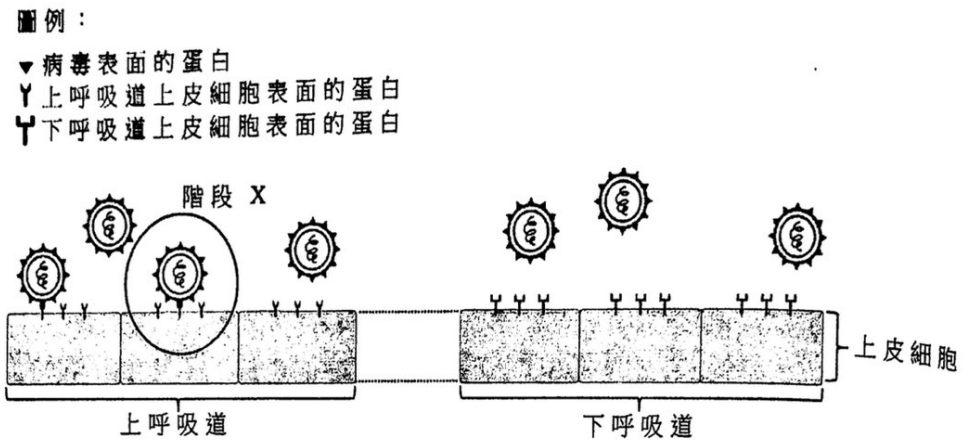
(iii) 要檢查食物內有否李斯特菌，可使用具有選擇性培養基的瓊脂板。選擇培養基只容許李斯特菌屬 (*Listeria*) 的物種生長，而在李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*) 的菌落周圍會出現不透明的地區。以下照片顯示在具有選擇培養基的瓊脂板上所形成的菌落：



(1) 數算李斯特菌的菌落數目。 (1 分)

(2) 為避免污染環境，試提出在實驗後棄置瓊脂板時應採用的一項安全措施。 (1 分)

3(b) 病毒具宿主專一性，因為它們只能感染某些類型的細胞。下圖顯示某病毒，它只能感染人類上呼吸道的上皮細胞而不能感染人類下呼吸道的上皮細胞：



(i) 參考病毒的生活週期，描述階段 X 內發生什麼事情。 (1 分)

(ii) 利用你對蛋白構造的認識，解釋為什麼這病毒只能感染上呼吸道的上皮細胞而不能感染下呼吸道的上皮細胞。 (2 分)

(iii) 魚類及豬隻可能帶有牠們自己的病毒。一種物種所帶有的病毒經一連串的突變後，可感染其他物種。當食品內有魚類的病毒或豬隻的病毒時，哪種病毒感染人類的機會較大？試加以解釋。 (3 分)

(iv) 由微生物引起的經食物傳播的疾病，尤其是細菌感染，是一個嚴重的食物安全問題。科學家提出利用噬菌體消滅食物中的細菌病原體。

(1) 即使只有一個細菌病原體被噬菌體感染，噬菌體也能把食物中的整個細菌病原體種群消滅。試描述這個過程。 (4 分)

(2) 參考病毒感染宿主的專一性，指出利用噬菌體消滅食物中細菌病原體的一項優點。 (1 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 4 分**

此細菌能在冷藏溫度生長，而即食奶類或乳酪可能不經烹煮便食用。

表中最低生長溫度為 −1.5°C，低於雪櫃常見的約 4°C，故冷藏不能保證阻止其繁殖。若食物已受污染而食用前沒有足夠加熱，細菌便可能仍存在而隨食物進入人體。要把溫度資料與即食的處理方式分別連到傳播機會。

a(ii)(1)；原評分 2 分

把牛奶短時間加熱至約 75°C，然後迅速冷卻至約 10°C。

本卷評卷參考採用短時高溫後迅速冷卻的巴斯德消毒程序。它旨在降低有害微生物數量，同時盡量保留食物品質，與長時間煮沸或完全滅菌不同。

a(ii)(2)；原評分 1 分

高溫處理能破壞細菌的重要蛋白質和細胞功能，使其失活或死亡。

75°C 的熱處理遠高於題示可生長的上限，配合合適時間可殺死病原菌。要區分冷藏的抑制生長效果與加熱殺菌效果；不能僅因低於最適溫度就聲稱細菌已被殺死。

a(iii)(1)；原評分 1 分

22 個。

題目以菌落周圍的不透明區辨認李斯特菌，故只數具有該特徵的菌落，不能把培養皿上所有有色斑點都算入。可分區逐行數，以避免重複或漏算。

a(iii)(2)；原評分 1 分

棄置前用高壓滅菌器處理培養皿。

需先使培養物中的微生物失活，避免活菌被帶到環境。這是實驗後的安全處理，不是把皿中的菌落直接丟入普通垃圾。

b(i)；原評分 1 分

病毒辨認並附着在宿主細胞表面，開始感染。

X 圈出的病毒與上呼吸道細胞接觸，對應生活週期中依靠表面蛋白辨認宿主的步驟。

b(ii)；原評分 2 分

上下呼吸道細胞表面蛋白形狀不同，病毒表面蛋白只與上呼吸道的受體適當配合。

蛋白質的三維形狀使結合具專一性；不能只因兩種細胞都屬上皮，就假設它們具有相同受體。病毒須先有效附着，才能進一步進入並利用細胞。

b(iii)；原評分 3 分

豬隻的病毒較有機會感染人類。

豬和人都屬哺乳類，親緣關係較接近，細胞表面蛋白可能較相似。因此豬病毒較可能經較少改變便取得辨認人類細胞的能力。這是相對可能性的比較，不能寫成每一種豬病毒都能感染人。

b(iv)(1)；原評分 4 分

噬菌體在被感染細菌內大量複製，裂解該細菌後釋出，再感染其他目標細菌。

噬菌體把核酸送入宿主並控制其代謝，使細菌製造新的噬菌體成分；組裝後宿主裂解。釋出的多個新噬菌體分別感染食物中的其他同類細菌，感染可反覆擴散，故起初只感染一個細胞也可逐步減少整個目標種羣。

b(iv)(2)；原評分 1 分

宿主專一性可讓噬菌體主要清除目標病原菌，較少影響其他微生物。

它辨認特定細菌表面受體，並不因此獲得感染人類細胞的能力。優點來自辨認範圍，而不是把它說成能殺死所有食源微生物。

評卷報告提醒（原資料第 9、10 頁）

李斯特菌菌落需按題示特徵計數，不能把所有菌落都算入；冷藏亦不等同殺菌。病毒膜蛋白的作用須連到宿主受體識別，噬菌體是感染細菌的病毒，並非吞噬細菌的細胞。

評分依據：HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 9、10 頁。

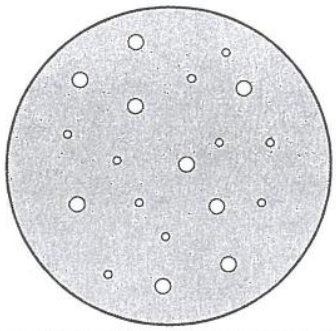
2. [HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 3 題]

提示：先辨宿主及對照，再限制可成立的結論。

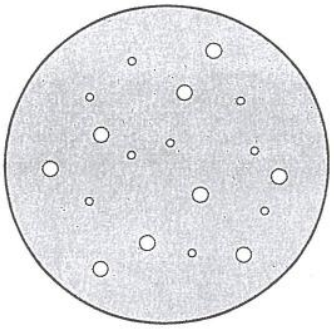
(a) 就如何應用噬菌體來對抗致病細菌，進行了一項實驗。這噬菌體療法或許是應付具多樣抗生素抗性的細菌的另類療法。在該項實驗中，對某植物的葉面進行不同的處理，然後從葉面採集細菌樣本，再轉移到瓊脂平板上培育。在瓊脂平板上細菌病原體 Y 的菌落會染成紅色。下列是四種不同的處理方法及所得的結果。

圖例：
- ● 紅色菌落
- ○ 白色菌落

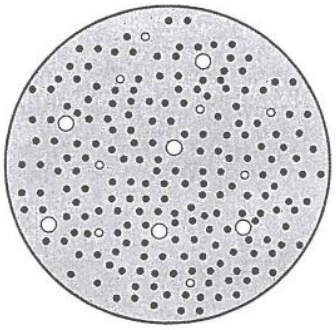
處理方法 I：葉子沒有經過任何處理，放置 1 小時。



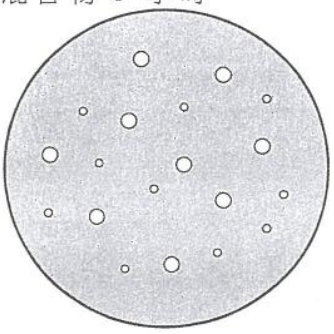
處理方法 II：葉子浸在含有對付病原體 Y 的不同噬菌體的混合物 1 小時。



處理方法 III：讓葉子接觸病原體 Y 10分鐘，然後放置 1 小時。



處理方法 IV：讓葉子接觸病原體 Y 10 分鐘，然後浸在含有對付病原體 Y 的不同噬菌體的混合物 1 小時。



(i) 比較下列各對處理方法的結果，可以得出什麼推論？按照以下格式在答題簿內以表列形式回答。 (4 分)

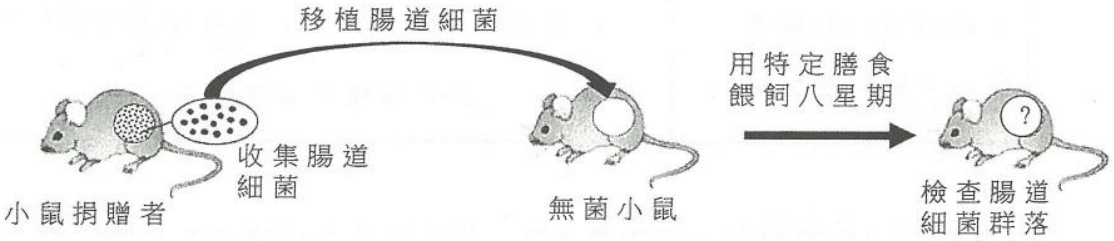
處理方法	比較結果	推論
I 和 II		
III 和 IV		

(ii) 根據實驗結果，利用噬菌體療法來治療細菌感染，較傳統抗生素治療有什麼優勢？ (2 分)

(iii) 描述怎樣從葉面採集細菌樣本。 (2 分)

(iv) 在進行塗布平板時需採用一些無菌技術以避免來自環境的污染。描述其中**兩種**所需的無菌技術。 (2 分)

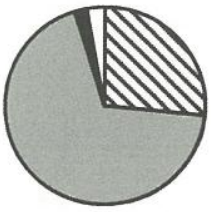
3(b) 最近愈來愈多證據顯示痴肥與腸道細菌群落相關。為了研究膳食、腸道細菌群落和能量平衡之間的相互關係，把某小鼠捐贈者的腸道細菌移植到一群具相同親代的無菌小鼠，隨後以特定膳食餵飼受贈小鼠八星期，之後檢查其腸道內的細菌群落。下圖顯示操作流程：



(i) (1) 試提出為什麼在這探究採用具相同親代的小鼠。 (1 分)

(2) 試提出並解釋生產無菌小鼠所需的**兩項**實驗程序。 (2 分)

(ii) 下表顯示不同處理方法和所得結果的摘要：

	實驗組	**對照組**
小鼠捐贈者的膳食	具豐富植物多糖膳食	
用以餵飼受贈小鼠的八星期膳食	高脂高糖膳食	具豐富植物多糖膳食
平均身體質量增加 (g)	5.3	1.5
平均體脂 (%)	3.7	1.7
腸道細菌群落的組成 圖例： P Q R S		

(1) 哪組小鼠代表痴肥組？ (1 分)

(2) 描述高脂高糖膳食怎樣改變實驗組腸道細菌群落的組成。 (2 分)

(3) 已知實驗組的某種腸道細菌能將一些不能消化的物質轉變為脂肪酸，然後被小鼠吸收。哪組細菌可能具有這種轉化能力？解釋你的答案。 (2 分)

(iii) 為了測試高脂高糖膳食誘發的腸道細菌群落能否如 (ii)(3) 所指般增強吸收營養，進行了另一項實驗。該實驗如下表所示：

	實驗組	對照組
小鼠捐贈者的膳食	高脂高糖膳食	具豐富植物多糖膳食
用以餵飼受贈小鼠的八星期膳食	具豐富植物多糖膳食	

八星期後，實驗組的平均身體質量和體脂百分率均顯著高於對照組。你能得出什麼結論？解釋你的答案。　(2 分)

✓ **答案**　各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析　**a(i)；原評分 4 分**

I 與 II：菌落種類及數目相若，噬菌體未明顯殺死葉面非目標細菌。III 與 IV：III 有大量 Y 的紅色菌落，IV 沒有，顯示噬菌體殺死病原體 Y。

每一對都先比較看得見的菌落，再說能推論甚麼。I／II 檢驗對原有非目標菌的影響；III／IV 都先加入 Y，差別是有無噬菌體，因此 Y 菌落的消失可歸因於噬菌體處理。

a(ii)；原評分 2 分

噬菌體具有宿主專一性，可針對病原菌，較少影響其他有益或非目標細菌。

噬菌體須與特定宿主細胞表面受體配合才能感染。結果顯示目標 Y 被清除而其他菌落保留，因此相對較廣譜的抗生素，可減少對正常菌羣的幹擾。

a(iii)；原評分 2 分

用濕潤的無菌棉拭子擦拭葉面，再把棉拭子放入無菌培養液，將樣本轉移入液中。

無菌棉拭子可接觸不平整葉面，水分有助把細菌帶走；轉入培養液使樣本分散，才可取液塗布培養平板。

a(iv)；原評分 2 分

例如在合適的無菌工作區操作，並只把培養皿蓋稍微打開、盡快蓋回。

這兩項均減少空氣中的微生物落入平板。使用無菌器具也是必要原則；答案需寫出與塗布平板過程有關的實際措施，不能只寫「保持清潔」。

b(i)(1)；原評分 1 分

同親代小鼠遺傳背景較相近，可減少遺傳差異幹擾。

體重、代謝及菌羣反應也可受基因影響；讓親代來源相同，使之後的差異較能連到移植菌羣和膳食。

b(i)(2)；原評分 2 分

程序一：用合適抗生素清除原有腸道細菌；程序二：在經滅菌、與外界隔絕的環境飼養，防止重新接觸環境細菌。

先移走小鼠原有的腸道菌，再阻止新細菌進入，兩項作用不同。隔離飼養時食物及飲水亦須保持無菌；只擦洗身體表面或籠子，不能移走原已存在於腸道的細菌。

b(ii)(1)；原評分 1 分

實驗組。

實驗組平均增重 5.3 g，高於對照的 1.5 g；體脂亦為 3.7%，高於 1.7%。增重及脂肪累積兩項都支持其為較肥胖的一組。

b(ii)(2)；原評分 2 分

高脂高糖膳食後，Q 的比例大增，成為主要部分；P 與 R 的比例減少。

對照的圓圖以 P 為主，R 也佔一部分；實驗組則大部分變成 Q。圖只給相對組成，應寫比例變化，不能沒有總菌量資料就說 Q 的絕對細胞數增加了某個倍數。

b(ii)(3)；原評分 2 分

Q。

Q 是高脂高糖膳食後相對比例增加最多、成為優勢的一組，與較高增重及體脂相伴，故最可能把原本難消化的物質轉成可吸收脂肪酸，增加能量取得。此處先作候選推論，下一個移植實驗才更直接檢驗菌羣的作用。

b(iii)；原評分 2 分

由高脂高糖膳食誘發的菌羣可增加宿主消化、吸收和取得食物能量的能力。

新實驗把兩組受贈小鼠都餵同一種富含植物多糖的膳食，控制了當前食物的影響；接受高脂高糖來源菌羣者仍增重及體脂較多，所以結果支持差異可由移植菌羣帶來，而非單由受贈者吃較多脂肪和糖造成。

評卷報告提醒（原資料第 76、77 頁）

噬菌體結論先比 I／II 的非目標菌，再比 III／IV 的紅色病原菌；題目未比較兩療法殺菌效率，不能宣稱噬菌體一定更有效。菌羣圓圖只給比例。移植實驗的受贈者都吃同一膳食，差異在供體菌羣來源。

評分依據：HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 63、64 頁。

練習 VII.d　微生物的有害影響與控制

對應題型 1　以抑菌、存活與食品資料作有限度推論

綜合程度 ★★★★☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 3 題]

提示：先分抑制生長、存活與毒素三種量度。

(a) 經由食物傳染的病原體種類繁多，它們令人致病的能力各異。研究這些病原體在不同情況下的生長速率，能就致病風險提供重要的資料。以下是一系列實驗的結果，顯示在不同情況下細菌病原體 A、B 和 C 的倍增時間。

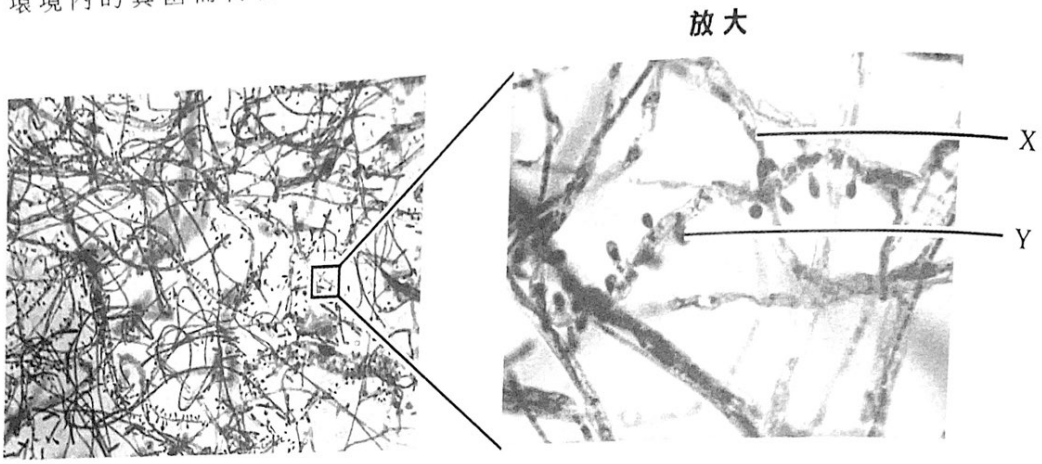
pH	温度 (℃)	倍增時間 (小時)		
		病原體 A	病原體 B	病原體 C
4	4	100	5	10
	37	20	20	1
8	4	50	1	30
	37	1	10	10

(i) 倍增時間顯示一個細菌種群在某種生長條件下，數目增加一倍所需的時間。利用表內的數據，計算在 37℃ 和 pH 8 時，細菌病原體 A 和 B 各自令種群增加至 4 倍的所需時間。 (2 分)

(ii) 人胃內胃液的 pH 值大約是 2。可是，當胃內有食物時，pH 值能升至 4–5。參考上表的數據，推斷哪一種細菌病原體最有可能引致胃部感染。 (4 分)

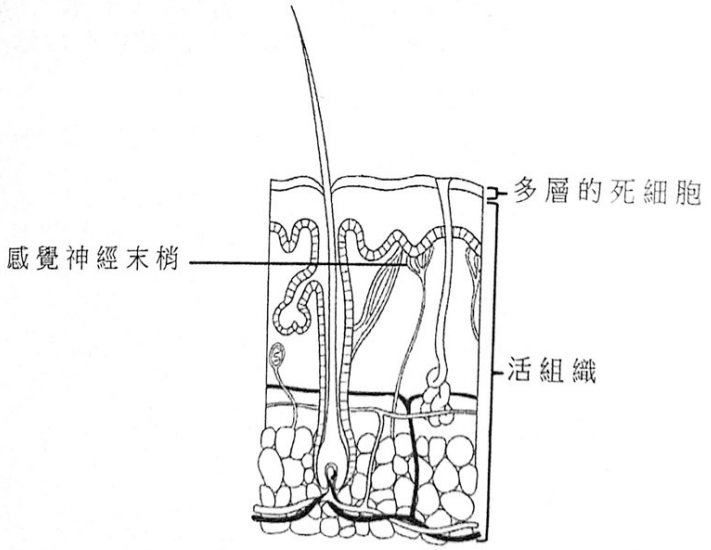
(iii) 雪櫃冷凍格的温度維持於大約 4℃，細菌病原體 B 對貯藏於雪櫃冷凍格內的食物會構成食物安全問題。即使食物已徹底煮熟，人們進食這些受細菌病原體 B 污染的食物，仍會感染由食物傳染的疾病。參考上表的數據，解釋該疾病屬食物中毒，還是食物感染，兩者的可能性，哪個較高。 (3 分)

(b) 腳癬是由某真菌引起的常見皮膚感染。這種疾病可透過接觸受感染的皮膚或環境內的真菌而傳播。以下顯微照片顯示該真菌在瓊脂板上生長的外觀：



(i) 識別構造 X 和 Y。 (2 分)

(ii) 腳癬的其中一種常見症狀是痕癢。痕癢的感覺來自皮膚內的感覺神經末梢。下圖顯示皮膚的切面。



參考真菌的營養模式，描述真菌的構造 X 如何能穿過多層的死細胞，到達並刺激感覺神經末梢。 (4 分)

(iii) 志堅患有腳癬。他是在健身中心的浴室內赤腳行走時受感染的。

(1) 提出**一項**環境條件，令浴室適合作為該真菌繁殖的地方。 (1 分)

(2) 志堅的醫生吩咐他連續兩個星期在患處塗抹抗真菌藥膏。數日後志堅不再感到痕癢，並停止用藥，但他在兩天後再次感到痕癢。參考真菌的生活週期，解釋以上描述的症狀變化。 (4 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

A：2 小時；B：20 小時。

37°C、pH 8 時，表中 A 倍增一次需 1 小時，B 需 10 小時。增加至四倍是兩次倍增：N→2N→4N，所以分別用 2×1=2、2×10=20 小時，不是乘四。

a(ii)；原評分 4 分

C。

進食後胃內 pH 約 4–5、溫度接近 37°C，應比較表中 pH 4、37°C 的一行。在此條件，C 倍增時間 1 小時，A、B 都為 20 小時；C 增殖最快，最有機會在這個胃部環境建立感染。不能只選整張表最快的一格而忽略所在條件。

a(iii)；原評分 3 分

食物中毒較可能。

B 在 4°C 可較快增殖：pH 4 時 5 小時、pH 8 時 1 小時，故可在冷藏食物中增加並累積毒素。徹底煮熟可殺死細菌，但已形成的某些毒素仍可保留並致病。因此依題設，症狀較能由毒素解釋，而不是煮熟後仍有大量活菌在體內增殖。

b(i)；原評分 2 分

X：菌絲；Y：孢子／孢子囊。

X 指向延長、分枝的絲狀構造；Y 指向較小的繁殖或散播構造。判斷要依照片中的形狀，不可把菌絲與細菌的鞭毛混淆。

b(ii)；原評分 4 分

真菌向體外分泌酶，消化死細胞層，吸收分解產物生長；菌絲 X 延伸穿過皮層，刺激較深處感覺神經末梢。

真菌是胞外消化，先把周圍有機物分解成可吸收小分子，才取得生長物質。菌絲因此能逐步向有養分的皮層延伸；按題設模型，接近並刺激感覺神經末梢，便產生痕癢。不能說真菌整個吞下皮膚細胞。

b(iii)(1)；原評分 1 分

例如浴室潮濕。

溫暖、潮濕並有皮屑等有機物的環境，都有利於這類真菌生長；題目只要求一項，可選潮濕並說明與真菌所需條件相符。

b(iii)(2)；原評分 4 分

藥膏破壞菌絲，使神經刺激及痕癢減少；但孢子可殘留並較能抵受藥膏，停藥後再萌發成菌絲，重新造成感染及痕癢。

把症狀暫緩與所有真菌構造被清除分開。生長中的菌絲被抑制後，感覺刺激可很快下降；這不代表孢子已全部死亡。仍存活的孢子遇到合適條件可再次生長，解釋題目中停止使用後的復發。

評卷報告提醒（原資料第 10 頁）

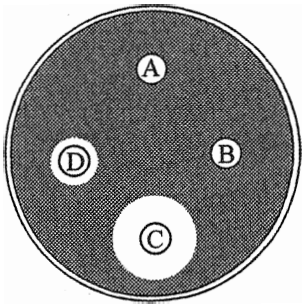
倍增時間要附單位；選 C 時須先指出胃內 pH 與體溫，不能只比最快一格。食物中毒與感染分別涉及預先形成毒素及活病原體。真菌痕癢與復發應用胞外消化、菌絲及孢子解釋，不能無據說真菌已進化抗藥性。

評分依據：HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

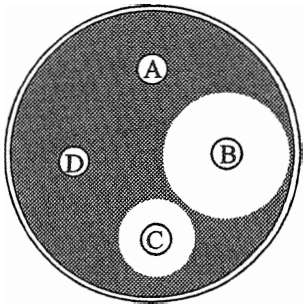
2. [HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 3 題]
提示：先分抑制生長、存活與毒素三種量度。

3(a) 為了研究抗生素對不同微生物生長的抑制效用，製備四個瓊脂平板，分別培養微生物 1、2、3 和 4，並把分別沾有相同濃度的抗生素 A、B、C 和 D 的圓紙片放置在瓊脂平板上。下圖顯示培育後在瓊脂平板上所形成的透明區域：

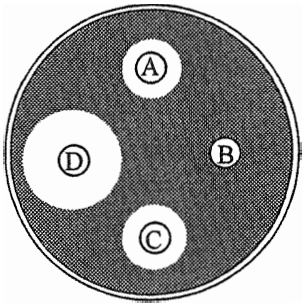
具微生物 1 的瓊脂平板



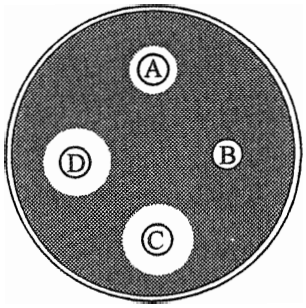
具微生物 2 的瓊脂平板



具微生物 3 的瓊脂平板



具微生物 4 的瓊脂平板



圖例：
○ 沾有不同抗生素的圓紙片
▩ 有微生物生長的區域
▭ 在紙片周圍形成的透明區域

(i) 在這研究中，你如何比較不同抗生素抑制某一微生物生長的效用？ (1 分)

(ii) 若醫生還未確定哪種微生物引致某感染，他應該使用哪種抗生素？試加以解釋。 (3 分)

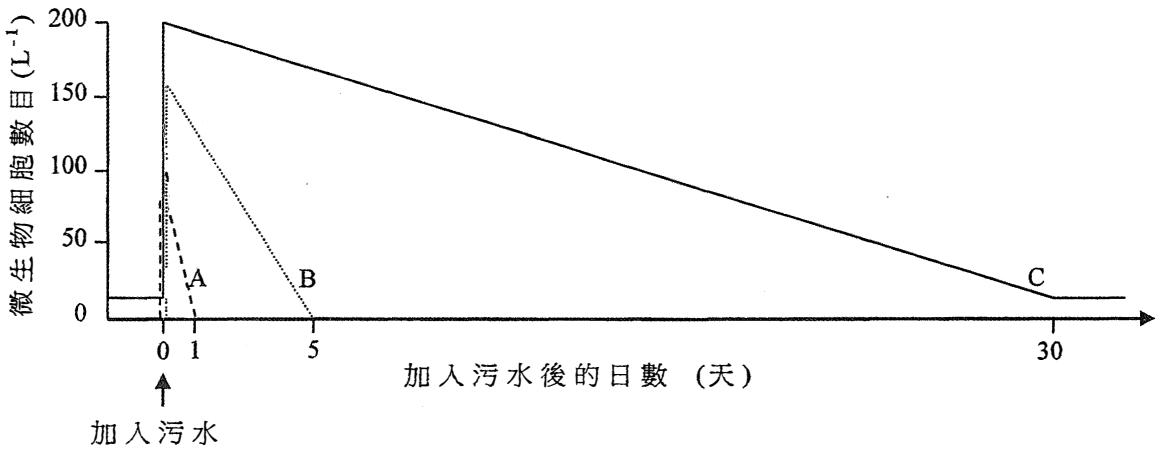
(iii) 為了找出引致某種感染的微生物種類，會從病人身上收集微生物樣本，並進行培育以供鑑定。

(1) 將微生物接種到瓊脂平板時，應該採用無菌技術。寫出其中**兩個**步驟。 (2 分)

(2) 鑑定導致某種感染的微生物，有什麼好處？ (2 分)

(iv) 寫出由上述結果可歸納出抗生素的**兩種**特性。 (2 分)

3(b) 為探究污水微生物的種群大小的改變進行一項實驗。將污水加入一個盛有未受污染河水的燒杯中，並將燒杯置於戶外光線之下。下圖顯示燒杯中三種污水微生物 A、B 和 C 的種群大小在實驗期間的變化：



(i) 指出導致以上觀察到污水內微生物種群減少的**兩種**環境因素，並加以解釋。 (4 分)

(ii) 如上圖所示，微生物的種群以不同速率下降。試加以解釋。 (1 分)

(iii) 某些微生物可用作河水受污水污染的指示生物。試討論上述的微生物是否適合用作指示生物。 (3 分)

(iv) 量度生物量和光檢測量法均**未能**有效地監測上述個案的微生物的種群大小。試加以說明。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 1 分**

在相同條件下比較透明抑菌區的直徑；透明區愈大，表示抑制該微生物生長的效果愈強。

透明區是看不到微生物生長的區域，量度其直徑便把定性觀察轉成可比較的數據。比較時須保持紙片大小、抗生素濃度及培養條件等一致。

(a)(ii)；原評分 3 分

在這組資料中可選抗生素 C，因為四種微生物周圍均出現抑菌區，顯示它作用範圍較廣，對未知病原體有效的機會較高。

先逐個平板檢查同一字母 C，而不是只選單一平板中最大的圈。廣譜是作用於較多類微生物的意思，並不表示對每一種都一定最強。

(a)(iii)(1)；原評分 2 分

把接種環以火焰灼燒至紅熱後冷卻才使用；培養管管口在使用前後以火焰處理。

兩項步驟減少器具和開口處其他微生物進入樣本的機會。接種環須先冷卻，否則高溫也會殺死要培養的樣本；這裡說明的是題給的基本無菌操作原理。

(a)(iii)(2)；原評分 2 分

確定病原體後，可選擇對該微生物有效的抗生素，提高針對性，並減少對體內正常微生物的不必要影響。

知道是何種微生物，才可把該菌的抑菌結果用於選擇。僅憑未知感染而持續使用廣譜藥，沒有利用已能取得的鑑定證據。

(a)(iv)；原評分 2 分

不同抗生素的作用範圍不同；對同一種微生物，不同抗生素的抑制強度也可以不同。

B 只在微生物 2 形成明顯透明區，顯示較窄的作用範圍；在微生物 3 中，D 的圈比 A 或 C 大，顯示同一微生物對不同抗生素反應強度不同。兩個結論各以原圖的一組比較支持。

(b)(i)；原評分 4 分

戶外陽光含可損害微生物的紫外線；未受污染河水的可用有機養分較少，微生物會因養分不足而死亡。

題中把污水加入較清潔河水並置於戶外，分別提供了光照與養分改變兩項條件。每項答案都須加上如何令數目下降的機制。

(b)(ii)；原評分 1 分

三種微生物對光照、養分不足等環境壓力的耐受能力不同，因此死亡速率不同。

比較的是同一環境下不同種類的反應，不能把三條線的斜率差異都歸因於起初數目不同。

(b)(iii)；原評分 3 分

B 較適合作指示生物：加入後仍能存活一段時間，而在未污染水中不長期大量存在。A 消失太快，沒有找到 A 不能排除曾受污染；C 原本已有少量存在，找到 C 不能單獨證明受污。

指示生物需要兼顧污染特異性和可被發現的時間窗。只選存活最久的 C，會忽略它在污染前也存在；只選消失最快的 A，又可能錯過污染痕跡。

(b)(iv)；原評分 2 分

圖中每升的細胞數很低，生物量及濁度造成的變化太小，這兩種方法的靈敏度不足以可靠監測。

細胞的存在不等於總質量或散射光一定大得足以量度。選測量方法時應把儀器可辨認的信號大小與樣本的實際數量級相比。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

抑菌效力比較應量度抑菌圈的直徑。菌落培養的無菌操作須寫本次接種時如何避免污染；選指標菌時要同時考慮污染水與清潔水中的生存表現。

評分依據：HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 3 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

生物技術：題型與練習

Chapter 10

VIII.a　現代生物技術

先讀「知 VIII.a」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1　由 DNA 片段與訊號建立可核驗的判斷

綜合程度 ★★★☆☆

知識梳理

① 若子代的一條 DNA 帶可由父親解釋，另一條便要與母親的相應資料比對；不是要求子代的每條帶都與父母兩人同時相同。線性 DNA 切開後，各片段長度的和等於原長度；同長片段可能重疊成一條帶。

② 電泳中 DNA 通常向正極移動，較短片段一般移得較遠。PCR、限制酶及電泳各回答不同一步：有沒有目標、切成甚麼長度、如何觀察差異。

點石成金　先列片段數目及長度，再預測可見條帶；將「看不到」與「不存在」分開，並檢查題目有沒有適當陽性或陰性對照。

例 1　[HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 4 題]

(a) 細閱下圖，圖 X 顯示某段 DNA 內的目標基因，圖 Y 顯示一個擁有 4 300 鹼基對 (bp) 的質粒，兩圖亦顯示限制酶 EcoRI 、 PstI 和 HindIII 的限制位置：

圖 X

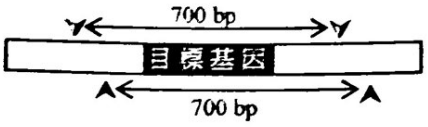
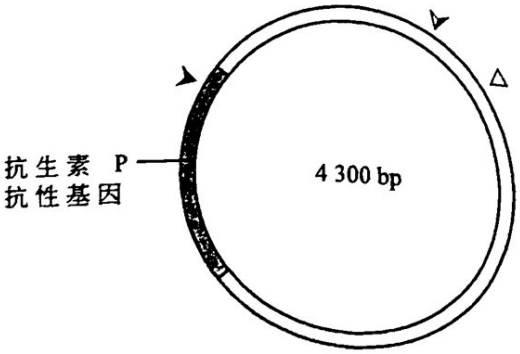


圖 Y



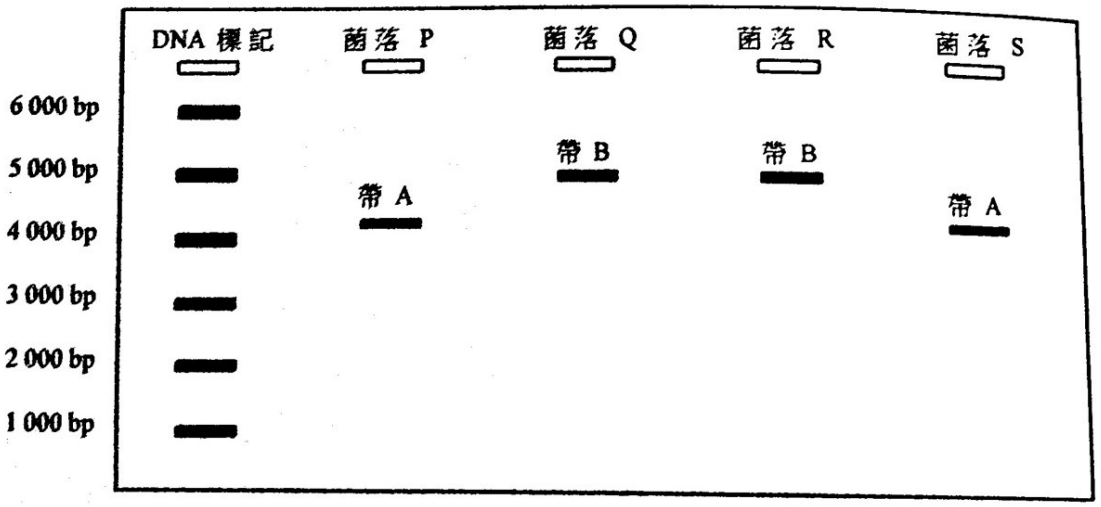
圖例：EcoRI 的限制位置
PstI 的限制位置
HindIII 的限制位置

(i) 某學生計劃把目標基因插入質粒，並以抗生素 P 篩選已轉化的細菌。

(1) 他應該使用哪種限制酶來進行插入？解釋你的答案。 (3 分)

(2) 寫出完成插入目標基因過程所需的另一種酶。 (1 分)

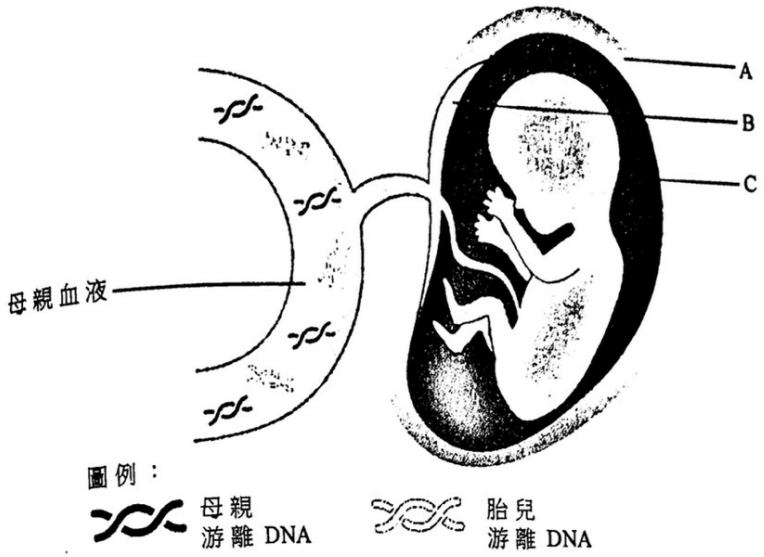
(ii) 在完成轉化、篩選和培養的程序後，將由不同菌落獲得的質粒用酶 HindIII 切割，然後進行凝膠電泳，以檢測經切割後質粒的大小。下圖顯示所得的兩類 DNA 帶：



(1) 哪條帶 (A 或 B) 代表含有目標基因的質粒？解釋你的答案。(3 分)

(2) 解釋為什麼切割後的質粒經凝膠電泳後會出現兩類 DNA 帶。(3 分)

(b) 唐氏綜合症的傳統診斷方法需要收集胎兒的組織。近期，在母親血液內發現胎兒游離 DNA，為診斷唐氏綜合症開拓新的可能性。游離 DNA 是正常細胞降解後釋放至血漿的 DNA 片段。下圖顯示胎兒和其在母體內的相關構造：



(i) 參考上圖，這些胎兒游離 DNA 來自哪個標註的構造？解釋你的答案。
(2 分)

(ii) 母親血漿內，胎兒游離 DNA 只佔總游離 DNA 很小部分。提出一項技術以加強檢測母親血漿內這極小量的胎兒游離 DNA。解釋你的答案。
(2 分)

(iii) 現時，透過 DNA 排序技術以及與人類基因圖譜數據庫進行比對，可以得知游離 DNA 上所屬的基因。

(1) 科學家建議，比較第21 條染色體上的基因和另一條體染色體上的基因在胎兒游離 DNA 內出現的頻率，可以診斷唐氏綜合症。根據你對唐氏綜合症的認識，解釋這方法所涉及的生物學原理。預期的結果會是怎樣？
(2 分)

(2) 試提出 DNA 排序所得結果的**兩項**其他應用，並分別解釋其操作原理。
(4 分)

解答 **a(i)(1)；原評分 3 分**

EcoRI。它能在目標 DNA 的兩端及質粒上切開，取得含目標基因的片段，並保留抗生素 P 抗性基因。

選酶要同時看兩張圖。EcoRI 在圖 X 目標片段兩端有切位，也在圖 Y 的質粒有相應切位，產生可配合的末端；其質粒切位又不落在抗性基因內。PstI 雖可取得片段，卻會破壞需保留的抗性基因，影響抗生素 P 的篩選。HindIII 在圖 X 沒有標示可切出目標片段的兩端切位，所以不是這一步的選擇。

方法：先列片段與訊號，再用對照檢查推論。

a(i)(2)；原評分 1 分

DNA 連接酶。

限制酶負責切開 DNA；片段和打開的質粒末端相合後，由 DNA 連接酶把糖—磷酸骨架共價接合。DNA 聚合酶主要按模板延長新鏈，不能取代這個連接步驟。

a(ii)(1)；原評分 3 分

帶 B。

先算插入後的總長度：

重組質粒長度 = 4,300 + 700 = 5,000 bp。

HindIII 把質粒切開後，可用線性 DNA 大小與標記比較。帶 B 與 5,000 bp 的標記位置相近，符合增加 700 bp 後的質粒；帶 A 則接近原來較小的 4,300 bp。不能只寫「B 較高」，要接到大小計算和 DNA 標記。

a(ii)(2)；原評分 3 分

有些打開的質粒接上目標片段，另一些沒有接上而自行閉合，所以存在兩種大小的質粒。

片段插入不是每次都成功。未插入的質粒若仍有抗生素 P 抗性基因，也可被細菌攝取並使它們在篩選中存活。因此抗性只能支持細菌帶有可表達抗性的質粒，不能保證其中必有目標基因。HindIII 切開後，約 5,000 bp 的形成 B，較小原質粒形成 A。轉化是細菌攝取外來 DNA，勿與質粒重組的連接步驟混同。

b(i)；原評分 2 分

B，即胎盤。

胎盤含胎兒來源的細胞，亦是母胎物質交換的界面。胎兒來源細胞正常分解時可釋出 DNA 片段，這些片段有機會進入母體血漿，故 B 最符合。母胎血液通常不直接大量混合；能檢出少量胎兒來源 DNA，不表示兩套循環完全相通。

b(ii)；原評分 2 分

聚合酶鏈式反應（PCR）。

PCR 用適當引物反覆複製選定 DNA 片段，增加原本極少量樣本的拷貝數，從而提高後續檢測的機會。擴增的是 DNA 片段數目，並非把片段本身變長或把胎兒細胞變大；本問也毋須把整套 DNA 指紋分析流程搬進來。

b(iii)(1)；原評分 2 分

唐氏綜合症胎兒通常有三條 21 號染色體，所以來自 21 號染色體的序列，相對另一正常常染色體的序列出現頻率會較高。

正常雙套染色體各有兩份，兩種染色體的基因拷貝可作相對基準。若第 21 號多一份，便會增加該染色體來源 DNA 的相對比例。題中是母體與胎兒遊離 DNA 的混合血樣，因此不能把整份樣本的比率武斷定成精確 3:2；主要預期是相對頻率升高。

b(iii)(2)；原評分 4 分

可用 Y 染色體特有序列協助辨認胎兒染色體性別；亦可把序列與已知致病變異資料比較，篩查某些遺傳病風險。

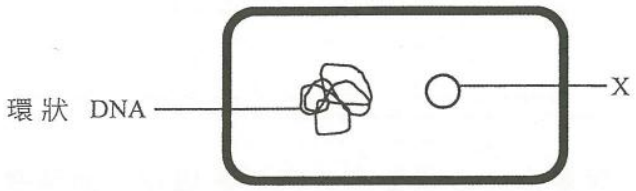
第一項把測序讀段對照人類基因圖譜，若偵測到可靠的 Y 染色體特有序列，支持存在 Y 染色體來源。第二項在某個與遺傳病有關的位置，檢查是否出現相應致病等位基因，再連到該病的風險。兩項都要寫出「應用—所比較的序列證據」，不能只列疾病名稱，也不能把一般物種演化分析當成這份人類胎兒資料的直接應用。篩查結果與確診的要求仍有區別。

評分依據：HKDSE 生物 2020 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 12 頁。

例 2 [HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 4 題]

(a) 魚油含對人類健康有益的特定種類的多元不飽和脂肪酸(PUFAs)。某生物科技公司成功分離一個主要基因，該基因編碼負責生產 PUFAs 的酶。該公司利農桿菌將這外來基因轉移至三種不同的種子農作物(A、B 和 C)。

(i) 以下示意圖顯示一個農桿菌的構造：



構造 X 是什麼？描述這構造在轉化過程中的角色。 (2 分)

(ii) 在一次温室試驗中得到下列三種不同的基因改造(GM)農作物的數據：

GM 農作物	每株農作物種子產量(g)	每 1 g 種子 PUFAs 含量(隨意單位)	到達種子收成階段所需時間 (月)
GM-A	50	9	6
GM-B	150	3	3
GM-C	100	4	8

(1) 這三種 GM 農作物同樣良好地生長。根據所示數據，你會選擇在温室內種植哪一種 GM 農作物來生產 PUFAs？顯示你怎樣得出答案。 (3 分)

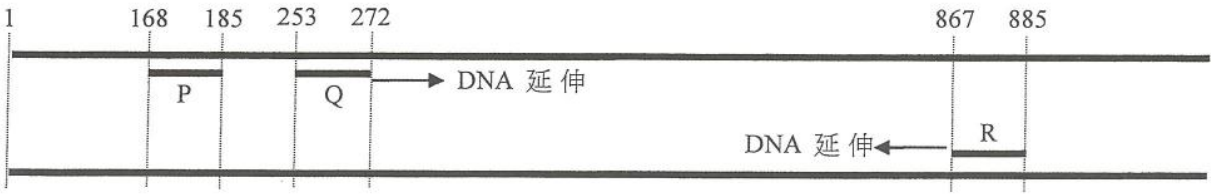
(2) 有些人深信因 GM 農作物含可能對人類有害的外來基因，認為食用 GM 植物並不安全。為了使他們相信食用由 GM 種子提取的 PUFAs 是安全的，你會怎樣說服他們？ (2 分)

(iii) 該生物科技公司揀選了一種合適的 GM 農作物，在農田種植用來生產 PUFAs，但是遭到環保團體強烈反對，理由是在種植範圍附近有該 GM 農作物的野生近親。

(1) 反對背後的主要理據可能是什麼？ (1 分)

(2) 簡述一個測試上述理據是否正確的實驗。 (3 分)

(b) 下圖顯示人類基因組內的一個基因片段。這個基因片段位置 285 (核苷酸數目) 上有一個突變，0.05% 的亞洲人具有這突變。這突變破壞了一個限制酶的切割位置。當個別人士具有兩個上述提及的突變，就會增加患上某類肺癌的風險。

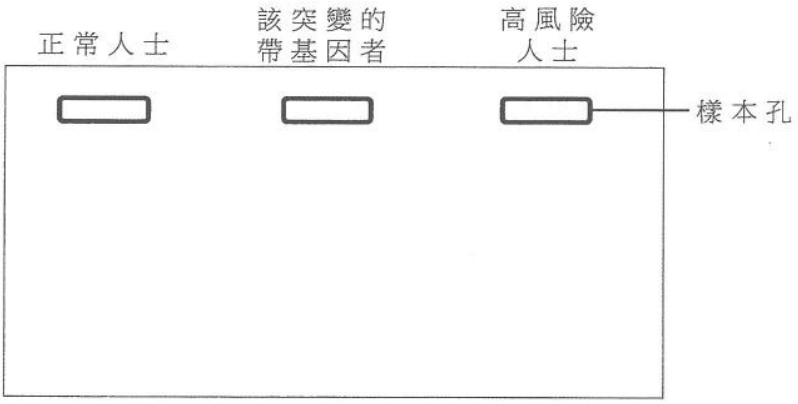


現有三個引物 (P、Q 和 R) 可用於聚合酶鏈反應 (PCR)，它們連接的位置如上圖所示。透過凝膠電泳，個別人士的 DNA 樣本可以用來鑒定他們在這基因的基因型。

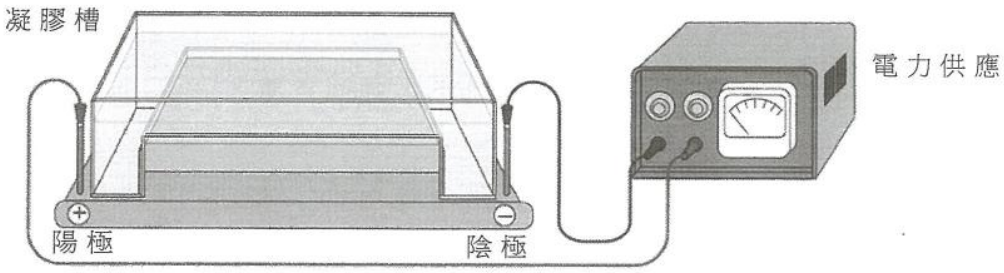
(i) 利用上述資料，簡述你能怎樣鑒定他們的基因型，並清楚說明使用這些方法的目的。 (3 分)

(ii) 考慮各引物的連接位置和突變的位置，解釋哪一個引物並**不適用**來達至上述的目的。 (1 分)

(iii) 將以下瓊脂凝膠圖抄在你的答題簿內，並繪畫三類人士樣本所產生的 DNA 帶。 (3 分)



(iv) 下圖顯示用以產生 (ii) 的結果的裝備：



當你放置瓊脂凝膠時，樣本孔應放在哪一邊？解釋你的答案。 (2 分)

解答 **a(i)；原評分 2 分**

X 是質粒，作為載體攜帶外來基因並將其轉移至植物細胞。

農桿菌可把適當的質粒 DNA 片段送入植物細胞；把製造 PUFAs 的酶基因放進此載體，便可讓受轉化植物表達它。圖中的小環與主要環狀染色體 DNA 分開。

方法：先列片段與訊號，再用對照檢查推論。

a(ii)(1)；原評分 3 分

選 GM-B；每株每月的 PUFAs 產量為 A：75、B：150、C：50 隨意單位。

先計每次收成的總量，再除所需月數：GM-A 為 50×9÷6=75；GM-B 為 150×3÷3=150；GM-C 為 100×4÷8=50。B 在相同時間內每株產量最高。只比較每克含量會誤選 A，因為忽略種子產量及收成時間。

a(ii)(2)；原評分 2 分

所食用的是純化的 PUFAs，並非含外來基因的種子 DNA；這些 PUFAs 的分子結構與魚中同類 PUFAs 相同。

基因是核酸，PUFAs 是脂肪酸，兩者是不同分子。題目所述提取並純化的脂肪酸不因其生產生物經基因改造便變成「外來基因」；應用產物的成分與分子結構回應這個特定疑慮。

a(iii)(1)；原評分 1 分

外來基因可能經異花傳粉轉移至附近野生近親。

若 GM 作物與野生近親可雜交，花粉可把基因帶入野生後代，改變野生種羣；主要關切是基因流動，而不只是兩者種得靠近。

a(iii)(2)；原評分 3 分

在受控制環境共同種植 GM 作物及野生近親，讓其有傳粉機會；收集野生植物所結的種子或培育後代，再檢測是否有外來基因或其表達產物。

實驗須同時具備可能發生基因交流的條件，及可驗證交流結果的量度。只測附近土壤不能證明遺傳轉移；檢測野生親株新產生的種子／後代，才能判斷基因是否傳入下一代。

b(i)；原評分 3 分

先用 PCR 擴增包含突變位置的基因片段，再用相關限制酶切割，最後用凝膠電泳按片段大小分離並比較帶型。

PCR 提供足夠 DNA 供分析；正常序列保留限制位點，會被切成較短片段，突變序列不被切；電泳把這個序列差別轉為可見的片段大小差別。三個步驟都應連同目的說明。

b(ii)；原評分 1 分

引物 Q 不適用。

Q 位於 253–272，距離 285 附近的突變／限制切割位置太近；若用 Q 與 R 擴增，切割後其中一段會很短，可能跑出凝膠或不易觀察，削弱帶型判讀。P 離該位置較遠，與 R 配對可保留較清楚的兩個切片。

b(iii)；原評分 3 分

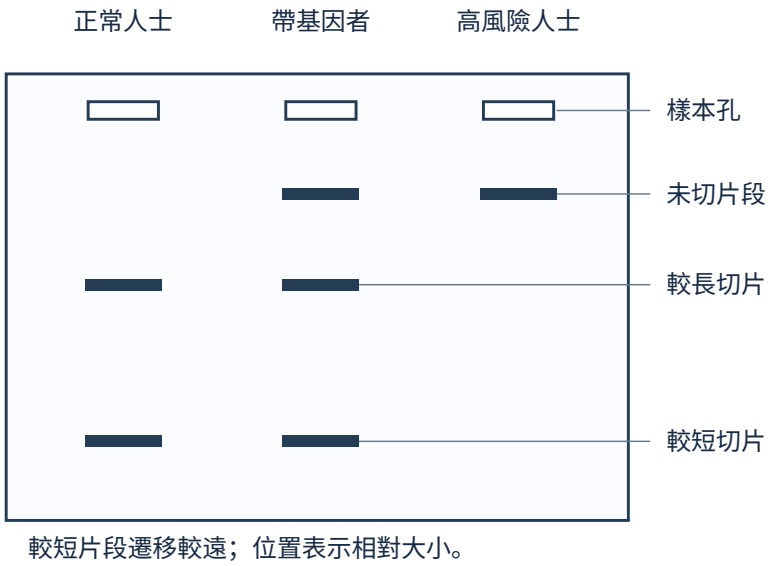
正常人士：兩條較低的切片帶；帶基因者：一條較高的未切帶加兩條切片帶；高風險人士：只有較高的未切帶。

正常人士兩個等位基因都有切割位點，產生兩種短片段；帶基因者同時有正常與突變等位基因，因而有三種片段；高風險人士兩個等位基因均突變，只保留未切的長片段。長片段留得較近樣本孔，短片段移動較遠，位置關係見圖。題幹未給確切切割鍵位置，不必自行填入片段的精確鹼基數。

b(iv)；原評分 2 分

樣本孔靠陰極／負極，即圖中的右邊。

DNA 的磷酸骨架帶負電，在電場中朝陽極／正極移動。孔須放在負極端，DNA 才會由孔向凝膠內的正極方向分離；若反放，DNA 可能直接移出膠。



正常、帶基因與兩個等位基因均突變的三種電泳帶型。

評卷報告提醒（原資料第 77、78、79 頁）

PUFAs 是脂肪酸，不是蛋白質、DNA 或基因；產量須標準化成每株每月。基因流動實驗要查野生近親的種子／後代。診斷依序 PCR、酶切、電泳；Q 的短切片可能跑出膠。圖中空心樣本孔與實心 DNA 帶要清楚區分，DNA 分子因帶負電而向正極移動。

評分依據：HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 64、65 頁。

題型 2 由載體構造推插入、表達與篩選結果

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

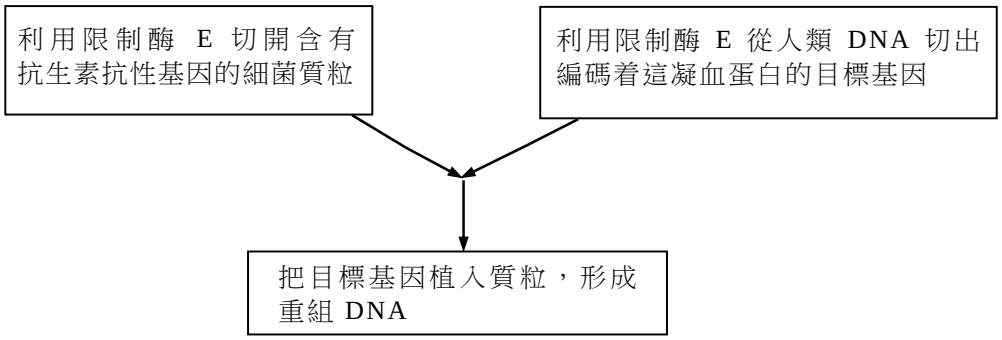
① 一個抽象的環狀載體若長 4300bp，插入 700bp 片段後總長為 5000bp；但長度正確只支持結構的一部分，不能保證基因在指定細胞、部位和時期都有表達。判斷示意圖時，先檢查目標片段及相關調控部分是否完整，再看標記能區分哪些候選。

② 比較改造品系時，須分開 DNA 存在、mRNA 水平及實際性狀三層證據；某一指標較好不代表全部性狀都較好。

點石成金　按圖中的構造與已給條件推理：完整性→標記差異→表達→性狀。每一步都交代依據，不能用「成功改造」概括所有驗證。

例 1 [HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 4 題]

(a) 由於基因突變，有些人未能製造某種凝血蛋白，這會引致一種稱為血友病的疾病。其中一種治療這種病的方法是把外來的凝血蛋白加入患者的血液中。凝血蛋白可利用重組 DNA 技術製造。以下流程圖概述製造重組 DNA 的主要步驟：



(i) (1) 什麼是細菌質粒？ (1 分)

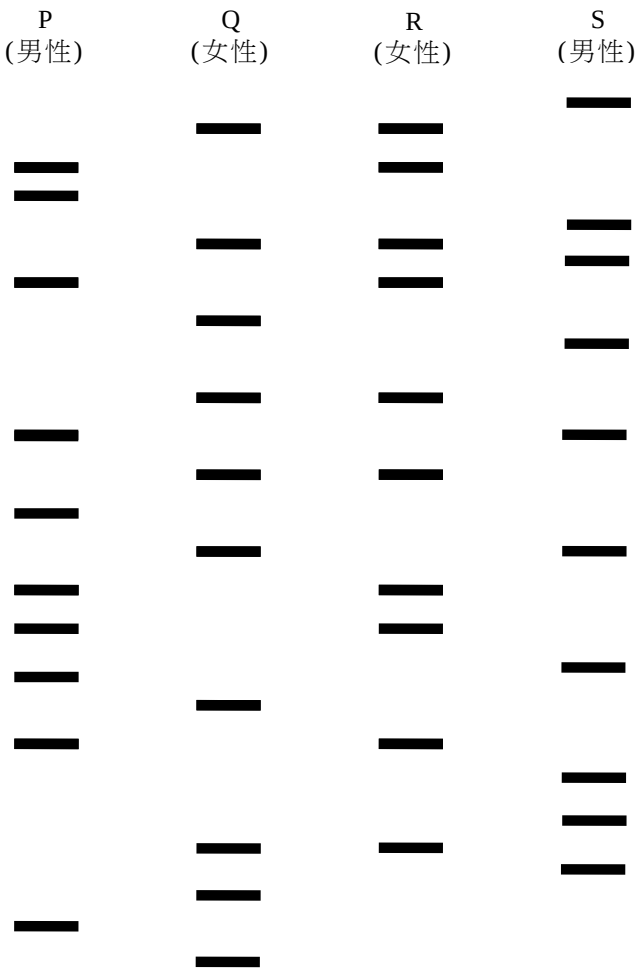
(2) 舉出重組 DNA 技術中常以質粒作為載體的**兩項**原因。 (2 分)

(ii) 在大多數的情況下，用於從人類 DNA 切出目標基因的限制酶應與切開質粒的限制酶相同。解釋這對形成重組 DNA 的重要性。 (2 分)

(iii) 概述取得重組 DNA 後，如何大量製造凝血蛋白。 (4 分)

(iv) 傳統上，凝血蛋白是提煉自捐贈的血液。舉出採用重組 DNA 技術所製造的凝血蛋白，較採用傳統來源的凝血蛋白的**兩項**優勝之處。 (2 分)

(b) DNA 指紋法其中一種應用是鑑定家庭成員之間的關係。下圖顯示一個家庭中，四名成員的 DNA 指紋；這家庭包括一對夫婦及他們的兩名孩子，其中一名是這對夫婦親生的，另一名是收養的。



(i) 概述 DNA 指紋法技術，並指出它如何能用以鑑定一個家庭中各成員的關係。 (4 分)

(ii) 根據上述資料，附列理由，推論

(1) R 跟 P 的關係。 (2 分)

(2) 哪人是該名收養的孩子。 (2 分)

(iii) 建議 DNA 指紋法的另**一項**應用。 (1 分)

解答 **a(i)(1)；原評分 1 分**

質粒是細菌主要染色體以外的小型環狀 DNA 分子。

它是遺傳物質，不是蛋白質、細胞器或另一個細菌。許多質粒可在宿主內獨立於主要染色體進行複製，因此能攜帶額外基因。

a(i)(2)；原評分 2 分

質粒體積小，較容易被細菌攝取；可帶有抗生素抗性等選擇標記，便於篩選已轉化的細菌。

把目標 DNA 放進載體後，還要把它送入宿主並辨認成功攝取的細胞。小型 DNA 較適合處理及導入；抗性標記令轉化細胞在選擇培養條件下存活。這兩項分別解決「送入」和「找出」的問題，不只泛稱質粒很方便。

方法：按載體構造依次驗證插入、表達及性狀。

a(ii)；原評分 2 分

同一限制酶通常會在目標片段及質粒上產生可互補配對的黏端，使兩者末端接合，方便形成重組 DNA。

限制酶辨認特定序列並切開 DNA，同樣的切割方式可提供相配末端。互補鹼基先配對，使片段與質粒靠在一起，再由 DNA 連接酶接合糖—磷酸骨架。限制酶負責切，連接酶負責封合，不能把兩者功能互換。

a(iii)；原評分 4 分

把重組質粒導入合適宿主細胞，利用抗性標記篩選已轉化的細胞；大量培養能表達目標基因的細胞，再提取、純化並檢查產生的凝血蛋白。

依題目的質粒流程，可用帶重組質粒的細菌說明轉化、選擇和大量繁殖的步驟。抗生素把未得到抗性標記的細胞排除，但仍須確認被選細胞帶有目標基因並能製成所需蛋白。基因經轉錄和翻譯表達後，收集蛋白並純化，才可得到產品；不能把活轉基因細菌直接注入患者血液。實際生產功能性凝血蛋白還須選擇能完成所需蛋白加工的宿主，並驗證活性；這張簡化流程不表示所有人類蛋白都可在任意細菌中製成有功能的產品。

a(iv)；原評分 2 分

可較穩定地大量製造所需蛋白，減少對捐血供應的依賴；也可降低由人血來源帶入血液傳染病原體的機會。

培養生產細胞可按需要擴大產量，不必逐次從大量捐血中提煉。若不以捐贈血漿作蛋白來源，便避開一部分人血來源的病原風險；純化和品質檢驗仍然需要，不能把重組產品說成無需檢測或絕對沒有任何風險。

b(i)；原評分 4 分

提取各人的 DNA，用限制酶切成片段，以凝膠電泳按大小分離，再顯示可比較的 DNA 帶型；孩子的各條帶應能在雙親之一找到相應來源，據此檢查親緣關係。

DNA 帶的位置反映片段大小。可在分離後以適當探針顯示特定可變序列的片段，得到每人的指紋圖樣。比較時逐條追查孩子的帶：一部分來自母親，另一部分來自父親。不是要求孩子的整條泳道與父親完全一樣，也不是把「帶的總數相同」當成親子證據。

b(ii)(1)；原評分 2 分

R 是 P 的親生女兒；P 與 Q 是她的雙親。

R 的每條帶都能在 P 或 Q 的相同高度找到：例如 R 最上方的帶與 Q 配對，下一條與 P 配對，其餘也可由兩人合起來解釋。R 標為女性，所以與 P 的具體關係是女兒；不能只因 P、R 有幾條相同就下結論，必須檢查所有 R 帶的來源。

b(ii)(2)；原評分 2 分

S 是收養的孩子。

S 有多條帶在 P、Q 兩人的圖樣中都找不到，例如 S 最上方的帶比 P、Q 所有相應高位帶都更高。它們不能由 P、Q 這對雙親的帶型組合解釋，因此在題目給定「一親生、一收養」的設定下，S 是收養者。

b(iii)；原評分 1 分

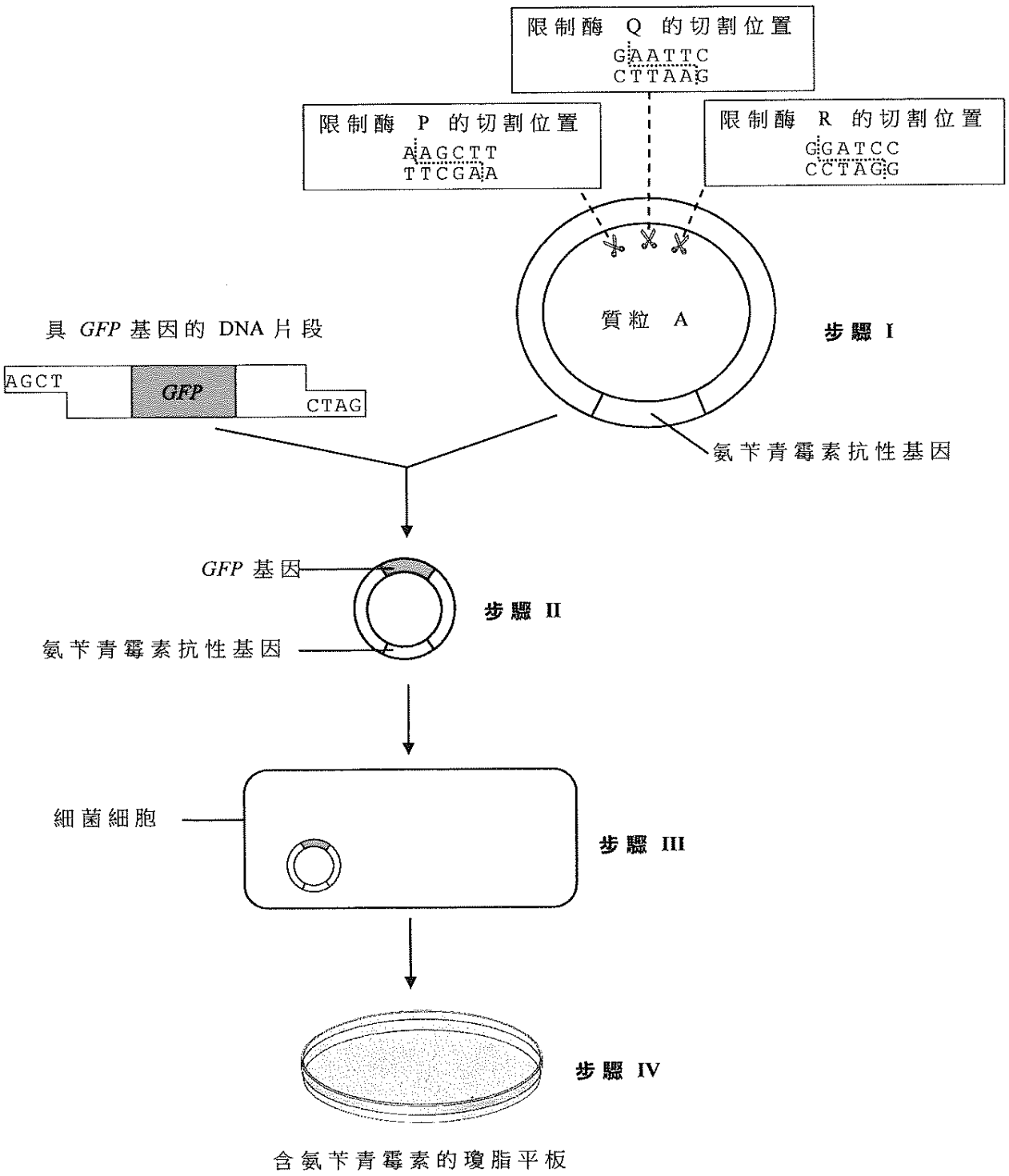
把案發現場生物痕跡的 DNA 指紋與嫌疑人的指紋比較，協助身份辨認。

例如由現場血跡取得帶型，再與候選人的樣本比較。這一用途使用的是個體間 DNA 可變序列差異，不是依靠肉眼觀察真正手指的皮紋。

評分依據：HKDSE 生物 樣本卷 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 11 頁。

例 2 [HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 4 題]

(a) *GFP* 基因編碼一種蛋白，名為綠色螢光蛋白(GFP)，可於一些水母中找到。在紫外(UV)光的照射下，GFP 會發出綠色螢光。下圖顯示將 *GFP* 基因插入質粒 A，並把細菌細胞轉化的過程：

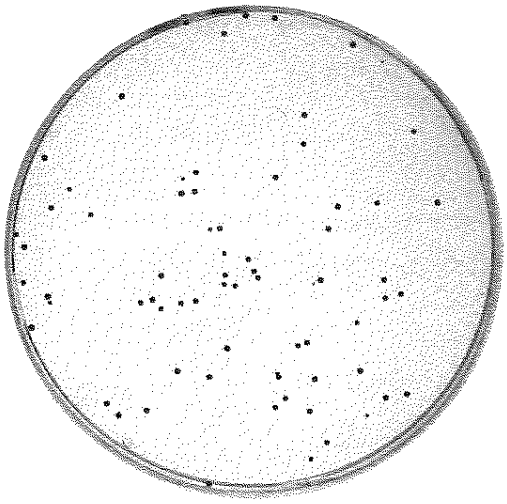


(i) 寫出將 *GFP* 基因插入質粒 A 所使用的限制酶。解釋你的答案。 (3 分)

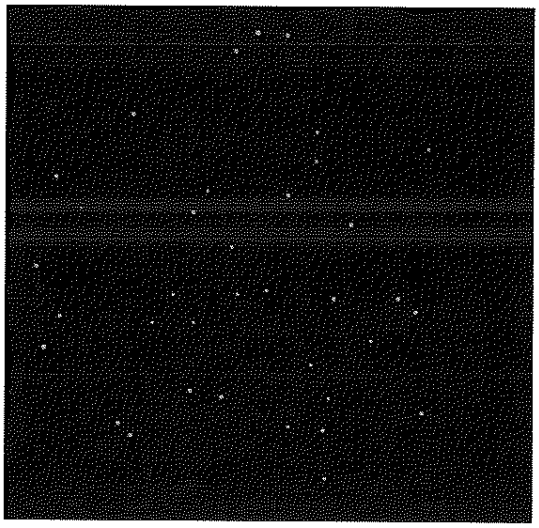
(ii) 步驟 IV 的目的是什麼？這步驟如何達至其目的？ (2 分)

(iii) 下圖顯示在普通光和 UV 光下，瓊脂平板上的細菌菌落的外觀：

在普通光下



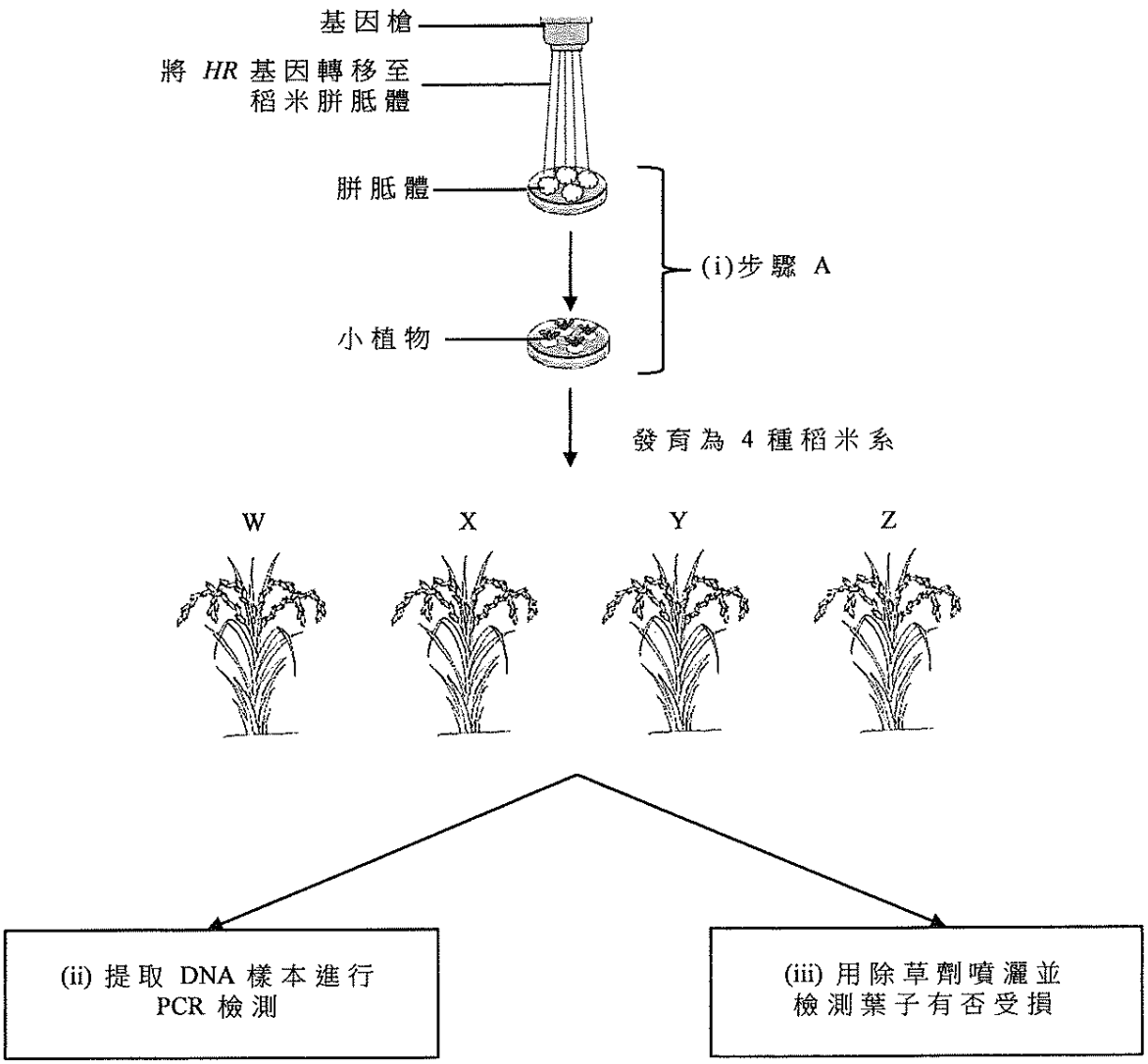
在 UV 光下



(1) 解釋為什麼只有部分細菌菌落在 UV 光下發光。 (3 分)

(2) 提出 *GFP* 基因的**一種**應用。 (1 分)

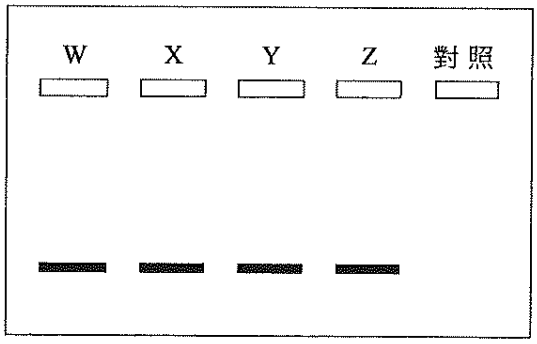
b) 某公司研發具除草劑抗性基因 (*HR*) 的轉基因 (GM) 稻米植物，其採用的方法如下所示：



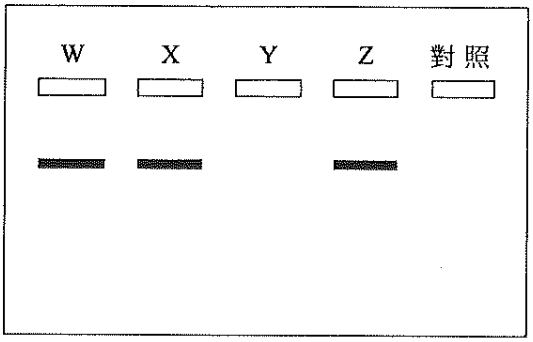
(i) 指出步驟 A 所使用的技術。 (1 分)

(ii) 將稻米系 W、X、Y 和 Z 的 DNA 樣本進行 PCR，檢測是否含有 *ACTIN* 基因（該基因可見於所有稻米植物）和加插的 *HR* 基因。完成後，將 PCR 產物進行凝膠電泳。用相等體積的水代替 PCR 產物作為對照。凝膠電泳的結果如下所示：

凝膠 I：使用 PCR 檢測 *ACTIN* 基因



凝膠 II：使用 PCR 檢測 *HR* 基因



(1) 判斷哪些稻米系樣本具有 *HR* 基因。 (1 分)

(2) 如果凝膠 I 內樣本 Y 的 DNA 帶不存在，你會如何演繹凝膠 II 內樣本 Y 的結果？ (2 分)

(iii) 使用大量除草劑噴灑 4 組（組 1 至組 4）稻米植物，然後在固定的環境條件下種植植物。兩週後，記錄每組在 100 片葉子中，具可見不同程度損傷的葉子數目。GM 稻米系中因除草劑誘發的損害，總結如下：

具可見損傷的葉子面積 (%)	葉子數目			
	組 1	組 2	組 3	組 4
0	20	90	36	82
1 - 20	16	10	28	10
21 - 50	24	0	15	8
51 - 80	25	0	8	0
81 - 100	15	0	13	0

(1) 哪組稻米植物具最高的除草劑抗性？解釋你的答案。 (2 分)

(2) 組 1 所代表的，最可能是哪個稻米系樣本(W、X、Y 或Z)？解釋你的答案。 (3 分)

(3) 雖然有多於一種稻米系成功插入 *HR* 基因，但是除草劑所誘發的損傷結果，差異甚大。提出為什麼會這樣。 (2 分)

解答 **a(i)；原評分 3 分**

限制酶 P 和 R。

插入片段兩端帶不同黏性末端。P 切割質粒後形成可與片段左端 AGCT 配對的末端；R 形成可與右端配對的末端。互補鹼基可先配對，隨後由連接酶封合骨架；Q 的 AATT 末端與題示片段不匹配。

a(ii)；原評分 2 分

篩選帶質粒 A 的細菌；質粒的氨苄青黴素抗性讓帶質粒的細菌能在含該抗生素的平板生長。

沒有取得質粒的細胞缺乏抗性，不能形成相同的菌落。此步只選出有抗性標記的細胞，還不能單靠生長確定每個質粒都插入 GFP。

方法：按載體構造依次驗證插入、表達及性狀。

a(iii)(1)；原評分 3 分

並非每個帶抗性質粒都含 GFP；只有成功取得並表達 GFP 的細菌，才產生在 UV 下發光的蛋白質。

抗生素篩選依據氨苄青黴素抗性，所以未成功插入 GFP 但仍帶抗性質粒的細菌也可生長。含並表達 GFP 的菌落製造綠色螢光蛋白，在 UV 下才可見螢光，因此兩幅照片的可見菌落數不相同。

a(iii)(2)；原評分 1 分

把 GFP 作為報告基因，標示某基因是否在細胞中表達。

把 GFP 的表達連到欲研究的基因或調控區域，可用螢光追蹤表達出現的細胞及位置；發光提供可直接觀察的訊號。

b(i)；原評分 1 分

植物組織培養或微繁殖。

小塊植物組織在合適條件下分裂及分化，先形成芽、根及小植株，再發育為完整植物。這一步利用植物細胞形成完整植株的潛能。

b(ii)(1)；原評分 1 分

W、X 和 Z。

HR 的 PCR 電泳中 W、X、Z 有相同位置的產物帶，Y 沒有；用水的陰性對照也沒有帶，符合這三個樣本含有目標 HR 序列的判斷。

b(ii)(2)；原評分 2 分

若 ACTIN 也沒有帶，不能把 Y 的 HR 陰性當成確定不含 HR。

ACTIN 是所有水稻樣本應有的陽性內部參照。它沒有產物，可能是 Y 的 DNA 提取失敗、樣本沒有足夠水稻 DNA，或 PCR 失敗；因此 HR 沒有帶可能是同一技術問題造成的假陰性。

b(iii)(1)；原評分 2 分

第 2 組；90 片葉完全無損，只有 10 片有 1–20% 輕微損傷。

四組各量度 100 片葉，因此可直接比較。第 2 組無損比例最高，且沒有超過 20% 面積受損的葉，顯示整體受害最低及抗性最高。

b(iii)(2)；原評分 3 分

最可能是 Y。

第 1 組受損最嚴重：只有 20 片無損，而且 40 片在 51–100% 面積受損。原圖 ACTIN 對照正常的條件下，Y 的 HR 沒有帶，表示缺乏該抗性基因，合理預期其抗性最低，與第 1 組吻合。

b(iii)(3)；原評分 2 分

不同品系可能插入不同數量的 HR 拷貝，或因插入位置不同而表達水平不同。

PCR 顯示 DNA 序列存在，不等於相同程度地轉錄及產生有效蛋白。基因劑量、插入位置或基因沉默等差異可造成抗性蛋白量不同，所以都含 HR 的品系仍可能受損程度不同。

評卷報告提醒（原資料第 12、13 頁）

氨苄青黴素只能選出帶抗性質粒的細胞，不能保證含 GFP；發光的是 GFP 蛋白，不是基因本身。ACTIN 是確認樣本及 PCR 正常的內部對照，失敗時 HR 陰性不可直接採信。

評分依據：HKDSE 生物 2023 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 14、15 頁。

VIII.b 生物技術的應用

先讀「知 VIII.b」的知識與圖，再沿本節各題型練習。每道例題保留完整原題與解說，後續練習按整題要求逐步增加資料整合。

題型 1 把基因與細胞治療連到成效、遺傳及風險

綜合程度 ★★★★☆

知識梳理

① 若把正常基因加入某類體細胞，目標是讓相關細胞產生所需產物；它不等於已把全身每個細胞的 DNA 改正，更不自動傳給下一代。幹細胞能形成不同細胞類型，應把其分化潛能與治療所需的特定功能配對。

② 評價應用時，把療效、持續時間、免疫反應、失控增殖或環境影響分別說明；倫理判斷還涉及受益者、承擔風險者及可接受的替代方法。

點石成金　先辨認改變的是基因、哪類細胞或整個生物，再解釋生理作用及限制；討論倫理時以具體受影響對象和取捨支持立場。

例 1 [HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 4 題]

4(a) 閱讀下面一段文字，然後回答下列問題。

成功治療「泡沫小童」　基因治療再受重用

當天穎是一個 5 個星期大的嬰兒時，她患了重症聯合免疫缺陷綜合症 (SCID)，這是因編碼腺苷脫氨酶的基因 (*ADA* 基因) 出現缺陷所致。缺少這種酶會使到毒素在白血細胞內積聚，最後把細胞殺死。受影響的小童需要生活在無菌環境中，他們通常被稱為「泡沫小童」。

現在，天穎是一個免疫系統正常運作的快樂女孩。這歸功於她接受了最新改良的基因治療。實施治療時，先從天穎的骨髓提取細胞，將具有正常功能的 *ADA* 基因導入，然後將細胞重新注入她的骨髓內。 5 個月後，她的白血細胞數目差不多增加了一倍。今天她的免疫系統已完全發揮功能。

(i) 根據白血細胞的角色，解釋患有 SCID 的小童為什麼要生活在無菌環境。 (2 分)

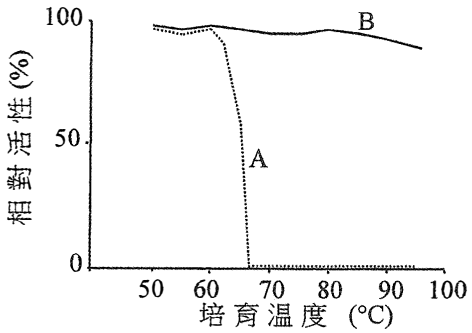
(ii) 對 SCID 患者進行基因治療時，為什麼需要用取自骨髓的細胞而不是白血細胞？ (4 分)

(iii) 就天穎的個案，簡述重組 DNA 技術如何應用於這項基因治療中。 (3 分)

(iv) 試提出基因治療的潛在風險。 (2 分)

4(b) (i) 簡述 PCR 循環涉及的三個主要階段。 (3 分)

(ii) 為測試 DNA 聚合酶 A 和 B 的耐熱性，將聚合酶置於不同溫度下培育 30 分鐘，然後量度其相對酶活性（與該酶的最高活性相比）。結果如下圖所示：



(1) 題 (i) 所述的三個階段中，哪個階段需要用 DNA 聚合酶？ (1 分)

(2) 哪種 DNA 聚合酶較適合用於 PCR？試加以說明。 (4 分)

(iii) 寫出 PCR 的**一項**用途。 (1 分)

解答 **(a)(i)；原評分 2 分**

白血細胞參與辨認、抵抗和消除病原體；SCID 兒童缺乏正常防禦功能，較易受感染，所以需要減少環境中的病原體暴露。

題幹已說白血細胞受損，答案應把其免疫功能缺失接到感染風險，不能只把病名重寫一遍。

(a)(ii)；原評分 4 分

骨髓中的造血幹細胞可持續分裂並形成白血細胞。把功能正常的基因送入這些幹細胞後，後續產生的白血細胞也可具有該功能，效果較持久；成熟白血細胞壽命有限，直接修正它們的效果會隨其死亡而消失。

比較的核心是細胞能否長期自我更新並產生後代。不是因為骨髓細胞位置較深就較有效，而是幹細胞的增殖和分化能力能延續功能。

(a)(iii)；原評分 3 分

把正常 ADA 基因接入適當載體，將它送入病人的骨髓細胞並整合或保留為可表達的 DNA，使細胞產生具功能的 ADA 酶，以補足原來的缺陷。

原題需要一條由基因送入到功能恢復的路徑。DNA 進入細胞本身尚不是終點，還須被表達，形成能作用的酶。依原評卷所用方案，功能基因插入病人的基因組。

(a)(iv)；原評分 2 分

插入位置可能幹擾正常基因或活化鄰近致癌相關基因；病人也可能對載體或新產物產生免疫反應。

兩項風險來自不同環節：一項是插入對基因調控造成的影響，另一項是身體對送入材料或產物的反應。不能因為最終目的是治病就略去這些可能性。

(b)(i)；原評分 3 分

變性：加熱使雙鏈 DNA 分開。退火：降溫，讓引物與目標序列兩端互補配對。延伸：DNA 聚合酶由引物開始加入互補核苷酸，形成新 DNA 鏈。

三步連成一次循環。新形成的 DNA 下一輪又可作模板，因而反覆循環能大量增加目標片段；引物提供開始延伸的位置。

(b)(ii)(1)；原評分 1 分

延伸階段。

DNA 聚合酶把遊離核苷酸連到正在形成的新鏈，所以其直接作用發生在延伸階段。

方法：先辨改變的基因或細胞，再論作用及風險。

(b)(ii)(2)；原評分 4 分

選 DNA 聚合酶 B。PCR 反覆經過使 DNA 解鏈的高溫；圖中 B 經高溫處理後仍保留很高相對活性，而 A 在約 65°C 後幾乎失去活性，所以 B 較能在多輪循環中持續催化延伸。

曲線量的是先經指定溫度處理後剩下的活性，因此重點是耐熱性，而不是把所有曲線高點都當作當下的反應最適溫度。把 PCR 的高溫需求與兩條實際曲線比較，才能說明選 B 的理由。

(b)(iii)；原評分 1 分

擴增少量 DNA，供親子鑑定、法證分析或特定基因序列檢測；寫出其中一項即可。PCR 提供更多目標 DNA，後續分析才有足夠材料。它本身不是直接讀出完整個人身份，而是檢測流程中的擴增步驟。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

長期基因治療需要可持續產生有功能細胞的細胞來源。PCR 所用聚合酶要能經受每輪高溫變性，不能只指出它在延伸溫度下工作。

評分依據：HKDSE 生物 2015 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

例 2 [HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 4 題]

柏金遜症是一種中樞神經系統的疾病，因腦的某區域內的神經元退化和缺乏某種神經遞質所引起。這疾病的症狀包括震顫和肌肉僵硬。

(i) 參考神經元和神經遞質的角色，試提出為什麼柏金遜症患者展示上述症狀。 (2 分)

(ii) 1906 年，發展了一種可減輕柏金遜症症狀的藥物。該藥物的分子結構與有關的神經遞質相似。試說明這藥物如何發揮作用。 (2 分)

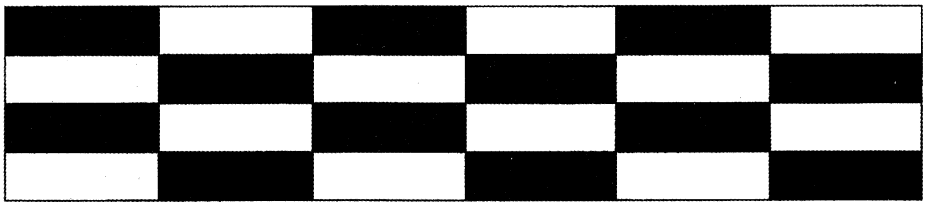
(iii) 經長時間服用後，這藥物的功效減退。在 2001 年，科學家嘗試以幹細胞療法醫治這些患者，他們從流產胎兒的組織中抽取幹細胞移植至患者的腦部。解釋這種治療方法背後的原理。 (2 分)

(iv) 在 2007 年有概念上的突破，一隊日本生物學家把成年人的自體組織轉化為幹細胞，他們將皮膚細胞重設到類似幹細胞的狀況。解釋為什麼這突破有助克服採用流產胎兒的幹細胞作移植的相關問題。 (3 分)

Bt 農作物屬早期用以抵抗害蟲的轉基因植物，它們帶有 *Bt* 基因，而這基因會生產對害蟲幼蟲（毛蟲）有毒性的化學品（*Bt* 毒素）。

(i) 在生產 *Bt* 農作物的過程中，會利用土壤細菌感染和轉化農作物。土壤細菌要經修改，才可用作感染。概述有關的修改步驟。 (4 分)

(ii) 很多科學家關注過度種植 *Bt* 農作物可能產生對 *Bt* 毒素具抗性的害蟲。害蟲對 *Bt* 毒素的抗性是由突變引起的。野生等位基因 (B) 呈顯性，突變等位基因 (b) 則呈隱性。毛蟲進食 *Bt* 農作物後，只有純合隱性 (bb) 的毛蟲能生存。為了減低 *Bt* 抗性的出現機會，科學家將農地分為小區域，有些區域栽種 *Bt* 農作物，另一些則栽種普通農作物，如下圖所示：



索引：■ 栽種 *Bt* 農作物的 *Bt* 區域
□ 栽種普通農作物的非 *Bt* 區域

(1) 突變等位基因在害蟲的種群中很罕見。

(I) 比較在 *Bt* 區域和在非 *Bt* 區域內成年害蟲的種群大小。 (1 分)

(II) 寫出在 *Bt* 區域內找到的成年害蟲的基因型。 (1 分)

(III) 寫出在非 *Bt* 區域內佔最大多數的成年害蟲的基因型。 (1 分)

(2) (I) 解釋這策略(以上圖方式栽種農作物)如何減低成年害蟲的後代出現 *Bt* 抗性的機會。 (3 分)

(II) 這策略背後有什麼假設？ (1 分)

解答 **(a)(i)；原評分 2 分**

特定神經元退化，使相關神經遞質不足，影響隨意運動與肌肉協調，導致震顫、僵硬等症狀。

先把受損細胞接到其分泌的訊號分子，再接到神經網絡功能。只有寫『腦部受損』過於籠統；神經遞質不足才是題幹提供的關鍵環節。

方法：先辨改變的基因或細胞，再論作用及風險。

(a)(ii)；原評分 2 分

藥物結構相似，可與下一神經元的相應受體結合，模擬神經遞質的作用。

受體識別分子的構形。相似分子若能活化受體，就能引起相應的突觸後反應，部分補償原有遞質不足。不能說藥物必須先變成神經元。

(a)(iii)；原評分 2 分

移植的幹細胞可分化成所需神經元，並恢復製造相關神經遞質的功能。

幹細胞的價值在於自我更新及分化潛能。當它們形成合適的神經細胞並參與功能，便可能補回退化細胞失去的分泌能力。題目考治療原理，不能保證任何移植都必然成功。

(a)(iv)；原評分 3 分

可利用病人自身細胞，降低免疫排斥；皮膚細胞較易取得並可培養，來源較充足；可減少使用胎兒組織的倫理爭議。

三個得分面向是相容性、來源與倫理。成年皮膚細胞經重編程取得分化潛能，並不是說原本所有皮膚細胞都天然是全能幹細胞。也不應把『排斥較低』寫成所有治療風險都消失。

(b)(i)；原評分 4 分

以限制酶取得 Bt 基因並切開質粒；以 DNA 連接酶接合，形成重組質粒；再把重組質粒導入土壤細菌。

這四步各有明確角色：限制酶產生可相接的 DNA 末端，載體質粒攜帶基因，連接酶接合糖磷酸骨幹，改造後的土壤細菌則成為向植物轉移該基因的載體。層次上是『先改造細菌，再利用它轉化植物』，不是把農作物整個基因組塞入細菌。

(b)(ii)(1)(I)；原評分 1 分

非 Bt 區域的成年害蟲較多。

非 Bt 植物沒有毒素，敏感害蟲也能存活；Bt 區域多數敏感幼蟲死亡，只有少量抗性個體成為成蟲。

(b)(ii)(1)(II)；原評分 1 分

bb，即隱性純合子。

題幹明定 b 為抗性突變，且抗性是隱性，所以只有 bb 在 Bt 作物上存活。勿沿用『抗性通常顯性』的錯誤預設。

(b)(ii)(1)(III)；原評分 1 分

BB，即顯性純合子。

b 在原種羣中罕見，而非 Bt 區不會淘汰敏感個體，所以大多數成蟲仍為 BB。

(b)(ii)(2)(I)；原評分 3 分

Bt 區存活的少量 bb 較可能與非 Bt 區大量 BB 交配，產生 Bb 後代；Bb 對 Bt 毒素仍敏感，因而減少下一代抗性個體的比例。

直接列出核心交配：bb×BB→全部 Bb。避難區保存大量敏感等位基因，使抗性存活者的配偶不容易也是 bb。這策略延緩抗性累積，不是消除所有 b 等位基因。

(b)(ii)(2)(II)；原評分 1 分

兩區成蟲能混合交配，而 Bt 區存活的 bb 不只互相交配。

若少量 bb 只彼此交配，bb×bb 仍全為抗性 bb，避難區就無法用 BB 降低抗性後代的比例。因此需要跨區混合及適當交配。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

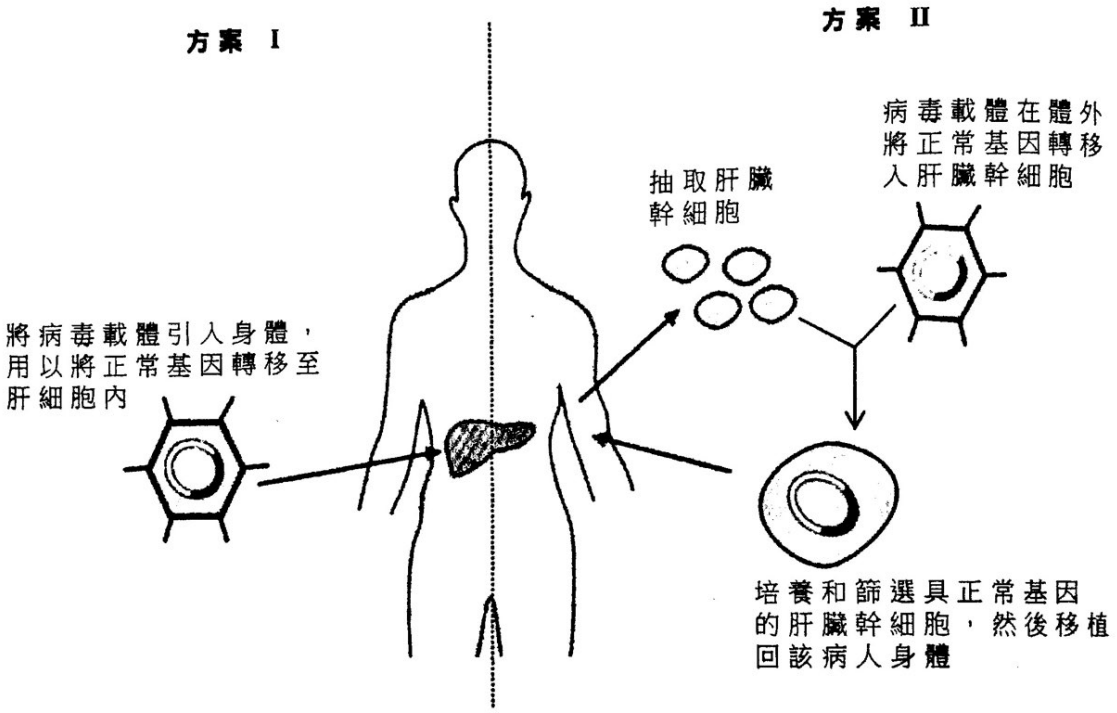
分清腦內神經元的受體與神經肌肉接點。轉化體細胞後才出現幹細胞性質，不表示皮膚細胞本來就是多能幹細胞。害蟲在不同田塊間移動會影響抗性等位基因的變化。

評分依據：HKDSE 生物 2016 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 11 頁。

例 3 [HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 4 題]

(a) (i) 小志患有遺傳病，這病令身體難以凝血。治療小志的其中一種方法是給他輸血。指出這種治療的**兩個**弊端。 (2 分)

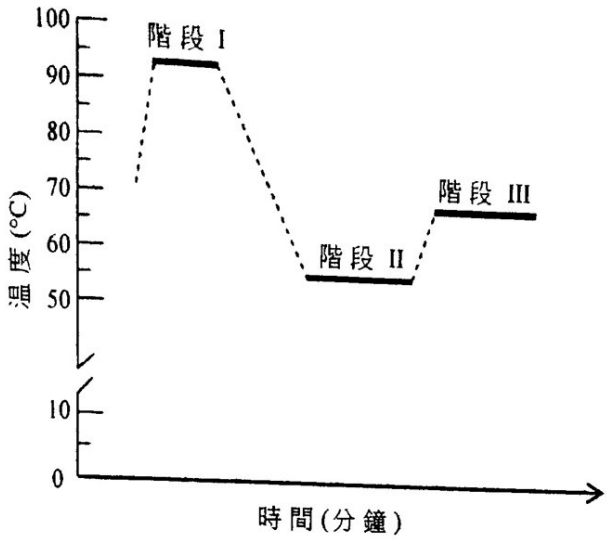
(ii) 已知小志的毛病是由一個有缺陷的基因引起，導致他不能製造某種有助於凝血的肝蛋白。科學家建議用基因治療醫治這種遺傳病。下圖顯示兩種可行的基因治療方案：



(1) 解釋為什麼在方案 II 的基因治療應該選用幹細胞。 (2 分)

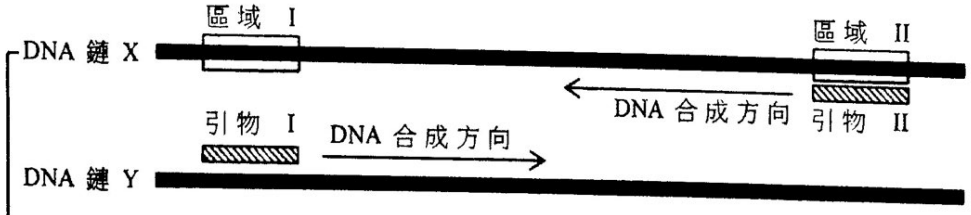
(2) 參照圖中的資料，就基因治療對小志的潛在危險而言，解釋為什麼方案 II 是一個較佳的選擇。 (4 分)

(b) 下圖顯示在一個聚合酶鏈反應 (PCR) 週期的溫度變化：



(i) 哪個階段屬 DNA 變性？解釋你的答案。 (3 分)

(ii) 小宜準備用 PCR 擴增某 DNA 片段。下圖顯示 PCR 中引物連接的情況。DNA 鏈 X 的序列及對應區域 I 和 II 的序列則顯示在圖的下方：



DNA 鏈 X 的序列：

					鹼基數目
TGGCGCTGGG	CGCAATGCGC	GCCATTACCG	AGTCCGGGCT	GCGCGTTGGT	50
	區域 I				
GCGGATATCT	CGGTAGTGGG	ATACGACGAT	ACCGAAGACA	GCTCATGTTA	100
TATCCCGCCG	TTAACCACCA	TCAAACAGGA	TTTTCGCCTG	CTGGGGCAAA	150
CCAGCGTGGA	CCGCTTGCTG	CAACTCTCTC	AGGGCCAGGC	GGTGAAGGGC	200
AATCAGCTGT	TGCCCGTCTC	ACTGGTGAAA	AGAAAACCA	CCCTGGCGCC	250
CAATACGCAA	ACCGCCTCTC	CCCGCGCGTT	GGCCGATTCA	TTAATGCAGC	300
TGGCACGACA	GGTTTCCCGA	CTGGAAAGCG	GGCAGTGAGC	GCAACGCAAT	350
TAATGTGAGT	TAGCTCACTC	ATTAGGCACC	CCAGGCTTTA	CACTTTATGC	400
			區域 II		
TTCGGCTCG	TATGTTGTGT	GGAATTGTGA	GCGGATAACA	ATTTCACACA	450

小宜設計以下 PCR 的引物：

引物 I: CGGUAGUGGG AUACGACGAU　DNA 合成方向 →

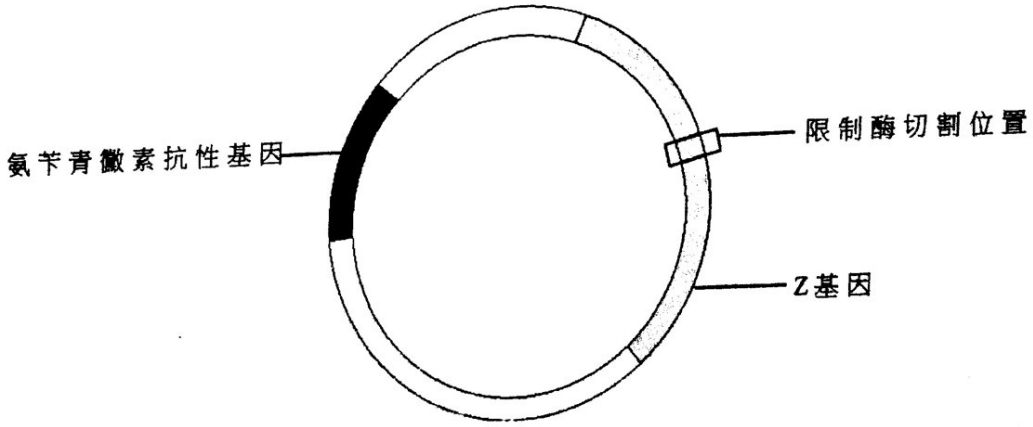
引物 II: CCTTAACACT CGCCTATTGT　DNA 合成方向 →

(1) 每個引物均有一類錯誤。寫出應該使用的正確引物。 (2 分)

(2) 寫出 PCR 產物預計的大小(以鹼基對數目計算)。 (1 分)

(iii) 小宜利用以下質粒為載體，負載 PCR 產物以轉化細菌。該質粒含有：

(I) 氨苄青黴素抗性基因；
(II) Z 基因，該基因編碼着能轉化物質 X 為藍色化合物的酶；
(III) Z 基因內的一些限制酶切割位置。



將細菌轉化後，小宜用含有氨苄青黴素和物質 X 的瓊脂板培養細菌。藍色與白色的細菌菌落繼而形成。

(1) 在瓊脂板加入氨苄青黴素有什麼目的？試加以解釋。 (2 分)

(2) 解釋哪種菌落（藍色或白色）含有非重組質粒(即沒有 DNA 插入)。 (4 分)

解答 **a(i)；原評分 2 分**

需要定期重複輸血；長期多次輸血可能令鐵在體內累積，損害肝臟等器官。

輸入的正常血液成分不會永久修正患者本身的異常基因，所以效果有時間限制，患者需反覆接受治療。反覆輸入亦帶來鐵負荷，鐵若積累可傷害器官。題目要治療本身的限制，不能把醫療程序失誤，例如輸錯血型，當成此方法必然的缺點。

方法：先辨改變的基因或細胞，再論作用及風險。

a(ii)(1)；原評分 2 分

肝幹細胞能分裂、自我更新，並分化成有正常功能的肝細胞，形成能製造凝血蛋白的細胞羣。

只有把正常基因送進一個短暫存活的細胞，未必能維持療效。幹細胞的分裂能力可增加細胞數，分化能力則使後代成為可執行肝功能的細胞；正常基因在適合的肝細胞中表達，才可持續製造所需凝血蛋白。不能只列「能分裂」而不接到分化與蛋白質功能。

a(ii)(2)；原評分 4 分

方法 II 在體外以病毒載體轉移基因，可減少把載體直接放進患者體內引發免疫反應的風險；培養期間還可挑選成功製造凝血蛋白、沒有明顯異常的轉化細胞，再移回體內。

比較要使用兩方法真正不同的步驟。方法 I 把病毒載體直接送進患者體內；方法 II 先取出細胞，在體外轉移、培養和篩選，因此較易控制輸回的是哪些細胞。檢查基因是否表達、細胞是否異常，有助降低插入位置不當而使基因失效、影響其他基因或增加腫瘤風險的機會。方法 II 同樣使用病毒，不能寫「完全沒有病毒」；體外處理與篩選降低部分風險，也不代表風險必定歸零。

b(i)；原評分 3 分

階段 I；該階段溫度最高，足以打斷 DNA 兩條互補鏈之間的氫鍵，使雙鏈分開。

PCR 要先讓模板兩鏈分離，引物才能在下一階段接近相應序列。圖中階段 I 是每個循環的高溫階段，因此對應變性。受破壞的是鹼基對之間的氫鍵；DNA 糖—磷酸骨架仍保留，不能說 DNA 被切成大量小片段，也不能用蛋白質變性的說法取代此處 DNA 的雙鏈分離。

b(ii)(1)；原評分 2 分

引物 I：5′-CGGTAGTGGGATACGACGAT-3′。

引物 II：5′-TGTTATCCGCTCACAATTCC-3′。

引物 I 的原序列使用 U，但 PCR 採用 DNA 引物，對應位置應為 T。引物 I 與 Y 鏈配對，其序列與 X 鏈第 61–80 位相同，3′ 端朝向待複製區域。

引物 II 要與 X 鏈第 421–440 位配對，而且 3′ 端必須朝左、指向目標區域內部。先將 X 的 GGAATTGTGAGCGGATAACA 寫成互補序列，再以引物自己的 5′→3′ 方向讀，便得到 TGTTATCCGCTCACAATTCC。原作答只取互補序列卻沒有反轉書寫方向。兩條新鏈只能由各自引物的 3′ 端延伸，所以兩支延伸箭頭都要朝向片段中間。

b(ii)(2)；原評分 1 分

380 個鹼基對。

左端包括引物 I 對應的第 61 位，右端包括引物 II 對應的第 440 位；兩端都計入。

片段長度 = 440 − 61 + 1 = 380 bp。

PCR 產物包含兩端的引物序列，不是只計兩條引物之間的中間空段，因此不能再減去兩條引物各 20 個鹼基。

b(iii)(1)；原評分 2 分

篩選攝取了質粒的細菌，因為質粒帶有氨苄青黴素抗性基因，轉化細菌能在含該抗生素的培養基上存活。

沒有攝取質粒的細菌沒有得到相應抗性，在含氨苄青黴素的環境下被抑制或殺死；攝取質粒且表達抗性基因的細菌才可形成菌落。這一步選的是「有沒有帶質粒」，還不能單靠抗性判斷質粒內有沒有插入目標 DNA。生長的是細菌，不是遊離質粒本身。

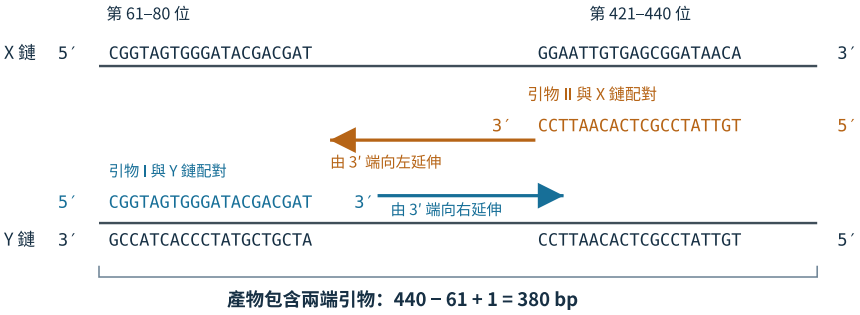
b(iii)(2)；原評分 4 分

藍色菌落。未插入 DNA 片段的質粒保留完整 Z 基因，細菌可製造有功能的酶，把物質 X 轉成藍色化合物。

沿著「質粒結構—基因表達—酶作用—顏色」逐層判斷。沒有插入片段時，Z 基因未被打斷，製成的酶可轉化 X，菌落呈藍色；插入片段落在 Z 基因內時，Z 被破壞，不能製造正常酶，因此呈白色。兩類細菌都可能帶有完整抗性基因而在平板存活，所以抗生素篩選之後，還要以藍白顏色區分是否插入片段。

PCR：先看配對，再看引物的 3′ 端朝哪裡

圖中左至右依 X 鏈位置排列；中間序列省略，距離不按比例。



產物包含兩端引物：440 − 61 + 1 = 380 bp

作答一律依引物自身的 5′→3′ 方向書寫：

I：CGGTAGTGGGATACGACGAT　　II：TGTTATCCGCTCACAATTCC

兩條引物以各自 5′→3′ 方向寫出，延伸方向相向；第 61–440 位共 380 bp。評分依據：HKDSE 生物 2018 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

練習 VIII.a　現代生物技術

對應題型 1 由 DNA 片段與訊號建立可核驗的判斷

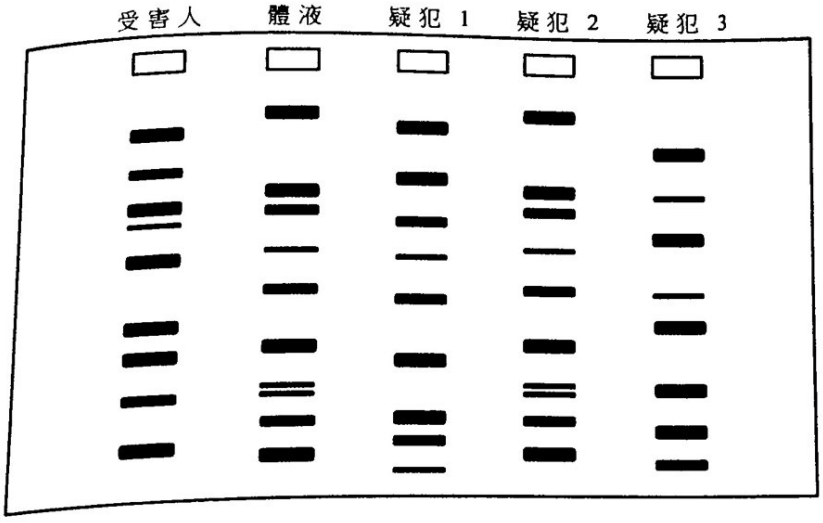
綜合程度 ★★★☆☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 4 題]

提示：先列片段與訊號，再用對照檢查推論。

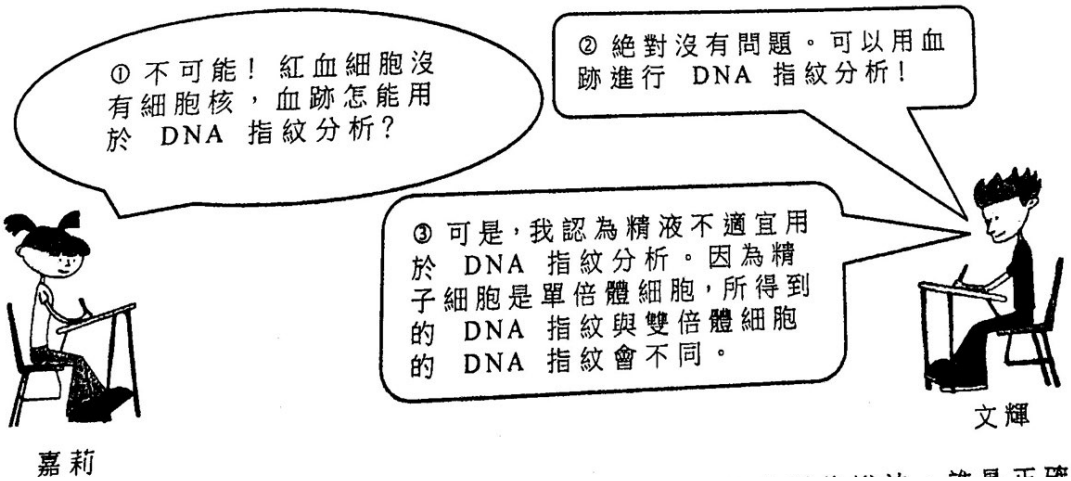
(a) 以 VNTR 為基礎的 DNA 指紋分析可以用來檢測在罪案現場搜集得的體液樣本或細胞樣本。下圖顯示由某個罪案現場所搜集得的體液樣本的 DNA 指紋，及受害人和三名疑犯的 DNA 指紋：



(i) 根據上述結果，在三個疑犯中，推斷誰最可能是罪犯。 (1 分)

(ii) 解釋為什麼這些疑犯的 DNA 指紋呈現不同模式。 (3 分)

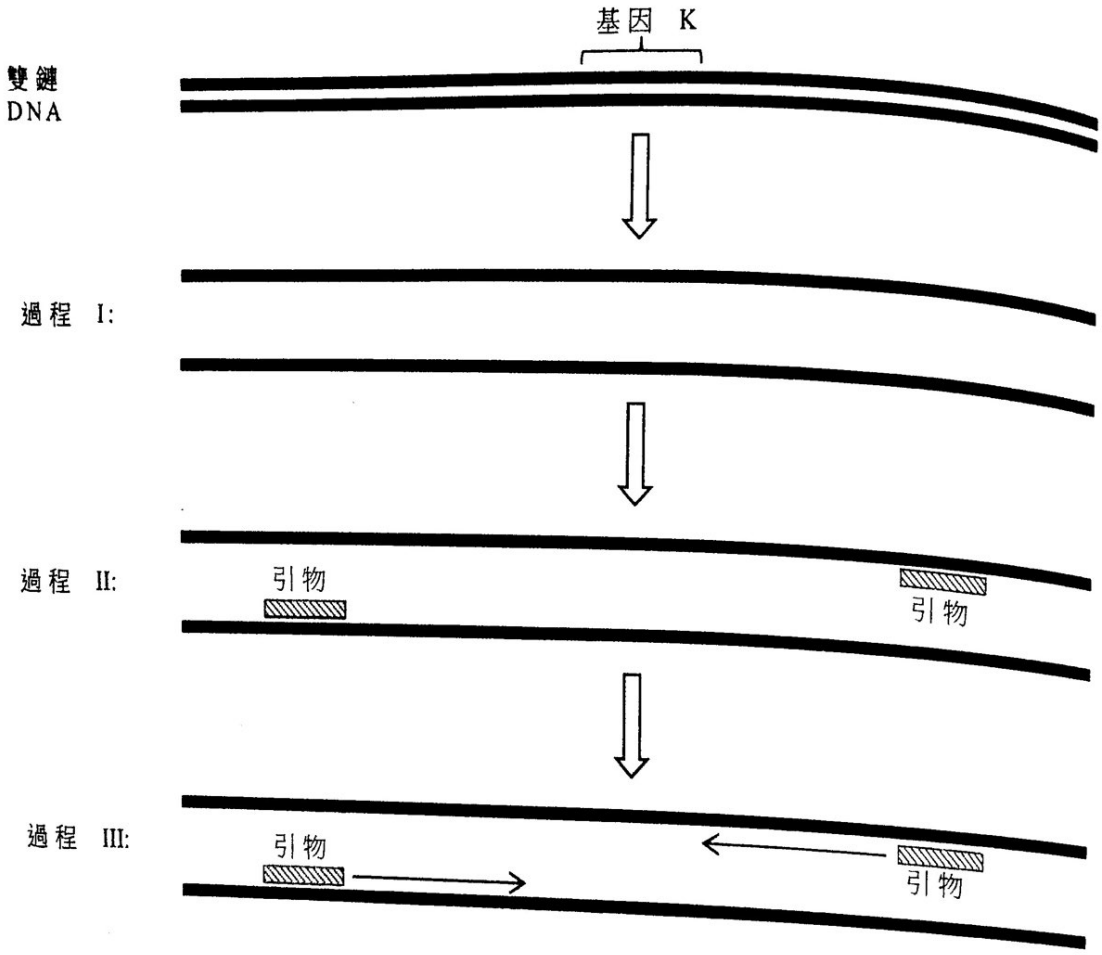
(iii) 精液和血跡是在罪案現場可搜集得的體液樣本。嘉莉和文輝就這些體液樣本是否適合用於 DNA 指紋分析出現分歧。以下是他們的對話：



(1) 嘉莉和文輝對於血跡能否用於 DNA 指紋分析的說法，誰是正確的？解釋你的答案。 (2 分)

(2) 你是否同意文輝對精液是否適合用於 DNA 指紋分析的見解？解釋你的答案。 (4 分)

(b) 一名科學家發現某細菌物種，能分泌一種蛋白，這蛋白對能損毀某種農作物根部的昆蟲具有毒性。基因 K 編碼該種蛋白。科學家利用聚合酶鏈反應 (PCR) 來大量複製基因 K。下圖顯示 PCR 的一些過程：



(i) 過程 II 是什麼？ (1 分)

(ii) 繪畫一簡單的標註圖以顯示預期的 PCR 產物。 (2 分)

(iii) 引物通常具大約 18–22 鹼基。若使用較少鹼基的引物，會產生不同大小的 PCR 產物。解釋這個現象。 (2 分)

(iv) 該名科學家欲利用土壤桿菌 (*Agrobacterium*) 將基因 K 轉移至農作物。解釋為什麼土壤桿菌適用於將這目標基因轉移入農作物。 (2 分)

(v) 種植這種轉基因農作物比種植非轉基因農作物有較高產量。為此提出一個解釋。 (3 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 1 分**

疑犯 2。

逐條比較體液與三名疑犯的 DNA 帶位置，體液欄與疑犯 2 的各條帶相符。應比對所有位置，不是只找一條共同帶或憑整體外觀。

a(ii)；原評分 3 分

不同個體的 VNTR 重複次數不同，形成不同長度 DNA 片段；電泳把長度差轉成不同位置的帶型。

同一 VNTR 區域可以有不同數目的串聯重複，適當處理後便得到長短不同片段。較短 DNA 在凝膠中通常遷移較遠，因此多個區域的長度組合可形成具個體辨認能力的指紋。不是個體有完全不同種類的 DNA 分子。

a(iii)(1)；原評分 2 分

文輝正確：血跡可用作 DNA 指紋分析。

成熟紅血球沒有細胞核，但血液還有白血球，而白血球有細胞核及核 DNA。不能把紅血球的一項特徵推成整份血液都沒有 DNA。

a(iii)(2)；原評分 4 分

不同意文輝認為精液不適用的說法。

每個精子確為單倍體，只帶每對同源染色體中的一條；但精液含大量不同減數分裂產生的精子。混合樣本可包含同一人的兩種相應等位基因及染色體組合，整體仍可重建其 DNA 指紋。問題是把單一精子與含許多精子的體液樣本混為同一層次。

b(i)；原評分 1 分

引物連接／退火。

過程 I 把 DNA 雙鏈分開；過程 II 引物與各自互補的模板序列配對；過程 III 才由 DNA 聚合酶從引物端延伸。因此 II 不能答 DNA 複製或延伸。

b(ii)；原評分 2 分

形成包含基因 K 的雙鏈 DNA，兩引物分別位於相反鏈的相反端，見圖。

下方模板上的左引物向右延伸，形成上方新鏈；上方模板上的右引物向左延伸，形成下方新鏈。多次 PCR 後，大量產物的兩端由引物限定。標示圖須有兩條互補鏈及正確兩端引物，不能只畫單鏈。

b(iii)；原評分 2 分

較短引物的鹼基組合較少，在非目標位置找到相同互補序列的機會較高，產生不同長度的非特異產物。

長度為 n 的鹼基序列最多有 4^n 種組合；n 減少，相同短序列較常在 DNA 其他位置出現。引物若在其他位置退火，延伸距離便不同，因此看到多種大小，而不是只因引物短就讓所有產物同樣變短。

b(iv)；原評分 2 分

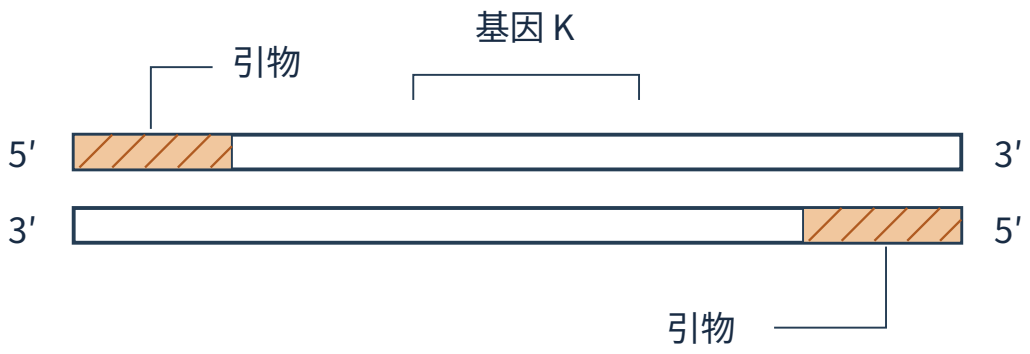
土壤桿菌具有可插入基因 K 的質粒，並能把其 DNA 轉移至植物細胞／植物基因組。

質粒負責攜帶目標基因；土壤桿菌與植物細胞的相互作用提供轉移途徑。這兩項共同使它適合當載體，不能只說細菌繁殖快。

b(v)；原評分 3 分

K 表達的蛋白可抑制攻擊根部的昆蟲，保存較完整根系，使植物吸收更多水及礦物質，生長較好、儲存更多物質於果實。

因果鏈由基因到蛋白，再由蛋白作用到器官功能，最後才到產量。根受損較少也可改善固定及支撐；但不能從「有外來基因」直接跳成產量必高，須指出本題蛋白對根部昆蟲的作用。



PCR 主要產物的雙鏈及引物位置；圖示基因 K 被包含於擴增區域。

評卷報告提醒（原資料第 10、11 頁）

DNA 指紋要解釋 VNTR 重複數如何產生片段長度差。單一精子為單倍體，但大量精子混合樣本仍可呈現同一人的兩種等位基因。PCR 圖必須有雙鏈及位於相反兩端的引物；短引物造成非特異退火，不是只令正常產物短一點。

評分依據：HKDSE 生物 2019 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

2. [HKDSE 生物 2022 年 卷二 原第 4 題]
← 提示：先列片段與訊號，再用對照檢查推論。

4(a) 鐮狀細胞性貧血是一種體染色體遺傳病，由編碼血紅蛋白其中一條多肽鏈的基因的隱性突變引致。這突變令多肽的第七個氨基酸變為另一個氨基酸。該突變等位基因的部分 DNA 序列顯示如下：

引物 1 →

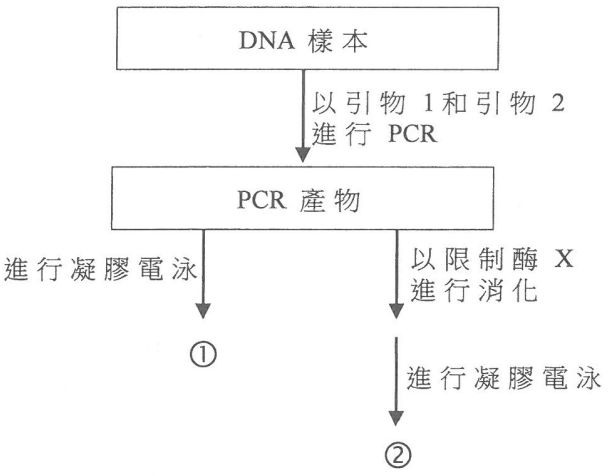
	鹼基數目
AGTCAGGGCA GAGCCATCTA TTGCTTACAT TTGCTTCTGA CACAACTGTG	50
TTCACTAGCA ACCTCAAACA GACACCATGG TGCATCTGAC TCCTGTGGAG	100
AAGTCTGCCG TTACTGCCCT GTGGGGCAAG GTGAACGTGG ATGAAGTTGG	150
TGGTGAGGCC CTGGGCAGGT TGGTATCAAG GTTACAAGAC AGGTTTAAGG	200
AGACCAATAG AAACTGGGCA TGTGGAGACA GAGAAGACTC TTGGGTTTCT	250
GATAGGCACT GACTCTCTCT GCCTATTGGT CTATTTTCCC ACCCTTAGGC	300
TGCTGGTGGT CTACCCTTGG ACCCAGAGGT TCTTTGAGTC CTTTGGGGAT	350
CTGTCCACTC CTGATGCTGT TATGGGCAAC CCTAAGGTGA AGGCTCATGG	400
CAAGAAAGTG CTCGGTGCCT TTAGTGATGG CCTGGCTC	438

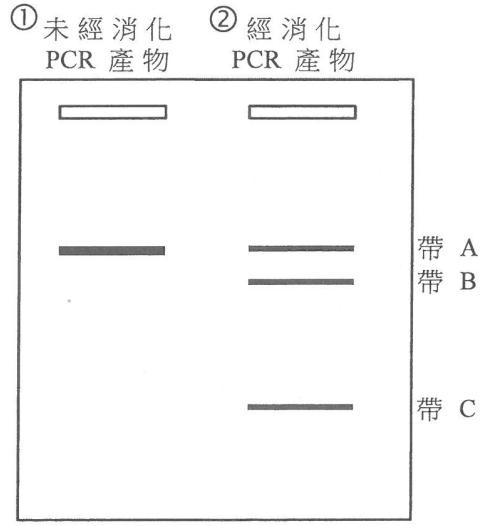
← 引物 2

(i) 該多肽的開端是由遺傳密碼 ATG 編碼，即圖中劃有底線的位置。寫出發生突變的遺傳密碼。 (1 分)

(ii) 參考上圖，使用引物 1 和引物 2 擴增該突變等位基因，預計所產生的 PCR 產物的大小是什麼？寫出 PCR 產物大小的單位。 (2 分)

(iii) 已知正常等位基因有限制酶 X 的識別部位，但突變等位基因中，該識別部位已被破壞。由一名鐮狀細胞性貧血的帶基因者取得 DNA 樣本，進行以下分析：





(1) 解釋為什麼經消化後的 PCR 產物，在凝膠電泳後會得到三條 DNA 帶？ (3 分)

(2) 哪一條/些帶代表具突變的等位基因？解釋你的答案。 (3 分)

根據一項 DNA 序列科研項目，這突變在兩個人類種群內的頻率如下表顯示：

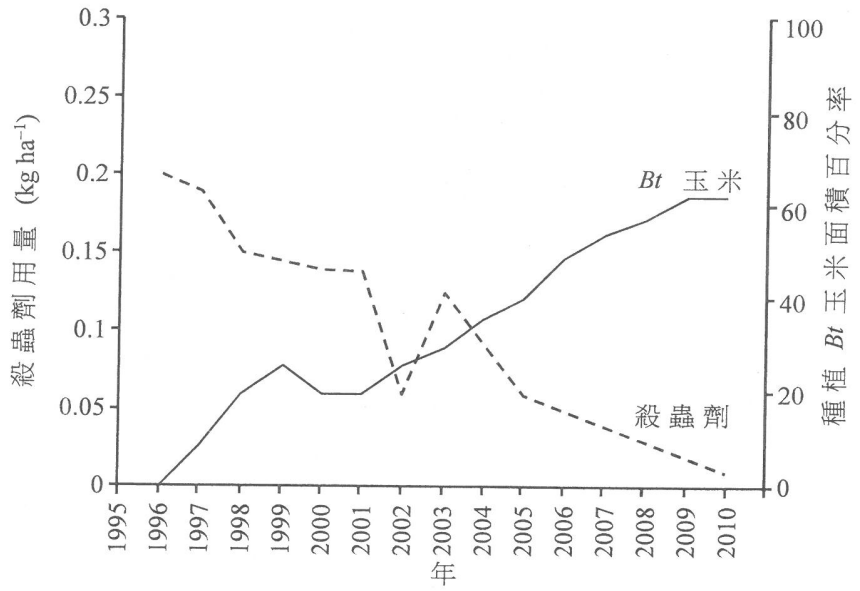
種群	人數	突變數目	屬純合子的人數
非洲	12 482	1 121	4
東亞	9 961	0	0

在 (iii) 的 DNA 樣本最有可能來自哪個種群？ (1 分)

Bt 玉米是轉基因農作物，具來自某種細菌的 *Bt* 基因。這 *Bt* 基因能產生一種對某些昆蟲害蟲有毒的蛋白。

(i) 土壤桿菌轉化作用常用以生產轉基因植物。寫出這方法的**兩項**不足之處。 (2 分)

(ii) 下圖顯示在美國農場中 *Bt* 玉米的種植率和殺蟲劑的用量：



(1) 解釋 *Bt* 玉米的種植率和殺蟲劑用量之間的關係。 (3 分)

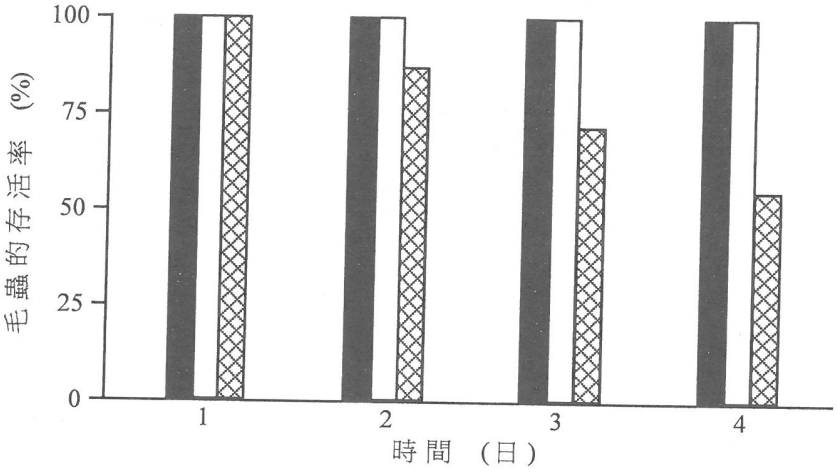
(2) 寫出種植 *Bt* 玉米對農民的**一種**好處。 (1 分)

(iii) 將 *Bt* 玉米引進到農田後，發現蝴蝶物種 M 的種群急劇下降。*Bt* 玉米被認為是引致這急劇下降的罪魁禍首。

(1) 在實驗室研究中，把 M 的毛蟲分為三組，分別以不同種類的葉子餵飼。三組毛蟲的存活率如下所示。

圖例：

- 沒有任何花粉的葉子
- 覆蓋普通玉米的花粉的葉子
- 覆蓋 *Bt* 玉米的花粉的葉子



根據這研究結果，就 M 種群的下降提出一個可能的解釋。

(2 分)

(2) 其後，進行大規模的田野研究，將 M 的毛蟲分別置於與種植 *Bt* 玉米和種植普通玉米的農田邊緣不同距離的地方。發現這些毛蟲在存活率上沒有顯著的差異。

科學家質疑在 (1) 所提及的實驗室研究結果的有效性。試提出**兩項**在農田的實際情況，這些情況或會影響實驗室研究結果的有效性。

(2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 1 分**

GTG。

從畫線的 ATG 起，以每三個鹼基一組讀取：ATG／GTG／CAT／CTG／ACT／CCT／GTG。第七組是 GTG；不可從整段 DNA 的最左端重新分組。

a(ii)；原評分 2 分

421 鹼基對（bp）。

PCR 片段包括兩條引物界定的完整區域。圖中由第 11 個至第 431 個鹼基，包含兩端，長度=431−11+1=421。PCR 產物是雙鏈 DNA，長度單位應寫鹼基對，而非只寫鹼基。

a(iii)(1)；原評分 3 分

帶基因者為雜合子；正常等位基因產物被限制酶切成兩段，突變等位基因產物不被切，合共三種長度。

體細胞有一個正常及一個突變等位基因，PCR 同時擴增兩者。正常片段仍有酶 X 的識別位點，所以變成兩條短片段；突變片段識別位點被破壞，保持完整長度。電泳按長度分開，因此出現三條帶。

a(iii)(2)；原評分 3 分

帶 A。

突變片段不能被酶 X 切開，保留最長的 421 bp，通過凝膠的速率最慢、最接近加樣孔，所以在 A。A 也與未經消化的 PCR 產物位置相同，提供獨立的對照證據；B、C 是正常片段被切後的較短產物。

a(iv)；原評分 1 分

非洲種羣。

題表非洲樣本記錄 1121 個突變，而東亞樣本為 0。已知所取樣本是帶基因者，依這組數據較可能來自有觀察到該突變的非洲樣本羣；這是基於題表頻率的機率推斷。

b(i)；原評分 2 分

外源基因插入位置較隨機，可能幹擾宿主基因；轉化成功率可能較低。

土壤桿菌轉移的 DNA 未必插入預定位置，亦可能有多個插入拷貝，影響原有基因表達。另一方面，不是所有植物細胞都能被有效感染及完成轉化，因此需要辨認成功轉化的細胞。

b(ii)(1)；原評分 3 分

Bt 玉米種植比例增加時，殺蟲劑用量整體下降，因玉米自身能產生殺死某些害蟲的 Bt 蛋白。

圖中 Bt 玉米比例由接近零升至約六成以上，殺蟲劑由約 0.2 kg/ha 下降至接近零。Bt 基因使植物形成對特定害蟲有毒的蛋白，害蟲取食時被殺或受抑制，因此農民需要施用的殺蟲劑較少。

b(ii)(2)；原評分 1 分

可減少購買及噴施殺蟲劑的成本。

殺蟲劑用量下降，可節省藥劑、噴施時間和勞動；減少害蟲損失而提高產量也可作另一直接好處。

b(iii)(1)；原評分 2 分

Bt 玉米花粉可能落在毛蟲取食的葉上，所含 Bt 蛋白使毛蟲死亡，導致物種 M 種羣下降。

食用無花粉葉及普通玉米花粉葉的毛蟲存活率一直接近 100%，而 Bt 花粉組至第 4 日降至約 50%。差異支持 Bt 花粉中的成分能毒害這種非目標毛蟲，從而可能減少其成蟲來源。

b(iii)(2)；原評分 2 分

田野葉面實際花粉量可能較少；雨水或風可把葉上花粉移走。

實驗室可能讓毛蟲持續接觸較高、固定量的 Bt 花粉。田野中花粉隨距離稀釋，且會被雨水沖走或風吹走，實際吞食劑量可能不足以造成同樣死亡；其他可選食物亦可能降低暴露。因此實驗室結果不能直接等同野外種羣後果。

評卷報告提醒（原資料第 11、12 頁）

PCR 是雙鏈 DNA，片段大小以鹼基對表示。三條帶的成因須從帶基因者同時有兩種等位基因及酶切差異解釋；Bt 的實驗室與田野差異須提出會改變花粉實際暴露量的條件。

評分依據：HKDSE 生物 2022 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 12、13 頁。

對應題型 2 由載體構造推插入、表達與篩選結果

綜合程度 ★★★★☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 4 題]

提示：按載體構造依次驗證插入、表達及性狀。

(a) 昔日，糖尿病患者接受從動物胰臟提取出來的胰島素來治療。隨着重組 DNA 科技的發展，現在可以用基因改造細菌來生產胰島素。以下是發展該基因改造細菌的一個可行方案：

步驟 1：分離人類胰島素基因，並利用聚合酶鏈反應 (PCR) 將其複製 → 步驟 2：把經複製的基因插入細菌質粒，然後把質粒導入細菌 → 步驟 3：篩選和培養能產生人類胰島素的基因改造細菌

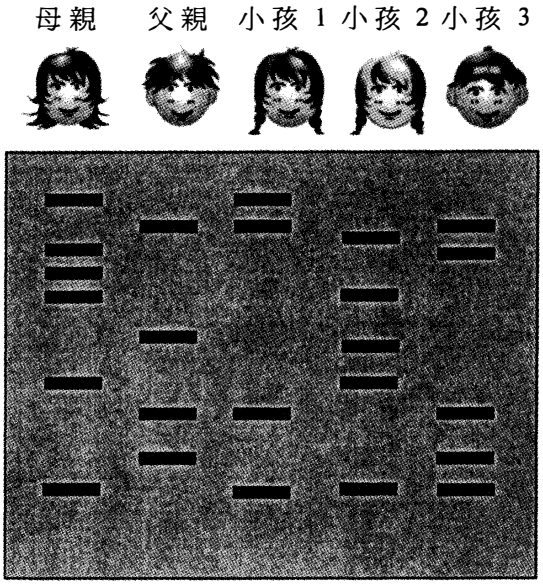
(i) 在步驟 1 ，由 DNA 模板複製人類胰島素基因，需要一些原料。舉出其中**兩種**。 (2 分)

(ii) 試從免疫反應的角度，解釋爲什麼治療糖尿病患者時會使用由基因改造細菌生產的胰島素，而不採用動物胰臟提取的胰島素。 (4 分)

(iii) 解釋爲什麼利用基因改造細菌生產胰島素，比從動物胰臟提取胰島素便宜。 (2 分)

(iv) 爲了進一步降低生產胰島素的成本，最近開發了一種能產生人類胰島素的基因改造農作物。可是，環保團體擔心種植這些基因改造農作物會構成基因污染。解釋爲什麼種植這些基因改造農作物會構成基因污染。 (2 分)

(b) 下圖顯示某家庭內五名成員的 DNA 指紋，包括一對夫婦和三名小孩，其中一名小孩是由母親在前一段婚姻所生。



(i) 根據以上資料，推斷哪一名小孩是該母親在前一段婚姻時所生的。 (3 分)

(ii) 雖然其他兩名小孩是圖中所示的父母所生的，但他們的 DNA 指紋卻展示不同的模式。試解釋這現象。 (3 分)

(iii) DNA 指紋的差異是源於人類染色體中存在一些可變數目串聯重複序列 (VNTRs)。VNTRs 是位於染色體非編碼區上的重複 DNA 序列，而這些序列重複的次數因人而異。解釋爲什麼這些 VNTRs 可以有很多變異，而具功能的基因則變異較少。 (4 分)

試 卷 完

本試卷所引資料的來源，將於香港考試及評核局稍後出版的《考試報告及試題專輯》內列明。

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

引物；四種脫氧核苷三磷酸（dNTPs）。

引物提供 DNA 聚合酶延長的起點，dNTPs 提供合成新 DNA 鏈的單體。題目問複製所需的兩種原料，不應只寫作為催化劑的酶。

a(ii)；原評分 4 分

基因改造細菌依人類胰島素基因製造的胰島素，氨基酸序列與人體胰島素相同，較不易被免疫系統當成外來物而產生抗體；動物胰島素的序列可能有差異，部分患者會對它產生抗體，使胰島素被清除或失活，降低療效。要從序列相似性連到免疫辨認和藥效，不能只說「人類的比較適合人類」。

a(iii)；原評分 2 分

細菌生長及繁殖快，可持續大量製造胰島素；每隻動物的胰臟能提供的量有限，而且飼養動物通常成本較高。任選兩項有因果的成本理由，也可說明從適當細菌培養物純化產品較方便；不能只重複「產量大所以便宜」兩次。

a(iv)；原評分 2 分

在開放環境栽種的改良作物可把花粉散播到相容的非改良植物；授粉及受精後，轉入的基因便可能隨種子傳到其他植物族羣。

基因流要經可行的繁殖途徑，不是單靠植物彼此接觸就傳遞基因。

b(i)；原評分 3 分

小孩 2。其部分條帶可在母親中找到，但其餘條帶不能由圖中父親的模式解釋，顯示圖中父親不是其生父。

原卷題幹說母親前一段婚姻所生，(i)卻誤寫父親；官方答案與圖均支持小孩 2 來自母親之前的婚姻。判斷時逐條比較剩餘的非母源條帶，而不是只看與父親共有幾條。

b(ii)；原評分 3 分

兩名小孩由不同的配子組合受精形成。減數分裂時同源染色體獨立分配，並可發生互換，使每個配子帶有不同的親代染色體組合；隨機受精再組合這些差異，所以同一雙親的孩子也有不同 DNA 指紋。

同父同母不表示每個孩子取得完全相同的一半 DNA；遺傳物質的來源相同，但組合不同。

b(iii)；原評分 4 分

題設 VNTR 位於非編碼區，重複次數的變化通常較少直接破壞蛋白質功能，因此較可能被保留並傳給下一代，逐代累積多樣性。相反，功能基因的某些突變會令蛋白質失效或不能表達，影響存活及繁殖，這些有害變化較容易被自然選擇淘汰。

差異不能只解釋為 VNTR 一定突變得更快；本題強調變異能否被選擇保留。非編碼不等於所有序列都無功能，故這裏的比較按題設所用 VNTR 模型表達。

題意與適用範圍

原卷(b)題幹寫「母親在前一段婚姻所生」，(b)(i)誤寫「父親」。依圖像與官方評卷參考，應判斷哪名小孩非圖中父親所生，答案為小孩 2。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

PCR 的原料不是可重複使用的酶；解釋胰島素免疫反應要提氨基酸序列差異，解釋基因污染要給出花粉傳播途徑。

評分依據：HKDSE 生物 2013 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

2. [HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 4 題]

提示：按載體構造依次驗證插入、表達及性狀。

(a) 病原體 Z 嚴重威脅耕地所種植的某種穀類作物。某研究所探究不同的生物科技策略，以促進該作物對病原體 Z 的抵抗力。分離了一個細菌基因（*BR*），該基因能編碼對病原體 Z 具高度毒性的蛋白。該研究所製成兩種基因改造植株 GM-A 和 GM-B。二枚不同長度、承載 *BR* 基因的 DNA 片段分別插入 GM-A 和 GM-B 中，如下所示：

插入 GM-A 的 DNA 片段：

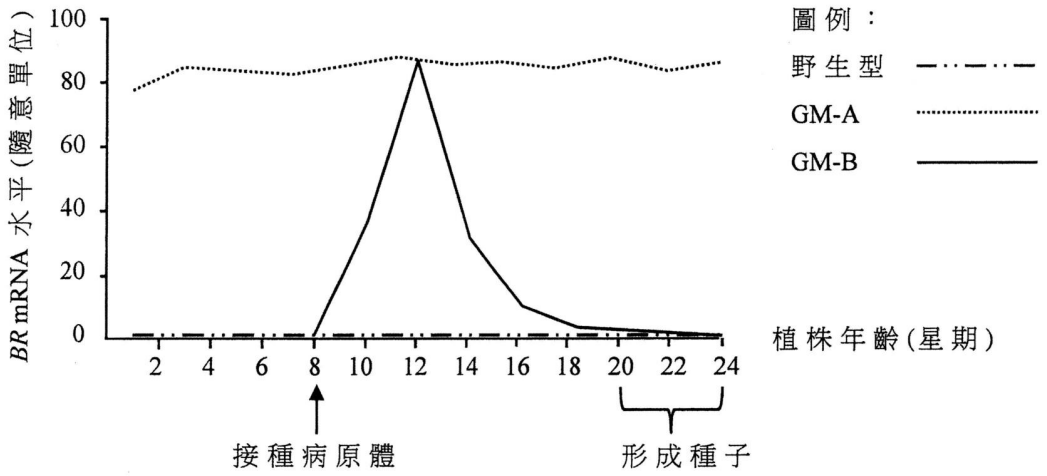
序列 P	*BR*	序列 Q

插入 GM-B 的 DNA 片段：

序列 X	*BR*	序列 Y

(i) 一名學生混淆了兩種 GM 植株，未能分辨兩者。簡述如何用聚合酶鏈反應（PCR）辨認特定的 GM 植株。（3 分）

(ii) 在一段時間內，對野生型植株和 GM 植株的 *BR* mRNA 含量進行測定，在第八個星期，將病原體 Z 接種到植株中。下圖顯示該實驗結果：



上述實驗中，植株被病原體 Z 感染前後的種子產量及感染後的病害嚴重程度均被記錄如下：

	感染前的種子產量（隨意單位）	感染後的種子產量（隨意單位）	病害嚴重程度（葉片破壞的百分率）
野生型	120	50	75
GM-A	60	60	5
GM-B	120	100	20

(1) 從能量消耗的角度，提出一個理由，解釋 GM-A 和 GM-B 在種子產量上的差異。（2 分）

(2) 根據上圖及上表，解釋 GM-A 和 GM-B 病害嚴重程度的差異。（5 分）

(b) 基因治療可以醫治或有可能治癒某些疾病。

(i) 提出用基因治療醫治某種疾病的**一種**途徑。 (1 分)

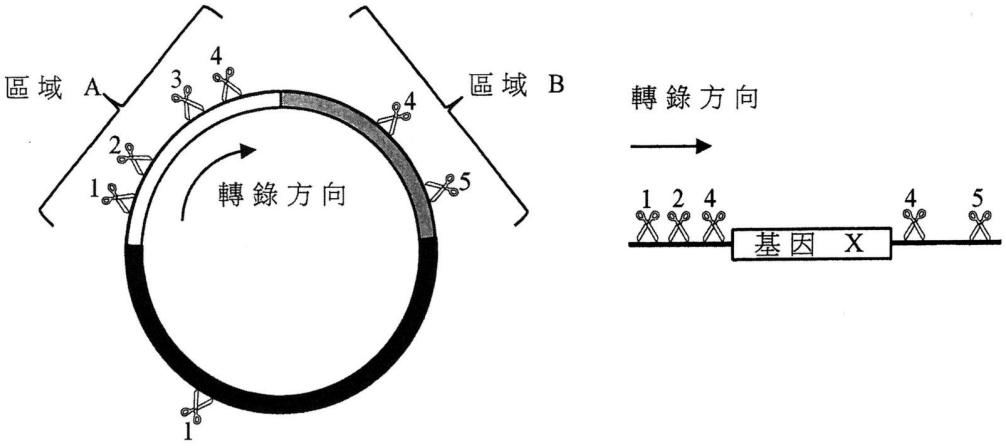
(ii) 缺乏某些蛋白可引致不同的疾病，以下是其中三種疾病：

疾病	缺乏的蛋白種類	組成該蛋白的氨基酸數目
P	I	533
Q	II	230
R	III	2479

(1) 根據這些蛋白的氨基酸數目，計算編碼這些蛋白的 mRNA 的含氮鹼基數目。 (2 分)

(2) 現已構建了一個基因改造病毒，用以將單鏈 DNA 送往靶細胞。這個病毒只能承載長度小於 4700 鹼基的 DNA。上表哪種 / 些疾病可以藉使用這基因改造病毒的基因治療來醫治？解釋你的答案。 (3 分)

(iii) 在另一項研究中，目標基因 X 及質粒會被接合以製備重組質粒。以下顯示一個質粒及一枚載有基因 X 的 DNA 片段，數字指示相關限制酶 (1-5) 的識別部位以製成黏端：



要製備所需的重組質粒，基因 X 的開始端和末端必須分別與質粒的區域 A 和區域 B 的任何部分連接。

(1) 哪些限制酶可用來切割質粒和載有基因 X 的 DNA 片段，以獲得最高產量的所需重組質粒？ (1 分)

(2) 解釋為什麼不能使用其他限制酶來製備所需的重組質粒。 (3 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 3 分**

以各植株的 DNA 為分析對象，用能辨認 P、Q 或 X、Y 兩側序列的特異引物取得相應 PCR 產物，再比較凝膠電泳條帶。原圖中 GM-A 的對應片段較短，其帶應比 GM-B 的對應帶移得較遠。

BR 是兩者共有的部分，單憑「含有 BR」不能區分兩種植株；兩側序列及片段長度才提供辨認依據。答案須把所分析的 DNA、引物專一性和可觀察的條帶差異接起來。

(a)(ii)(1)；原評分 2 分

GM-A 在整段觀察期持續大量表達 BR，消耗較多能量；GM-B 主要在受到刺激後才提高 BR 表達，整體耗用較少能量，因此可供形成種子的能量較多，種子產量較高。

本問指定從能量消耗解釋。表中的數值是種子產量，不是種子大小或萌發率。先比較持續表達與受到刺激後才表達的能量成本，再連到繁殖產量。

(a)(ii)(2)；原評分 5 分

GM-A 在第 8 週之前已有高水平 BR mRNA，並在整段期間維持高水平，因而較早已有足夠 BR 蛋白提供保護。GM-B 的 BR mRNA 則在第 8 週之後才上升，需要一段時間製造足夠 BR 蛋白。保護建立的時間不同，可解釋 GM-A 葉片破壞僅 5%，低於 GM-B 的 20%。

依次對比 mRNA 水平、表達時間、足夠蛋白出現的時間及病害程度。mRNA 本身不是保護蛋白，兩者之間有翻譯的步驟；較高種子產量與較低病害程度也不是同一指標，因此 GM-B 產量較高不代表它的葉片受損更少。

(b)(i)；原評分 1 分

例如提供正常基因，以彌補缺失或有缺陷基因所造成的功能不足。

這是基因治療的一種原理。原問要求治療途徑，不是列出鹼基替換、插入或缺失等突變類型。

(b)(ii)(1)；原評分 2 分

直接編碼氨基酸的鹼基數：I＝533×3＝1599；II＝230×3＝690；III＝2479×3＝7437。按本卷評分表再計入一個終止密碼子時，相應數值為 1602、693 及 7440。

每個氨基酸對應一個含三個鹼基的密碼子；終止密碼子本身不編碼氨基酸。真實 mRNA 還可含非轉譯區，單憑蛋白質的氨基酸數不能推出整條轉錄本的實際長度。這裏列出的是原題所用簡化計算；評分表與報告在是否加終止密碼子上有文字不一致，見本題資料說明。

(b)(ii)(2)；原評分 3 分

疾病 P 和 Q。按題目的簡化對應關係，相關單鏈 DNA 所需長度與對應 mRNA 的編碼長度相當；I 及 II 均低於 4700 個鹼基，III 則已超過此上限。

本題問的是疾病 P、Q、R，不是物種。即使用未加終止密碼子的 1599、690 及 7437 來比較，或依評分表加 3，結論仍相同。長度限制能排除 III，不能把 I 與 II 之中的一個再任意排除。

(b)(iii)(1)；原評分 1 分

限制酶 2 和 5。

依原圖的抽象位置及方向要求，片段的開始端須接向區域 A，末端須接向區域 B。用兩種不同端點作配對，才符合題目要求的定向連接。

(b)(iii)(2)；原評分 3 分

酶 1 在質粒區域 A 以外亦有切位，可能使片段接到不適當位置；酶 3 在所示目標 DNA 片段上沒有對應切位；酶 4 在 A、B 和片段兩端都產生同類端點，片段可能以相反方向連接。

逐一指出原圖中三種不同問題：位置不合、缺乏對應位點、方向不受控制。圖中酶 3 並未切斷基因 X，酶 4 的主要問題亦不是必然破壞基因；不能用籠統的「不匹配」代替具體讀圖。

資料說明

本題所附資料有一處矛盾：2025 合訂本第 65 頁評分表，先列不含終止密碼子的 1599、690、7437，再以另一分列出加 3 後的 1602、693、7440；但第 77—78 頁的考生表現報告，卻把計算中包含終止密碼子列為錯誤。本解答把兩種計數對象分開呈現，並保留評分表的兩步數值，不聲稱兩份文字完全一致。此差異不影響下一問 P、Q 兩種疾病的判斷。

評卷報告提醒（原資料第 77、78 頁）

表達有能量成本，須與種子產量和保護建立時間分開比較。DNA 片段題應逐一讀出切位、區域和方向；一個方法能產生片段，不等於所有連接都符合題目方向。

評分依據：HKDSE 生物 2025 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 65、66 頁。

3. [HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 4 題]
提示：按載體構造依次驗證插入、表達及性狀。

在 2015 年，美國批准一種基因改造 (GM) 鮭魚作食用。以下流程圖顯示生產該 GM 鮭魚所涉及的一些簡化步驟。

步驟 1	利用來自鮭魚物種 A 的生長激素基因製備重組 DNA
↓	
步驟 2	將重組 DNA 以顯微注射技術導入鮭魚物種 B 的受精卵
↓	
步驟 3	連續數代篩選純合轉基因鮭魚用作繁殖
↓	
步驟 4	從所篩選的轉基因鮭魚收集二倍體的受精卵
↓	
步驟 5	用某些處理方法產生三倍體的受精卵
↓	
步驟 6	用被隔離的魚缸培養由三倍體受精卵長成的不育 GM 鮭魚

(i) 培養這種 GM 鮭魚較非 GM 鮭魚有什麼優勝之處？解釋你的答案。 (2 分)

(ii) 在步驟 2 採用顯微注射技術。

(1) 舉出採用顯微注射技術而不採用病毒載體生產 GM 鮭魚的**一個**優點。 (1 分)

(2) 舉出採用顯微注射技術的**一個**弊端。 (1 分)

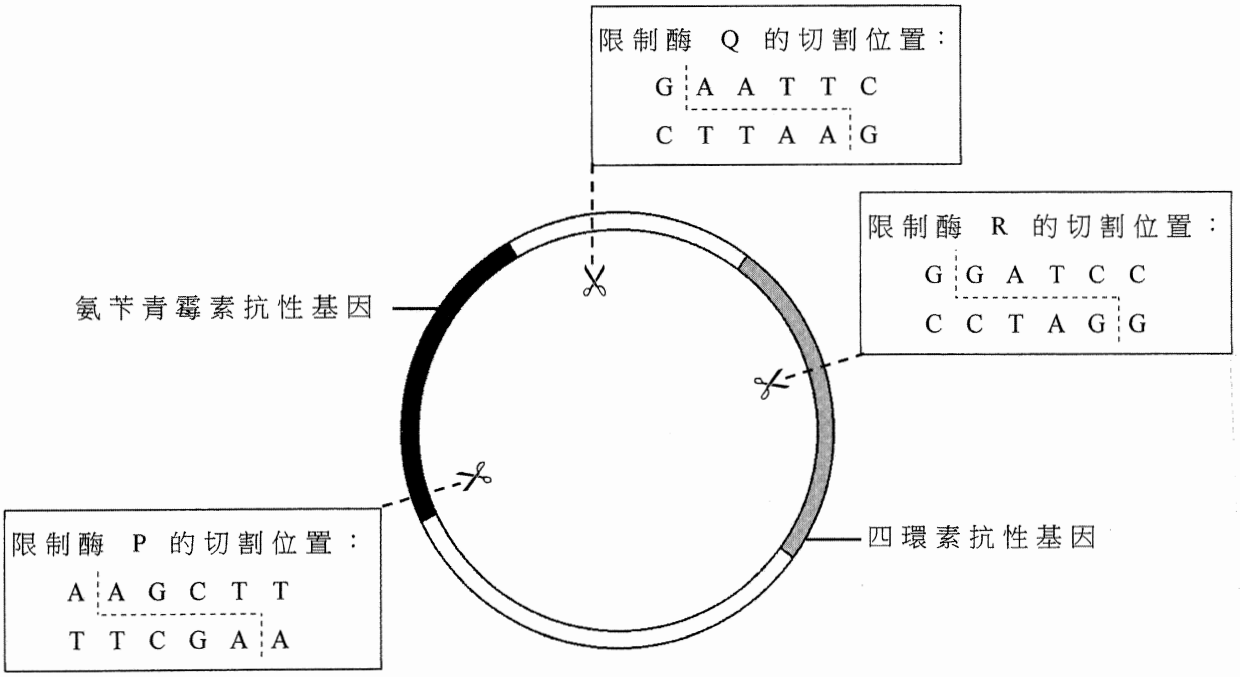
(iii) 參考步驟 3，提出**兩項**理由解釋為什麼要經過連續數代的篩選而非一代。 (2 分)

(iv) 在步驟 5，所產生的三倍體受精卵帶有三組染色體。

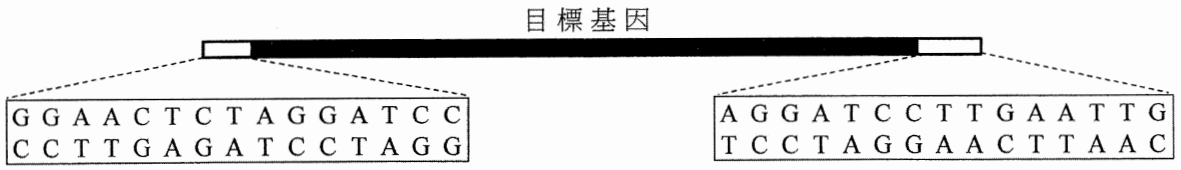
(1) 根據配子形成的過程，解釋為什麼由三倍體卵子長成的 GM 鮭魚是不育的。 (2 分)

(2) 解釋為什麼這可以作為保護自然生物的一項安全措施。 (2 分)

4(b) 下圖顯示一質粒。它含有兩個抗生素抗性基因，和限制酶 P、Q 和 R 的 3 個切割位置。



某學生嘗試將以下 DNA 片段插入這質粒，然後以質粒轉化細菌。以下顯示該 DNA 片段兩末端的部分核苷酸序列：



(i) 根據上述資料，選擇一種限制酶來切割質粒及 DNA 片段，以達至它們重組成功。解釋你的答案。 (4 分)

(ii) 在轉化後，將細菌轉移到含氨苄青霉素的瓊脂平板，以作篩選。解釋這步驟的重要性。 (3 分)

(iii) 生長在含氨苄青霉素的瓊脂平板上的細菌群落，有些具四環素抗性，有些則沒有。解釋這現象。 (3 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **(a)(i)；原評分 2 分**

加入能表達的生長激素基因，可促進較快生長，使魚在較短時間達到較大體型。

把所加基因的功能連到養殖結果：它影響生長激素產生，進而影響生長速度。並非所有外來基因都會讓生物變大，必須指明是生長激素相關基因。

(a)(ii)(1)；原評分 1 分

無須使用病毒載體，避免把相關病毒成分一同引入。

顯微注射直接把重組 DNA 送入受精卵，因此可避開病毒載體特有的成分或感染相關問題。這只是一項方法優點，不能由此推斷成品必然沒有任何其他風險。

(a)(ii)(2)；原評分 1 分

成功整合率可較低，操作也可能損傷受精卵。

舉一項弊端即可。每次需針對個別受精卵操作，也可導致費時；不要把『不使用病毒』本身又重複作弊端。

(a)(iii)；原評分 2 分

確認轉基因能穩定傳給後代，並確認經多代後仍能正常表達、維持所需性狀。

第一代檢出 DNA，不足以證明它已進入可遺傳細胞或長期保持作用。連續繁殖與篩選，可檢驗遺傳穩定性及表達穩定性，也有助建立純合品系。

(a)(iv)(1)；原評分 2 分

三組同源染色體在減數分裂時難以規則配對及平均分離，難形成有正常染色體組合的有效配子，因而不育。

二倍體的每對同源染色體可一一配對；三倍體有奇數套，配對和分離容易不均。問題在配子形成，不是三倍體的每個體細胞都不能有絲分裂。

(a)(iv)(2)；原評分 2 分

即使逃到自然環境，也難與野生鮭魚繁殖，降低轉基因流入野生種羣的機會。

把不育性接到基因流動：缺乏有效配子→交配難產生可存活後代→外來基因不容易經繁殖擴散。這項措施針對繁殖傳播，不能單獨排除所有生態競爭影響。

(b)(i)；原評分 4 分

選限制酶 R；目標 DNA 兩端都有其辨認序列 GGATCC，R 切開質粒及片段後可形成互補的黏性末端。

必須讓基因兩側都能切出，又讓載體末端相容。圖中 R 在質粒有一個切位，片段兩端也各有 R 位點；切後的單鏈突出末端可以鹼基互補配對，才便於接合。不要只因 Q 在質粒也有切位就選 Q，還要檢查目標片段兩端。

(b)(ii)；原評分 3 分

氨苄青黴素選出取得質粒的細菌：帶質粒者有相應抗性基因，可在該平板生長；未取得質粒者不能。

此步篩的是『有沒有質粒』。氨苄青黴素抗性基因沒有被目標片段插斷，所以帶空質粒及帶重組質粒的菌都可能通過，還不能由這一步斷言每個菌落都成功插入目標基因。

(b)(iii)；原評分 3 分

成功插入會打斷四環素抗性基因，使細菌失去四環素抗性；空質粒、自行接回而未插入的質粒仍可保留該抗性。

先以氨苄青黴素選出帶載體者，再用四環素抗性的有無區分是否發生插入失活。兩類都能長在前一種平板上，因此出現『有些有四環素抗性、有些沒有』正是兩種質粒結果混在一起的證據。

評卷報告提醒（原資料第 6 頁）

GM 鮭魚具有額外的生長激素基因副本，不是普通鮭魚完全沒有該基因。抗氨苄青黴素只證明可能帶有質粒；還須利用插入使另一抗性基因中斷來辨認重組質粒。

評分依據：HKDSE 生物 2017 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 11 頁。

練習 VIII.b　生物技術的應用

對應題型 1 把基因與細胞治療連到成效、遺傳及風險

綜合程度 ★★★★☆

針對練習

1. [HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 4 題]

提示：先辨改變的基因或細胞，再論作用及風險。

(a) In the past, animals with certain desirable traits were selected to breed for several generations and the offspring produced would be domesticated. This technique is known as selective breeding. Nowadays, animals with desirable traits can be produced by animal cloning or transgenic technology.

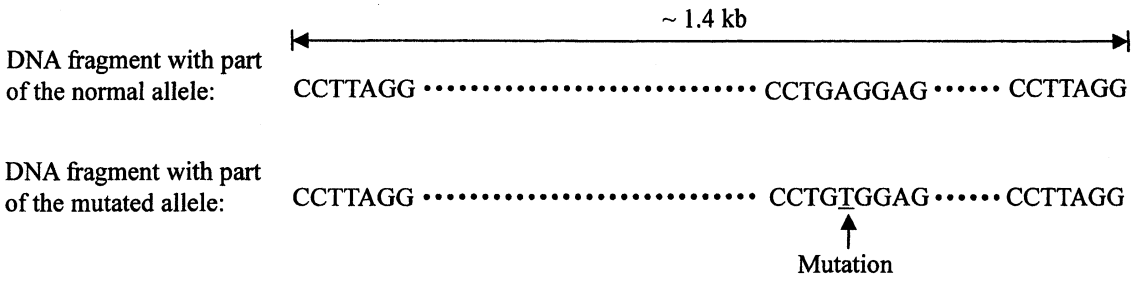
(i) With reference to the principles involved in selective breeding and animal cloning, explain why animal cloning is a better method of preserving the desirable traits of an animal than selective breeding. (5 marks)

(ii) Both selective breeding and transgenic technology affect the gene pool of a species. Transgenic technology is more controversial than selective breeding.

(1) How would selective breeding affect the gene pool of a species? (2 marks)

(2) Production of transgenic organisms is more controversial due to its effect on the gene pool of a species. Explain why. (3 marks)

(b) DNA fingerprinting is used in the screening of a genetic disease known as sickle-cell anaemia. The disease is a result of a gene mutation which leads to the production of defective haemoglobin. To prepare the DNA fingerprint, copies of DNA fragments containing the gene associated with sickle cell anaemia are first produced by a polymerase chain reaction (PCR). The fragments are then treated by a restriction enzyme which cuts DNA at the middle of CCTNAGG, where N can be any nucleotide. The diagram below shows some nucleotide sequences of the DNA fragment containing the normal allele and the mutated allele for sickle-cell anaemia:



(i) How many restriction sites are found in the DNA fragment with the normal allele and that with the mutated allele respectively? (1 mark)

(ii) Based on the principle of gel electrophoresis, explain how the cutting of the two DNA fragments shown above would produce different DNA fingerprint patterns in a gel. (4 marks)

(iii) How many DNA bands would be observed in the DNA fingerprint of a carrier of sickle-cell anaemia? Explain your answer. (2 marks)

(iv) Explain why the gene mutation will result in the production of defective haemoglobin. (3 marks)

中文題意：(a)(i)比較選擇育種與克隆，解釋克隆何以較能保留理想性狀；(ii)(1)選擇育種如何改變基因庫？(2)轉基因為何在基因庫影響上有較多爭議？(b)圖示正常與鐮狀細胞貧血突變等位基因，限制酶識別 CCTNAGG。(i)分別數切位；(ii)用凝膠電泳原理解釋條帶差異；(iii)攜帶者有多少條帶，為何；(iv)突變如何產生異常血紅蛋白。

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 5 分**

選擇育種涉及有性生殖及配子融合，後代有遺傳變異，理想等位基因組合可能被分開或與其他特徵重組，故未必完整保留供體的理想性狀。克隆主要由理想供體細胞的有絲分裂發育，後代與該核供體的核遺傳資料基本相同，因此較能保留相同遺傳組合。

比較兩種方法要同時說生殖原理、是否產生變異及保留性狀的結果。環境仍影響表現型，所以「基因相同」不代表所有性狀在任何環境都完全相同。

a(ii)(1)；原評分 2 分

只讓有理想性狀的個體繁殖，使相關等位基因頻率上升，其他未被選中個體的等位基因較少傳下，部分可能從基因庫消失。

基因庫的改變指羣體等位基因及其頻率，不是把每個未選中個體體內的基因即時刪掉。

a(ii)(2)；原評分 3 分

轉基因技術可把原本不在該物種內的基因，例如另一物種的基因，加入基因庫；若新性狀經繁殖或基因流動傳開，可能改變生態互動，長期影響較難預測，因此引起更多爭議。

要說明新基因來源、基因庫的新增及可能後果；轉基因並不自動等於已形成新物種，也不能不加證據就斷言必定危害生態。

b(i)；原評分 1 分

正常片段 3 個限制酶切位；突變片段 2 個。

識別序列為 CCTNAGG，N 可為任何鹼基。兩端 CCTTAGG 均符合；正常中段 CCTGAGG 也符合，但突變後 CCTGGAG 不符合，故中間切位消失。

b(ii)；原評分 4 分

正常片段中間仍可切開，形成兩條較短的主要 DNA 片段；突變片段少了中間切位，形成一條較長的主要片段。

DNA 帶負電，在凝膠電泳中移向正極，短片段穿過凝膠較快、移得較遠，因此兩者的條帶位置不同。

用題中兩個共同外側切位作所研究片段的邊界，不把圖外未知側翼片段計入。辨認切割結果後，再用電荷和大小解釋分離。

b(iii)；原評分 2 分

3 條；攜帶者為雜合，兼有正常及突變等位基因，因此同時出現正常等位基因的兩條短帶和突變等位基因的一條長帶。

不要把「有兩個等位基因」機械地當作兩條帶；條帶數取決於每種等位基因切開後的片段。

b(iv)；原評分 3 分

單一鹼基改變可能使 mRNA 的密碼子改變，令血紅蛋白多肽中的某個氨基酸被替換；氨基酸間相互作用及蛋白質構象／聚合性質因此改變，造成異常血紅蛋白功能。

這題是 DNA 序列到氨基酸再到蛋白質性質的三步。並非所有單一鹼基改變都會改變蛋白質，但本題的鐮狀細胞突變屬有功能後果的例子。

題意與適用範圍

兩份中文卷二掃描都缺少最後整道第 4 題；本題採同年英文卷二物理第 7 頁，中文官方評分為物理第 10 頁。中文題意：(a)(i)比較選擇育種與克隆，解釋克隆何以較能保留理想性狀；(ii)(1)選擇育種如何改變基因庫？(2)轉基因為何在基因庫影響上有較多爭議？(b)圖示正常與鐮狀細胞貧血突變等位基因，限制酶識別 CCTNAGG。(i)分別數切位；(ii)用凝膠電泳原理解釋條帶差異；(iii)攜帶者有多少條帶，為何；(iv)突變如何產生異常血紅蛋白。

評卷報告提醒（原資料第 5 頁）

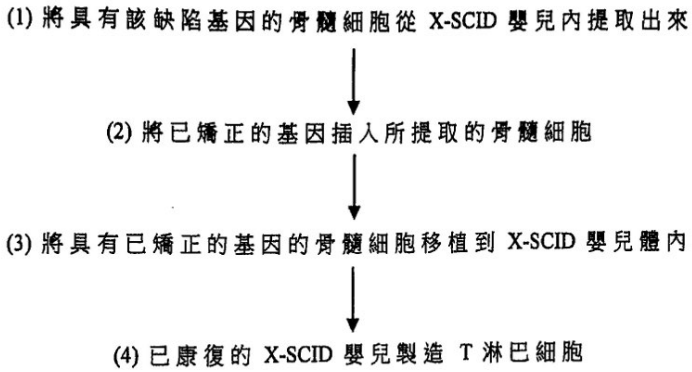
基因庫問題須回答等位基因及其頻率；電泳不能只背原理，需先說正常兩短片段、突變一長片段，攜帶者兼具兩種。共同外側切下的小片段很短，題目不把它們計入主要條帶。

評分依據：HKDSE 生物 2014 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 10 頁。

2. [HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 4 題]

提示：先辨改變的基因或細胞，再論作用及風險。

4(a) X-連鎖重症聯合免疫缺陷綜合症 (X-SCID) 是一種隱性遺傳病，由 X 染色體上一個有缺陷的基因所引致。X-SCID 的嬰兒因不能製造 T 淋巴細胞，所以感染會危及 X-SCID 嬰兒生命。近年發展了一種嶄新的基因治療以醫治 X-SCID 病人。以下顯示該基因治療的簡化流程圖：



(i) 在進行基因治療時，會根據需要矯正的缺陷基因去挑選一種特定類型的細胞。在上述個案中，骨髓細胞符合基因治療的準則。指出在挑選合適類型的細胞進行基因治療時，通常會依據的**兩個**準則。 (2 分)

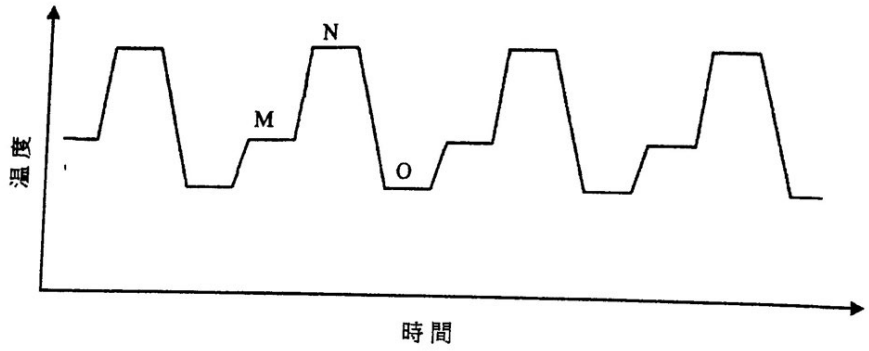
(ii) 試舉出一個合適方法，將已矯正的基因插入所提取的骨髓細胞。寫出這方法的優點和缺點各一。 (3 分)

(iii) 一名 X-SCID 男童在接受基因治療後已康復。倘若在 20 年後他與一名健康的女子結婚，他會否將有缺陷的基因遺傳給後代？解釋你的答案。 (3 分)

(iv) 基因治療和製造轉基因動物均涉及重組 DNA 技術。與製造轉基因動物相比，為什麼上述基因治療的爭議性較低？試加以討論。 (2 分)

4(b) 在製造基因改造生物 (GMO) 時，經常會利用具抗生素抗性的基因以篩查轉化是否成功。某學生收集了一些食品，並計劃鑑別這些食品是否用 GMO 製造。該學生採用對應這些具抗生素抗性基因的引物，對食物樣本進行聚合酶鏈反應 (PCR)，以檢定樣本內是否存在這些基因。

(i) 下圖顯示在 PCR 循環中溫度的變化：



(1) 哪個階段 (M、N 或 O) 代表引物連接？參考 PCR 循環的過程，解釋你的答案。 (3 分)

(2) 繪畫一幅簡單的標註圖以顯示在引物連接階段所發生的事情。 (2 分)

(ii) 下圖顯示某個具抗生素抗性的基因 X 的部分 DNA 序列。所示序列是用以與引物連接的對應位置：

引物延伸的方向 →

... GGATCAGCTG ACTCGCCTGG ..... CACGCGGAGG AGCGTGCGCG ...

← 600 鹼基對

以下哪些引物 (I、II、III 或 IV) 應被用作擴增基因 X？ (2 分)

引物 I: GGTCCGCTCA GTCGACTAGG
引物 II: CCTAGTCGAC TGAGCGGACC
引物 III: GTGCGCCTCC TCGCACGCGC
引物 IV: GCGCGTGCGA GGAGGCGCAC

(iii) 描述你如何用凝膠電泳的原理驗證 PCR 產物是否基因 X。 (3 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

選擇能持續形成新細胞的幹細胞；這些新細胞須能表達矯正後的基因。

若只改造很快死亡又不能更新的細胞，效果難以持續。骨髓幹細胞能產生後續血細胞，若其後代保留並表達正常基因，便可持續形成具有正常功能的 T 淋巴細胞。

a(ii)；原評分 3 分

可用病毒載體；優點是能把基因送入相應宿主細胞，缺點是有殘留病毒或引發免疫反應的安全問題。

載體提供把正常基因送到目標細胞的工具，但成功遞送不代表完全沒有風險。也可選其他合理方法，但必須配套寫出該方法本身的一項優點和一項缺點。

a(iii)；原評分 3 分

仍可把原有的缺陷基因傳給女兒；不會經自己的 Y 染色體把該 X 連鎖缺陷傳給兒子。

此療法只改變骨髓體細胞，沒有改變生殖細胞的遺傳組成。男患者原有的帶缺陷 X 染色體仍可進入精子；女兒取得父親的 X，兒子取得父親的 Y。療效改善不等於生殖細胞已被矯正。

a(iv)；原評分 2 分

所用正常基因來自人類且不跨物種；改造體細胞也不會直接形成可遺傳的新性狀。

這些特點減少了跨越物種界限或永久改變後代遺傳組成的爭議。相對地，轉基因動物若被釋放到自然環境，還可能與生態相互作用並造成影響。比較應針對題示體細胞療法，不能概括所有基因治療都沒有倫理問題。

b(i)(1)；原評分 3 分

O 為引物連接階段。

上一個高溫階段 N 使雙鏈 DNA 的氫鍵分離成單鏈；隨後降溫至 O，短引物才能與互補序列結合。M 的中間溫度則對應聚合酶延伸，不能把溫度最高的階段當成引物最容易結合。

b(i)(2)；原評分 2 分

兩條 DNA 單鏈分開；兩引物分別在相反模板的兩端互補結合，其可延伸端朝向目標片段。

圖中需明確顯示兩條單鏈及兩個引物的位置。引物為新鏈合成提供起點，兩端向內延伸才能在反覆循環中界定並擴增目標區域。

b(ii)；原評分 2 分

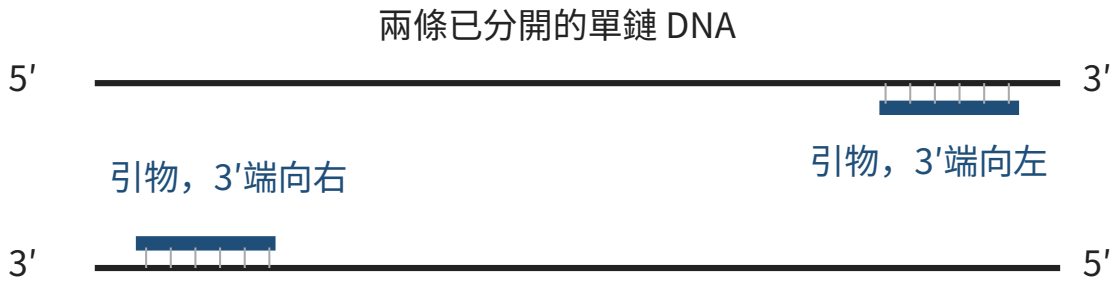
引物 II 和引物 IV。

先檢查左端序列的互補鹼基，II 可對應左端；另一引物必須結合相反 DNA 鏈的右端，而且延伸方向向內，因此應取 IV。不能只找右端的逐字互補而忽略兩條 DNA 鏈的相反方向。

b(iii)；原評分 3 分

以凝膠電泳分開 PCR 產物，與已知長度 DNA 標記比較是否出現約 600 鹼基對的條帶。

DNA 帶負電，在電場中向正極移動；較短片段較容易穿過凝膠，移動得較快、較遠。把產物條帶的位置與已知長度標記比較，可判斷是否符合題示基因 X 的 600 鹼基對長度。長度相同本身不能證明完整序列一定相同，但符合本題以產物大小驗證的要求。



兩個引物分別與互補模板結合，供 DNA 聚合酶向目標片段內延伸。

按本題條件完成的作答圖。

評卷報告提醒（原資料第 10、11 頁）

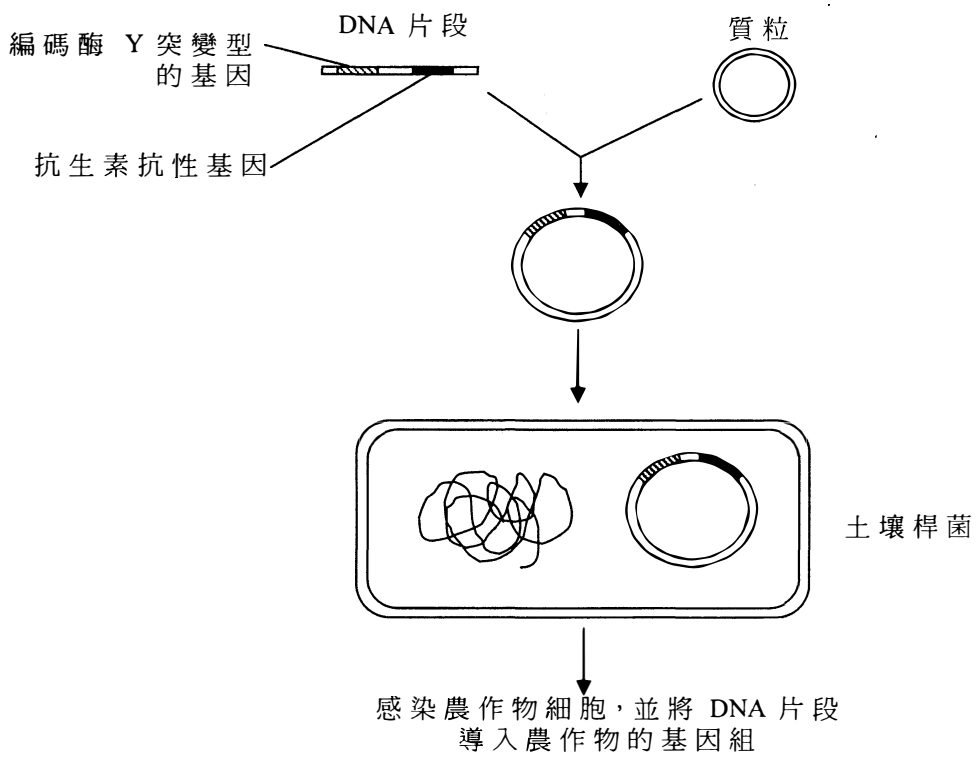
基因治療用的細胞須能持續分裂且表達修正基因。體細胞基因治療不會修正配子；PCR 的溫度階段需連到退火和延伸的作用，而判斷產物大小須與已知長度 DNA 標記比較。

評分依據：HKDSE 生物 2021 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 10、11 頁。

3. [HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 4 題]
提示：先辨改變的基因或細胞，再論作用及風險。

4.(a) 化學品 X 抑制涉及光合作用的酶 Y，從而殺死所有植物。某科學家發現酶 Y 的突變型不會被化學品 X 抑制，同時能在光合作用中正常運作。他把編碼酶 Y 突變型的基因克隆，並將其插入質粒，從而將基因轉移至某農作物物種的細胞內。以下圖 4A 是該過程的圖示：

圖 4A



(i) 描述將 DNA 片段插入質粒的**兩個**步驟。 (2 分)

(ii) 然後該名科學家利用土壤桿菌，將質粒轉移入農作物細胞。經這處理後，只有部分農作物細胞具有導入的 DNA 片段。

(1) 解釋爲什麼只有部分經處理過的農作物細胞具有該 DNA 片段？ (2 分)

(2) 該名科學家怎樣能辨認哪些農作物細胞帶有該 DNA 片段？ (3 分)

(iii) 該名科學家建議，在種植這基因改良農作物時，在農田使用化學品 X 能大大增加農作物的產量。說明這建議的理據。 (4 分)

(b) 偉基是一名 25 歲的運動員，他弄傷了神經並變成癱瘓。由於組織移植涉及一些困難，他提出利用克隆綿羊 Dolly 的方法去複製自己，以取得神經作移植之用，並與科學家討論他的構思。

(i) 寫出有關傳統組織移植的**兩項**困難。 (2 分)

(ii) 提出**一個**道德上的理由，說明偉基的構思是難以實踐的。 (1 分)

(iii) 科學家提議利用幹細胞治療也許可以取得一些神經細胞。

(1) 寫出可以在偉基身體內哪**一個**部位取得幹細胞。 (1 分)

(2) 描述怎樣可以利用幹細胞來醫治偉基。 (3 分)

(3) 描述幹細胞治療在這個案中的**兩項**限制。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 2 分**

用同一種限制酶切開含目標基因的 DNA 片段及質粒，以產生可互補配對的黏端；再以 DNA 連接酶把 DNA 片段與質粒的糖磷酸骨架連接。

限制酶負責在特定序列切割，連接酶負責接合；兩者不能交換。使用同一種限制酶使兩端相容。

a(ii)(1)；原評分 2 分

一些已切開的質粒可能自行重新閉合，沒有接入目標 DNA；另外，一些農作物細胞可能根本沒有接受到載有目標 DNA 的質粒／基因轉移。

處理所有細胞不代表每一步都百分之百成功。這兩個答案分別指出重組質粒形成及細胞轉移的失敗環節，足以解釋為何只有部分細胞帶有該片段。

a(ii)(2)；原評分 3 分

把處理後的植物細胞培養在含相應抗生素的瓊脂培養基；成功取得 DNA 片段的細胞帶有抗生素抗性基因，能生存並形成細胞羣，其餘細胞不能正常生長。

圖 4A 把抗性基因與目標基因放在同一 DNA 片段，因此抗性可作篩選標記。要說清楚選擇條件、成功者的結果以及標記基因的作用。

a(iii)；原評分 4 分

化學品 X 抑制一般植物的酶 Y，使它們不能正常進行光合作用而死亡；改良作物產生不受 X 抑制的突變型酶 Y，所以仍可光合作用並存活。雜草減少後，作物競爭水、礦物質、光及空間的壓力降低，產量可提高。

產量提高不是因 X 本身成為肥料，而是改良作物與雜草對 X 的反應不同，使除草後的資源競爭減少。

b(i)；原評分 2 分

移植組織可能被受體免疫系統辨認為外來而排斥；合適捐贈者及捐贈組織不足，輪候時間可能很長。

一項是免疫相容性問題，一項是供應問題，不能把兩個答案都寫成不同措辭的「難找器官」。

b(ii)；原評分 1 分

為了取得組織而複製並傷害或犧牲另一個人，涉及對該個體生命及自主權的嚴重道德問題。

原題要求道德理由；應直接指出利用另一個人作器官來源的倫理問題，不必倚賴某一地區法律在某年的狀態。

b(iii)(1)；原評分 1 分

骨髓。

題目問的是可從偉基身體哪一部位取得幹細胞，骨髓是本卷接受的來源之一；不能答只有胚胎才有幹細胞。

b(iii)(2)；原評分 3 分

先在培養條件下讓幹細胞分裂，增加細胞數目；再誘導它們分化成合適的神經細胞；把所得細胞移植到受損部位，以修補受損組織。

增殖、分化、移植三步各有目的。幹細胞本身的數目增加，並不自動等於已形成能工作的神經組織。

b(iii)(3)；原評分 2 分

需要能可靠控制細胞分化成所需的神經細胞並形成合適連接；也需要避免移植細胞失去增殖控制而形成腫瘤。

本題考查治療能否在此個案實施的限制。用具體技術風險作答，比籠統說「一定不能治療」更準確；亦不把 2012 年的研究限制當成所有技術永遠無法進展。

評卷報告提醒（原資料第 3 頁）

不要混淆 DNA 連接酶與聚合酶；幹細胞治療須依次說明增殖、分化及移植，不能省略分化。

評分依據：HKDSE 生物 2012 年 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 9 頁。

4. [HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 4 題]

提示：先辨改變的基因或細胞，再論作用及風險。

(a) 重症聯合免疫缺陷綜合症(SCID)是一種遺傳病，其中一種 SCID 是由基因突變所引致。這種病變令人不能產生淋巴細胞，因此患者易受感染，若不及早治療，患者很少能在兩歲之後仍然生存。要治療這個疾病，可將健康人士的骨髓幹細胞移植至患者體內。在 2000 年，爲患者進行體細胞基因治療首見療效。在該治療中，某種病毒會用作載體，把正常基因導入患者的骨髓細胞中。

(i) 爲什麼將骨髓幹細胞移植到 SCID 患者體內，可以治療這疾病？ (1 分)

(ii) 利用體細胞基因治療來醫治 SCID 的基礎是什麼？就治療 SCID 患者而言，舉出體細胞基因治療較骨髓幹細胞移植的**一項**優勝之處。 (2 分)

(iii) 另一種基因治療稱爲「種系基因治療」。從生物學的角度，就使用種系基因治療和體細胞基因治療來醫治 SCID 所引致的影響，舉出**兩項**分別。 (2 分)

(iv) 2002 年，曾接受這種體細胞基因治療的十一名 SCID 病童中，三人患上白血病(一種血癌)。有些科學家相信血癌的出現與利用病毒作爲載體把正常基因導入骨髓細胞中有關，試加以解釋。 (2 分)

(b) 聚合酶鏈反應(PCR) 是現代生物工程的一項技術。一個 PCR 循環包括三個主要步驟，依次在 95°C, 55°C 和 72°C 下進行。

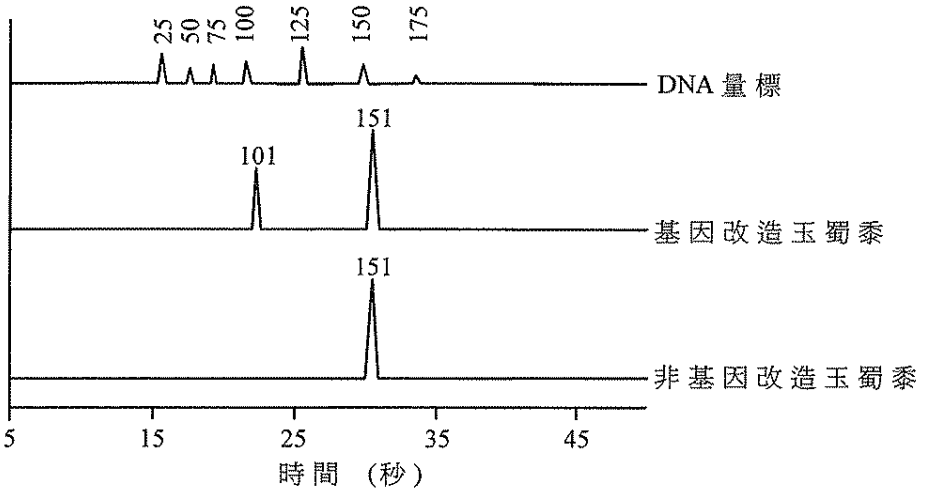
(i) 概述在一個 PCR 循環的三個主要步驟中所發生的事情。 (3 分)

(ii) PCR 的其中一個應用是可用於法證科學的聚合酶鏈反應短銜接重複分析(PCR–STR 分析)。在一個罪案現場，發現了一條懷疑屬於犯罪者的頭髮，而在一星期後逮捕了一個疑犯。

(1) 根據上述個案，指出 PCR 在 PCR–STR 分析中的重要性。 (1 分)

(2) 描述 PCR 的產物如何用於 PCR–STR 分析，從而提供證據以核實該疑犯有否犯案。 (3 分)

(iii) PCR 的另一個應用範疇是識別基因改造生物。下圖顯示基因改造玉蜀黍和非基因改造玉蜀黍的 DNA 分析結果：
[註：圖中的峰值表示鹼基對的數目(bp)。]



(1) 在製造基因改造玉蜀黍時，會將一個具有 101 bp 的標記(多核苷酸鏈)導入玉蜀黍中。參考以上分析結果，提出在製造基因改造玉蜀黍的過程中把標記導入玉蜀黍中的目的。 (2 分)

(2) 舉出一個例子，說明基因改造植物如何能有助促進人類的健康。 (2 分)

(3) 栽種能產生殺滅昆蟲毒素的基因改造植物，對生態系可能產生哪些影響？試描述其中**兩項**。 (2 分)

✓ **答案** 各小問的答案、推理及相應分值依原題順序列於下方。

解析 **a(i)；原評分 1 分**

健康骨髓幹細胞可分化成正常淋巴細胞，重建部分免疫功能，讓患者較能抵抗感染。

幹細胞的關鍵是能增殖及分化，並非直接當作抗體注入。

a(ii)；原評分 2 分

把功能正常的基因導入患者的體細胞，使其表達可補償缺陷基因的功能；使用患者自身細胞，可減少尋找合適骨髓捐贈者及免疫排斥的困難。

基因治療可補足功能，不一定要把原有缺陷 DNA 從每個細胞完全刪除。

a(iii)；原評分 2 分

種系基因治療改變可形成配子的細胞或早期胚胎，相關改變可能傳給後代並出現在更廣泛的細胞；體細胞治療主要影響被處理細胞及其有絲分裂後代，一般不經配子遺傳。

不要說每一種種系操作都必然修改所有細胞；本題比較的是可遺傳性與作用範圍。

a(iv)；原評分 2 分

病毒載體插入基因組的位置可能影響其他基因，例如啟動促進細胞增殖的基因或破壞正常調控，使骨髓細胞失控增殖而形成白血病。

這是插入位置造成的基因表達改變，不是正常治療基因本身必然等同癌基因。

b(i)；原評分 3 分

95°C：DNA 雙鏈分開成單鏈；55°C：引物依互補配對黏附在目標序列兩側；72°C：耐熱 DNA 聚合酶由引物 3′端延伸，加入核苷酸形成新 DNA 鏈。

每步 1 分。高溫斷開的是雙鏈間配對，不是把整條 DNA 的共價骨架逐個切碎。

b(ii)(1)；原評分 1 分

犯罪現場毛髮可提供的 DNA 很少，PCR 可把目標 STR 區域大量擴增，取得足夠材料作分析。

擴增目標 DNA，並非把嫌疑犯資料庫中的記錄複製。

b(ii)(2)；原評分 3 分

把不同長度的 STR 擴增片段經電泳分離，形成該樣本在多個位點的 DNA 圖譜；再與嫌疑犯的相應圖譜比較，判斷是否相符。若多個位點相符，支持現場 DNA 可能來自該人；不符則可排除相應來源。

DNA 相符提供生物材料來源證據，不能單憑它斷言該人必然犯案；還需考慮樣本來自何物、如何到現場及其他證據。

b(iii)(1)；原評分 2 分

101bp 標記與成功改造的細胞一起出現，可用 PCR 檢出這個特徵峯，區別已接受外源 DNA 的細胞與沒有改造的細胞，篩選供後續培養。

151bp 峯兩者都有，不能用它區別；只有改造樣本增加的 101bp 峯才是本題所問標記。

b(iii)(2)；原評分 2 分

例如讓稻米產生較多 β-胡蘿蔔素，人體可把它轉成維生素 A，有助在相關缺乏情況下降低夜盲症風險。

例子要同時說改了甚麼及如何影響健康，不能只寫基因改造食物更有營養。

b(iii)(3)；原評分 2 分

殺蟲性狀可能影響某些非目標昆蟲，改變食物網；若相關基因經花粉傳至可雜交的近緣植物，也可能改變其競爭力及羣落組成。

須按具體性狀及暴露情況評估。不能把所有殺蟲蛋白一概當作持久、脂溶性農藥而斷言必然沿食物鏈生物放大。

評分依據：HKDSE 生物 練習卷 卷二 原第 4 題官方評卷參考，原資料第 14 頁。

原題、評分與圖像來源

Chapter 11

來源　課程及題目

課程依據：香港教育局與香港考試及評核局《生物課程及評估指引（中四至中六）》，2015 年更新；另參照 2026 年香港中學文憑生物科評核資料。題面、評卷參考及考生表現資料按各年原卷及題目專輯核對。樣本卷與練習卷用作補充原題，與正式年份分別標示。

每題題號旁保留年份、試卷部分與原題號；解答另標官方評卷參考的頁面。所列「原資料頁」指引用 PDF 的頁序；合訂本與獨立文件的印刷頁碼可能不同。兩冊附有各自的題源索引，便於由原題定位到書內頁碼。

知識部分使用具體例子說明，再引入術語、符號和圖。生物過程的箭頭及數量示意均應配合正文理解；典型細胞或器官圖不是每一種樣本的完整實錄。題目本身的原圖則隨原題保留。

教育局：生物課程及評估指引

考評局：2026 年生物科評核資料

眼、耳及小腸絨毛的原始構造圖取自 Servier Medical Art，經 Bioicons 提供，採用 CC BY 3.0 授權。本版保留構造形態，新增中文標籤、引線、功能表及圖說；絨毛圖移除原英文文字並補上對應中文名稱。

- 眼橫切圖：Servier Medical Art／Bioicons
- 耳：Servier Medical Art／Bioicons
- 小腸絨毛：Servier Medical Art／Bioicons

圖源　知識圖與原題圖的標示

以下知識圖取自 Bioicons。CC0 圖像可自由使用；CC BY 圖像依所列作者和版本標示出處。展示時可能調整外圍空白及加入中文解說，構造內容依原圖保留。機制示意圖和答案作圖按本文所述條件繪製。

nephron：EmilyADaniel；cc-0 圖源及許可

heart：Mariana_RuizVillareal；cc-0 圖源及許可

mitochondrion：jaiganesh；cc-0 圖源及許可

ribosome：jaiganesh；cc-0 圖源及許可

phospholipid：Cléber-Gomes；cc-0 圖源及許可

plant-cell：Durvesh-Burhade-&-Niliksha-Patel；cc-by-4.0；標籤及細胞膜示意經修訂 圖源及許可

animal-cell：SwissBioPics；cc-by-4.0 圖源及許可

neurones：DBCLS；cc-by-4.0 圖源及許可

dna：DBCLS；cc-by-4.0 圖源及許可

phagocytosis：Servier；cc-by-3.0 圖源及許可

antibody：Servier；cc-by-3.0 圖源及許可

villi：Servier；cc-by-3.0 圖源及許可

skin：Servier；cc-by-3.0 圖源及許可

lung：Servier；cc-by-3.0 圖源及許可

yeast：umasstr；cc-0 圖源及許可

bacterium：Pauline_Franz；cc-0 圖源及許可

pcr-cycle：DBCLS；cc-by-4.0 圖源及許可

plasmid：EmilyADaniel；cc-0 圖源及許可

HKDSE 生物 2024 年 卷一乙部 原第 3 題：Wikimedia Commons: Mitochondria, mammalian lung - TEM.jpg

HKDSE 生物 2024 年 卷一乙部 原第 7 題：原試卷圖片：Pixlr；藻類圖片：Foras na Mara Marine Institute, Explorers Wild About Wildlife on the Seashore: Seaweed Information Sheets

HKDSE 生物 2024 年 卷一乙部 原第 9 題：Microscopy of Nature: Stomata

HKDSE 生物 2024 年 卷二 原第 2 題：長春社：《塑原的生態》