

# 2026 年中華民國生物奧林匹亞競賽

## 國手選拔複賽

### B 卷



1. 本卷皆為多重選擇題；共 50 題，每題 2 分，總計 100 分。
2. 多重選擇題：每題有 5 個選項，其中至少有一個是正確的選項。各題之選項獨立判定，所有選項均答對者，得 2 分；答錯 1 個選項者，得 1.2 分；答錯 2 個選項者，得 0.4 分；答錯多於 2 個選項或所有選項均未作答者，該題以零分計算。

**注意事項：** 1. 本考試測驗時間為 **100** 分鐘。

2. 本試題乙本共 **26** 頁（不含封面）及附件圖表乙張，共 **2** 頁。
3. 繳卷時必須繳回「**答案卡**」，考試結束後始可攜回。
4. 作答方式：請用 **2B** 鉛筆在「**答案卡**」上作答，修正時若以橡皮擦修正必須擦拭乾淨。

1. 研究團隊想確認新型化合物 A 是否能誘導癌細胞凋亡。他們選用同一株癌細胞，分成三組：未處理對照組、化合物 A 處理組、以及陽性對照組 (利用已知凋亡誘導劑處理)。所有細胞皆在相同培養條件下處理 24 小時。

為了從不同層面評估細胞死亡型態，研究人員同時採用「酵素活性」與「流式細胞儀」兩種讀出方式。

第一，使用比色法測定 Caspase-3 活性，作為凋亡執行階段的指標。

第二，進行 annexin V/PI 雙染流式分析，以區分早期凋亡、晚期凋亡 (或次級壞死)與原發性壞死。

實驗結果整理如下表 1。請根據表中資料與實驗設計，判斷下列敘述何者正確？

(表 1) 處理 24 小時後的凋亡與酵素活性結果

| 組別      | Caspase-3 活性(相對對照倍數) | Annexin V- / PI-(存活) | Annexin V+ / PI-(早期凋亡) | Annexin V+ / PI+(晚期凋亡/次級壞死) | Annexin V- / PI+(原發性壞死) |
|---------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 對照組     | 1.0                  | 90%                  | 5%                     | 3%                          | 2%                      |
| 化合物 A 組 | 3.2                  | 55%                  | 20%                    | 22%                         | 3%                      |
| 陽性對照組   | 3.6                  | 50%                  | 18%                    | 29%                         | 3%                      |

- (A) Caspase-3 活性明顯升高支持細胞進入凋亡程序，但僅憑此指標仍不足以排除非典型死亡或訊號交叉活化的可能
- (B) 由表中 annexin V/PI 分布可推知：化合物 A 組同時增加早期與晚期凋亡族群，且原發性壞死比例未明顯上升
- (C) 目前的設計只能證實化合物 A 對此癌細胞株能誘導凋亡；若要主張其具「癌細胞選擇性」，應加入正常細胞株作比較
- (D) 若研究者懷疑化合物 A 影響細胞週期，後續以流式分析 DNA 含量時應選用 PI、DAPI 或 7-AAD 等 DNA 結合染劑，而非 Pyronin Y
- (E) 因化合物 A 組的凋亡比例與 Caspase-3 活性接近陽性對照組，可直接推論其主要透過粒線體內在路徑(intrinsic pathway)誘導凋亡
2. 下列何者植物荷爾蒙可能參與「細胞伸長」或「生長促進」？
- (A) 乙烯 (ethylene)
- (B) 生長素 (auxin)
- (C) 吉貝素 (gibberellin)
- (D) 茉莉酸 (JA)
- (E) 油菜素類固醇 (brassinosteroid)

3. 囊腫性纖維化 (cystic fibrosis, CF) 是一種體染色體隱性遺傳疾病，與 CFTR (cystic fibrosis transmembrane conductance regulator, 囊性纖維化跨膜傳導調節器) 蛋白功能異常有關。CFTR 是位於肺部氣道上皮細胞頂端膜 (apical membrane) 的氯離子通道，同時具有 ATP 結合區的門控 (gating) 特性。
- 在正常上皮細胞中，CFTR 允許氯離子由細胞內沿電化學梯度流向細胞外。此氯離子外流會改變細胞外滲透壓，進而牽動水分移動，使氣道表面的黏液維持適當含水量與流動性。
- 研究者比較正常細胞與 CF 患者細胞後，整理出下表 1 中的現象。請根據蛋白質合成與運輸、離子通道運作、以及滲透壓與黏液性質的關係，下列敘述何者正確？

(表 1) 正常與 CF 患者氣道上皮細胞的比較

| 比較項目       | 正常細胞                                 | CF 患者細胞 (典型 CFTR 功能缺損)                                  |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| CFTR 生成與定位 | 膜蛋白於粗糙內質網合成，經高基氏體修飾後送至頂端膜            | 依突變型態不同：可能摺疊錯誤被降解、或到膜上但通道開啟/導通能力下降                      |
| 氯離子跨膜移動    | Cl <sup>-</sup> 經 CFTR 由內→外，沿電化學梯度外流 | Cl <sup>-</sup> 外流減少或無法外流                               |
| 細胞外滲透壓與水分  | 細胞外滲透壓較高，有助水分留在黏液層                   | 細胞外滲透壓降低，水分較少、黏液脫水                                      |
| 氣道黏液特性     | 稀薄、易被纖毛清除                            | 濃稠、清除困難，易感染                                             |
| 其他離子/訊號    | 離子平衡穩定                               | Na <sup>+</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、水分等平衡改變，可能牽動其他離子穩態與訊號 |

- (A) CFTR 蛋白的合成場所位於粗糙內質網，成熟後會經由囊泡運送到細胞膜上
- (B) CFTR 基因發生突變，就會導致該蛋白完全無法合成，因此患者細胞膜上完全不會有 CFTR
- (C) CF 患者的氣道黏液變得黏稠，主要原因是氯離子外流受阻，使細胞外滲透壓下降、外層水分減少
- (D) CFTR 異常可能間接影響 Ca<sup>2+</sup> 訊號傳導，因為離子與水分的穩態變化會牽動細胞內多個調控系統
- (E) 在正常情況下，氯離子透過 CFTR 通道運出細胞的「跨膜移動」屬被動運輸，但通道開啟的門控仍涉及 ATP 的結合或水解
4. 下列何者屬於受體酪胺酸激酶 (receptor tyrosine kinase, RTK) 活化後的現象？
- (A) Ras 蛋白活化
- (B) MAPK (mitogen-activated protein kinase) 訊息傳遞啟動
- (C) 二聚體化 (dimerization)
- (D) 自體磷酸化 (auto-phosphorylation)
- (E) G 蛋白  $\alpha$  次單元使用 GTP

5. 研究室培養大腸桿菌 (*E. coli*) 於液體培養基中，並在 0–8 小時每隔一段時間量測培養液的吸光度 ( $OD_{600}$ ) 以繪製生長曲線。當細菌進入對數生長期時，研究者加入不同濃度的抗生素 X，並持續追蹤  $OD_{600}$  的變化。同時，他們在加入抗生素後 0 小時與 2 小時取樣，進行稀釋塗布平板，以估算菌落形成單位 (CFU)。結果顯示：部分濃度下， $OD_{600}$  在加入抗生素後趨於平穩；另一些濃度下  $OD_{600}$  下降，但 CFU 的變化並不完全與  $OD_{600}$  的趨勢一致。

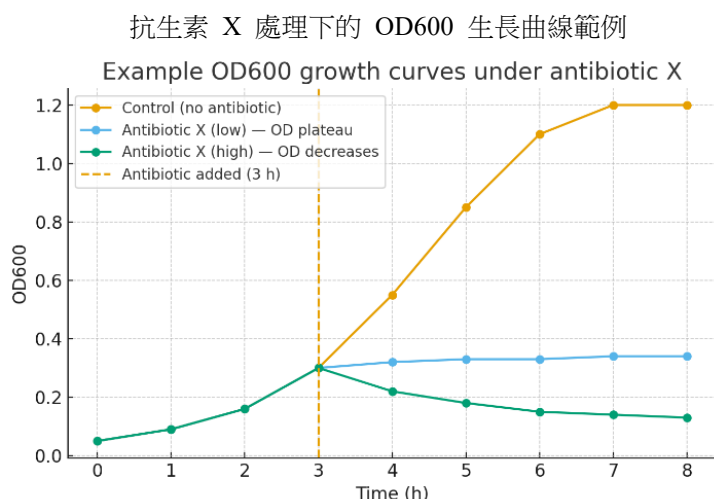


圖 1： $OD_{600}$  生長曲線 (加入抗生素後一組平穩、一組下降)

- 對照組：持續上升後進入平穩
- 低濃度抗生素 X：在對數期加入後 OD 轉為平穩 (生長被抑制)
- 高濃度抗生素 X：加入後 OD 下降 (可能裂解/形態崩解造成散射減少)

Control(no antibiotic) 對照組(未添加抗生素)

Antibiotic X(low)- OD plateau 抗生素 X(低濃度)—OD 值進入平穩期

Antibiotic X(high)-OD decreases 抗生素 X(高濃度)—OD 值下降

Antibiotic added(3h) 抗生素添加時間：3 小時

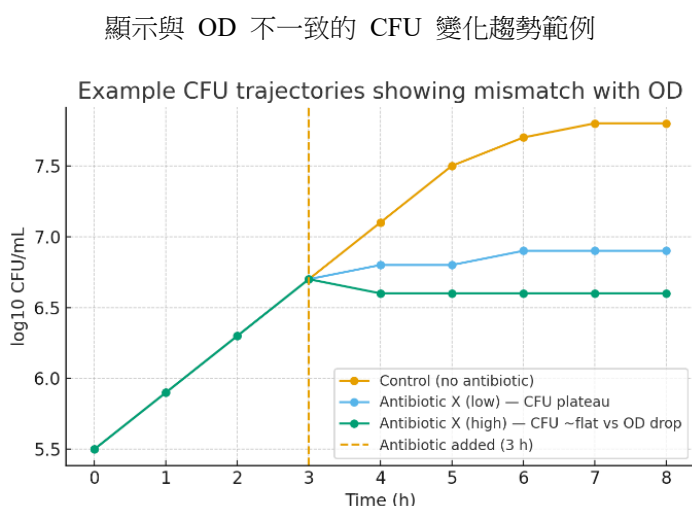


圖 2：CFU 變化 (與 OD 趨勢不完全一致)

- 低濃度：CFU 也趨於平穩 (活菌數停止增加)
- 高濃度：CFU 幾乎不變，但 OD 下降 → 呈現「OD 下降 ≠ 活菌數必然同步下降」

Control(no antibiotic) 對照組(未添加抗生素)

Antibiotic X(low)- CFU plateau 抗生素 X(低濃度)—CFU 值進入平穩期

Antibiotic X(high)-CFU flat VS OD drop 抗生素 X(高濃度)—CFU 值維持平坦，但 OD 值下降

Antibiotic added(3h) 抗生素添加時間：3 小時

下列對於此實驗設計與資料判讀的敘述，何者正確？

- (A) 若加入抗生素後  $OD_{600}$  不再上升，就可直接判定抗生素 X 為殺菌型 (bactericidal)
- (B)  $OD_{600}$  的上升代表培養液濁度增加，因此在未改變細胞形態與聚集狀態的前提下，可作為細菌總生物量的近似指標
- (C) 在理想對數生長期內，細菌的世代時間 (generation time) 可視為常數，且可由  $OD_{600}$  對時間作  $\ln$  轉換後的斜率推得
- (D) 若要確認抗生素是否為殺菌型，可靠策略之一是在抗生素處理後洗去藥物並重新培養，觀察是否恢復生長 (recovery assay)
- (E) 若某濃度下  $OD_{600}$  明顯下降，但平板 CFU 幾乎不變，最合理的解釋是抗生素造成細胞裂解或形態崩解，導致散射降低，但不一定代表活菌數同步下降

6. 研究者想探討一個名為 NeuroD1 的基因是否參與神經元的早期分化。他們利用可定向切割基因體的 CRISPR/Cas9 系統，在多能性幹細胞中製造 NeuroD1 基因剔除株 (knockout, KO)，再將 KO 與野生型 (WT) 細胞一同放入神經分化誘導條件中，比較兩者在分化早期的神經元表型。

研究者預計的實驗流程與判讀重點如下表 1。下列敘述何者正確？

(表 1) CRISPR/Cas9 敲除 NeuroD1 與分化結果的設計重點

| 步驟/概念                    | 目的                    | 可能觀察                      |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Cas9 + gRNA 定點切割 NeuroD1 | 製造雙股 DNA 斷裂           | 斷裂位置由 guide RNA (gRNA) 決定 |
| NHEJ 修復造成 indel          | 造成框移突變或提早終止 → 基因失活    | NeuroD1 蛋白量下降/缺失          |
| 分化誘導(WT vs KO)           | 檢驗 NeuroD1 是否影響早期神經生成 | 若 NeuroD1 必要 → 神經元標記減少或延遲 |
| 基因型鑑定                    | 確認 KO 是否成功            | PCR、測序、Western blot 等     |

- (A) 為確認基因剔除成功，需要進行基因型鑑定，例如 PCR 片段分析或定序
- (B) CRISPR/Cas9 系統中的 Cas9 蛋白具有核酸內切酶活性，能切割 DNA 雙股螺旋
- (C) 需設計特定的 guide RNA (gRNA)來引導 Cas9 精確定位到 NeuroD1 的基因體位點
- (D) NeuroD1 基因被剔除的幹細胞在分化誘導後，預期其神經元標記物 (如 Tuj1)表現顯著升高，代表早期神經分化被促進
- (E) 此敲除策略的常見機制是利用細胞自身的非同源末端連接 (NHEJ)修復，發生 indel (基因插入或缺失)，進而使基因失活

7. 深海熱泉生態系位於無光環境，初級生產不依賴光合作用，而是由化學自營細菌 (chemoautotrophs) 完成。這些細菌能氧化硫化氫 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) 取得高能電子，經由電子傳遞鏈建立質子梯度，驅動 ATP 合成；再利用產生的能量將  $\text{CO}_2$  固定為有機物，支持整個熱泉食物網。

下表 1 整理了此類細菌與有氧呼吸/光合作用在能量代謝上的「角色對應」。下列敘述何者正確？

(表 1) 能量代謝中「電子來源與受體」的角色對照

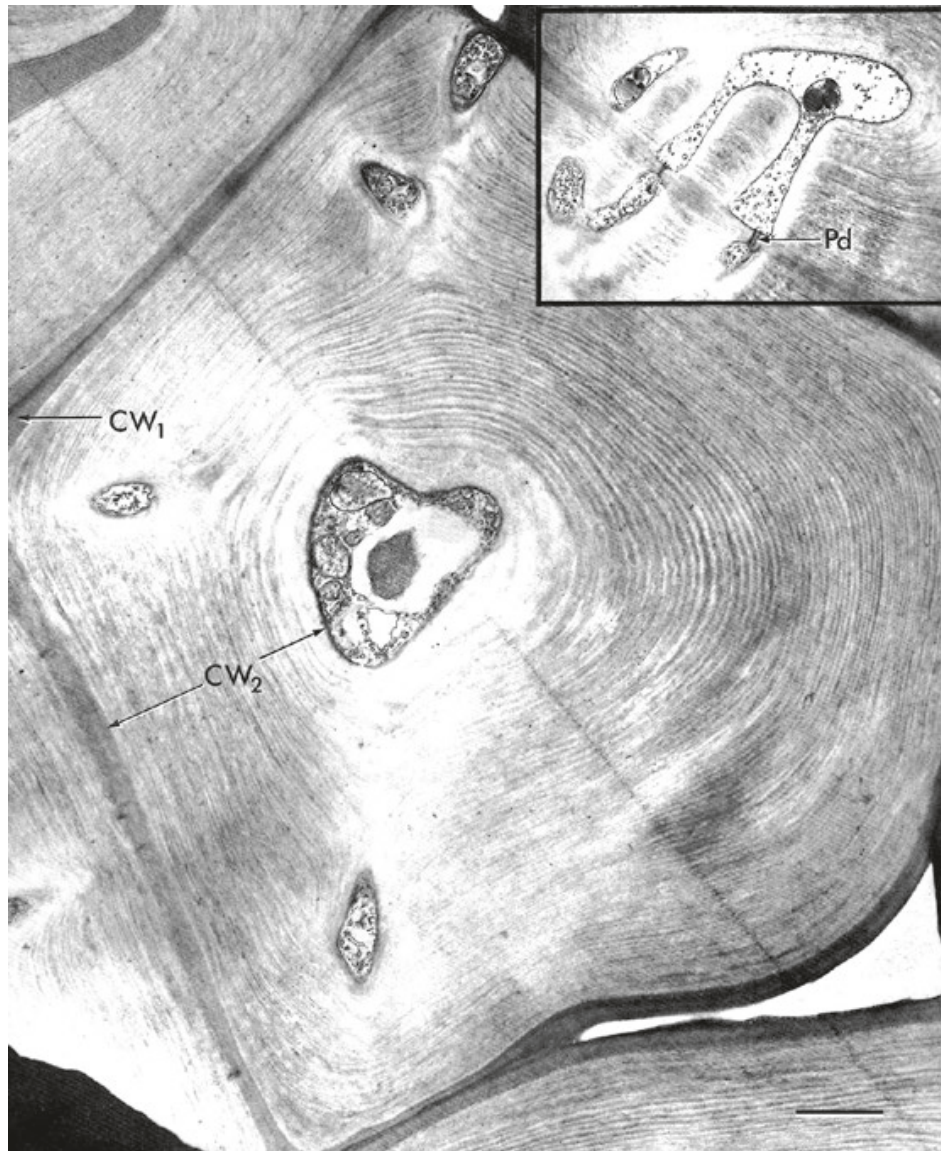
| 代謝類型                | 主要電子供體(提供高能電子)                       | 最終電子受體                       | 是否碳固定               |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 硫化氫化學合成<br>(深海熱泉細菌) | $\text{H}_2\text{S}$ (被氧化)           | $\text{O}_2$ 或其他無機受體(依環境而定)  | 是                   |
| 有氧呼吸                | NADH / $\text{FADH}_2$ (來自葡萄糖等有機物分解) | $\text{O}_2$                 | 否                   |
| 植物光合作用(光反應)         | $\text{H}_2\text{O}$ (被氧化)           | NADP <sup>+</sup> (形成 NADPH) | 之後在 Calvin cycle 進行 |

- (A) 它們同樣依賴跨膜的質子梯度與 ATP 合酶來合成 ATP
- (B)  $\text{H}_2\text{S}$  在電子傳遞鏈中扮演的角色類似於有氧呼吸中的葡萄糖
- (C) 這類代謝在能量轉換效率上通常低於有氧呼吸，但仍足以支撐深海熱泉生態系的基礎生產
- (D) 在低氧或無氧條件下，這些細菌可能改用硫酸鹽、硝酸鹽等分子作為最終電子接受者以維持呼吸鏈運作
- (E) 它們的化學合成作用與植物的光合作用在「生態角色」上相似，核心皆為把無機碳轉成有機物以供食物網利用
8. 下列何者會參與植物體中，成熟胜肽荷爾蒙由訊息胜肽的產生區運送至作用區的過程？
- (A) 直接穿越質膜進入細胞質
- (B) 通過內質網與高基氏體修飾
- (C) 分泌路徑 (Secretory pathway)
- (D) 透過細胞壁質外體 (apoplast) 擴散
- (E) 利用韌皮部 (phloem) 進行長距離運輸
9. 下列何者會影響蛋白質折疊？
- (A) pH
- (B) 溫度
- (C) 鹽濃度
- (D) tRNA 的種類
- (E) 伴護蛋白 (chaperone)

10. 下列有關細胞週期 S 期現象的敘述，何者正確？

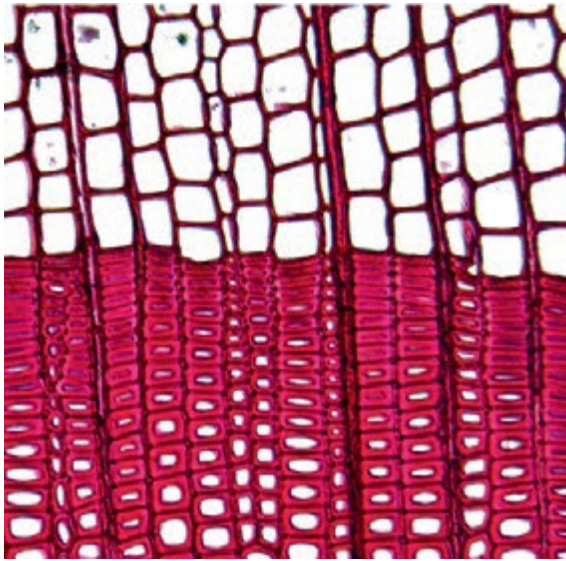
- (A) DNA 複製
- (B) 細胞質分裂
- (C) 染色體分離
- (D) 染色質濃縮成染色體
- (E) 組蛋白 (histone) 合成

11. 下圖為梨果肉石細胞的穿透式電子顯微照片，據此判斷下列敘述何者正確？



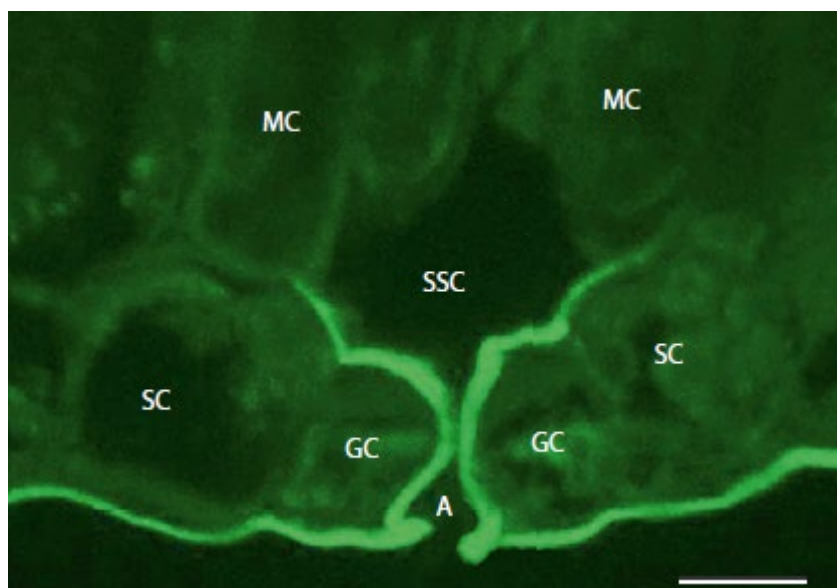
- (A) 圖中所指的 CW1 比 CW2 早形成
- (B) 右上角的小圖顯示出簡單壁孔對 (simple pit pair)
- (C) 右上角小圖中所指的 Pd 是細胞膜上的原生質絲
- (D) Pd 是兩個細胞間的通道
- (E) 此石細胞是活細胞

12. 下圖為裸子植物雪松木材的橫切面照片，據此判斷下列敘述何者正確？

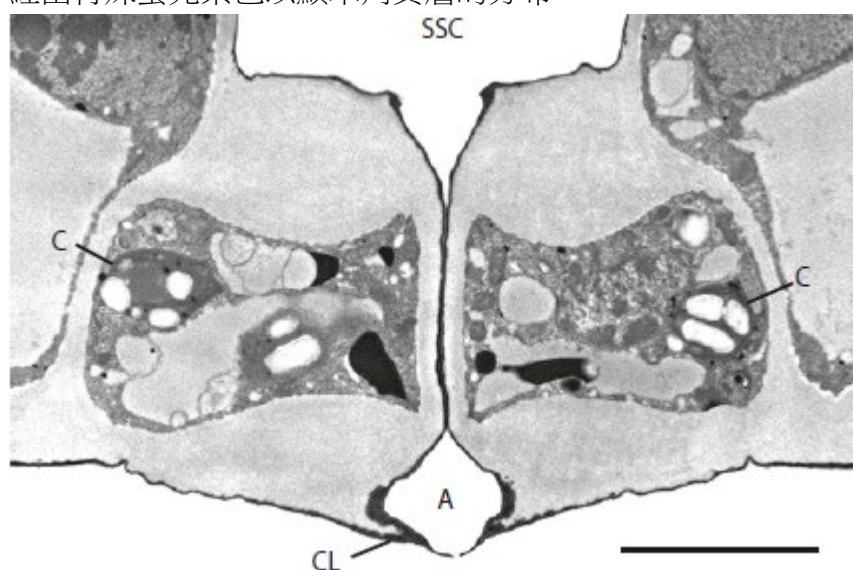


- (A) 圖中所見皆為輸送水分的管胞  
 (B) 圖中包含纖維細胞、管胞及導管細胞  
 (C) 圖中下半部的細胞多為厚壁纖維  
 (D) 圖中細胞的生成時間是下方較早形成  
 (E) 圖中大、小細胞相鄰處顯示生長季的起始
13. 被子植物的演化過程，雌雄異株性 (dioecy) 的出現，通常是由雌雄同株或兩性花的祖先經過基因突變與重組所導致。依據過往研究顯示，當在某被子植物的染色體上出現兩個緊密連鎖的基因，若其中一個突變會導致植物喪失雄性生殖功能 (male-sterility)，而另一個突變則會促進雄性發育並抑制雌性功能，會導致族群中可能逐漸形成特殊的雌株與雄株。隨著時間推移，這兩個性別決定相關基因之間的重組逐漸被抑制，形成非重組區域。依據基因體比較顯示，在該區域的雄性等位基因 (Y 連鎖) 逐漸與雌性等位基因 (X 連鎖) 產生差異；然而有些雄株仍偶爾能形成部分具雌蕊的花朵，被稱為「不穩定雄株」 (inconstant males)。根據上述敘述進行判斷，下列何者正確？
- (A) 抑制重組的形成，將有助於避免同時帶有雄性不育與雌性抑制突變的中性個體出現  
 (B) 由於非重組區域內的等位基因無法與其他染色體交換，長期造成此區域的基因可能難以排除有害突變，導致部分基因功能或表現逐漸下降  
 (C) 雌雄異株通常起源於「雄性先出現」的族群，即雄性功能突變先演化，再出現雌性突變  
 (D) 在性染色體演化的早期階段，X 與 Y 間的基因差異通常很小，仍可藉由 RNA-定序或限制酶點位核酸定序法(RAD-seq)等分子方法偵測到性別特異的序列標誌  
 (E) 若性別決定基因僅由單一基因控制，仍可出現雄株與雌株兩性個體，但重組抑制機制將不再出現

14. 以下兩圖為棉花葉片上的成對保衛細胞之橫切面照片，據此判斷下列敘述何者正確？



圖一、棉花葉片上的成對保衛細胞之共軛焦雷射掃描顯微照片。此材料經由特殊螢光染色以顯示角質層的分布。



圖二、棉花葉片上的成對保衛細胞之穿透式電子顯微照片。

註：兩圖中的英文標示分別為 A 氣孔前腔；C 葉綠體；CL 角質層邊緣；GC 保衛細胞；MC 葉肉細胞；SC 副衛細胞；SSC 氣孔下腔

- (A) 從圖一所示，角質層增厚的現象在常暴露於乾燥環境的細胞周圍較為明顯
- (B) 從圖二所示，保衛細胞已經具有增厚的次生細胞壁
- (C) 從圖二所示，保衛細胞的葉綠體中所呈現的白色圓形或橢圓形部分應是澱粉粒
- (D) 副衛細胞具有大型液泡，而保衛細胞的液泡較小
- (E) 圖中的角質層邊緣有利於避免氣孔散失過多水分

15. 植物從水域進入陸域，是經由一連串適應乾燥、產生支撐結構與世代交替改變的演化歷程。比較陸生植物與綠藻類的主要群組，可得到下列相關資訊

- (1) 綠藻 (Chlorophyta) 多數生活在水中，其孢子或配子外壁通常不含典型的孢粉素 (sporopollenin)，多半缺乏適應長期乾燥環境的構造。
- (2) 輪藻 (Charophyta) 與陸生植物的某些階段如合子或孢子時期，外壁常具有孢粉素，可提高對乾燥與紫外線的抵抗，此特徵被視為陸生化的重要前提之一。
- (3) 苔蘚植物 (Bryophyta) 的孢子體沒有真正的維管束系統與典型木質部，缺乏大量具傳導功能的木質素沉積；其孢子體一生都固定在配子體上，營養高度仰賴配子體供給。
- (4) 早期維管植物如化石屬頂囊蕨 (*Cooksonia*)，在志留紀晚期已出現，具有簡單的軸狀莖與具少量木質素沉積的原始導管或支撐組織，孢子體可以行光合作用並逐漸在營養上獨立。
- (5) 在細胞分裂方式上，輪藻與所有陸生植物共同具有以成膜體(phragmoplast)形成新細胞壁的特徵，而多數綠藻則不具此一機制。

研究者在英國威爾斯某地層發現一種古老植物化石，經由形態、解剖、化學成分與分子數據分析，整理出下列結果：

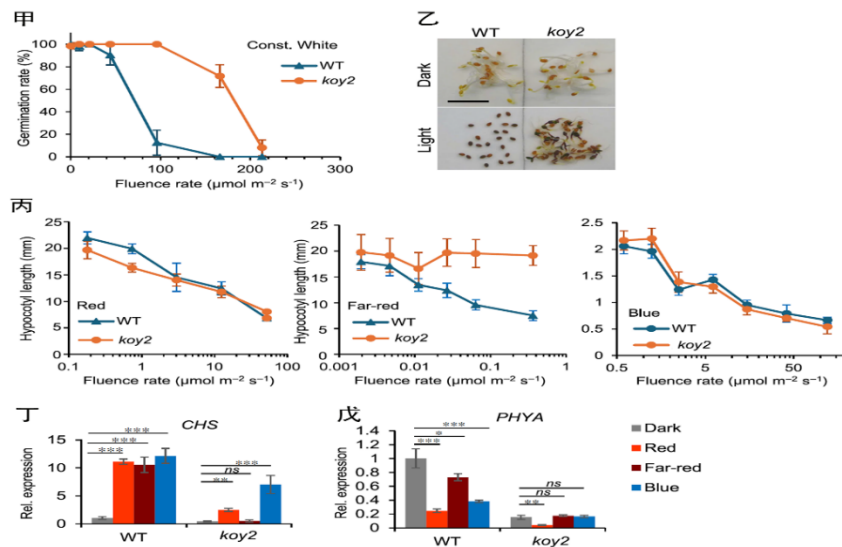
- (1) 此化石的孢子外壁含有孢粉素 (sporopollenin)，顯示其孢子對乾燥與紫外線具有一定的抵抗力。
- (2) 化石莖部薄片中，可見少量木質素沉積於內部組織，推測具有早期的水分傳導與支撐功能。
- (3) 從分子資料推論，其細胞分裂以成膜體 (phragmoplast) 方式完成新細胞壁的形成。
- (4) 根據其生活史推演，孢子體能進行光合作用，幼孢子體在初期發育時短暫依附於配子體基部，之後逐漸變得較為獨立。
- (5) 年代測定結果顯示，此化石形成於志留紀晚期 (約 420 Mya)，且產地位於英國威爾斯地區。

根據上述資訊與植物演化相關知識，下列敘述何者正確？

- (A) 此化石不可能是苔蘚類，因為苔蘚缺乏真正木質素沉積與具傳導功能的維管組織
- (B) 孢粉素的存在顯示此化石的演化年代已較綠藻 (Chlorophyta) 晚，接近輪藻與陸生植物的形態
- (C) 存在成膜體的特徵，推測此化石的演化階段更接近被子植物，而遠離輪藻
- (D) 幼孢子體仍依附於配子體，顯示此化石應屬於苔蘚植物，孢子體終生依賴配子體供養
- (E) 年代與產地皆符合已知的早期維管植物化石紀錄，因此此化石可能屬於類似 *Cooksonia* 的早期維管植物

(16-17 為題組)

李生對於種子的發芽深感興趣，因此針對阿拉伯石竹的野生型(WT)、突變體(*koy2*) 進行一系列發芽、幼苗外表型，以及基因表現的分析，結果如下圖(甲~戊)。



本題另提供放大圖

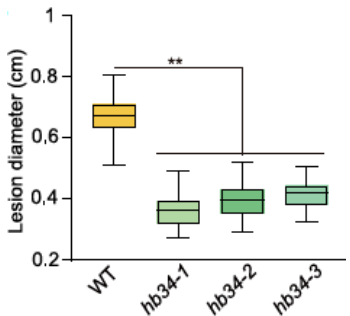
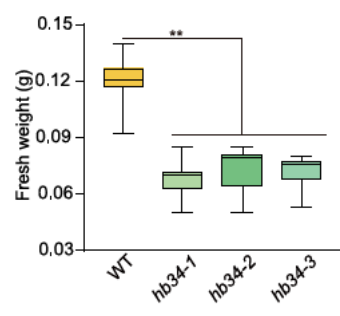
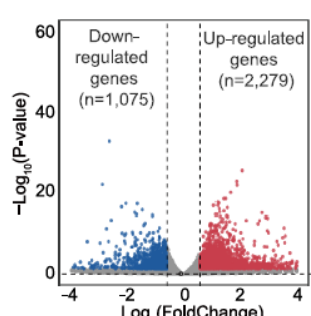
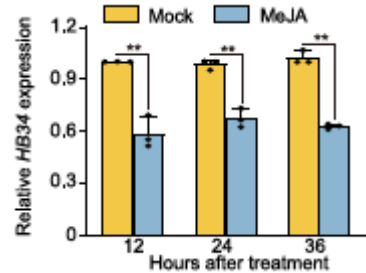
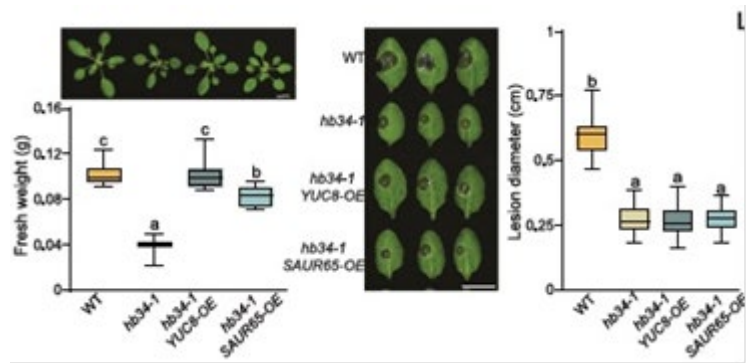
- 甲：野生型(WT)、突變體(*koy2*)在黑暗中與不同白光強度的發芽率曲線圖  
 乙：野生型(WT)、突變體(*koy2*)在黑暗中與白光強度  $96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的發芽圖  
 丙：野生型(WT)、突變體(*koy2*)在黑暗中發芽 2 天後，再移至不同光強度的紅光、遠紅光與藍光中生長 5 天後的下胚軸長度(hypocotyl length)變化圖  
 丁：調查野生型(WT)、突變體(*koy2*)生長在黑暗與不同光照(紅光、遠紅光與藍光)中 24 小時後，檢測 *CHS* (花青素合成的上游關鍵基因)基因的表現  
 戊：調查野生型(WT)、突變體(*koy2*)生長在黑暗與不同光照(紅光、遠紅光與藍光)中 24 小時後，檢測光敏素 A(*PHYA*)基因的表現

根據上面的敘述，以及所習得的知識回答下列問題(16~17)

16. 有關阿拉伯石竹野生型、突變體(*koy2*)的相關敘述，下列何者正確？
- (A) 突變體(*koy2*)在黑暗中與白光中( $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下)皆可發芽
  - (B) 在超過  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的白光中發芽不受影響
  - (C) 石竹野生型與阿拉伯芥野生型皆是受光誘導發芽
  - (D) *koy2* 突變體只在遠紅光中具有增長下胚軸的外表型
  - (E) *CHS* 是受光誘導的基因
17. 有關阿拉伯石竹發芽的相關敘述與推論，下列何者正確？
- (A) 會受光照射而抑制其發芽
  - (B) *PHYA* 基因無法在黑暗中表現
  - (C) *koy2* 突變體可能因 *PHYA* 基因突變的緣故
  - (D) 受光誘導的基因無法在 *koy2* 突變體中表現
  - (E) *koy2* 突變體乃因 *CHS* 基因突變所引起

(18-20 為題組)

同源盒(homeobox)是某些影響動物、真菌及植物發育的基因所擁有的一段 DNA 序列，擁有此序列者稱作 homeobox 基因，統稱 homeobox 基因家族。同源盒基因編碼的轉錄因子通常會開啟一系列其他基因的表現。*HB34* 是同源盒轉錄因子(homeobox transcription factor)家族的一員，媒介了植物生長與植物免疫的表現。Li 等學者發現 *HB34* 基因的突變影響了阿拉伯芥的抗病能力與生長發育能力，如圖一圖二，並下調(down-regulated)與上調(up-regulated)了某些基因的表現(圖三)。上調基因包括水楊酸(salicylic acid, SA)與茉莉酸(jasmonic acid, JA)的生合成等，下調基因包括吉貝素(GAs)與生長素(auxin)相關基因等，*HB34* 蛋白質結合的上調與下調基因數有千餘個(結果圖未呈現)。以 100  $\mu$ M 甲基茉莉酸 (MeJA)處理的阿拉伯芥幼苗中 *HB34* 基因表現量如圖四，此表現與以病原體感染阿拉伯芥幼苗中的 *HB34* 基因表現量十分相似(結果圖未呈現)。圖五為過度表達(OE)生長素誘導的基因如 *YUC8*、*SAUR* 對鮮重的影響(左圖)，以及病斑的表現(右圖)。*HB34* 的突變與病原體(*B. cinerea*) 感染的 JA 含量，均顯着增加(結果圖未呈現)。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |    |  |
| 圖一、 <i>HB34</i> 的突變影響病斑直徑(lesion diameter)                                          | 圖二、 <i>HB34</i> 的突變影響鮮重(fresh weight)                                                | 圖三、 <i>HB34</i> 突變的基因火山圖                                                             |
|  |  |                                                                                      |
| 圖四、以 MeJA 處理幼苗的 <i>HB34</i> 基因表現量，其中的 Mock 是指未以 MeJA 處理                             | 圖五、過度表達生長基因 <i>YUC8-OE</i> 、 <i>SAUR-OE</i> 對鮮重的影響(左圖)以及病斑的表現(右圖)                    |                                                                                      |

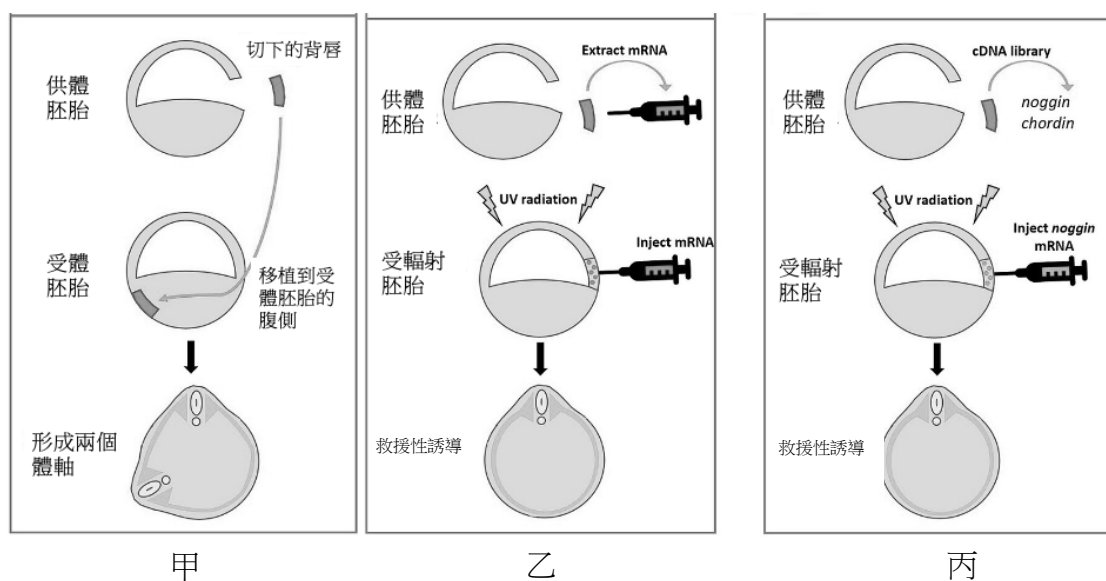
本題另提供放大圖

經由這些實驗結果與其相關知識，回答下列 18-20 題：

18. 下列有關茉莉酸之敘述何者正確？
  - (A) 為一種脂質衍生的植物激素
  - (B) 合成途徑發生在植物細胞葉綠體和過氧化體中
  - (C) 茉莉酸是揮發性化合物，可以從植物的氣孔進入植物體內誘導防禦反應
  - (D) 茉莉酸甲酯可以從外界進入植物體內，在細胞質中被酯酶水解為茉莉酸
  - (E) 茉莉酸甲酯處理的植物常降低了植食動物的死亡率，並排斥捕食性和寄生性天敵
  
19. 下列有關 *HB34* 之敘述何者正確？
  - (A) 為一合成茉莉酸的基因
  - (B) 可參與植物免疫但與植物生長無關的基因
  - (C) *HB34* 突變株可促進茉莉酸的合成途徑並降低病斑直徑
  - (D) *HB34* 突變株可促進生長素的合成途徑並增進植物鮮重
  - (E) 以 MeJA 處理幼苗會抑制 *HB34* 基因的表現量
  
20. 病原體感染阿拉伯芥幼苗時，推測下列何者正確？
  - (A) 可促進 *HB34* 的表現量並增加茉莉酸含量
  - (B) 可下調 *YUC8* 與 *SAUR*，並上調茉莉酸生合成相關基因
  - (C) 未感染病原體的過度表達 *YUC8* 與 *SAUR* 植株中，可增加鮮重並降低病斑直徑
  - (D) 由上述各實驗結果可得知 *HB34* 正調控 JA 生合成基因的表現，並負調控生長相關基因的表現
  - (E) 由上述各實驗結果可得知利用同源盒啟動子的 *HB34* 差異調節 JA 生合成和生長相關基因，來獲致植物生長和免疫力之間的權衡
  
21. 下列關於寄生性的圓形動物門 (Nematoda)與寄生性的扁形動物門 (Platyhelminthes)的敘述，何者正確？
  - (A) 扁形動物門的寄生蟲通常具有退化的消化系統或無消化系統，主要吸附在宿主身體器官吸收養分
  - (B) 蛔蟲屬於圓形動物是真體腔 (coelom)，具有完整的 3 個胚層 (germ layers)
  - (C) 扁形動物門的寄生蟲包含吸蟲 (trematodes)與條蟲 (tapeworms)等，其生命周期常涉及多個宿主，且部分階段需經由中間宿主完成
  - (D) 圓形動物門的寄生蟲具有具完整消化道(口—腸—肛門)，能在宿主腸道中有效攝食與排泄
  - (E) 扁形動物門的寄生蟲具有角質層 (cuticle)，可抵抗宿主腸道消化酶侵蝕

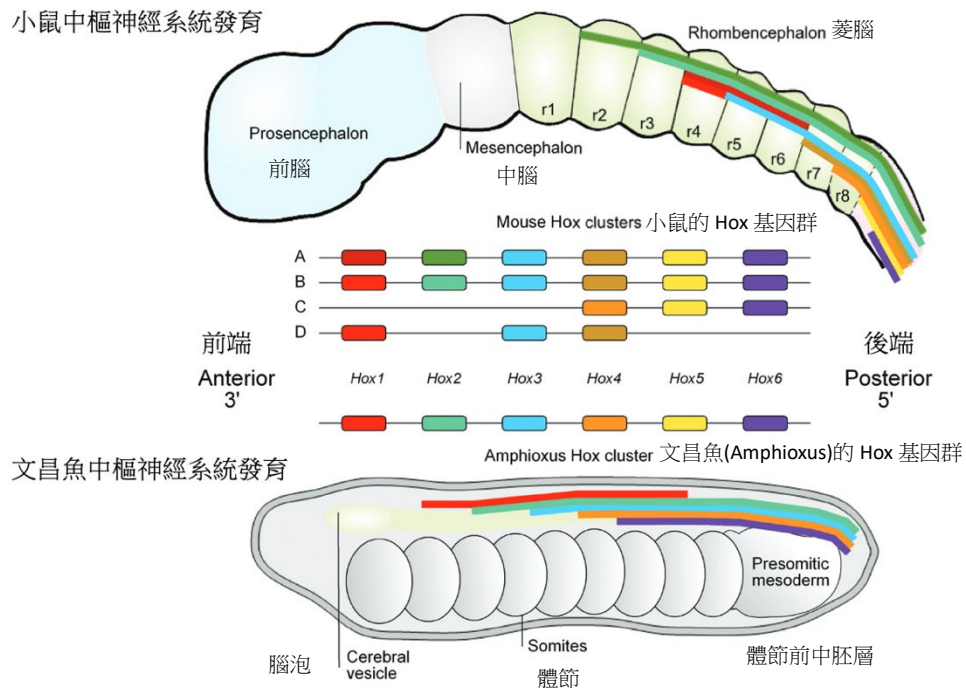
22. 下列關於刺絲胞動物門 (Cnidaria)的敘述，何者正確？
- (A) 刺絲胞動物具有二胚層 (diploblastic)構造，其外胚層與內胚層之間由中膠層 (mesoglea)填充
  - (B) 刺絲胞動物的神經系統呈現網狀，稱神經網 (nerve net)，缺乏集中化的神經節
  - (C) 刺絲胞在靜止狀態下會持續主動射出刺絲，與外界刺激無關
  - (D) 刺絲胞動物的生命周期通常包含水螅型 (polyp)與水母型 (medusa)，但不同類群中兩者比例與是否存在可能差異極大
  - (E) 刺絲胞動物的消化構造為完整的消化道 (具有口與肛門)，使其能有效進行細胞外消化與排泄
23. 關於脊椎動物的胚胎發育與器官形成，下列敘述何者正確？
- (A) 脊索 (notochord)位於神經管的腹側，是由內胚層 (endoderm)細胞聚集形成的支撐構造
  - (B) 原腸胚形成 (gastrulation)是胚胎細胞進行大規模遷移與重排的過程，此時期會形成三個胚層 (germ layers)
  - (C) 神經管 (neural tube)的形成是由於脊索 (notochord)誘導上方的外胚層細胞向內凹陷 (invagination)並捲曲閉合而成
  - (D) 體節 (somite)是由位於神經管兩側，由中胚層發育而來，將來會分化成脊椎骨、椎間盤與骨骼肌
  - (E) 胚胎發育過程中，先形成神經管，隨後才出現脊索，因為神經系統必須最先發育以控制其他器官

24. 這是 Spemann – Mangold 在蝾螈(*Triturus cristatus* and *Triturus taeniatus*)的胚胎發育的實驗，他們利用兩種顏色不同的蝾螈胚胎，作為「供體」與「受體」，*Triturus cristatus* 顏色透明 (供體)，將其背唇切下後，移植到有顏色的 *Triturus taeniatus* 的腹側 (受體)，可以觀察細胞的移動及發育狀況，實驗發現受體胚胎可以長出兩個脊索和神經索，且都具有顏色 (圖甲)。後續有其他學者進一步萃取背唇的 mRNA 注射到被輻射傷害的受體胚胎的背唇部位，也稱為形成體 (organizer)，發現脊索和神經索可以形成 (圖乙)，之後發現 *noggin* and *chordin* 會在這區域有高表現，因此注射 *noggin* and *chordin* 也可以誘發脊索和神經索形成 (圖丙)，而原本在胚胎中高表現的 BMP-4/Wnt 訊號會下降。請根據本圖及描述回答下列問題？



- (A) 移植的背唇組織直接在宿主體內分化，形成一個完整的、與主軸對稱的第二個體軸
- (B) 這個現象證明背唇的一群細胞 (即 Spemann-Mangold organizer) 可以發出信號而改變相鄰細胞的行為，並使其分化為原本不會形成的組織，稱為胚胎誘導 (embryonic induction)
- (C) 第二個體軸的主要組織來源多半來自供體移植組織，而非受體自身
- (D) 此實驗中 *Noggin* 和 *Chordin* 基因對於體軸的發育扮演重要的角色
- (E) 從實驗結果推論形成體的誘導功能主要透過增加 *Noggin* 和 *Chordin* 表現，並且抑制 BMP/Wnt 訊號來促使外胚層分化成神經組織

25. 科學家發現，在許多動物的基因體中存在著一組稱為「同源異形基因 (Hox genes)」的基因群。這群基因在染色體上的排列順序(由 3' 端到 5' 端)，與其在胚胎發育時沿著身體前後軸(anterior-posterior axis)的表現區域順序呈現高度對應，此現象稱為「共線性 (colinearity)」 如下圖所示



下列關於 Hox 基因的敘述何者正確？

- (A) 位於染色體 5' 端的 Hox 基因，通常調控胚胎頭部或前端構造的發育；而位於 3' 端的基因則調控尾部或後端構造的發育
- (B) Hox 基因轉譯出的蛋白質屬於「結構蛋白」，可以直接構成動物體的骨骼、肌肉或皮膚組織
- (C) 若這類基因發生突變或異位表現 (ectopic expression)，可能導致「同源轉形 (homeosis)」，例如在果蠅頭部原本長觸角的位置長出腳
- (D) Hox 基因的主要功能是決定胚胎的「背腹軸 (dorsal-ventral axis)」，即區分背部與腹部的發育
- (E) Hox 基因序列在演化上高度保守 (conserved)，無論是果蠅或人類，都擁有相似的同源序列，且排列模式相似，顯示動物界在身體藍圖的發育機制上有共同起源

26. 在農業害蟲管理中，表現 *Bacillus thuringiensis* (Bt) 毒素的轉殖作物（如 Bt 棉）被廣泛用來控制鱗翅目害蟲。然而，演化生物學早已指出：族群對新環境壓力的快速適應，往往來自族群原本即存在的遺傳變異（standing genetic variation），而非由環境「誘發」新的突變。此外，若抗性性狀主要由隱性或近隱性等位基因所決定，這些等位基因即使對抗 Bt 有利，也可能在未施用 Bt 的環境中，因多存在於雜合子而不表現於表型上，從而長期維持於族群中而不易被自然選擇清除。Gould 等人以菸草夜蛾 *Heliothis virescens*（鱗翅目：夜蛾科）為研究對象，從美國四州的田間族群採集雄蛾，並將其分別與一條已知對 Bt 毒素具抗性的實驗室品系進行單對交配。透過後代對 Bt 毒素反應的篩檢，研究者得以估計田間族群中抗性等位基因在施用 Bt 作物之前的初始頻率，結果約為  $1.5 \times 10^{-3}$ 。根據上述理論背景與研究設計，下列何者敘述在演化生物學上是合理的推論？
- (A) 該研究支持「Bt 抗性主要源自族群中既有的遺傳變異」，而非由 Bt 作物的施用定向誘發新的抗性突變
  - (B) 若抗性等位基因為隱性，則在未施用 Bt 的環境中，其多以雜合子形式存在，使自然選擇較難將其從族群中移除
  - (C) 抗性等位基因在施用前即有約  $10^{-3}$  的頻率，表示任何抗性管理策略在理論上都注定失敗
  - (D) 若抗性性狀在沒有 Bt 壓力的環境下會降低個體適存度，則在停止或降低 Bt 使用後，抗性等位基因的頻率可能隨時間下降
  - (E) 透過與抗性品系進行單對交配並檢測後代表型，可增加隱性抗性等位基因被偵測的機率
27. 漁業常以網目或尺寸選擇性捕撈，長期下來會對生活史造成方向性天擇（directional selection）：快速生長、晚熟、體型大的基因型更容易被移除，留下慢生長、早熟、小型化的個體。這種在野外由人為選擇驅動的遺傳改變常被稱為漁業誘發演化（fisheries-induced evolution）。Han 等人利用東波羅的海鱈魚 *Gadus morhua* 的一個時間序列族群（Eastern Baltic cod population lineage），結合 1996–2019 年（Bornholm Basin）耳石推估的生長資訊與基因體資料，指出族群體型（漸近體長）顯著下降，且與生長相關的基因區域出現方向性天擇的基因頻率變化，提供「表型變小具有基因體基礎」的證據。依據天擇理論與這個「東波羅的海族群支系」的案例，下列敘述何者正確？
- (A) 尺寸選擇性捕撈可被視為對體型／成長速率相關表型的方向性選擇
  - (B) 觀察到體型變小就足以斷言一定是遺傳演化；完全不需要排除表型可塑性或環境變動
  - (C) 若與成長相關的等位基因多樣性被長期削減，族群在環境變動下的適應潛力可能下降
  - (D) 即使停止捕撈，若體型小、早熟表型在新環境中仍具相對適存度優勢或已喪失關鍵變異，回復也可能緩慢或不完全
  - (E) 這類研究若僅用「平均成熟年齡」或「平均體長」而不控制成長條件，通常無法區分塑性與遺傳改變，因此常需結合反應範數／基因體證據

28. 高海拔低氧對動物造成強烈選擇壓力。演化生理學強調：相同的功能結果（例如提高血紅素氧親和力）可能由不同分子路徑達成；而在蛋白質結構受限的情況下，不同譜系也可能出現平行／趨同的分子替換。McCracken 等人(Molecular Phylogenetics and Evolution) 比較兩個高海拔水禽支系，也就是斑頭雁 *Anser indicus*（以跨喜馬拉雅飛行著名），以及安地斯雁 *Chloephaga melanoptera*（產於南美洲），並納入近緣的灰雁 *Anser anser* 作為低海拔物種的參照。研究指出兩個高海拔物種皆呈現較高的血液／血紅素氧親和力，但其分子替換與譜系背景需用親緣關係研究檢驗「是否真為獨立起源」。依據此「*Anser* 支系 vs *Chloephaga* 支系」案例與一般演化生理推論，下列敘述何者正確？
- (A) 若兩個高海拔物種的相同功能（高  $O_2$  親和力）來自不同位點或不同機制，仍可視為對同一環境壓力的趨同適應
  - (B) 在比較 *Anser indicus* 與 *A. anser* 時，若只看到序列差異就直接宣稱「那個差異必然是適應」，忽略祖先狀態重建與功能驗證，推論通常不夠嚴謹
  - (C) 若某個胺基酸替換在不同譜系（例如 *Anser* 與 *Chloephaga*）獨立出現且與功能增益一致，可視為「平行分子演化」的候選證據
  - (D) 高氧親和力的演化必然沒有生理代價；因此不需要考慮在低海拔環境的潛在權衡（trade-offs）
  - (E) 此類研究常需要把「分子變異→蛋白功能→整體生理表現」串起來，才能把機制與適存度連結起來
29. 社會性昆蟲中，工蟻／工蜂等不繁殖個體的利他行為可用 Hamilton 的包容適存度 (inclusive fitness) ／親緣選擇框架理解。進一步的族群遺傳模型預測：若某類基因主要影響「工蟻表型」（其適存度效應多為間接），在特定社會結構下可能表現出與「直接繁殖表型」不同的分子演化模式（例如有效選擇強度被稀釋）。Warner 等人以法老蟻 *Monomorium pharaonis*（一種多后、群內親緣度偏低的支系/族群結構）為模型，分析工蟻與繁殖蟻（后、雄）不同表現基因的分子演化訊號，提出與理論一致的「親緣選擇之基因體簽名」：工蟻相關基因相對呈現較弱的選擇訊號。依據此「*M. pharaonis* 多后、低親緣度社會結構支系」案例與社會演化理論，下列敘述何者正確？
- (A) 若群內親緣度較低（例如多后制），工蟻行為對自身基因傳遞的「間接效應」平均會更被稀釋，理論上可能改變工蟻相關基因的有效選擇強度
  - (B) 只要觀察到工蟻相關基因的選擇較弱，就能直接證明「親緣選擇是唯一原因」；不需考慮表型選擇強度差異或基因功能限制
  - (C) 以工蟻與繁殖蟻的差異表現基因 (worker-upregulated vs reproductive-upregulated) 比較其分子演化速率，是把社會演化理論連到基因體資料的一種操作化方式
  - (D) 若某些工蟻特徵對殖群生存極其重要，仍可能在工蟻相關基因上看到強烈正向選擇，並不與「多數工蟻基因選擇較弱」的整體趨勢矛盾
  - (E) 這類研究能把「行為／社會結構」變成可檢驗的分子演化預測，但解釋時仍需嚴格對照替代假說（例如生理組織表現差異造成的背景效應）

30. 在演化發育生物學中，一個關鍵議題是：當某形態在自然界中反覆、獨立地出現 (repeated evolution)，其遺傳基礎是否也會反覆命中同一基因或同一類調控區？若某基因座具有結構特性使其特別容易產生特定形態的突變 (例如調控區易發生缺失)，則可能導致平行形態演化 (parallel phenotypic evolution) 的「偏好路徑」。Chan 等人研究三刺棘魚 *Gasterosteus aculeatus* (棘魚科 Gasterosteidae) 在不同淡水族群中反覆出現的腹鰭 (pelvic) 縮減。他們認為多個地理上彼此獨立的淡水族群支系，常出現 *Pitx1* 基因上游的組織特異性增強子 (pelvic enhancer) 反覆缺失，造成腹鰭構造發育受抑制，並討論該區域結構特性可能提高缺失突變的發生率。依據此「多個獨立淡水族群支系的 *G. aculeatus*」案例，下列敘述何者正確？
- (A) 多個族群出現相同表型 (腹鰭縮減) 且共享同一種調控區缺失，必然表示這些族群最近才彼此基因交流而非獨立演化
  - (B) 若形態演化主要來自調控區 (enhancer) 缺失，而非蛋白質編碼區的失能突變，常可降低多效性 (pleiotropy) 帶來的致死或強負效應風險
  - (C) 此案例支持「平行形態演化」可以由「同一基因座的反覆突變」促成，而不是每次都需要不同基因的新突變
  - (D) 即使 *Pitx1* 的功能缺失在許多脊椎動物中可能高度有害，組織特異性調控區的變異仍可讓「局部形態」改變而不造成整體致死
  - (E) 若某基因座的序列結構使其更容易產生缺失，則演化路徑可能呈現偏向性 (constraint/bias)，不是所有基因位點被命中的機率都相同
31. 下列技術皆與抗體-抗原結合應用相關，何者敘述正確？
- (A) 流式細胞分析技術 (flow cytometry) 可利用螢光標記抗體定量細胞表面抗原
  - (B) 免疫螢光 (immunofluorescence, IF) 通常需要細胞固定，使抗體得以穿透細胞膜
  - (C) 免疫組織化學 (immunohistochemistry, IHC) 與免疫螢光染色的主要差異是訊號來源為酵素沉澱 (3,3'-diaminobenzidine, DAB) 或螢光
  - (D) 流式細胞分析技術不適用於活細胞分析
  - (E) 免疫螢光可提供細胞內在蛋白質之細胞定位
32. 下列關於酵素結合免疫吸附分析法 (enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) 之敘述何者正確？
- (A) 可利用抗體或抗原固著於固相，以檢測未知抗原或抗體
  - (B) Sandwich ELISA 通常需要兩株辨識不同抗原決定位 (epitope) 的抗體
  - (C) Competitive ELISA 中，訊號強度通常與待測物濃度成正比
  - (D) Direct ELISA 的非特異性背景通常較 high sensitivity ELISA 高
  - (E) ELISA 可藉由酵素標定進行訊號放大

33. 抗體與抗原結合所發展出許多生物技術，下列關於抗體-抗原結合的分子結構基礎，何者正確？
- (A) 抗體與抗原的主要接觸界面由互補決定區 (complementarity-determining region, CDR) 組成，包括 CDR1、CDR2、CDR3，其中 CDR3 對抗原特異性的貢獻最大
  - (B) 抗原決定位 (epitope) 可以是連續性或不連續性，由三維構型決定
  - (C) 抗原與抗體之間的結合主要由共價鍵穩定以維持高親和力
  - (D) 抗體構架區域 (framework region, FR) 對抗原結合沒有任何影響
  - (E) 抗體-抗原結合中，疏水作用、凡得瓦力 (van der Waals force)、偶極-偶極作用及氫鍵均可能參與
34. 下列有關西方印漬術 (Western blotting) 的蛋白轉漬時與膜材質的敘述，何者正確？
- (A) 聚偏二氟乙烯膜 (PVDF membrane) 需要先以甲醇 (methanol) 活化，以提高蛋白結合效率
  - (B) 硝化纖維膜 (nitrocellulose membrane) 對疏水蛋白之吸附能力通常高於聚偏二氟乙烯膜 (PVDF membrane)
  - (C) 半乾式轉漬法 (semi-dry transfer) 通常比濕式轉漬法 (wet transfer) 更適合高分子量蛋白 (>150 kDa)
  - (D) 梯度膠 (gradient gel) 可以改善高分子蛋白轉膜的效率
  - (E) 轉膜時使用低離子強度 (ionic strength) 的緩衝液 (buffer) 可增加高分子量蛋白轉移效率
35. 下列有關西方印漬術 (Western blotting) 的技術問題，何者正確？
- (A) 若高分子量蛋白轉移不完全，可增加十二烷基硫酸鈉 (sodium dodecyl sulfate; SDS) 濃度或延長轉膜時間
  - (B) 若背景過高，可增加阻斷 (blocking) 時間或更換阻斷緩衝液 (blocking buffer)
  - (C) 若共價交聯 (cross-linking) 造成蛋白無法轉膜，可在緩衝液中加入二硫蘇糖醇 (dithiothreitol, DTT) 或 2-巰基乙醇 ( $\beta$ -Mercaptoethanol,  $\beta$ -ME)
  - (D) 若抗體出現 ghost band 或白影，可能因為辣根過氧化物酶 (horseradish peroxidase, HRP) 能力耗盡
  - (E) 若低分子量蛋白顯示擴散 (smearing)，可增加膠濃度或調整轉膜條件

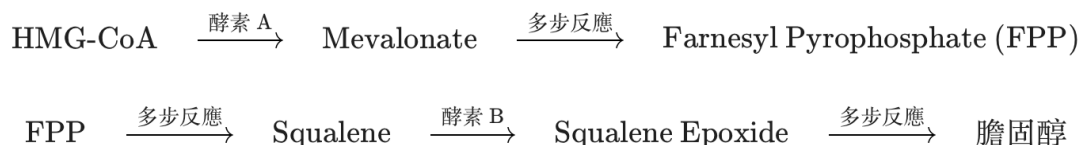
36. 研究人員比較「禁食 24 小時」與「剛吃完一餐高碳水餐」兩種狀態下，肝臟的代謝情形。他們發現：禁食狀態下，脂肪組織釋放更多脂肪酸到血液中。肝臟將大量脂肪酸送入  $\beta$ -氧化，產生比平常更多的乙醯輔酶-A (acetyl-CoA)。同時測得肝臟中 oxaloacetate (草醯乙酸) 濃度下降，檸檬酸循環 (TCA cycle) 速率減慢。研究人員注意到禁食狀態下血液出現某些水溶性分子，能被肌肉與大腦利用作能量來源。根據上述資訊，以下描述何者正確？
- (A) 因為 TCA 循環速率下降，多餘的 acetyl-CoA 會被肝臟轉換成其他能量分子供全身使用
- (B) 上述的水溶性分子可能是酮體 (ketone bodies)
- (C) 酮體的產生與脂肪酸  $\beta$ -氧化速率增加有關
- (D) 當 oxaloacetate 減少時，acetyl-CoA 難以進入 TCA 循環，因此會促進酮體生成
- (E) 酮體通常在進食後大量生成，因為那時候葡萄糖充足、TCA 循環快速
37. 沙門氏菌 (*Salmonella* spp.) 是國內外食安檢測的重點病原。攝入被沙門氏菌污染的蛋品、肉品或生鮮食品，可能造成腸胃炎、發燒、腹瀉、敗血症等嚴重健康風險。為了確定食品中是否含有沙門氏菌，實驗室常常使用選擇性培養基，其特殊配方只允許特定微生物生長，而且還會設計一些特殊的生化代謝反應，增加特殊菌種的辨識度。例如 XLD (Xylose Lysine Deoxycholate agar) 培養基，可辨識沙門氏菌、志賀氏菌以及腸桿菌。在 XLD 培養基長出之菌落如果是黃色，代表腸桿菌、紅色為志賀氏菌、而紅色中心帶有黑色則為沙門氏菌。已知培養基中含有下表所列成分，請問以下描述何者正確？

| 培養基成分                        | 功效                                                   |
|------------------------------|------------------------------------------------------|
| 木糖 xylose                    | 沙門氏菌和腸桿菌可以使用的碳源，使用後會產酸                               |
| 離胺酸 lysine                   | 沙門氏菌的離胺酸脫羧酶可作用，使得 pH 回升                              |
| 去氧膽酸 deoxycholate            | 讓革蘭氏陽性菌無法生長                                          |
| 硫代硫酸鹽 sodium thiosulfate     | 作為 $H_2S$ 的前驅物質                                      |
| 醋酸銨鐵 ferric ammonium citrate | 與 $H_2S$ 接觸後會產生黑色的 $FeS$ 沈澱                          |
| phenol red 指示劑               | $pH < 6.8 \rightarrow$ 黃色， $pH > 7.4 \rightarrow$ 紅色 |

- (A) 志賀氏菌呈現紅色是因為無法使用木糖而維持在原本培養基的 pH 值
- (B) 腸桿菌可以使用木糖作為碳源，所以菌落呈現黃色
- (C) 沙門氏菌的黑色是因為氧化硫代硫酸鹽而產生  $H_2S$ ，然後與醋酸銨鐵作用所致
- (D) 如果 XLD 培養基中少了離胺酸，沙門氏菌菌落將變成黃色中心帶有黑色
- (E) 志賀氏菌具有厚而多層的肽聚糖細胞壁

(38-39 為題組)

38. 研究人員希望找出膽固醇生合成途徑中最適合作為降膽固醇藥物的標靶。下圖顯示簡化過的膽固醇合成流程（僅示意，非完整路徑）：



研究者觀察到以下的現象：

- (1) 酵素 A (HMG-CoA 還原酶) 催化 HMG-CoA 生成 Mevalonate，是所有步驟中反應速率最低的。
- (2) 酵素 A 是唯一明顯受到細胞內膽固醇濃度回饋抑制的酵素。
- (3) 當酵素 A 的活性下降時，整條路徑的產物通量 (flux) 明顯下降。
- (4) 抑制酵素 A 會使肝細胞增加低密度脂蛋白 (LDL) 受體的表現，以吸收更多血中 LDL-膽固醇。
- (5) 酵素 B (角鯊烯環氧酶) 催化 Squalene 轉變為 Squalene epoxide，是將非甾醇結構轉變為甾醇結構的關鍵步驟，但其反應速率遠高於酵素 A，且其活性不受膽固醇濃度回饋抑制。

以下有關酵素 A 與 B 的描述何者正確？

- (A) 細胞感受到膽固醇濃度高時，會降低酵素 A 的表現
  - (B) 抑制酵素 A 會造成 Mevalonate 累積，而抑制酵素 B 會造成 Squalene 累積，因為 Squalene 比 Mevalonate 具有肝臟毒性，因此抑制酵素 A 是比較好的選擇
  - (C) 抑制酵素 A 會增加 LDL 受體，因此血中的 LDL-膽固醇會變多
  - (D) 酵素 B 的反應速率最高，所以是抑制膽固醇合成最好的選擇
  - (E) 可以用血液中的 LDL 濃度變化作為酵素 B 活性的指標
39. 延續上題，藥廠研究人員已經鎖定膽固醇合成的關鍵酵素，並以此酵素為標的篩選新型降膽固醇藥物「化合物 X」。為評估此化合物對膽固醇合成的關鍵酵素的作用方式，研究人員測量了該酵素在不同基質濃度 [S] 下的初速率(v)，分別在條件 1 (未加入化合物 X) 以及條件 2 (加入化合物 X)，測得結果如下表（單位：μM/min）：

| [S] (μM) | 條件 1 反應速度 (μM/min) | 條件 2 反應速度(μM/min) |
|----------|--------------------|-------------------|
| 10       | 12                 | 6                 |
| 20       | 20                 | 12                |
| 40       | 30                 | 20                |
| 80       | 40                 | 32                |
| 160      | 48                 | 46                |

以下描述何者正確？

- (A) 化合物 X 是一種競爭性抑制劑 (competitive inhibitor)
  - (B) 在 Lineweaver-Burk 雙倒數作圖上, 加入化合物 X 後, 直線的  $x$  軸截距 ( $-1/K_m$ ) 會更靠近  $y$  軸
  - (C) 化合物 X 最可能與酵素活性中心的基質結合位點競爭結合
  - (D) 若持續使用化合物 X 抑制此酵素, 預期可以觀察到病患血液中的 LDL-膽固醇濃度下降
  - (E) 化合物 X 會導致酵素的  $V_{max}$  明顯下降, 且其  $K_m$  值不變
40. 藥廠研究人員正在設計一種新的基因靜默療法。他們鎖定了 miRNA 的作用機制。miRNA 在細胞核內, 首先由 Drosha 酵素對「初級 miRNA」(pri-miRNA) 進行切割, 形成「前體 miRNA」(pre-miRNA)。隨後, 這個 pre-miRNA 會被運出細胞核到細胞質中, 並被細胞質內的 Dicer 酵素進一步加工成成熟的 miRNA。成熟的 miRNA 會與 RISC 複合體結合, 並透過與目標 mRNA 的 3'非轉譯區結合, 來抑制特定基因的表達。根據 miRNA 的生成與作用機制, 下列敘述何者正確？
- (A) 研究人員可將此合成的 pre-miRNA 直接注射到細胞核內, 它仍能被 Dicer 酵素加工成有活性的
  - (B) 該療法的作用效果是降低目標基因所編碼蛋白質的總量, 但不影響目標 mRNA 的總數量
  - (C) 若該合成 pre-miRNA 在細胞質內被 Dicer 切割後, 它將成為 RISC 複合體的組成部分
  - (D) 若該 miRNA 與目標 mRNA 的結合是完全互補 (如 siRNA 模式), 則 RISC 複合體最可能執行 mRNA 切割
  - (E) 如果 miRNA 的 RISC 複合體無法運作, 細胞可透過 Drosha 酵素的活性來彌補基因靜默功能的不足
41. 根據漢彌爾頓法則 (Hamilton's rule,  $rB > C$ ) 與演化賽局理論, 下列關於利他行為與社會性演化的敘述, 何者正確？
- (A) 在膜翅目昆蟲 (如蜜蜂、螞蟻) 的單套雙套染色體系統 (haplodiploidy) 中, 姊妹之間的平均遺傳關聯度 ( $r$ ) 為 0.5, 與人類姊妹相同
  - (B) 互惠利他行為 (reciprocal altruism) 的演化前提, 通常需要個體具備辨識對方與記憶過往互動的能力, 且族群個體間需有重複互動的機會
  - (C) 漢彌爾頓法則的  $B$  代表受惠者的繁殖利益,  $C$  代表施惠者的繁殖代價,  $r$  為兩者間的遺傳關聯度。當  $rB$  大於  $C$  時, 利他基因頻率才會增加
  - (D) 根據最適覓食理論 (optimal foraging theory), 動物的行為決策僅考量熱量攝取的最大化, 不需考量捕食風險或處理食物的時間
  - (E) 真社會性 (eusociality) 動物通常具有世代重疊、合作育幼以及生殖階級分工等特徵

42. 鳥類的婚配制度多樣，根據性擇與親代投資理論，下列敘述何者正確？
- (A) 在多樣化的雄鳥飾羽或求偶展示中，根據性擇的「障礙原理」，雄鳥必須發展出可能會降低生存率（如顯眼易被捕食、飛行笨重）的特徵，才能誠實地向雌鳥訊號顯示其優良基因
  - (B) 一夫一妻制是鳥類最普遍的婚配制度，主要原因是大多數雛鳥為早熟型 (precocial)，需要雙親共同育雛才能提高後代存活率
  - (C) 根據「一夫多妻門檻模型」 (polygyny threshold model)，當環境資源分布極不均勻、且超過一定門檻時，雌鳥選擇已有配偶的雄鳥（並成為其第二配偶），其繁殖成功率並不會高於選擇在貧瘠領域、尚未配對的雄鳥
  - (D) 雖然許多鳥類維持社會性一夫一妻 (social monogamy)，但分子生物學證據顯示，「偶外交配」 (extra-pair copulation) 在鳥類極為常見。雌鳥進行偶外交配的主要動機，通常是為了獲得更多的直接利益（如雄鳥提供的食物或巢材）
  - (E) 托卵寄生 (brood parasitism) 行為（如杜鵑科）是宿主與寄生者之間的共演化競賽。寄生者通常會演化出擬態宿主卵的顏色，而宿主則會演化出更強的辨識與排斥異物能力
43. 關於生物地球化學循環及其受人類活動之影響，下列敘述何者正確？
- (A) 氮循環中的固氮作用 (nitrogen fixation) 是將大氣中的氮氣轉化為植物可以利用的含氮化合物，這個過程主要由某些細菌完成
  - (B) 磷循環 (phosphorus cycle) 不像碳、氧或氮循環一樣，其元素在地表上不會以氣態形式存在，因此其循環模式更為局部化
  - (C) 砍伐森林會導致該流域的逕流量降低，並顯著提高溪流中硝酸鹽的濃度
  - (D) 優養化會促進藻類生長，藻類的光合作用，進而使優養化水域的溶氧量保持在相當高的狀態
  - (E) 生物修復 (bioremediation) 是一種利用生物（如微生物或植物）從受污染的生態系統中移除有害物質的策略，是一種比物理（如焚化、換土）或化學處理法速度更快的整治技術
44. 已知昆蟲為防禦天敵，減少被其捕食的機會，會有穆氏及貝氏擬態。鳥類亦經常會藉著明顯的羽色或表現特殊的行為，減少或避免其遭受天敵攻擊。其中也有一些穆氏及貝氏擬態的案例。試問下列敘述何者正確？
- (A) 某些托卵寄生的杜鵑鳥，其胸部羽色與飛行方式與雀鷹相似，有利其產卵時，減少或避免被寄生鳥的糾纏，屬於貝氏擬態
  - (B) 有些鳥類的幼鳥在巢時，會發出似蜜蜂的嗡嗡聲嚇退天敵。今有甲乙丙 3 種鳥，分別在樹上、樹洞及地面築巢，推測在地面築巢的丙鳥，其幼鳥是上述最有可能會發出蜜蜂嗡嗡聲的鳥種，而此行為屬於貝氏擬態
  - (C) 穴鴉幼鳥發出似響尾蛇尾節擺動聲，來嚇退要進入洞穴的野兔，屬貝氏擬態
  - (D) 三種有毒的鳥皆有類似型色的鮮艷羽毛，屬於穆氏擬態
  - (E) 羽色與飛行方式與禿鷹相似的某種猛禽，藉機混在禿鷹中接近獵物而進行捕食，屬於貝氏擬態

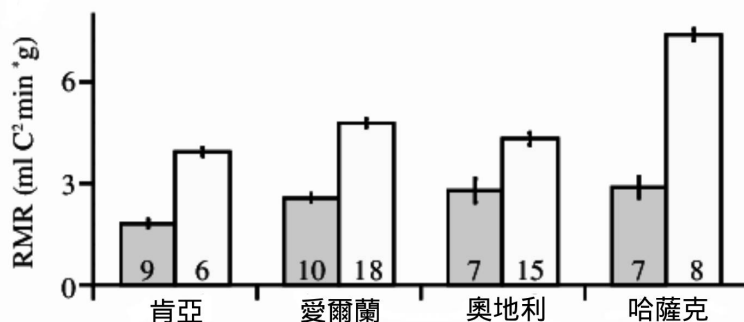
45. 紅外線自動照相機的原理是藉由偵測動物的體溫熱輻射所發出紅外線，觸發相機拍攝，來得知當地出現的野生動物種類。某生在一個禮拜期間，利用紅外線自動照相機比較甲、乙兩地區的動物種類組成，結果如下表，其中所列數值為甲、乙兩地區分別拍攝到不同動物種類的照片張數。

|     | 物種一 | 物種二 | 物種三 | 物種四 | 物種五 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 甲地區 | 12  | 11  | 14  | 13  | 17  |
| 乙地區 | 20  | 12  | 9   | 5   | 1   |

根據以上資訊，下列敘述或推論何者正確？

- (A) 平均而言，紅外線自動照相機拍攝到爬蟲類動物的機率會高於拍攝到哺乳類動物的機率
- (B) 活動範圍較大的物種通常較不易被拍攝到
- (C) 甲、乙兩地區均只有五種動物存在
- (D) 甲地區的動物個體數較乙地區多
- (E) 甲地區的動物物種多樣性較乙地區高
46. 熊為食肉性的大型猛獸，具有敏銳的感官，強健的軀體及靈活的身手，使其成為某些地區最具代表性的猛獸。熊食性廣泛，雖屬食肉動物，但許多時候以各種植物性食物為主，在北溫帶莓果生長期間，林道旁開闊地的莓果尤其豐富，是熊喜食的食物，個體常不分晝夜大量進食以為冬眠前儲存足夠的脂肪過冬。熊壽命長，幼體發育及跟隨母親學習的階段亦長，有利於幼熊生存及對環境的因應。生活在北美的黑熊及棕熊，因數量眾多、分布廣泛，且傳統上是北美居民定期狩獵的對象，基於安全，合法狩獵必須在白晝時間進行，另對狩獵個體亦有所限制，禁止狩獵照顧小熊的母熊。研究人員長期對熊進行監測及研究，其中針對共域的黑熊與棕熊間的關聯有相當深入的了解。共域環境多屬較荒野地段，各種人為探索活動（包括狩獵等）常藉林道進入。棕熊體型大於黑熊，除對黑熊造成相當程度資源利用的競爭外，有時某些亦會攻擊黑熊造成其傷亡，甚有將其啃食的案例。而體型過大過重的棕熊個體往往不利於其攀爬，限制了一些牠可能探索的空間。針對共域的黑熊及棕熊，下列敘述何者正確？
- (A) 預期黑熊常預先會避開棕熊的活動空間，靠其敏銳的感官，尤其是視覺
- (B) 預期莓果結實期間黑熊白晝常出現於林道旁的環境，而棕熊則遠離林道旁的環境
- (C) 預期在此結果期間，兩種熊的全天作息模式是相似的
- (D) 預期育幼的黑熊選擇在樹多地方活動的機會大於其他熊隻個體
- (E) 預期在北美國家公園內生活的棕熊，於莓果結實期間全天皆有可能出現在林道旁的環境

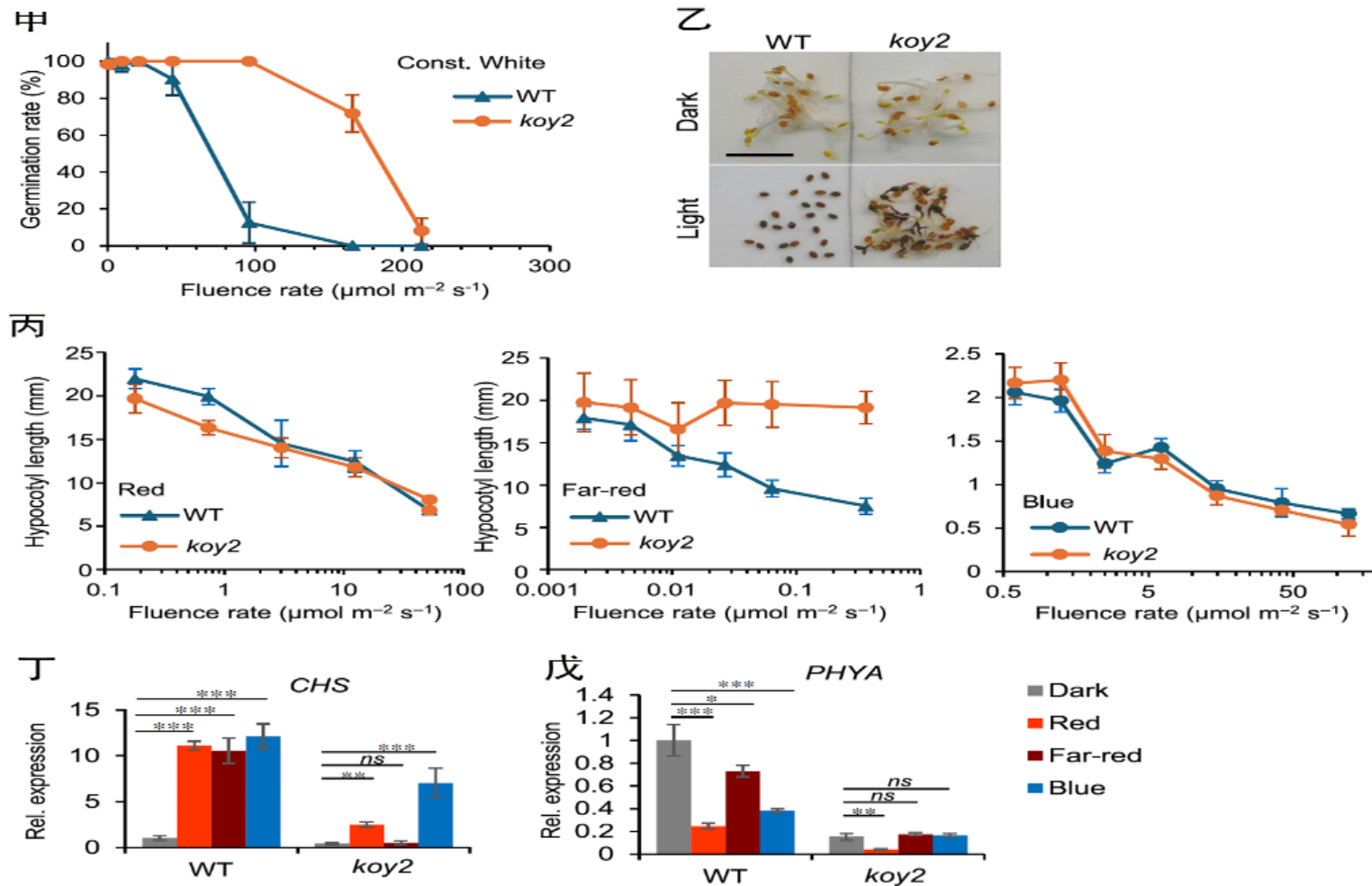
47. 科學家將由肯亞、愛爾蘭、奧地利以及哈薩克這四個地區所捕捉到的一種屬於鵝科的鳥類，在相同溫度與日照長度條件下飼養在德國同一個地方的鳥舍中，並在冬天和夏天分別測量這些鳥類的代謝率（以 RMR 當作指標），所得結果如下圖，其中灰色和白色柱狀圖分別代表於冬天和夏天的檢測結果，柱狀圖內的數字則為樣本數。（取自 Wikelski et al. 2003）



根據以上資訊，下列敘述或推論何者正確？

- (A) 冬天時以來自肯亞的鳥類個體其基礎代謝率最低
  - (B) 四個地區均以夏天的基礎代謝率較冬天高
  - (C) 四個地區中，來自肯亞的鳥類個體其壽命最短
  - (D) 四個地區中，來自哈薩克的鳥類個體其生活史最接近  $K$  選擇物種
  - (E) 本研究證實四個地區基礎代謝率的差異有受到遺傳因子的影響
48. 在保育生物學中，物種的稀有度 (rarity) 是一個多維度的概念，通常由三個主要因子決定：地理分佈範圍、棲地專一性，以及族群密度 (local population density)。物種在這三個因子上的不同組合，形成了七種稀有等級，其中最稀有的物種是「地理分佈狹隘、棲地專一、密度低」。在擬定保育策略時，必須針對不同的稀有度類型進行策略上的權衡。下列關於不同物種稀有度的保育策略，何者正確？
- (A) 對於地理分佈廣泛、但族群密度極低的稀有物種（如某些大型猛禽），最重要的保育策略應著重於建立多個小型保護區來涵蓋其廣大分佈範圍，以避免單一地區的風險
  - (B) 對於地理分佈狹隘，但密度相對高的物種（如某些特有種植物或洞穴物種），除了棲地內保育 (in-situ conservation) 外，也應該同時考慮建立衛星族群或進行異地保育 (ex-situ conservation)
  - (C) 旗艦物種通常為地理分佈廣泛、密度極低的物種，在擬定保育策略時，應優先投入資源於這些物種，因為它們通常需要更大的棲地來維持基因交流
  - (D) 對於地理分佈狹隘、密度極低的物種，保育策略必須採取棲地內保育搭配積極的人為輔助，例如人工授粉或減少基因流失的遺傳管理。
  - (E) 地理分佈廣泛，但族群密度低的稀有物種，該物種低密度可能反應其環境承載量 (carrying capacity) 本來就低，擴大棲地面積或增加棲地的連通性，對其族群數量的提升效果有限

49. 經典的植群演替理論認為，在沒有外部干擾的情況下，一地區的植被最終會趨向於該地區氣候條件下唯一穩定的極盛相 (climax community)。然而，許多研究也指出，受到干擾、物種傳播限制、氣候變遷與外來種入侵等因子的影響，植被的實際變化路徑往往偏離單一極盛相的預測。下列關於決定植物群落物種組成和動態主要機制的說明，何者正確？
- (A) 植被群落的組成最終由該地區的氣候條件決定，干擾和物種入侵僅在短期內影響演替的快慢，但不會改變極盛相的物種組合。
  - (B) 物種間的競爭是決定群落結構的主要生物因子，因此在移除外來入侵生物後，就能使群落向預測的極盛相逐漸恢復
  - (C) 植群的物種組成由區域尺度的物種庫 (species pool) 所調控，只要保持各群落間的聯通性，一物種在該地的定殖與否，取決於當地非生物因子是否合適
  - (D) 決定群落動態的因子是多重且彼此互相作用的，涵蓋了區域尺度的氣候與傳播限制、群落尺度的土壤與干擾頻率，以及目前群落內物種間的交互關係
  - (E) 由於氣候變遷和外來入侵種導致的環境變化，使得過去的演替模式已不再適用，未來的植被群落組成基本上無法預測
50. 許多鳥類針對天敵，會發出警戒聲，除警告同類躲避天敵外，有些鳥所發出的警戒聲會吸引在附近活動的同類及其他鳥類共同前來驅趕天敵。澳洲學者研究托卵寄生鳥種的結果發現，全球有 21 種鳥會對寄生鳥種如杜鵑發出警戒聲。這些鳥類中，有些是共域且有相近的親緣關係，但也有些鳥是在 5 千萬年前有共同的祖先，現今則生活在不同的大陸。學者發現會發出此種叫聲的鳥類，推測是牠們皆生活在有較多被托卵寄生案例的地區。研究者利用被杜鵑寄生的兩種當地鳥種 (華麗細尾鸚鵡及白眉刺絲鵲) 進行實驗。他們提供了杜鵑標本，分別呈現在兩種鳥的面前，兩種鳥會發出相似的警戒叫聲，並出現有攻擊行為。而當研究者呈現其牠天敵的模型時，則幾乎不曾記錄此種警戒叫聲。另當研究者只播放警戒叫聲時，此兩種鳥也會產生強烈的反應。他們用澳洲被寄生鳥類的警戒聲，播放給中國的被寄生鳥類聽時，以及播放中國的被寄生鳥類的警戒聲給澳洲被寄生的鳥類聽時，這些聽眾都有相同的反應，表現出有托卵寄生的威脅存在。根據研究者以往的研究顯示，這兩種鳥的個體如從未見過杜鵑，聽到警戒聲音後會有趕到聲源的驅趕行動，但不會發出警戒叫聲；但當這些鳥觀察到有其牠鳥在杜鵑附近發出警戒叫聲後，牠們才會發出警戒叫聲。試問下列敘述何者正確？
- (A) 此結果顯示，全球受到杜鵑寄生的不同鳥種有共同的語言來顯示杜鵑的威脅
  - (B) 澳洲此兩種鳥的警戒叫聲來自學習
  - (C) 澳洲此兩種鳥的警戒叫聲屬於本能
  - (D) 預期全球暖化對於北半球生活的杜鵑 (夏候鳥，其遷移時間主要取決於光照周期) 繁殖所造成的影響，可能小於在地的被寄生鳥種
  - (E) 此種各地針對杜鵑的警戒叫聲，屬於趨同演化



甲：野生型(WT)、突變體(*koy2*)在黑暗中與不同白光強度的發芽率曲線圖

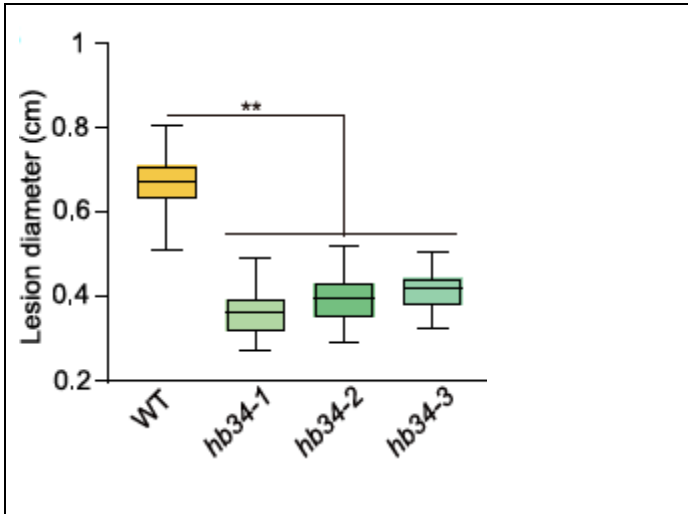
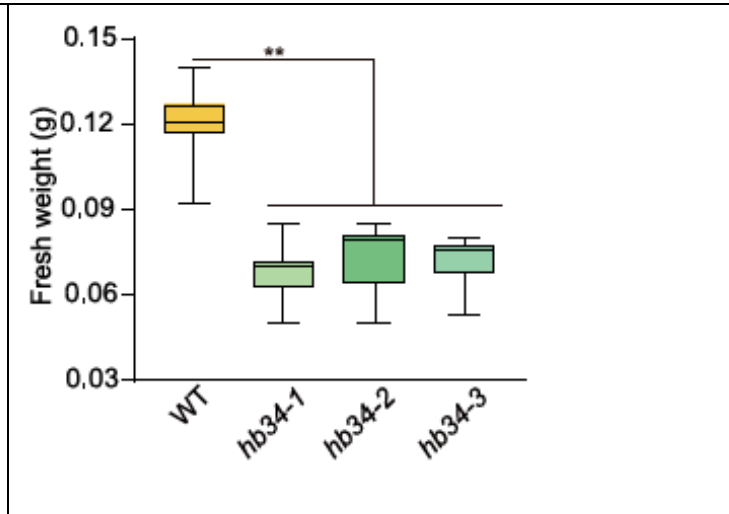
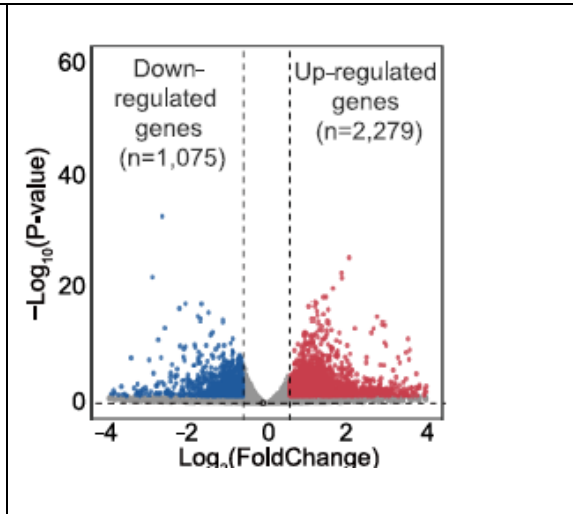
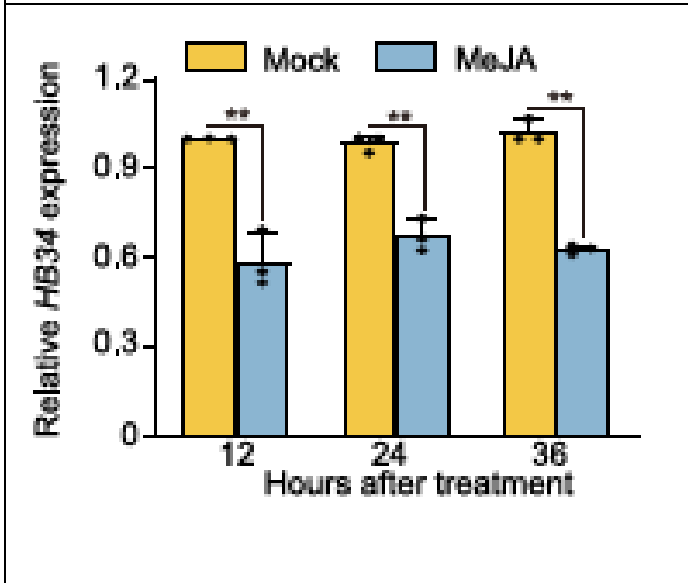
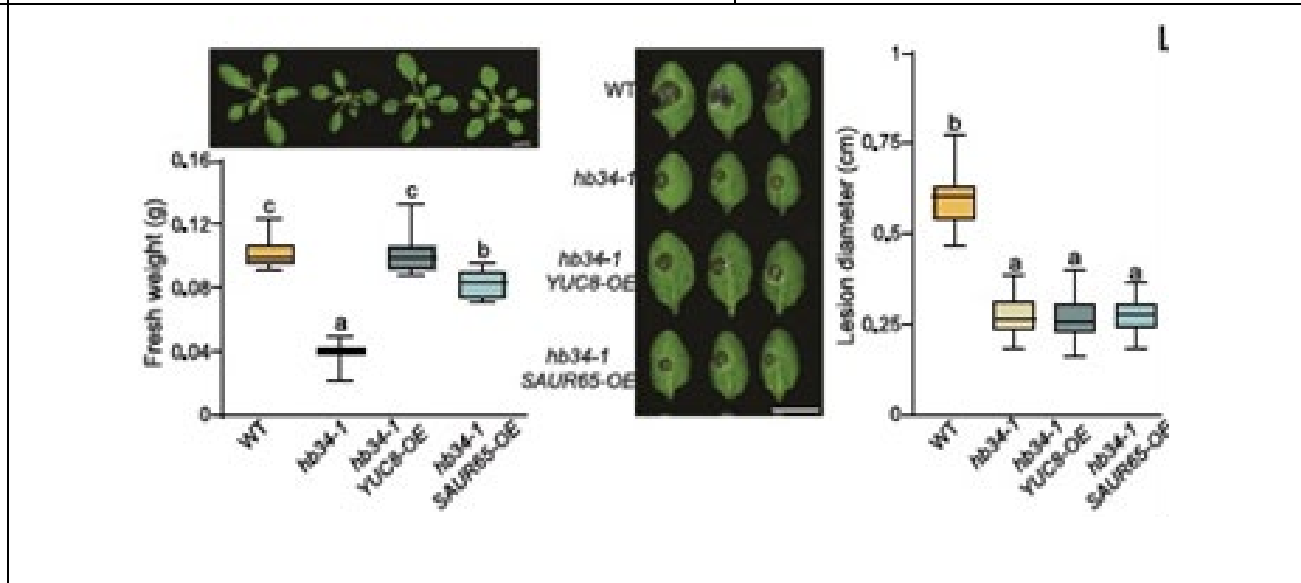
乙：野生型(WT)、突變體(*koy2*)在黑暗中與白光強度  $96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的發芽圖

丙：野生型(WT)、突變體(*koy2*)在黑暗中發芽 2 天後，再移至不同光強度的紅光、遠紅光與藍光中生長 5 天後的下胚軸長度(hypocotyl length)變化圖

丁：調查野生型(WT)、突變體(*koy2*)生長在黑暗與不同光照(紅光、遠紅光與藍光)中 24 小時後，檢測 *CHS* (花青素生合成的上游關鍵基因)基因的表现

戊：調查野生型(WT)、突變體(*koy2*)生長在黑暗與不同光照(紅光、遠紅光與藍光)中 24 小時後，檢測光敏素 A(*PHYA*)基因的表现

第 18-20 題組圖

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Figure 1: Box plot showing lesion diameter (cm) for WT, hb34-1, hb34-2, and hb34-3. WT has a significantly higher median lesion diameter (~0.68 cm) compared to the mutants (~0.4 cm). ** indicates p &lt; 0.01.</p>                                        |  <p>Figure 2: Box plot showing fresh weight (g) for WT, hb34-1, hb34-2, and hb34-3. WT has a significantly higher median fresh weight (~0.12 g) compared to the mutants (~0.07 g). ** indicates p &lt; 0.01.</p>                                                                                                                                                                                   |  <p>Figure 3: Volcano plot showing <math>-\text{Log}_{10}(\text{P-value})</math> vs <math>\text{Log}_2(\text{FoldChange})</math> for HB34 mutants. Down-regulated genes (n=1,075) are on the left, and up-regulated genes (n=2,279) are on the right.</p> |
| 圖一、HB34 的突變影響病斑直徑(lesion diameter)                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 圖二、HB34 的突變影響鮮重(fresh weight)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 圖三、HB34 突變的基因火山圖                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|  <p>Figure 4: Bar chart showing relative HB34 expression at 12, 24, and 36 hours after treatment with Mock (yellow) or MeJA (blue). Mock treatment shows significantly higher expression than MeJA treatment at all time points. ** indicates p &lt; 0.01.</p> |  <p>Figure 5: Left: Box plot showing fresh weight (g) for WT, hb34-1, hb34-1 YUC8-OE, and hb34-1 SAUR65-OE. WT and hb34-1 YUC8-OE have significantly higher fresh weight than hb34-1. Right: Box plot showing lesion diameter (cm) for the same genotypes. WT and hb34-1 YUC8-OE have significantly higher lesion diameter than hb34-1. Letters above bars indicate statistical significance.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 圖四、以 MeJA 處理幼苗的 HB34 基因表現量，其中的 Mock 是指未以 MeJA 處理                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 圖五、過度表達生長基因 YUC8-OE、SAUR-OE 對鮮重的影響(左圖)以及病斑的表現(右圖)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |