

生物科

科別：生物科

組別：國中組

作品名稱：我終於看到你呼吸了一種子呼吸作用之探討

關鍵詞：呼吸作用、種子生理

編號：030302

學校名稱：

苗栗縣立後龍國民中學

作者姓名：

魏佑同、謝進財、謝昀縻

指導老師：

藍治平



摘要

為了改進課本中「呼吸作用」的實驗活動，我們另外設計出一套測量呼吸速率的實驗裝置與方法，此方法不僅保留課本實驗的優點，還可以利用壓力管的液面變化來觀察植物呼吸作用情形，另經由數學算式的推導，可以計算出呼吸作用二氧化碳及氧氣的變化量。結果發現綠豆種子的呼吸速率約介於0.05-0.12（毫升/公克-分鐘）之間，一般來說，種子發芽初期的吸水量比較大，呼吸速率也比較快，往後幾天的呼吸速率則可能與當時種子單位體積含水量多寡有關，至於種子開始長葉之後，呼吸速率的測量會受到光合作用而有所影響。本研究也證實種子呼吸作用是一種放熱反應，而且是利用葡萄糖來產生能量。

壹、研究動機

上到呼吸作用時，老師說綠色植物除了會行光合作用外，也會進行呼吸作用，剛聽到這個想法時，我是滿腹疑惑，因為以前總是認為動物才會行呼吸作用，而植物則只會行光合作用。老師為了證實這個觀點，就以澄清石灰水來檢驗綠豆種子是否會釋放二氧化碳，結果發現種子跟人一樣也會行呼吸作用，我當時才逐漸認為這是真的。不過，課本上的實驗似乎無法說明種子呼吸作用的實際過程及呼吸速率的變化情形，於是我們在老師的指導之下，展開這一次探索之旅。

貳、研究目的

（一）、設計一組實驗裝置，以方便觀察種子進行呼吸作用的情形

(二)、設計一套實驗步驟及數學算式，以方便計算呼吸作用過程中所產生的二

氧化碳體積及消耗的氧氣體積

(三)、觀察綠豆種子在不同情況下的呼吸速率變化情形

(四)、驗證呼吸作用是利用葡萄糖為氧化基質來進行反應

(五)、驗證呼吸作用是一種放熱反應

參、研究器材

(一)、實驗器材：綠豆種子、培養皿、玻璃管、橡皮管、錐形瓶、量筒、凡士

林、架子、橡皮塞、感應式溫度計、保利龍盒、密封條、抽

濾器、濾紙、電子秤、漏斗

(二)、實驗藥品：氫氧化鈣、甲基藍

肆、研究步驟

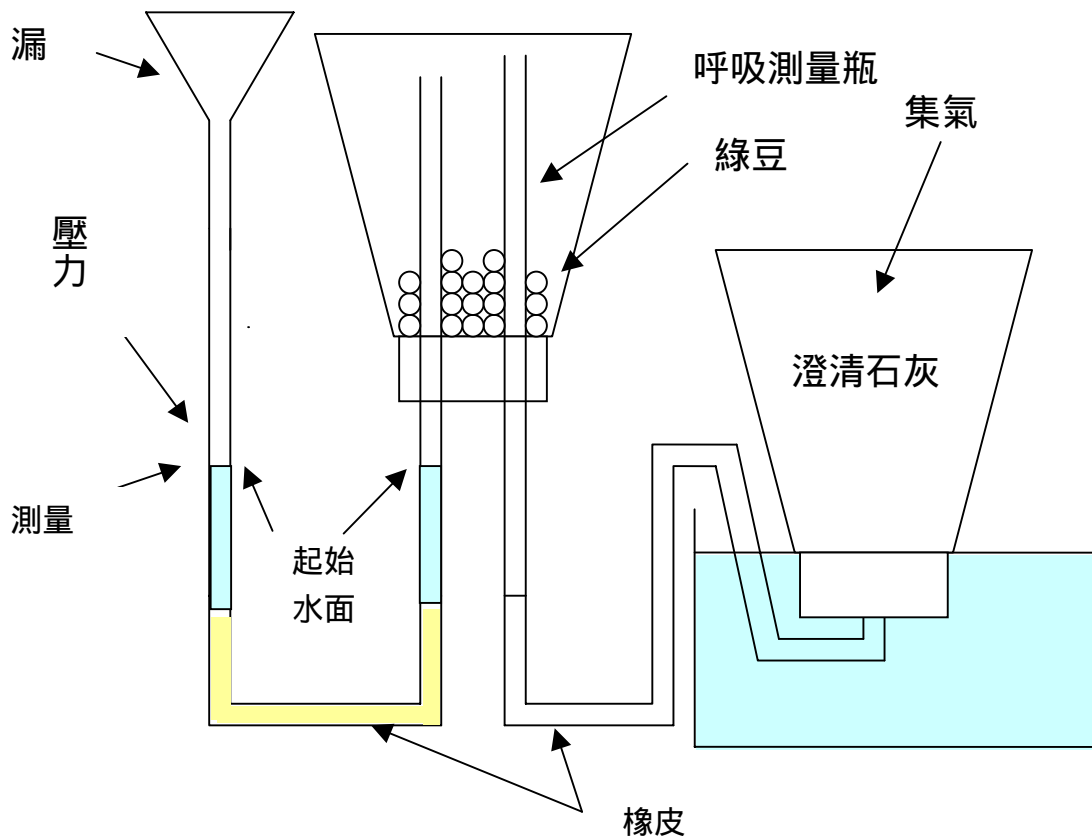
(一)、是否可以設計一組實驗裝置來觀察種子進行呼吸作用的過程

由於種子的呼吸速率變化情形不易從肉眼觀察，因此本研究希望能設計出一組實驗裝置及實驗過程來達到兩個目標，一是能直接觀察到種子進行呼吸作用的過程，二是能測量出種子進行呼吸作用過程中所產生的二氧化碳體積及消耗的氧氣體積。

經過大家的討論及設計，我們採用玻璃管內的液面高度變化來觀察種子進行呼吸作用前後的氣體體積變化。測量呼吸速率的實驗裝置如下圖一所示，整個裝置可以分成三部分，分別是（甲）壓力管裝置（乙）呼吸測量瓶（丙）集

氣瓶裝置。其中壓力管裝置是想藉由水面變化情形來得知呼吸測量瓶內的氣體變化情形，以便可以直接觀察種子進行呼吸作用的整個過程；呼吸測量瓶內則是裝有待測的綠豆種子，使其在瓶內進行呼吸作用；集氣瓶裝置則是事先裝滿澄清石灰水，以便實驗結束後可以用來吸收呼吸測量瓶內的二氧化碳。

實驗進行時，待測種子會放進呼吸測量瓶當中，並以凡士林密封整個裝置，以防止漏氣，然後從漏斗倒入些許毫升的水至壓力管中，使其位在起始點，用以測量呼吸瓶內氣體體積變化，另外在集氣瓶中裝滿澄清石灰水，使其待會兒能與呼吸瓶中的二氧化碳充分反應，裝置之間以橡皮管相互連通。經過一段反映時間後，我們會將水從漏斗端倒入，使呼吸測量瓶內的氣體擠到集氣瓶中，直到呼吸測量瓶及集氣管內充滿水時，即停止倒水。由於集氣瓶裝滿澄清石灰水，因此被擠入集氣瓶的二氧化碳就會被反應掉，此時集氣瓶將只收集到呼吸作用後所剩餘的氧氣及氮氣。本實驗裝置經過一連串實驗來驗證之後，結果發現實驗效果相當不錯。



圖一、測量呼吸作用的實驗裝置

(二) 如何計算呼吸作用後的氧氣消耗量與二氧化碳產生量

當我們在設計實驗裝置的同時，也一併考慮如何測量種子呼吸速率變化情形，原本是想藉由集氣瓶所產生的碳酸鈣沉澱量來作為種子呼吸速率的指標，不果預試的結果誤差太大而放棄，後來我們改採呼吸作用前後的氣體體積變化來作為呼吸速率的指標，沒想到經過大家的討論及數學算式推導，竟然成功了！

整個步驟如下：

- 1、計算呼吸測量瓶中所有氣體體積 ($V_{原}$)：假設呼吸瓶的體積為 $V_{瓶}$ ，壓力管部分的空氣體積為 $V_{壓}$ ，導氣管部分的空氣體積為 $V_{導}$ ，所測量的綠豆

體積為 $V_{\text{豆}}$ ，所以呼吸測量瓶中所有氣體體積 $V_{\text{原}} = V_{\text{瓶}} + V_{\text{壓}} + V_{\text{導}} - V_{\text{豆}}$ ，因為 $V_{\text{瓶}} + V_{\text{壓}} + V_{\text{導}}$ 為定值，因此設為 K_1 ，故 $V_{\text{原}} = K_1 - V_{\text{豆}}$

2、實驗反應前，呼吸測量瓶的氣體體積 ($V_{\text{原}}$)：假設裝有 a 毫升氮氣，b 毫升氧氣；因此 $V_{\text{原}} = a + b = K_1 - V_{\text{豆}}$

3、實驗反應後，呼吸測量瓶的氣體體積 ($V_{\text{倒}}$)：假設產生 c 毫升二氧化碳及剩餘 d 毫升氧氣及 e 毫升氮氣，因此 $V_{\text{倒}} = c + d + e$

4、排水集氣後，集氣瓶內的氣體體積 ($V_{\text{集}}$)：由於被擠入集氣瓶內的二氧化碳會溶解在澄清石灰水中，因此 $V_{\text{集}} = d + e$

5、實驗反應前後的體積變化 (ΔV)：若實驗完畢後，壓力管液面下降 h 公分，則反應前後的體積變化量 $\Delta V = \pi \times r^2 \times h$ (其中 r 為玻璃管內徑，h 為液面下降高度)，因為 $\pi \times r^2$ 為定值，因此設為 K_2 ，故 $\Delta V = K_2 \times h$

6、液面高度與呼吸測量瓶內氣體體積的關係：因為 $\Delta V = V_{\text{倒}} - V_{\text{原}} = V_{\text{倒}} - (K_1 - V_{\text{豆}}) = (V_{\text{倒}} + V_{\text{豆}}) - K_1 = \pi \times r^2 \times h = K_2 \times h$ ，則 $h = (V_{\text{倒}} + V_{\text{豆}}) / K_2 - (K_1 / K_2)$ ，換言之，從液面高度變化 (h) 與綠豆體積 ($V_{\text{豆}}$) 就可以知道實驗後呼吸測量瓶內的氣體體積 ($V_{\text{倒}}$)。這個數學算式簡化了實驗步驟，也減少誤差的產生。

7、經由上述數學算式的推導，本次實驗的呼吸作用算式：

$$h = 3.54 (V_{\text{倒}} + V_{\text{豆}}) - 2299.2$$

8、計算二氧化碳產生體積 (V_{CO_2})：由步驟二、三、四可以得知二氧化碳產生

體積 = $(c+d+e) - (d+e) = c = (V_{倒} - V_{集})$ 。由步驟七的算式先計算出 $V_{倒}$ ，再將 $V_{倒}$ 代入 $V_{CO_2} = (V_{倒} - V_{集})$ ，便可以求出二氧化碳產生體積。

9、計算氧氣消耗體積 (V_{O_2})：因為氮氣體積在反應前後不變，因此 $a=e$ ，故

氧氣消耗體積 = $(a+b) - (d+e) = (b-d) = (V_{原} - V_{集}) = K_1 - V_{豆} - V_{集}$

10、從以上步驟得知，本實驗步驟必須要有 K_1 、 K_2 、壓力管液面高度變化 (h)、

綠豆體積 ($V_{豆}$) 及集氣瓶內的氣體體積 ($V_{集}$) 等數據才能計算出呼吸作用後的二氧化碳產生體積及氧氣消耗體積。

(三) 是否可以推測種子行呼吸作用的反應基質

在呼吸生理實驗中，常會將氧氣消耗體積與二氧化碳產生體積的比值稱為呼吸商數，用以說明被氧化的基質為何種物質。呼吸商數若為 1，則可以推測此生物行呼吸作用是以葡萄糖為氧化基質。這次實驗可以計算出呼吸作用後的氧氣消耗體積與二氧化碳產生體積，剛好可以用來檢測呼吸商數數值，以了解綠豆種子行呼吸作用是否以葡萄糖當作氧化基質。

(四) 是否可以驗證呼吸作用是一種放熱反應

生物課本敘述呼吸作用方程式為 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{能}$ 量，因此呼吸作用為放熱反應，換言之，在反應的過程中應該會放出熱量而造

成空氣的溫度升高，若想法正確，則溫度變化也可以作為呼吸作用進行的指標，這次實驗我們將不同條件下的綠豆種子放入錐形瓶，經過一段時間後再來測量瓶內外的氣溫變化，以驗證這個理論是否正確。

（五）實驗步驟：

綜合前面的討論，整個呼吸速率測量實驗的步驟如下：

- 1、培養綠豆種子：取 300 顆綠豆秤重，然後置於培養皿中，每日添加 20 毫升（或 40 毫升）的水，並以直尺測量前 4 天綠豆的萌芽長度，並紀錄結果，接著將待測種子置入呼吸測量瓶進行實驗。
- 2、檢查是否漏氣：為了確保呼吸測量瓶是否密閉，在橡皮塞的連接處皆塗抹凡士林，然後裝水於呼吸測量瓶中，並倒置 30 分鐘，以確定沒有水有流出方行。
- 3、連接實驗裝置：將實驗裝置分別以橡皮管連通起來，為防止漏氣出現，玻璃管與橡皮管的連接處皆塗抹凡士林。
- 4、測量呼吸瓶內的氣體體積：將待測的 300 顆綠豆放入量筒中，利用排水法測量綠豆體積 $V_{豆}$ ，然後將呼吸瓶裝滿水，測量其體積 $V_{瓶}$ ，再測量呼吸瓶外壓力管內氣體柱的體積 $V_{壓}$ 及呼吸瓶外的導氣管內氣體柱體積 $V_{導}$ ，因此實驗前呼吸測量瓶內含有的氣體體積 $V_{原} = V_{瓶} + V_{壓} + V_{導} - V_{豆}$ 。
- 5、進行綠豆呼吸速率實驗：將 300 顆待測的綠豆置入呼吸測量瓶中，然後緩緩倒水灌入壓力管，使管內液面到達實驗前起點 A，此時壓力管兩邊的水面會等高，另一邊的導氣管則使用密封條押住，使整個實驗裝置密閉，接著開始

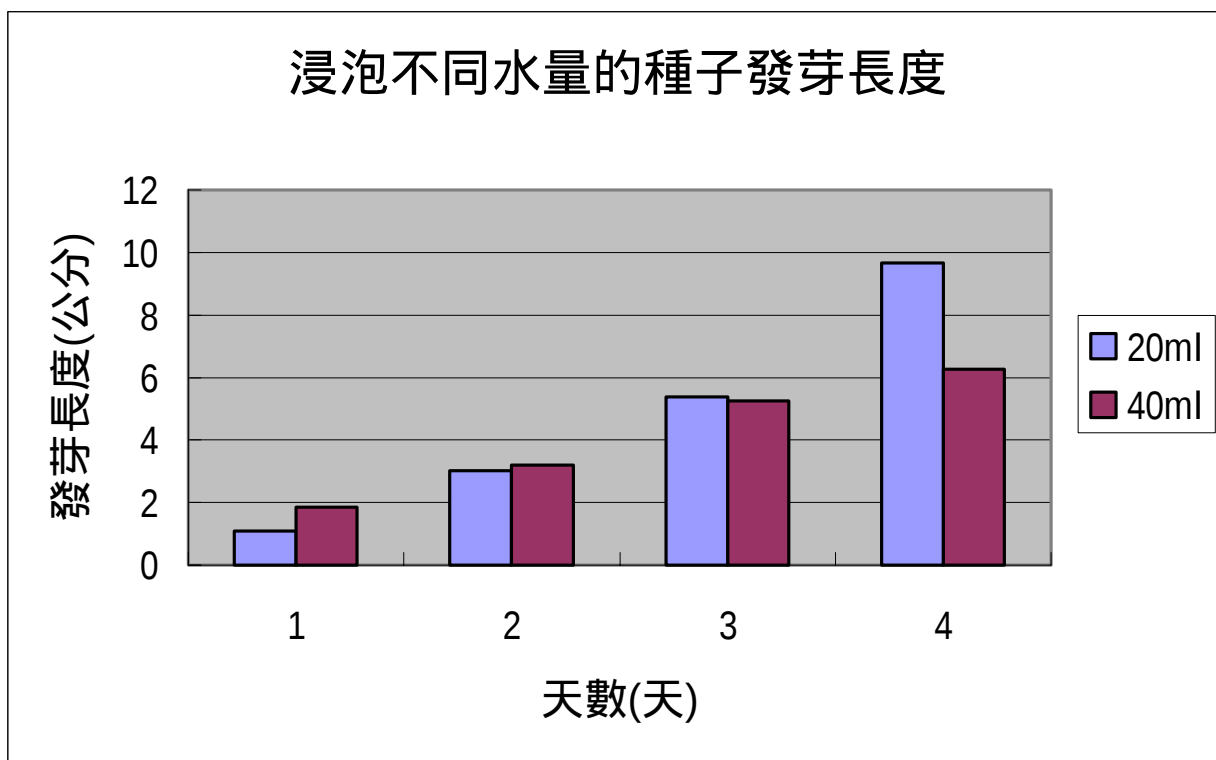
進行實驗。

- 6、測量壓力管液面變化：每隔 5 分鐘觀察壓力管內液面變化高度 h 公分，我們發現液面會一直下降，表示氧氣消耗體積略大於二氧化碳產生體積。
- 7、利用排水集氣法收集呼吸瓶內的氣體：實驗結束後，將另一側導氣管通入置有澄清石灰水的集氣瓶中，然後解開密封條，接著也將壓力管接上漏斗，然後使用量筒倒入含微量甲基藍的水溶液，注意水溶液要緩緩倒入，除了讓二氧化碳可以充分與澄清石灰水反應外，也不會使外界氣體擠入，一直到甲基藍溶液到達導氣管末端時，即停止倒水，此時可以發現集氣瓶不斷冒泡，導氣完畢之後，也可以發現澄清石灰水變成白色混濁。
- 8、測量集氣瓶內氣體體積：集氣瓶內的氣體高度，以黑筆作標記，然後利用量筒倒入同體積的水，以測量集氣瓶內的氣體體積 $V_{集}$ 。
- 9、計算氧氣消耗體積與二氧化碳產生體積：利用上述算式來計算氧氣消耗體積與二氧化碳產生體積。
- 10、計算種子的呼吸商數：本研究呼吸商數是指二氧化碳產生體積（毫升）除以氧氣消耗體積（毫升）所得的數值。
- 11、計算種子的呼吸速率：本研究呼吸速率是指每公克、每分鐘的綠豆所產生二氧化碳的體積量（毫升/分鐘-公克），即呼吸速率 = V_{CO_2} （毫升）÷【300 顆綠豆重量（公克）×時間（分）】。
- 12、測量綠豆發芽的溫度變化情形：將 300 顆待測綠豆置於 250ml 錐形瓶中，

經過一段時間後，以感應式溫度計測量錐形瓶內外的氣溫變化情形，並紀錄結果。

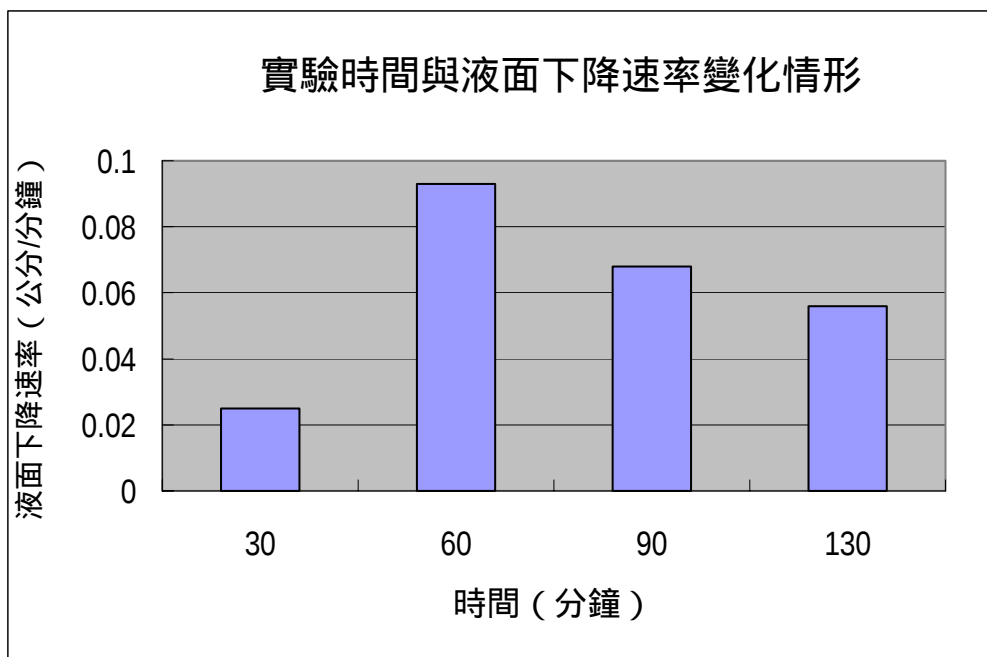
伍、研究結果

(一)、浸泡不同水量的種子發芽長度變化



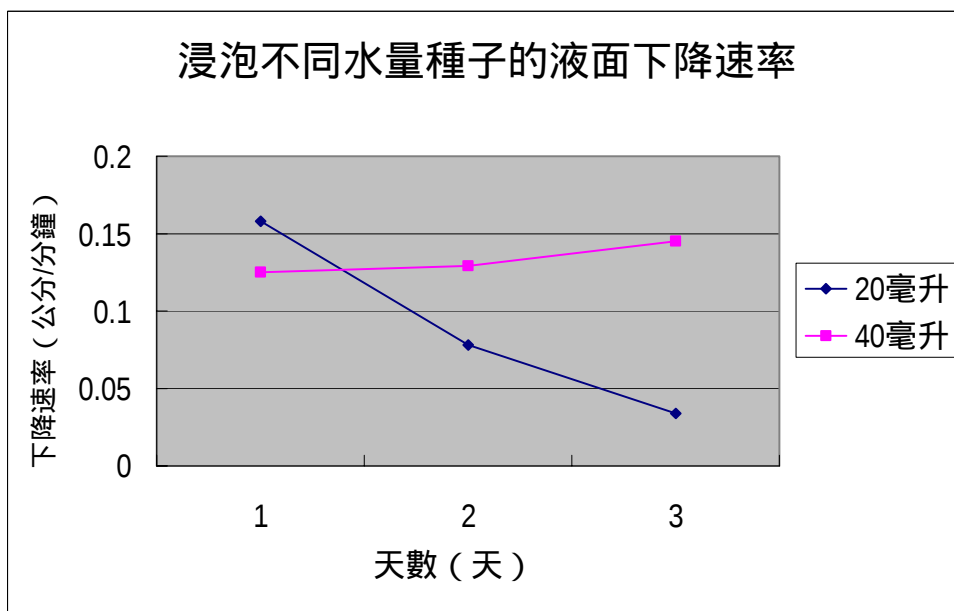
說明：每日以 20 毫升的水量來浸泡 300 顆綠豆，第三、四天的發芽情形比 40 毫升為佳，不過實驗第一天卻是以 40 毫升水量的組別發芽情況較佳。

(二)、實驗時間長度與液面變化的關係



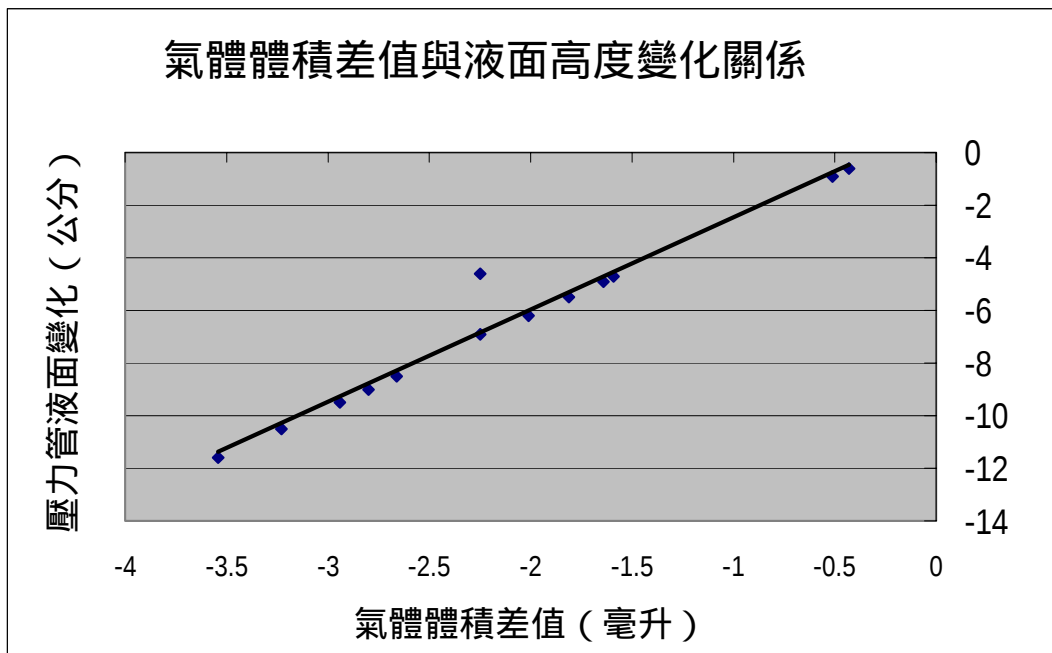
說明：在不同實驗時間的情形下，以 60 分鐘組別的液面下降速率最快，其每分鐘的液面下降高度可達 0.09 公分。

(三)、不同水量培養的種子與液面變化的關係



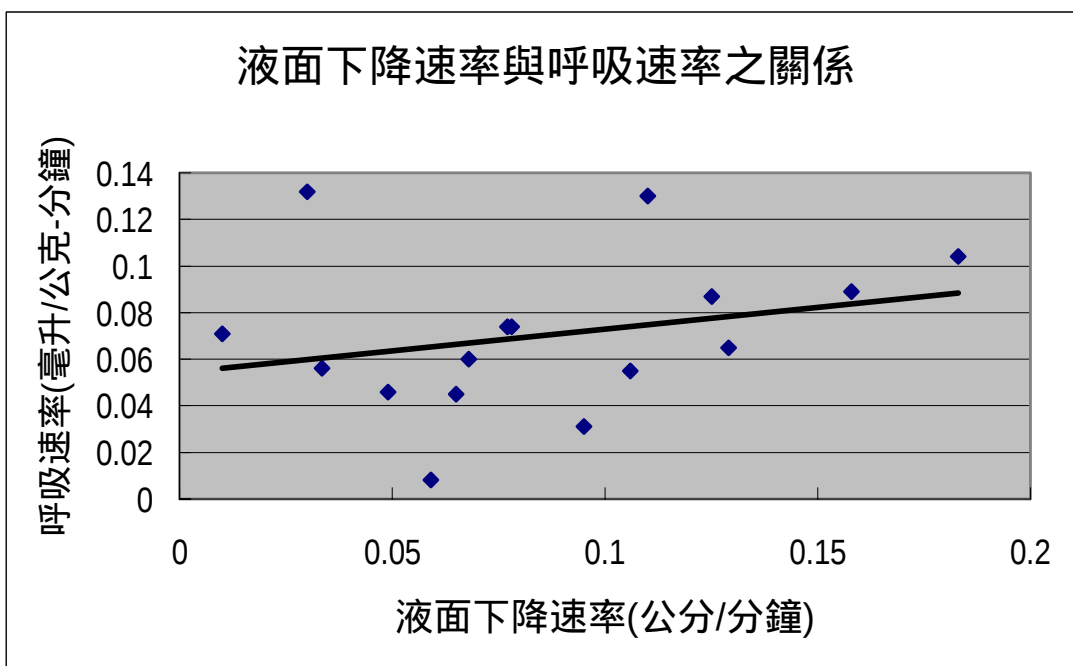
說明：每日以 40 毫升水量浸泡的綠豆種子，其液面下降速率每分鐘維持在 0.13 公分附近；以 20 毫升水量浸泡的綠豆種子，其液面下降速率則隨浸泡天數增加而降低。

(四)、呼吸測量瓶內氣體體積變化量與液面高度變化關係



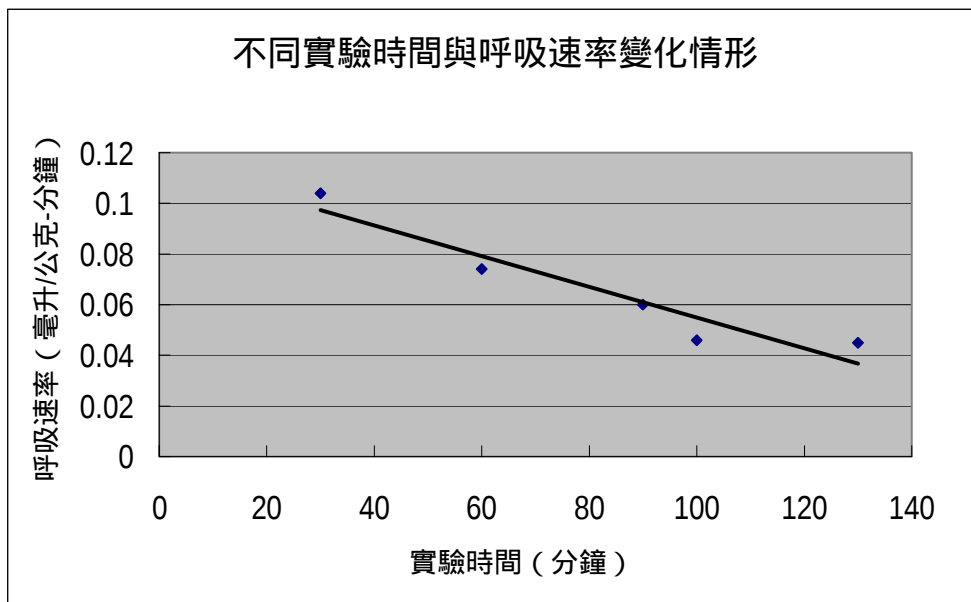
說明：結果顯示瓶內氣體體積變化與壓力管的液面變化呈線性關係，其方程式為 $y = 3.51x + 1.05$ ，這說明呼吸測量瓶內每毫升氣體體積的差值會造成壓力管內液面變化約 3.51 公分。

(五)、液面下降速率與呼吸速率變化的關係



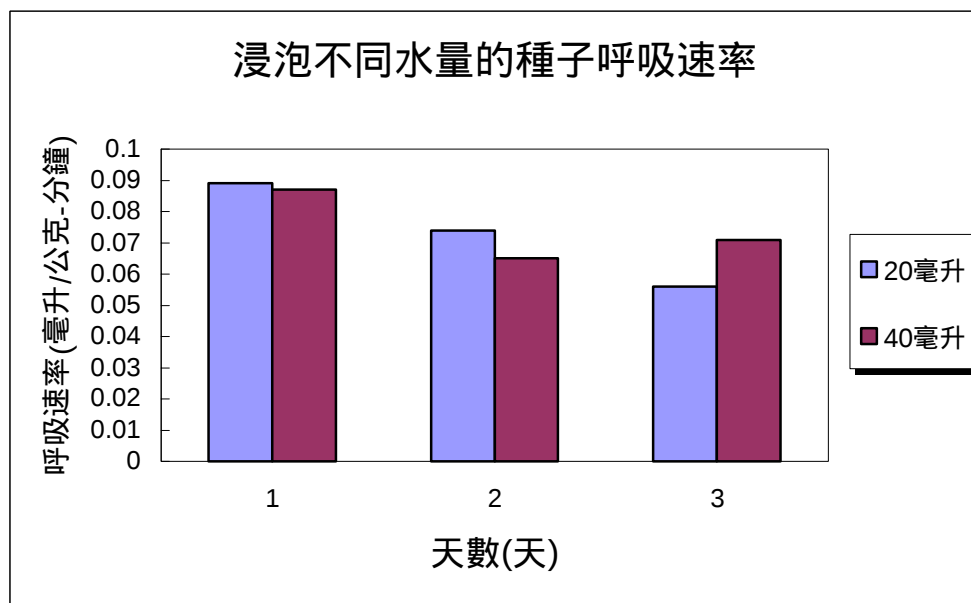
說明：結果顯示壓力管液面下降速率越快，則綠豆種子的呼吸作用速率也有增加趨勢，表示兩者有正比關係。

(六)、實驗時間長度與呼吸速率的變化情形



說明：結果顯示實驗時間越長，則綠豆種子的呼吸速率有下降趨勢。

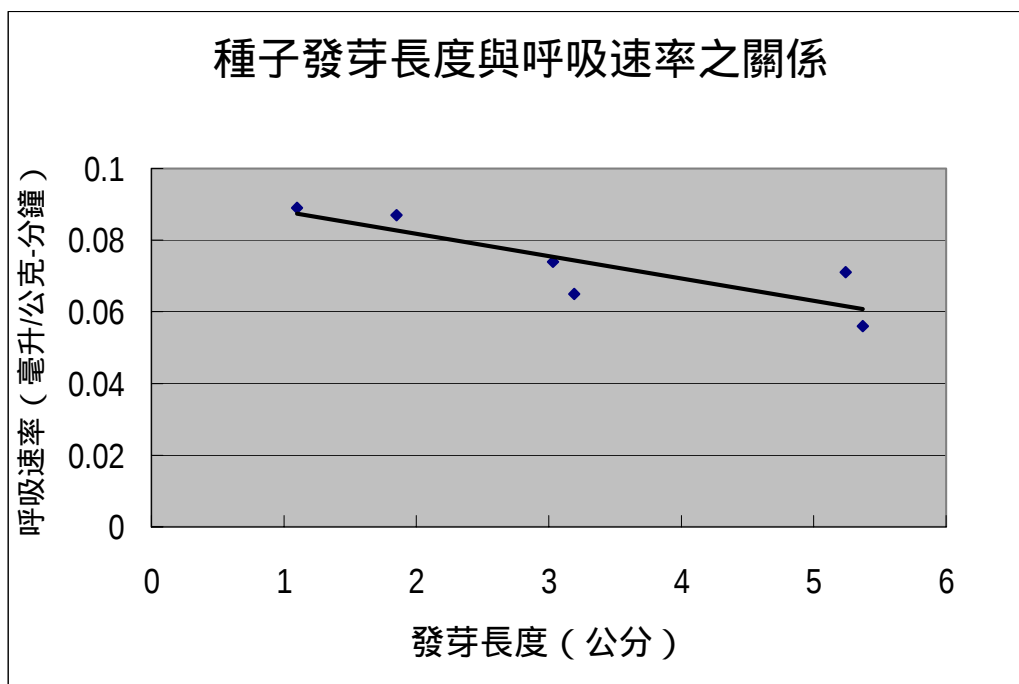
(七)、浸泡不同水量的種子呼吸速率變化情形



說明：結果顯示無論是浸泡 20 或 40 毫升水量的綠豆種子，浸泡一天後所測得

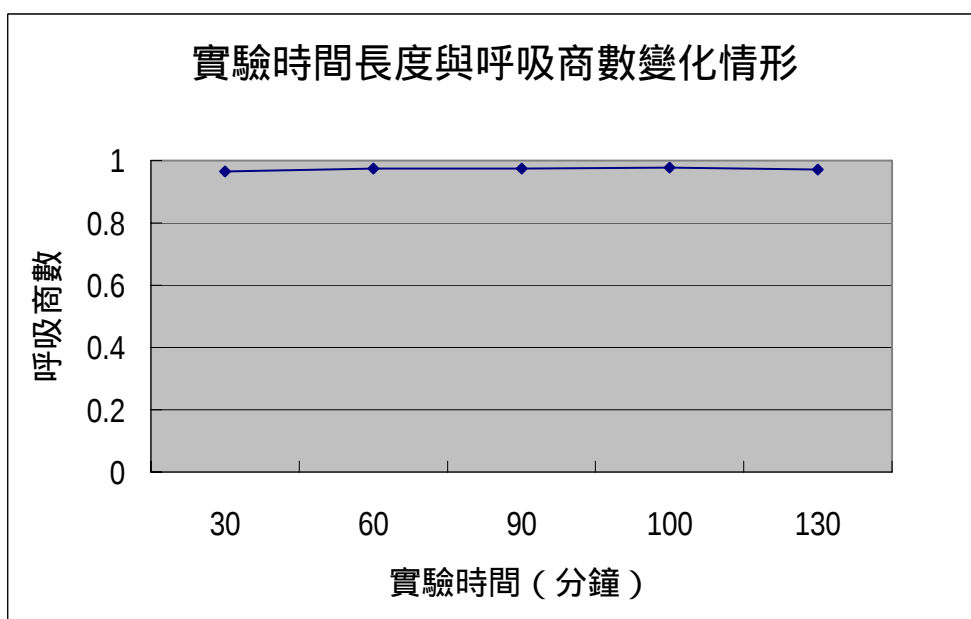
的呼吸速率都是最快，不過每日浸泡 20 毫升水量的種子，其呼吸速率則隨浸泡天數增加而有下降趨勢。

(八)、種子發芽長度與呼吸速率變化的關係



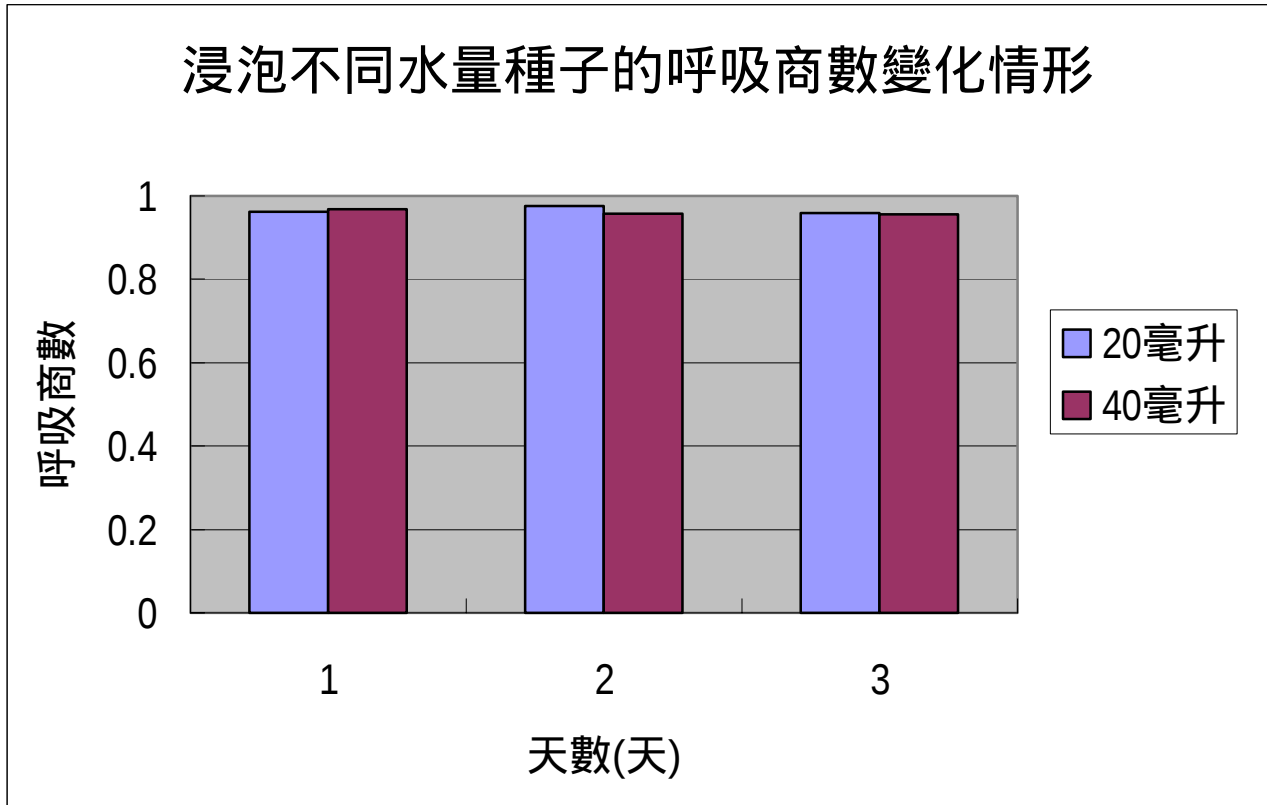
說明：結果顯示綠豆種子的芽越長，則其呼吸速率有下降的趨勢。

(九)、不同實驗時間的呼吸商數變化情形



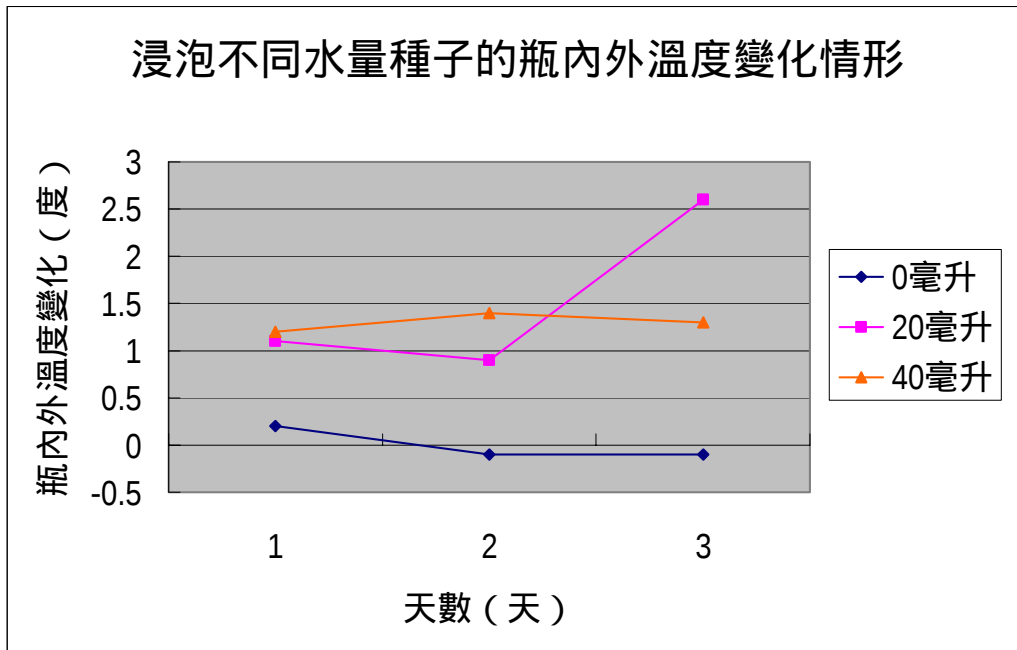
說明：結果顯示綠豆種子在實驗時間 2 小時以內，其呼吸商數皆接近數值 1。

(十)、浸泡不同水量種子的呼吸商數變化情形



說明：結果顯示綠豆種子無論是浸泡 20 毫升或 40 毫升的水量，其呼吸商數皆接近數值 1。

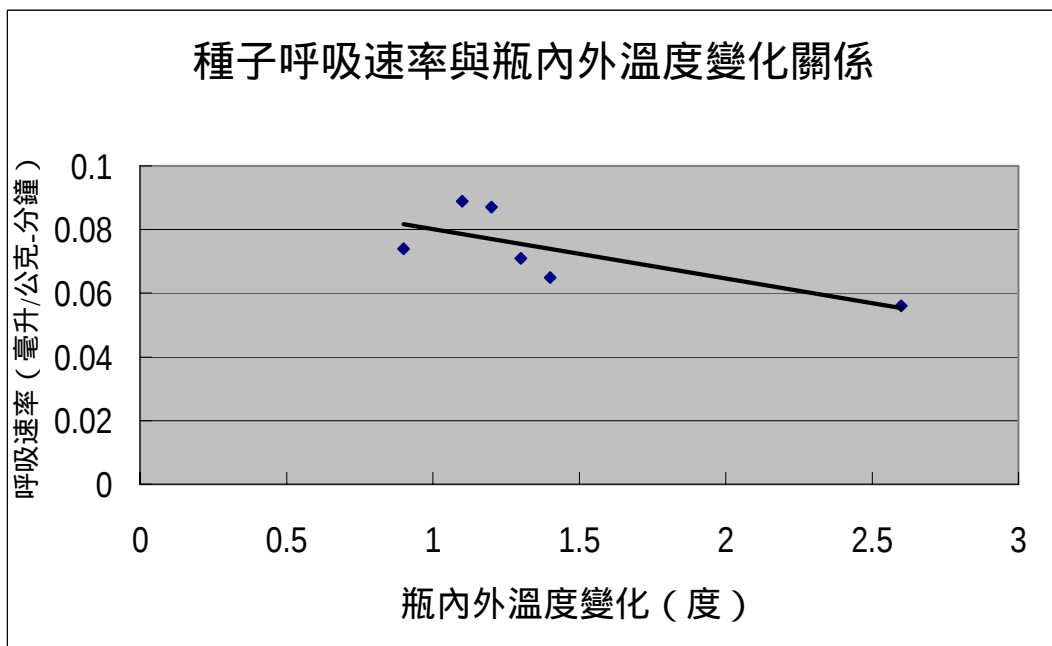
(十一)、浸泡不同水量種子的瓶內外溫度變化情形



說明：浸泡 0 毫升的乾燥種子，其瓶內溫度與氣溫幾乎沒有差別；而浸泡 20 或

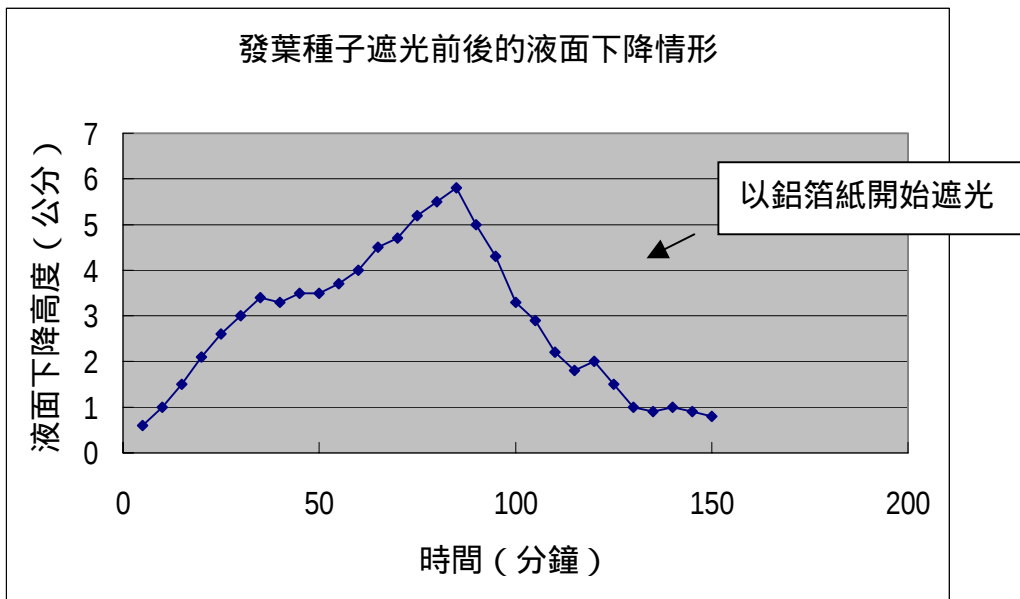
40 毫升水量的種子，其瓶內溫度則比室溫要高出攝氏 1-2 度。

(十二)、種子行呼吸作用時的溫度變化與呼吸速率變化的情形



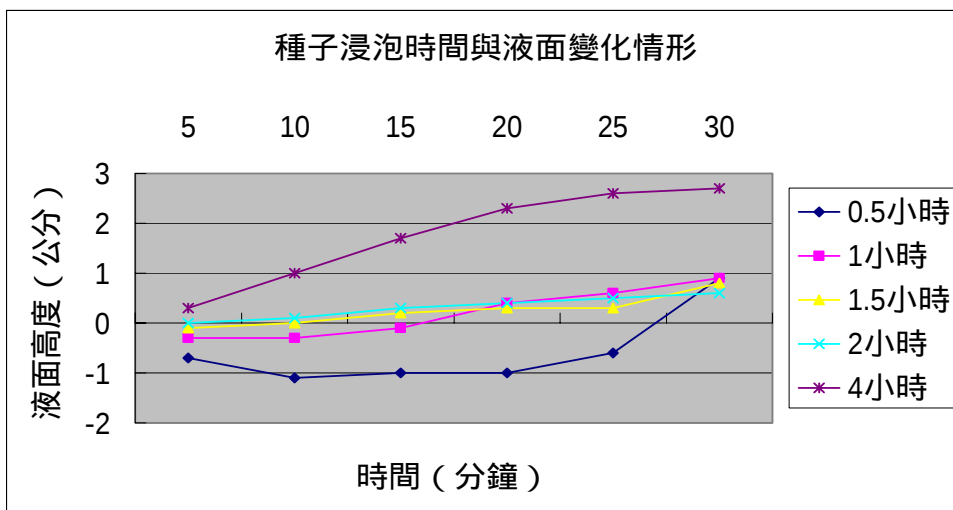
說明：結果顯示綠豆種子的呼吸速率愈快，其產生的溫度變化反而變小。

(十三)、已經發葉的種子在遮光前後的液面下降情形



說明：將發芽 5 天已經長出葉子的種子置入呼吸測量瓶，結果發現壓力管的液面不降反升，直到以鋁箔紙包住整個呼吸測量瓶之後，液面才又開始下降。

(十四)、種子浸泡時間與液面高度變化情形



說明：浸泡 4 小時以內的種子，經過 30 分鐘實驗之後，發現壓力管的液面高度後來都呈現上升趨勢，也就是說種子的呼吸作用尚未開始進行。

陸、討論

(一)、利用澄清石灰水來檢驗二氧化碳是實驗室常用的方法，其優點在於反應靈敏及快速，還可以看見碳酸鈣的白色沉澱出現，因此兼具有「定性」與「定量」的好處。

(二)、國一下康軒版課本的活動單元「植物所呼出的氣體」，也是利用澄清石灰水來檢測種子萌發時所呼出的二氧化碳，這個實驗雖然可以看見二氧化碳使得澄清石灰水變成白色混濁。可是無法說明種子到底釋放出多少量的二氧化碳，而且也無法觀察植物進行呼吸作用的整個過程，因此我們針對這些缺點將實驗裝置加以改良，沒想到效果還不錯，不僅可以從壓力管的液面變化得知植物進行呼吸作用的情況，還可以直接計算出二氧化碳產生量、氧氣消耗量及呼吸商數，並進一步計算出植物行呼吸作用的速率，可說是一舉數得。

(三)、當初實驗裝置完成，我們最感興趣的就是液面下降速率與呼吸作用速率是否存在線性關係，若是存在，則從觀察液面下降速率便可以得知種子呼吸速率的情況，從結果五發現兩者有正比關係，從趨勢線來看，當液面下降速率增加時，則呼吸速率也會跟著增加（線性方程式： $y = 0.1781x + 0.0564$ ，其中 y 是呼吸速率， x 是液面下降速率）。換言之，從壓力管的液面下降速率便可以推測種子呼吸作用的情形。

(四)、從實驗得知當種子行呼吸作用時，壓力管的液面會一直下降，呈現負

值，這表示種子行呼吸作用的過程中，氧氣消耗量一直大於二氧化碳產生量，為何有這樣的現象呢？我們推測呼吸作用過程有時間的延遲效應存在，即氧氣消耗在先，然後經過一段時間的反應之後，才會將二氧化碳釋放出來，也因此氧氣消耗量一直大於二氧化碳產生量。

(五)、從結果一得知，影響種子發芽與否的關鍵因素即是水分，當水分存在時，可以先軟化種皮，然後進一步再活化種子內的蛋白質，用以啟動發芽機制。我們曾經觀察綠豆的吸水量，發現第一天吸水量極佳，無論是 20 或 40 毫升的水量均被 300 顆綠豆吸光，不過往後幾天的吸水量則就逐漸減少。換言之，起初的發芽時期可能需要大量水分來軟化種皮及活化蛋白質，因此多量的水可以促進發芽情況，可是經過一天之後，由於無法吸收過多的水量，因此過多水量反而阻礙細胞接觸氧氣，使得種子無法進行呼吸作用來獲得能量，進而使發芽速度減慢。

(六)、當環境有利於種子發芽時，種子得在短時間內儘速長出葉子以利生存，因此種子在第一天的呼吸速率最為旺盛，結果七也證實這一點，無論是浸泡 20 或 40 毫升水量的種子，浸水第一天的呼吸速率最快，不過發芽第二天之後，浸泡 20 毫升水量的種子，其呼吸速率逐日下降，而浸泡 40 毫升水量種子的呼吸速率仍然維持在附近，推測每日浸泡 40 毫升的種子可能單位體積含水量較多，因此呼吸作用相關酵素的活性也較佳，因此呼吸速率較旺盛。

(七)、從結果四得知液面高度變化的反應來自於呼吸測量瓶內的氣體體積的變化

化，而且呼吸測量瓶內的氣體體積變化量愈大，則壓力管的液面高度變化量也大，實驗進行五分鐘後，液面大約可以下降 0.5 至 1 公分，另外實驗結果的趨勢線也幾乎經過每個點，表示本實驗方法的靈敏度及準確度很高。

(八)、從結果九及結果十可以發現綠豆種子的呼吸商數接近數值 1，這代表綠

豆種子是以葡萄糖當作氧化基質來進行呼吸作用，為什麼呢？由於生物進行呼吸作用就是利用物質的氧化作用來獲得能量，這過程中會消耗氧氣，並產生二氧化碳和水，至於生物會利用何種物質來進行氧化，則依植物種類而有所不同，若被氧化的基質是葡萄糖的話，從呼吸作用方程式得知：

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{能量}$$
，其中氧氣與二氧化碳的莫耳數比為 1：1，由於實驗是在密閉容器中進行，因此莫耳數比會等於體積比，換言之，以葡萄糖為氧化基質的呼吸作用，氧氣消耗體積量將會等於二氧化碳產生體積量，因此呼吸商數等於 1。

(九)、呼吸商數的原理推廣來說，被氧化的基質若不是葡萄糖的話，則氧氣消耗體積將不見得會等於二氧化碳產生體積，以呼吸作用的通式來說：

$$\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + \frac{(2x + y/2 - z)}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \underline{x}\text{CO}_2 + \underline{y/2}\text{H}_2\text{O} + \text{能量}$$
，畫底線表示莫耳數，所以氧氣與二氧化碳的莫耳數比將與碳水化合物中的 x、y、z 等數值有關，換言之，從呼吸商數可以推估被氧化的物質。以蘋果酸

($C_4H_6O_5$) 為例， $x=4$ 、 $y=6$ 、 $z=5$ ，代入 $(2x+y/2-z)/2=3$ 及 $x=4$ ，即呼吸商數等於 1.3，本實驗裝置剛好可以測量出消耗氧氣的體積與產生二氧化碳的體積，也因此恰好可以驗證種子萌發是否以葡萄糖來當作能量來源。

(十)、從結果六得知種子的呼吸速率會隨著實驗時間增長而減低，當實驗進行 30 分鐘後，呼吸測量瓶內已經產生 50 毫升左右的二氧化碳，換言之，隨著時間增長，瓶內二氧化碳的濃度也會逐漸增加，因此我們推測過高的二氧化碳濃度可能會抑制種子的呼吸速率。另一種想法則是隨著時間增長，瓶內氧氣的濃度將會逐漸降低，故低濃度的氧氣也是有可能抑制種子的呼吸速率。由於種子發芽需要氧氣來進行呼吸作用，因此無論是二氧化碳濃度增高或氧氣濃度降低均不利於呼吸作用進行，呼吸速率降低的結果可想而知。

(十一)、呼吸作用是放熱反應，因此會使得週遭的氣溫升高，結果十一說明不論是浸泡 20 或 40 毫升水量的種子，其呼吸作用的進行過程均會使得錐形瓶內的氣溫升高，除此之外，錐形瓶的玻璃表面也有水汽凝結的現象出現。不過結果十二也發現當種子的呼吸速率愈快時，則溫度變化反而變小，這與實驗前的推測有出入，我們原本認為呼吸速率愈快，則放出熱能的速率也會比較快，照理說溫度差距應該加大才對，因此我們推測呼吸作用過程所產生的水汽（即凝結在錐形瓶上的水汽）可能會將部份熱量帶

走，也就造成氣溫變化反而變小的現象出現。

(十二)、種子發芽三天後開始有葉子長出來，不過葉子真正可以行光合作用已經是發芽第四天以後的事，從結果十三發現培養五天而且未遮光的種子，由於葉子已經可以進行光合作用，在光合作用的速率大於呼吸作用速率的情形之下，呼吸測量瓶內的總和氣體體積是增加的，而使得壓力管內的液面上升，但是當我們開始遮光後，由於種子只能進行呼吸作用，因此在氧氣消耗量大於二氧化碳產生量的情形下，使得壓力管的液面開始下降。這個結果不僅說明種子的呼吸速率實驗最好在種子發芽的前三天來進行，不然會受到植物行光合作用的影響，而且也說明壓力管的液面下降是植物種子只行呼吸作用的指標。

(十三)、從結果十四發現浸泡 4 小時的綠豆，其液面變化呈現上升的趨勢，因此我們推測浸泡 4 小時的綠豆仍然尚未開始進行呼吸作用。

(十四)、本實驗經由數學算式所計算出的氧氣消耗量與二氧化碳產生量，可以減少許多實驗誤差，我們只要知道集氣瓶內的氣體體積 ($V_{集}$)、綠豆種子體積 ($V_{豆}$)、實驗後液面變化高度 (h) 及相關常數 (k_1 及 k_2) 便可以算出氧氣消耗體積與二氧化碳產生體積，可說是簡單又方便，這也是本研究的特色。

柒、結論

本次研究所設計出來的一套測量種子呼吸速率的實驗裝置與方法是可行

的，而且利用壓力管的液面變化情形可以觀察種子行呼吸作用的過程。再經由數學算式可以計算出呼吸作用過程中的二氧化碳產生量及氧氣消耗量等。本研究也利用呼吸商數的觀念證實種子的呼吸作用是利用葡萄糖當作氧化物質來產生能量，也驗證呼吸作用是一種放熱反應。

捌、參考文獻

- (一)、植物生理學實驗，民國八十年，王月霞、陳是瑩、童武夫等著，台北市：藝軒出版社。
- (二)、生物學，國八十四年，丁澤民等編譯，台北市：藝軒出版社。
- (三)、國中自然與生活科技下冊，民國九十二年，台北縣：康軒文教。

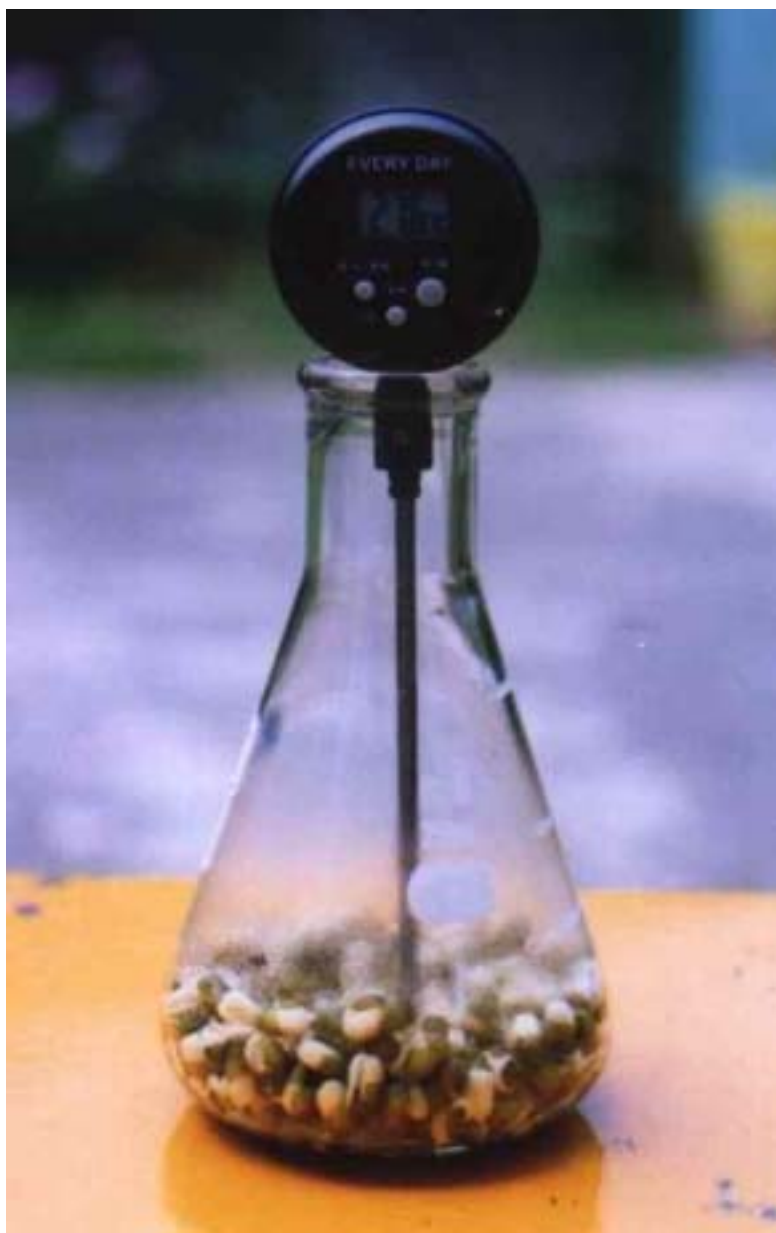
玖、附件

附件一



說明：上圖為測量種子呼吸速率的實驗裝置，左邊的壓力管裝有些許毫升的水，使其位於起始點，中間的呼吸測量瓶則裝有待測綠豆種子，右邊則是裝滿澄清石灰水的集氣瓶。

附件二



說明：上圖為感應式溫度計測量錐形瓶內溫度的情形，可以發現種子行呼吸作用時，會使瓶內氣溫上升攝氏1-2 度。

評語

- 1.能夠依據現有的生物實驗方法加入理化的概念加以改進。
- 2.能自行設計並裝置實驗器材進行測量與分析。
- 3.能改良原有的定性實驗獲得定量的結果。
- 4.應將溫度、壓力等變因加入考慮。