
2014 年第十一屆國際國中科學奧林匹亞競賽 --理論試題

國立臺灣師範大學 科學教育中心

第 1 題

世界人口快速增加(目前已經超過 67 億人)，人類利用各種方法開採、轉換、利用資源正在使地球上居民的永續利用加速縮減中。近年來，全球環境變遷的一系列衝擊顯示出其重要性。雖然在我們的世界中不同的化學、物理和生物的組成正在交互作用，上世紀人類活動所造成的後果，其變化的本質可有基本的檢測。

一個非政府組織(NGO)的環境檢測專家跟環境部門合作，檢測一種阿根廷全國廣泛分布的石炭酸灌木屬(*Larrea*)植物在生態系統的重要性，NGO 強調它的作用：

1. 用來作為覆蓋被人類活動干擾的土地的植被
2. 作為國家物種的社會與文化的重要性
3. 作為化妝品、藥物或其它使用
4. 做為傾斜區域的固定物

Zygophyllaceae 科中的石炭酸灌木屬(*Larrea*)植物(當地俗名為“jarilla”)，生活在乾燥地區。在阿根廷有四種：*Larrea cuneifolia*，*L. divaricata*，*L. nitida*，*L. ameghinoi*，它的葉片上有一層樹脂，由主要為 $C_{18}H_{22}O_4$ 的正二氫癩創酸(NDGA)組成，此樹脂可以避免水分喪失，以及來自其他草本植物的毒性。



圖 1：jarilla 灌木(*Larrea sp.*)為門多薩典型的陸生植物，前端就是它的開花

1.1. 為了證明石炭酸灌木用在被干擾地區植被綠化的利用，一群研究者在受採礦影響的區域進行下列操作：選擇兩個受影響區域的樣區，其中一樣區重新栽植 jarilla 綠化，同時另一樣區則讓其自然消長，十年後，在此兩樣區進行採樣。因為石炭酸灌木會使其覆蓋區域的條件改變，使某些物種容易移入綠化，此操作的目的是在檢測所觀察到的群落中的物種多樣性是否反應此移入的偏好趨勢。

物種多樣性是生物群落的特性，可以以下列檢測：

1. 物種豐富度(S)：群落中不同的種的數量
2. 物種均勻度或稱為平均度：所有個體屬於每一各別物種的比率(相對豐富度)

Pielou 指數(J)是其中一種用來表示均勻度的指數，可以以下列公式計算：

$$J = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

其中：

H' ，Shannon-Wiener 指數(數值在表 1 及下頁的 2 中)

$H'_{\max} = \ln(S)$

S：物種豐富度

記得：

1. Shannon-Wiener 指數是計算物種多樣性的一種指數
2. 物種豐富度:指特定物種的個體數

由各樣區中獲得的數據如下表及圖

表 1：石炭酸灌木綠化區物種、物種豐富度以及生長型態

(樣區 1)

物種	物種豐富度	生長型態
<i>Acantholippia seriphioides</i>	300	shrub灌木
<i>Condalia microphylla</i>	250	shrub
<i>Larrea cuneifolia</i>	400	shrub
<i>Larrea divaricata</i>	250	shrub
<i>Lycium tenuispinosum</i>	250	shrub
<i>Montea aphylla</i>	150	shrub
<i>Senna aphylla</i>	220	shrub
<i>Pyrrhocactus pachacoensis</i>	700	cactus仙人掌
<i>Aristida mendocina</i>	220	grass草
<i>Cottea pappophoroides</i>	210	grass
<i>Erodium cicutarium</i>	750	herbaceous草本
<i>Fabiana peki</i>	450	herbaceous
<i>Helenium donanum</i>	650	herbaceous
<i>Hoffmannseggia eremophila</i>	500	herbaceous
<i>Prosopis flexuosa</i>	150	tree樹
Shannon-Wiener 指數 (H')	2.57	

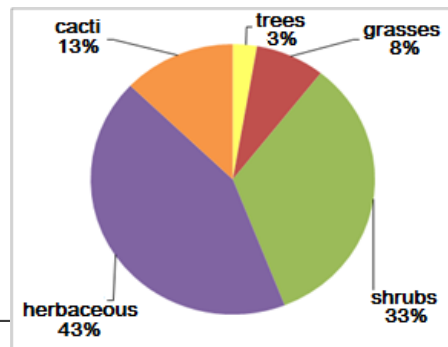


圖 2：生長型態百分比

表 2：自然消長區的物種、物種豐富度、生長型態
(樣區 2)

物種	物種豐富度	生長型態
<i>Spartium junceum</i>	80	shrub 灌木
<i>Larrea cuneifolia</i>	200	shrub
<i>Lycium chilense</i>	70	shrub
<i>Spartium junceum</i>	50	shrub
<i>Aristida mendocina</i>	1000	grass 草
<i>Cottea pappophoroides</i>	250	grass
<i>Stipa sp.</i>	300	grass
<i>Arjona longifolia</i>	70	herbaceous 草本
<i>Buddleja mendozencis</i>	25	herbaceous
<i>Hysterionica jasioide</i>	30	herbaceous
<i>Junellia aspera</i>	40	herbaceous
<i>Lecanophora heterophylla</i>	55	herbaceous
<i>Oenotera odorata</i>	20	herbaceous
<i>Salsola kali</i>	25	herbaceous
<i>Cercidium praecox</i>	50	tree 樹
Shannon-Wiener 指數 (H')	1.95	

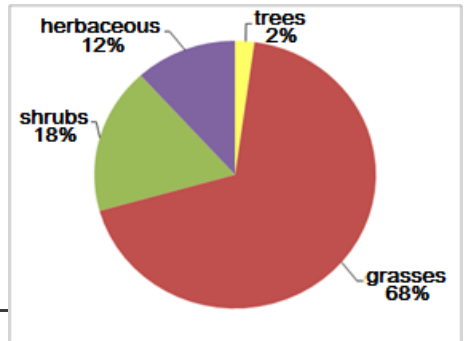


圖 3：生長型態百分比

1.1.1. 在答案卷的表 3 中填入各樣區群落的相關資料。

Community 群落	物種豐富度(S)	個體總數(N)	優勢種的名稱	優勢種的物種豐富度	J
樣區 1：群落中植入 jarilla					
樣區 2：群落讓其自然消長					

1.1.2. 指出哪一群落有較高的生物多樣性

1.1.3. 對答案卷中所列的佐證 1.1.2 的答案的每項解釋，適切地標示 T(對)F(錯)。

A. 十年後，由於石炭酸灌木的助益效果，以石炭酸灌木綠化的群落跟維持自然消長的群落在物種數量上有明顯差異。	
B. 樣區 1 中，石炭酸灌木的存在增加了灌木和草本植物的數量。這顯示石炭酸灌木使其他物種更易於發展，從而增加了群落的多樣性。	
C. 這助益效果顯示重新綠化群落（樣區 1）比維持自然消長的群落（樣區 2）有較少的生命形態多樣性。	

1.2. 決定了重新綠化的適當物種後，非政府組織須把門多薩的一個乾燥的山腳區域重新綠化。圖 4 繪出了重新綠化的區域。計算區域 A、B、C、D 的面積，以及區域的總面積。最後答案請以 square meters 平方公尺表示。

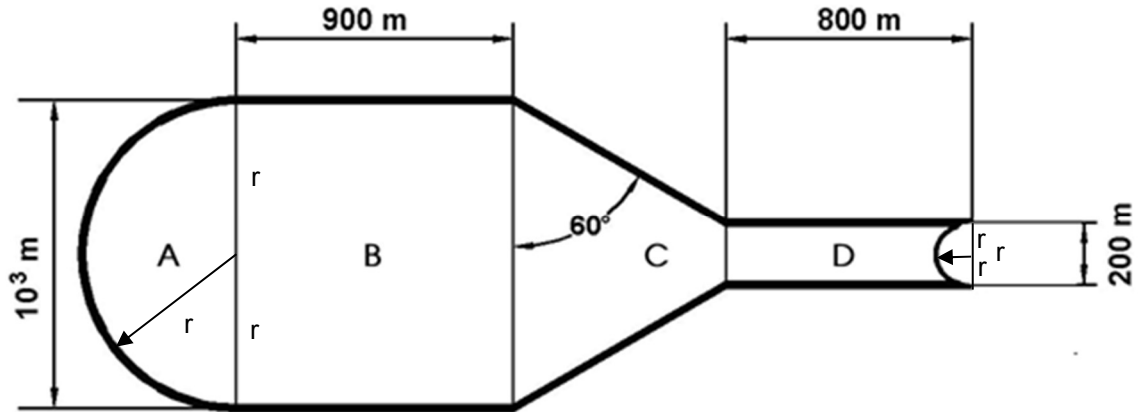


圖 4：綠化區域的示意圖

1.3. 自然植物流失(主要在山坡地型)所導致的另一問題就是石塊的剝離與掉落。圖 5 所示的是門多薩的一個山腳的側面圖。

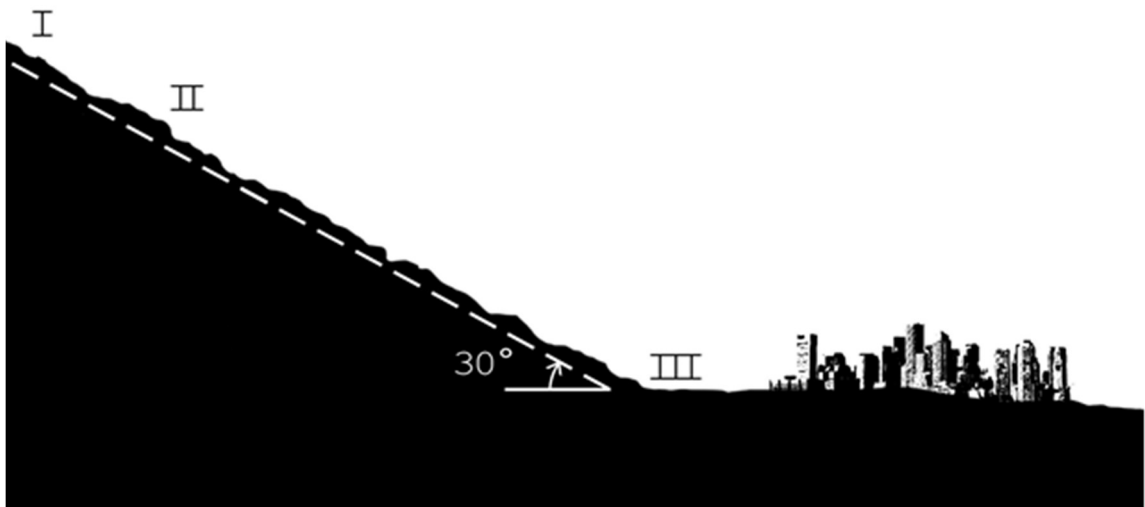


圖 5：斜坡的側面圖

1.3.1. 在執行重新綠化的過程中，地點 I 的一組工作人員發現了一顆石頭以 10.0 m s^{-1} 的速度滑落 (沒有滾動)。從點 I 至點 II 的距離是 50.0 m，而這段距離中石塊跟地面的動摩擦係數是 0.46。忽略空氣阻力，並假設表面是平面，求石塊經過點 II 時的速率。(重力加速度： 9.81 m s^{-2})

1.3.2. 植物的存在會減緩石塊的剝落，而且若它們一旦剝落後也會減慢它們的下滑。

假設點 II 至點 III 之間的 200.0 m 距離已綠化，並且習題 **1.3.1** 中的石塊抵達點 III 時的速率為零。求這段路程中的動摩擦係數，假設它在整段路程中是常數。

1.4. 為了改善土壤的狀態，研究員分析擾動土壤以決定最適合石炭酸灌木生長的成分。結果如表 4 所示：

表 4：擾動土與最適合石炭酸灌木成長的土壤成分對照

變數	擾動土成分	最適合 <i>Larrea</i> 的土壤成分
有機物(% w/w)	0.90	3.33
總氮(mg kg ⁻¹)	1033.00	1353.00
可萃取磷(mg kg ⁻¹)	1.00	8.12
可萃取鉀(mg kg ⁻¹)	1199.00	1444.00
濕度(% w/w)	10.52	12.97
pH	7.54	7.10

石炭酸灌木可以生存於沙漠的擾動土但無法承受高磷含量的土壤，為了使土壤有最適當的營養，肥料必須要放在擾動土的 0.3 公尺的深度，肥料的營養成分為 30% N, 15% P₂O₅ and 15% K₂O。(土壤密度 1.63×103kg m⁻³;原子量: P:31; O: 16 ; K: 39 g mol⁻¹; N: 14)

1.4.1. 你要以哪一個營養成分決定肥料的用量。

1.4.2. 請計算每平方米土地需要多少公斤肥料，答案取到小數點後第二位。

1.4.3. 算出表 4 中決定擾動土 pH 值的氫氧根離子(OH⁻)濃度。

1.4.4. 在表 5 中所列的指示劑，請指出你會選擇何者去定性測量擾動土的 pH 值，指示劑呈現甚麼顏色。以括號內的代碼回答指示劑與顏色

表 5：指示劑之 pH 區間與顏色的關係

指示劑 (代碼)	pH 區間	顏色 (代碼)
甲基橙 (MO)	3.1 – 4.4	紅(R)-黃(Y)
溴瑞香草酚藍(BB)	6.2 – 7.5	黃(Y)-藍(B)
甲基紅(MR)	4.2 – 6.2	紅(R)-黃(Y)
甲酚紫(MP)	7.8 – 9.2	黃(Y)-紫(P)
酚肽(PP)	8.3 – 10.0	無色(C)-紫(P)

1.4.5. 如果該地區土壤含有高濃度的 Na₂CO₃ (碳酸鈉)，且降雨量不足，則土壤的 pH 值可能偏高，這是由於碳酸根離子與水的水解反應所致。

請寫出 Na_2CO_3 在水中解離反應的平衡反應方程式。

1.4.6. 請寫出因碳酸根水解所引起土壤 pH 值上升的離子反應平衡方程式。

1.5. 對原住民而言石炭酸灌木有很多用途，包括使用 *Larrea cuneifolia* 作為以太陽方位標示的指南針。這植物所採的位置會在早上及下午得到最大的日曬，但卻能避免中午的強烈日照以免脫水。圖 6 給出 *Larrea* 葉片的四個示意圖，每個有不同的指向。

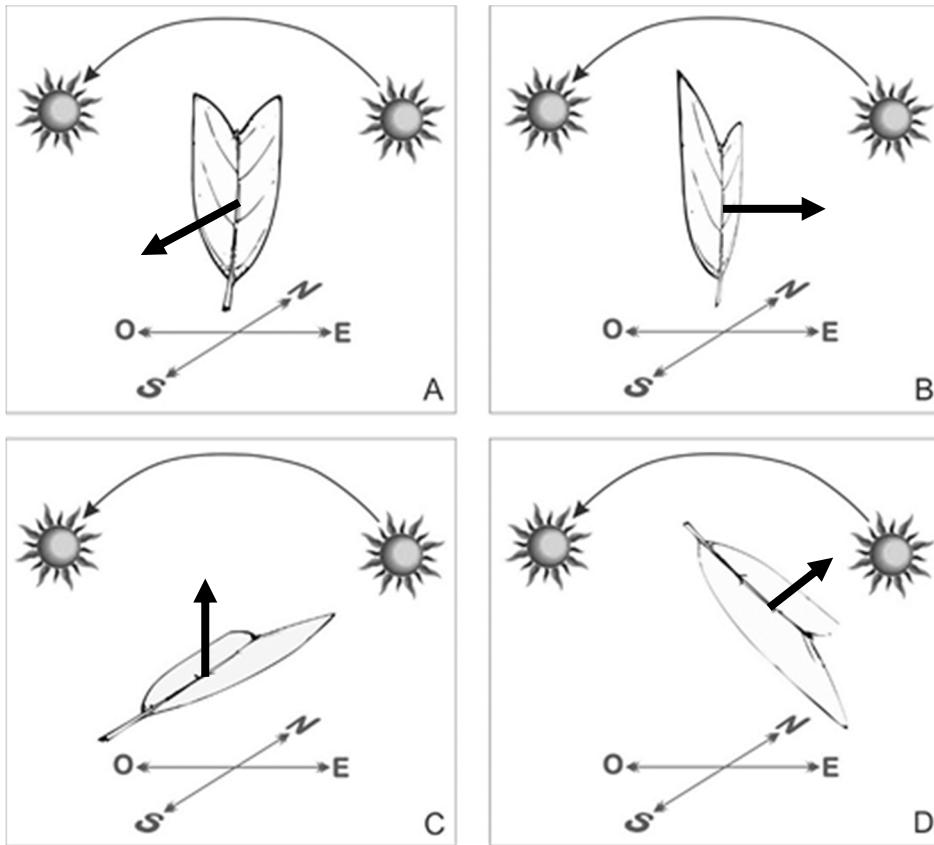


圖 6：有不同指向的 *Larrea cuneifolia* 葉片。箭頭給出葉片上表面的法向方向。

1.5.1. 指出哪個圖給出 1.5 的最佳描述。

1.5.2. 從下列選項中，挑選能提供 1.5.1 答案的理由的命題：

- 一天中不同時間的太陽光線的波長並不相同
- 一天中不同時間的太陽光線的頻率並不相同
- 一天中不同時間葉片曝露並垂直於太陽光線的表面積並不相同
- 一天中不同時間的環境溫度並不相同

1.6. 正二氫癩創酸(NDGA) ($C_{18}H_{22}O_4$) 存在於石炭酸灌木(*Larrea*)的葉子中，因其具有抗氧化、抗癌與抗病毒性，在化妝品與醫藥上有許多用途。

有一種測定此酸的方法是利用與四水合鉬酸銨($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$)生成橘色錯合物。圖 7 顯示特定波長的光通過一含有色溶液的光析管並量測其吸收度，此有色錯合物吸收此特定波長的光，吸收度直接與溶液中的有色錯合物濃度相關。

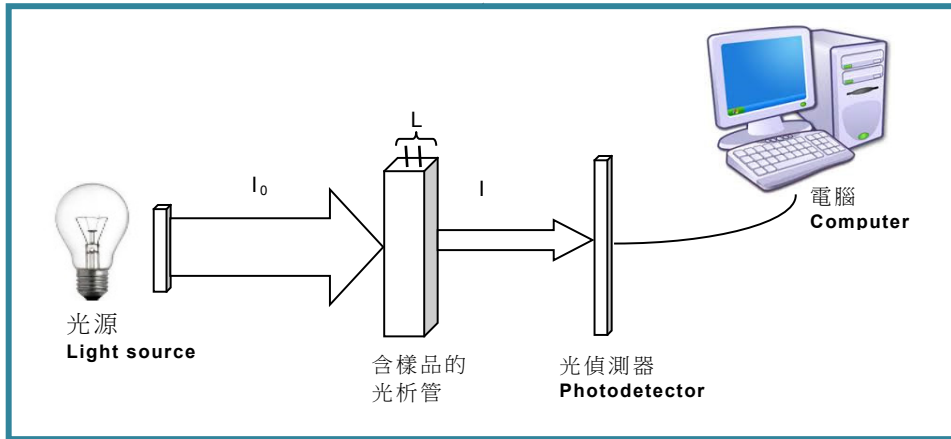


圖 7：光吸收度量測裝置示意圖

在由 *Larrea sp.* 葉子中萃取 NDGA 的過程中，其他物質也會一起被萃取，這些物質會干擾 NDGA 的定量，因為他們與 NDGA 有一些相同的官能基，所以也可與鉬酸銨形成有色錯合物。

用酒精分別萃取 *L. divaricata* 與 *L. cuneifolia*，與鉬酸銨反應後以不同的波長量測個別吸收度，結果如表 6 所示。

表 6： *L. divaricata* 與 *L. cuneifolia* 中 NDGA 與其他物質(other)的吸收度及相對應波長

波長(nm)	400	450	500	550	600	650
萃取物中其他物質的平均吸收度	0.82	0.33	0.15	0.07	0.05	0
<i>L. divaricata</i> 中 NDGA 的吸收度	1	0.84	0.53	0.22	0.09	0.03
<i>L. cuneifolia</i> 中 NDGA 的吸收度	0.99	0.81	0.46	0.20	0.06	0.04

1.6.1. 根據表 6 請畫出三種萃取物的吸收度(absorbance)對波長(wavelength)的函數曲線比較圖，用垂直座標作圖，以不同顏色表示不同的吸收度線。

1.6.2. 根據表 6 的資訊，指出可分辨 NDGA 與其他物種的最佳波長。表示物質吸收度與濃度之間的關係，如下式

$$A = C\varepsilon L$$

A 為樣品吸收度 (無單位)；C 為物質濃度 (M)；L 是光徑長度 (圖 7)； ε 是莫耳吸光係數($M^{-1} \text{ cm}^{-1}$)取決於被分析物、波長與實驗條件。

一位化學家取得分別來自 *L. divaricata* 與 *L. cuneifolia* 的兩份萃取物，他忘記標示，他將兩個容器分別標為 A 與 B，並量測個別樣品在 500 nm 的吸收度使用光徑為 1 cm 的光析管。

已知 NDGA 的 $\varepsilon = 8\,920 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 且 莫耳質量為 302 g mol^{-1} ，萃取物 A 的吸收度為 0.47，萃取物 B 的吸收度為 0.52。

1.6.3. 計算個別萃取物中 NDGA 的濃度 (單位 mg L^{-1})。

1.6.4. 利用表 6 所提供的吸收度值，指出各萃取物是何物種。

1.6.5. 今欲使用 *L. divaricata* 的葉子製備 500 毫升(mL) 含有 0.2% w/v 的 NDGA，已知乾燥的 *L. divaricata* 葉子含有 7% w/w 的 NDGA，如果新鮮的 *L. divaricata* 葉子含有 8% w/w 水(20°C 時水的密度 1 g cm^{-3})，請計算需要多少重量的 *L. divaricata* 新鮮葉子。

第 2 題

氣候變遷為自然或人類活動所導致的天氣平均狀態產生長期變化，現在已成為全世界索關注的環境議題。

在科學界所關注的與氣候變遷有關的議題包括：

- a. 酸雨影響了地球上的淡水資源，形成的人類族群間水資源分配的衝突
- b. 由於全球氣溫升高所導致的冰川溶解

大氣中特定氣體濃度的升高，如二氧化碳、甲烷、及二氧化氮等被通稱為溫室氣體，是源自人類使用石化燃料，過度的農業開發，土壤改變。全球暖化就是指由於這些氣體累積所導致地表平均溫度的上昇，由二氧化硫與增加的溫室氣體會產生酸雨。在自然環境中，也可能源自於火山爆發或熱泉。低 pH 值會直接對水生生態系造成危害，也會對人類的建築材料、雕像及石碑造成損壞。此外，酸雨會融解水管中的鉛與銅，不可諱言，酸雨中的硫化物也有好處，含硫的懸浮微粒可以增加對太陽輻射的反射作用，也可藉由降低自然中濕地微生物所產生的甲烷氣體，因此有助於降低地表的溫度。

2.1. 一般降雨的 pH 值大約為 5.65 因為大氣中的 CO_2 與水形成碳酸(H_2CO_3)，如果 pH 值小於 5 就算是酸雨，有時候 pH 值會低到 3。酸雨中的有毒物質包括來自碳與碳氫化合物燃燒所產生的 SO_2 與一氧化氮(NO)，經由一系列的反應 SO_2 與 NO 轉換成 SO_3 與 NO_2 ，與大氣中的水結合後分別產生使 pH 值降低的酸。

2.1.1. 寫出由 SO_3 與 CO_2 分別與水反應得到的酸之化學反應方程式。

2.1.2. 酸雨中形成硝酸的未平衡反應式是：



寫出半反應式與平衡反應式。

2.2. 不好的化學反應如在 pH 值小於 4 的土壤中氫氧化鋁溶解，因為鋁本身的毒性，對魚、兩棲類與昆蟲有嚴重的影響，水的酸度造成無脊椎生物嚴重的併發症，因為他們的外殼是由碳酸鈣組成的方解石結構，而酸性有利於方解石的溶解。

位於安地斯區域中的城市居民發現一個湖泊與週圍數公里範圍的生態系統受到擾亂，此改變明顯地是植物群與動物群的退化，大量的魚群與兩棲類被發現死於湖岸。為了找出原因並解決，研究人員分析水樣品，發現魚的死因是鋁中毒。

2.2.1. 計算氫氧化鋁($\text{Al}(\text{OH})_3$)在湖水中的溶解度以每公升莫耳數表示，湖水的 pH 值是 5.2，已知 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的溶解度積(K_{sp})是 5×10^{-33} 。

2.3. 圖 8 給出了上述城市的供水網路，這裡 V_1 – V_{11} 是配水點，其中 V_1 是接到自來水廠的主要接收處。從前的水管都由鉛造成，它們隨時間日漸老化，使得因為供水中含鉛而造成市民鉛中毒的事例。這些老舊水管必須以聚氯乙烯(PVC)製的水管取代。為避免不必要的接管成本，目前的接管數必須減少。

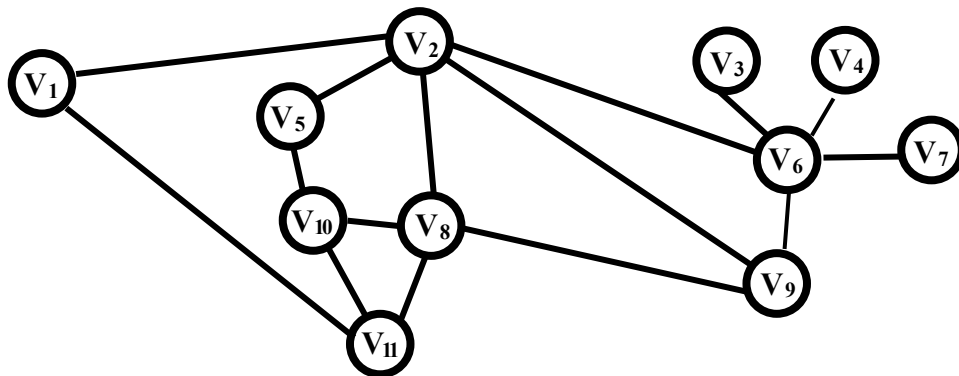


圖 8：水管的網路

2.3.1. 在不影響每個配水點供水的前題下，求可以去掉的管線的最大數目。

2.4. 鉛累積於身體中會影響肝、腎與神經系統，過度攝取會影響神經系統造成智力退化、長不高與日常行為障礙，即使少量的鉛吸收也會損害小孩與嬰兒的中樞神經系統。對成人而言，血中鉛濃度達到 $0.038 \text{ mg}/100 \text{ ml}$ 以上即是中毒濃度水準，對小孩而言

則是 0.005mg/100ml。測量住在都市中的 5 個成人(樣本 1)與 5 個小孩(樣本 2)的血中鉛濃度的數據列於表 7。

表 7：成人與小孩的血中鉛濃度(mg/100ml)

樣本	血中鉛濃度 (mg/100 ml)				
	1.成人	0.057	0.020	0.087	0.060
2.小孩	0.004	0.010	0.009	0.008	0.007

計算各樣本的平均血中鉛濃度，並指出何者高於中毒濃度水準，寫 A 代表成人(Adults)，C 表示小孩(Children)，B 表示兩者皆是(Both)。

2.5. 地球上生命的存續依賴於來自於太陽的能量以及溫室氣體的存在，後者會吸收從地球表面輻射的紅外線。這些被吸收的輻射一部份會再輻射到大氣層的上方，另一部份則會照射到地球表面並提升它的平均溫度。

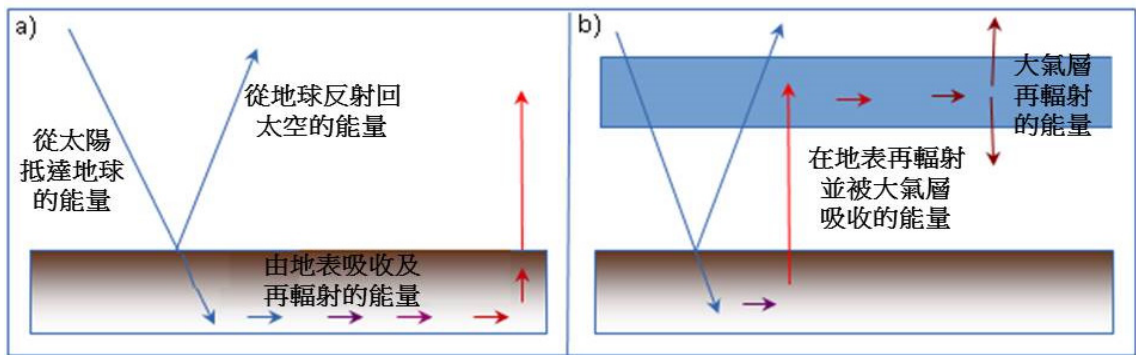


圖 9：a)沒有大氣層. b)有大氣層

太陽表面會輻射能量，相當於溫度為 5500°C 的黑體。黑體是吸收一切入射輻射能量的物體。前述太陽能量的一部份會抵達地球大氣層上方，其平均入射強度約為 341W m⁻²。這強度中的百分之三十(30%)會反射回太空中，其餘部份則主要由地表所吸收並在較大波長的波段(紅外線)再輻射。

2.5.1. 計算沒有大氣層(圖 9a)時的地球平衡溫度。請以 K 和°C 表示你的答案。

黑體輻射的強度 I (W m⁻²) 由史蒂蕃暨玻爾茲曼定律給出：

$$I = \sigma T^4, \text{ 其中 } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

假設地球像黑體般輻射能量。

2.5.2. 大氣層對大部份來自於太陽的高頻輻射是透明的，但對較低頻輻射(電磁波譜的紅外部份)並不透明，這包括了從地球表面再輻射的部份。這主要是因為大氣層中存在溫室氣體。

求包括大氣層的地球 (圖 9b) 的平衡溫度，假設大氣層吸收從地球表面輻射的全部能量，並以相同的比例把它再輻射回地球和太空。請以地球表面和大氣層的能量平衡條件作為計算的出發點。

提示：假設大氣層僅吸收來自地球表面的能量，並且兩者都像黑體般輻射。

2.6. 關於氣候改變的一種理論認為，地球因溫室效應而暖化，而這又會使冰川融化。



圖 10：冰川 Perito Moreno, Santa Cruz, Argentina

2.6.1. 與此相關，計算需融化一塊 10 000 kg 並原處於 -10°C 的冰塊的能量。

熱學常數：

冰的比熱： $c = 2.093 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$

冰的融化潛熱： $l = 333.7 \text{ J g}^{-1}$

第 3 題

運動生理學探討運動過程中人體的反應及適應過程，這些反應及適應過程受到多項因子的影響，其中包括運動強度、運動持續時間、運動頻率，此外，也包括了飲食、運動的環境及個人的遺傳體質。

一位 13 歲的青少年熱愛運動，她為了參加一場運動競賽也接受了多個月的運動訓練，今天她早起，並食用了一頓包含一杯牛奶、一片吐司及一根香蕉的早餐。

3.1. 碳水化合物(糖類)的消化為一種異化過程，藉由人體內多種的酶之催化作用，將組成碳水化合物的大分子轉換為簡單的小分子。

3.1.1. 根據表 A 及表 B 的資料，在表 A 中，針對消化來自吐司的澱粉，於參與製造其消化酶之分泌構造標上(X)，再利用表 B 中酶的數字代號，針對製造那些酶的構造，進行配對。

提示：一種酵素可能會對應一個以上的構造

表 A		
構造	參與了分泌用以消化澱粉的酶之構造	酶
肝		
胃		
唾腺		
大腸		
胰臟		
食道		
小腸		

表 B	
1	磷脂酶
2	麥芽糖酶
3	澱粉酶
4	脂解酶
5	葡萄糖苷酶
6	蔗糖酶

3.1.2. 她也自早餐的牛奶及水果中攝取碳水化合物，藉由特定酶的作用，將碳水化合物轉換成單糖。

在答案卷內的表 C 顯示酶的反應過程。在綠色欄位中填入酶的字母代號，在藍色欄位中填入產物的數字代號。(數字代號可能不止使用一次)

酶	
A	肌酸激酶
B	澱粉酶
C	乳糖酶
D	葡萄糖苷酶
E	蔗糖酶
F	麥芽糖酶

產物	
1	麥芽糖
2	葡萄糖
3	果糖
4	乳糖
5	半乳糖
6	蔗糖

表 C		
澱粉	→ →
麥芽糖	→ → +
乳糖	→ → +
蔗糖	→ → +

早餐後，運動員返回運動場進行日常訓練，假如仔細地探討她的運動過程及參與的肌肉構造，會有如下發現：

3.2. 肌肉系統與骨骼系統合稱為肌肉骨骼系統，主要負責人體的運動。可藉由一系列的過程，來說明肌肉的收縮機轉。

3.2.1. 表 D 描述肌肉收縮的過程，在答案卷中的表 E，按發生的先後順序，填入代表不同過程的字母代號。

表 D：肌肉收縮的過程	
A.	ATP 水解成 ADP + Pi (無機磷)，肌凝蛋白的頭部與活化位分離
B.	乙醯膽鹼作用在肌纖維膜上，打開肌纖維膜上，多個由蛋白質所組成的孔道，使得大量的鈉離子流入肌質膜，導致肌肉細胞產生動作電位
C.	動作電位使得肌纖維膜去極化，使得鈣離子自肌質膜中釋出
D.	鈣離子被重新送回肌質膜內，直到新的動作電位傳來時才結束
E.	神經肌肉聯會是一種由運動神經元及肌肉細胞所組成的(突觸)，當動作電位傳到神經肌肉聯會，乙醯膽鹼會自神經末梢釋出
F.	鈣離子啟動了肌動蛋白與肌凝蛋白間的吸引力，肌動蛋白與肌凝蛋白所組成內含肌節的肌纖維，有組織地相鄰排列，收縮過程中肌凝蛋白會結合上肌動蛋白，拉動肌纖維向中央靠攏

表 E	
次序	對應的字母代號
1	
2	
3	
4	
5	
6	

3.2.2 圖 11 顯示肌肉收縮，在圖中所提供的空格內，填入代表各過程的代號。

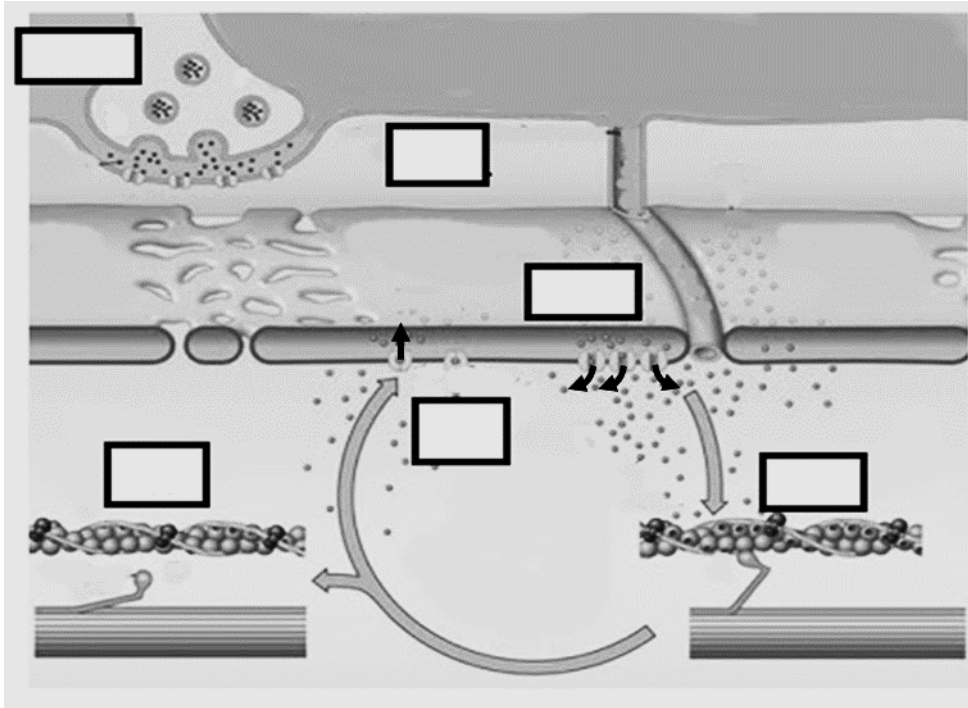


圖 11：肌肉收縮示意圖

骨骼肌的收縮包含了多個肌節的同時收縮，及肌動蛋白及肌凝蛋白產生了滑動，使它們扮演了類似引擎的角色。過程中，需要能量及機械力的參與，能量來自 ATP 水解成 $\text{ADP} + \text{P}_i$ ，而機械力則來自於肌纖維上的橫橋。

3.3 運動員在日常訓練中，需練習舉重以強化肌肉。

3.3.1. 可將肌肉中的激動蛋白-肌凝蛋白視為一個「引擎」，其最大的輸出力為 $5.0 \times 10^{-12} \text{N}$ ，試計算需要最少用使用多少個引擎，肌肉才能舉起一質量為 50 kg 的物件。(重力加速度為 9.81 m/s^2)

3.3.2. 這些引擎消耗 ATP，一個肌凝蛋白引擎所產生的機械力為 $5.0 \times 10^{-12} \text{ N}$ (牛頓)，其速度約為 $11 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ ，計算出肌凝蛋白引擎所作的功(焦耳/秒)。

3.4. 不同的食物可提供生物體不同數量的能量以維持功能，葡萄糖的燃燒公式為最常用以描述此項過程。

3.4.1. 如運動員自早餐中獲得等同於 90 公克 的葡萄糖，計算出完全燃燒後會產生多少質量的二氧化碳(CO_2)(相對原子量 $\text{C}=12, \text{O}=16, \text{H}=1$)

3.4.2. 計算在 90 公克 的葡萄糖分子內，有多少數量的氧原子

3.5. 運動員隨後決定作一個簡短的速度測試，先沿直線跑動，隨後再作一段圓周運動。

3.5.1. 在她的直線路徑中，她的速度變化如下圖所示。求她在點 A、B 與 C 的瞬間加速度。

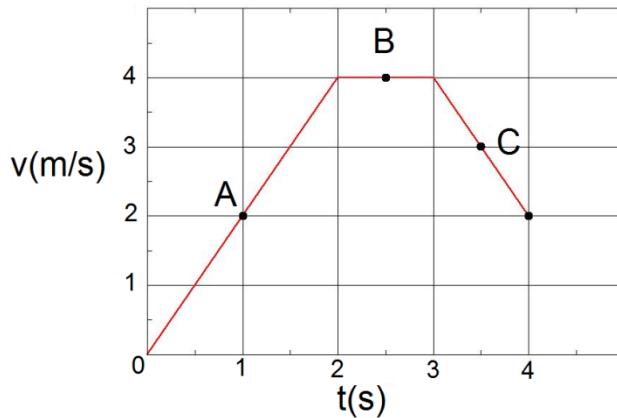


圖 12：速度作為時間的函數

3.5.2. 計算她在前兩秒所走的距離。

3.5.3. 圓周路徑從 $t=4s$ 開始，其速率如圖 12 所示。運動員的鞋和地面的最大摩擦力使她的向心加速度不能超過 3 ms^{-2} 。計算她的圓周路徑的最小半徑，假設其速率為常數。

3.6. 運動員在運動前進行了一次體檢，她在不同時間內，心臟不同部位壓力及體積的變化，心電圖及心音圖等資料，顯示在圖 13 中。

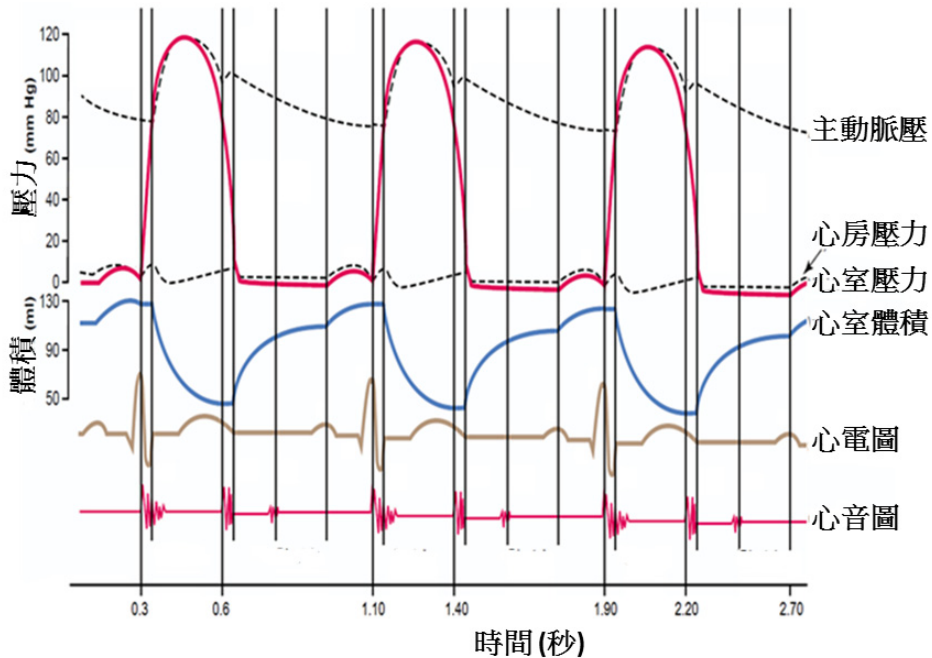


圖 13：心臟的不同部位，於三次心週期內，發生的多項事件

3.6.1. 利用圖中資訊，一次心週期的時間(秒)

3.6.2. 計算出心跳頻率(每分鐘的心週期次數)

3.6.3. 指出哪一段期間心室的體積減少，可假設該段期間，體積可維持不變 0.05 秒。

3.6.4. 指出所觀察到的心室壓力最大值

3.7. 運動後運動員感到十分亢奮，她請別人幫她測量心跳，但當時沒有手錶，一位物理系學生提議可利用簡單的鐘擺進行測量，讓中擺在其平衡位間輕微的擺動(圖 14)，得出每 15 次完整的鐘擺週期可測到 20 次心跳，運動員的心跳頻率為前次測量值的兩倍(3.6.2 中所測得的心跳頻率)，

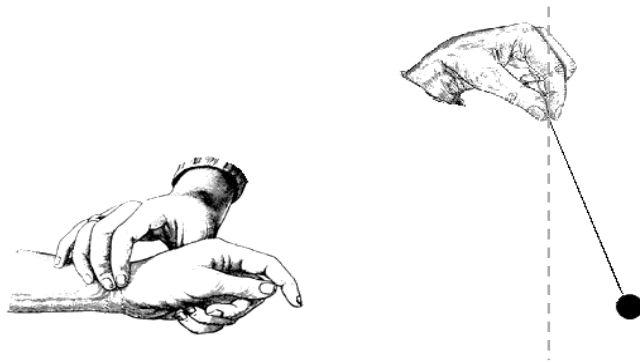


圖 14：利用簡單鐘擺測量心跳

3.7.1. 算出該學生所使用的擺長，該簡單鐘擺的週期為 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

其中 L = 擺長， $g = 9.81\text{m s}^{-2}$