

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030310

芹菜有「漏洞」

-探討國中生物「蒸散作用實驗」實際與理論相異之原因

學校名稱：彰化縣立彰安國民中學

| | |
|--------|-------|
| 作者： | 指導老師： |
| 國三 邱怡云 | 蔣文蘭 |
| 國三 梁友亭 | 侯松男 |
| 國三 簡靖芸 | |
| 國二 黃莉棋 | |

關鍵詞：芹菜、裂縫、蒸散作用

芹菜有「漏洞」

—探討國中生物「蒸散作用實驗」實際與理論相異之原因

摘要

在國一自然科課程內做芹菜蒸散作用實驗(附錄一)，出現實驗結果與理論相異的情形。

檢視芹菜蒸散作用實驗過程可能出現的誤差，發現無裂縫芹菜葉柄具中空管狀結構，在摘除葉片後形成極微細會漏氣的小洞，因此水會流進芹菜葉柄的中空管，量筒液面下降造成誤差(甚至達 2.1ml)，液面下降的原因並非來自於芹菜葉片的蒸散作用。本實驗透過中空玻璃管、吸管模擬芹菜葉柄，證明實驗誤差的存在，並藉此改進實驗方法。

本研究發現，透過排水法可找到條件相同的芹菜，在芹菜葉柄上縱切一刀則可明顯降低實驗誤差，透過修正後的實驗方式，蒸散作用實驗結果就會出現與理論相符的情形。

壹、研究動機

我們在國一生物課利用芹菜做蒸散作用實驗，測量結果常出現與理論不符的情況，造成我們學習及老師教學上的困擾。

由課本實驗的理論可得知：由於有葉片的芹菜具有氣孔，故蒸散作用旺盛，所以量筒液面下降量會較大；反之，摘除葉片芹菜的水面下降量應較小。但是，我們當時得到的實驗結果卻與理論完全相反。在重覆實驗數次後卻仍出現相同結果。

現在正好有這個機會重新的檢視每一步驟，詳細觀察發生實驗誤差真正的原因為何，以致實驗結果發生了與理論相異的窘境。

貳、研究目的

期望能透過探討並釐清造成芹菜蒸散作用實驗結果與理論相異的因素，歸納出本研究目的如下：

- 一、 觀察芹菜特性，找出可能的誤差因素。
- 二、 改良實驗設計降低變因的誤差干擾。
- 三、 驗證課本實驗與改良實驗設計之結果差異。

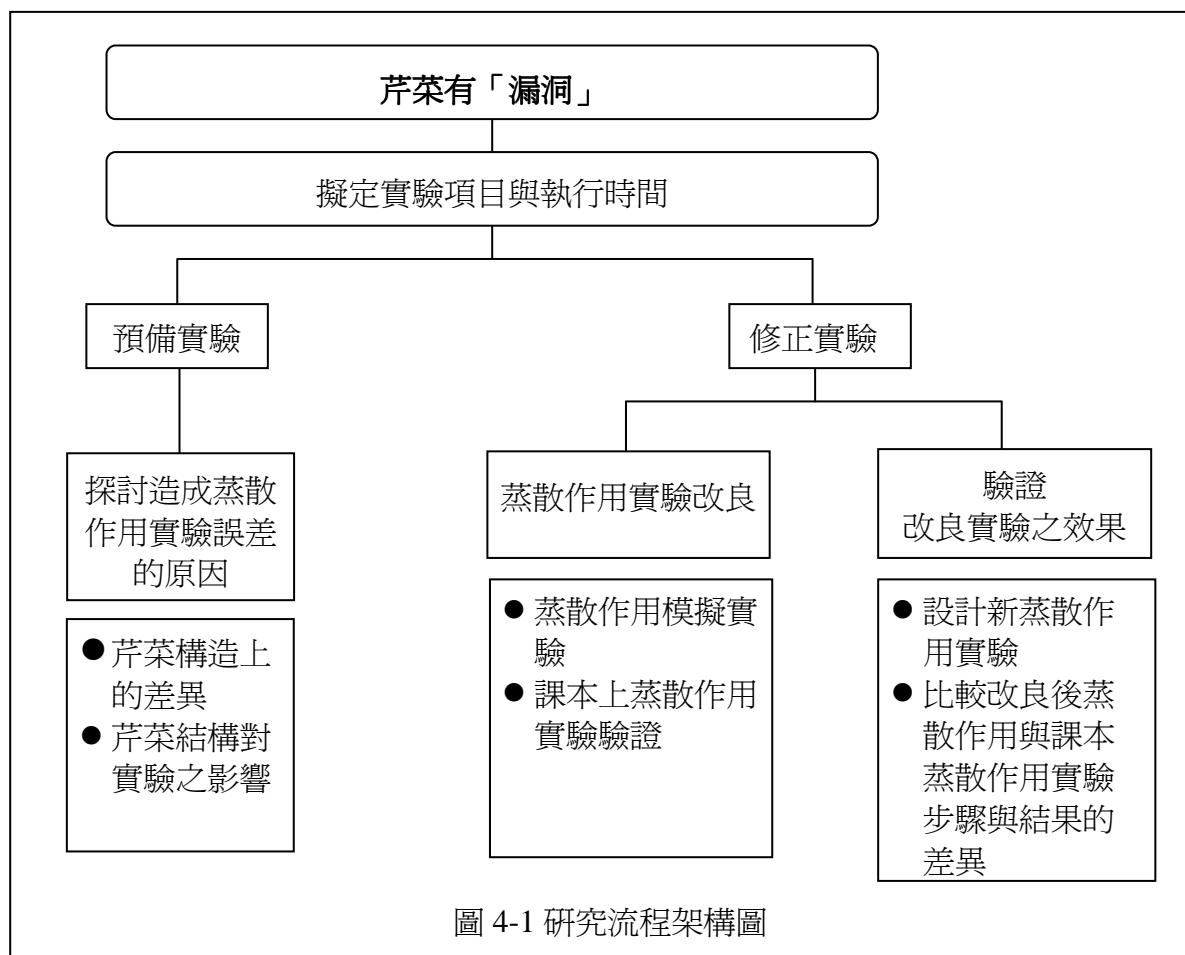
參、研究設備及器材

| 物品 | 數量 | 物品 | 數量 |
|-------|-------|-----------------|-------|
| 實驗材料： | | | |
| 芹菜適量 | (兩大把) | | |
| 玻璃材料 | | | |
| 玻棒 | 1 個 | 燒杯(250，1000 毫升) | 各 1 個 |
| 滴管 | 1 個 | 量筒(10 毫升) | 20 支 |
| U 型管 | 4 根 | 中空玻璃管 | 4 根 |
| 刀類 | | | |
| 美工刀 | 1 把 | 刀片 | 5 片 |
| 剪刀 | 1 把 | | |
| 其他 | | | |
| 膠帶 | 1 捲 | 抹布 | 1 條 |
| 布幕 | 一塊 | 碼錶 | 1 台 |
| 淺盆 | 3 個 | 解剖針 | 1 支 |
| 保鮮膜 | 1 捲 | 黏土 | 1 盒 |
| 吸管 | 一包 | 不含針針筒 | 1 個 |
| 相機 | 1 台 | 紅色溶液 | |

肆、研究過程或方法

我們的研究目的是要找出造成課本「芹菜蒸散作用實驗」實驗結果與理論產生出入的原因。

我們依據上述目的擬定了三個研究項目：探討芹菜在蒸散作用實驗可能造成之誤差、設計改良芹菜蒸散作用實驗、驗證改良實驗之效果。研究流程架構如圖 4-1 所示。



以下將分項描述各項實驗的研究技巧與方法：

一、芹菜葉柄之特性探討

芹菜本身存在著個體間的差異性，每一枝芹菜葉柄的粗細、裂縫的有無及中空結構等狀況存在著差異，這部分實驗就是要了解芹菜個體的差異，對蒸散作用實驗造成的影響。

(一) 芹菜葉柄外觀檢查

1. 隨機在市場買數把芹菜。
2. 分析整把芹菜樣品，觀察並記錄芹菜葉柄裂縫的有無及葉柄中空結構。
3. 並選出目測葉柄無明顯裂縫的芹菜，供後續實驗。

(二) 探討無裂縫芹菜插入量筒，切一刀後對液面的影響

1. 目測葉柄無明顯裂縫的芹菜，插入裝有 5 毫升紅色溶液的量筒，觀察並記錄紅色溶液的液面高度。
2. 在芹菜葉柄縱切一 3 公分的切口，觀察並記錄紅色溶液的液面高度。

二、蒸散作用實驗改良

(一)蒸散作用模擬實驗設計

由於芹菜的粗細、裂縫的有無及中空結構等差異性不容易控制，因此我們嘗試使用各種實驗材料替代進行模擬試驗，模擬在芹菜蒸散作用實驗時可能發生的物理現象，證明這些現象影響蒸散作用的實驗結果，並模擬修正實驗及探討可行性。

1. 中空玻璃管模擬實驗

以中空玻璃管與黏土，模擬芹菜中空結構(內)與量筒液面(外)之差異(圖 4-2、表 4-1)，藉此模擬芹菜裂縫可能對蒸散作用實驗造成之影響，實驗操作步驟如下：

- (1) 準備 4 個 50ml 的量筒，分別標上 A、B、C、D。
- (2) 每一個 50ml 的量筒，各裝入 20ml 紅色溶液。
- (3) 準備 4 個玻璃管，分別標上 A、B、C、D。
- (4) 準備一杯紅色溶液。
 - I. A 玻璃管，管口無黏土，插入 A 量筒，記錄液面高度。
 - II. B 玻璃管，管口塞有洞黏土，插入 B 量筒，記錄液面高度。
 - III. C、D 玻璃管，管口塞無洞黏土，分別插入 C、D 量筒，記錄液面高度。
- (5) A、B、C、D 量筒的液面刻度都加至 30ml。
- (6) A 玻璃管(管口無黏土)在管口戳一個洞，記錄液面高度。
- (7) B 玻璃管(管口塞有洞黏土)在有洞的黏土戳一個洞，記錄液面高度。
- (8) D 玻璃管(管口塞無洞黏土)在無洞的黏土戳一個洞，記錄液面高度。
- (9) 玻璃管抽離量筒，記錄液面高度。

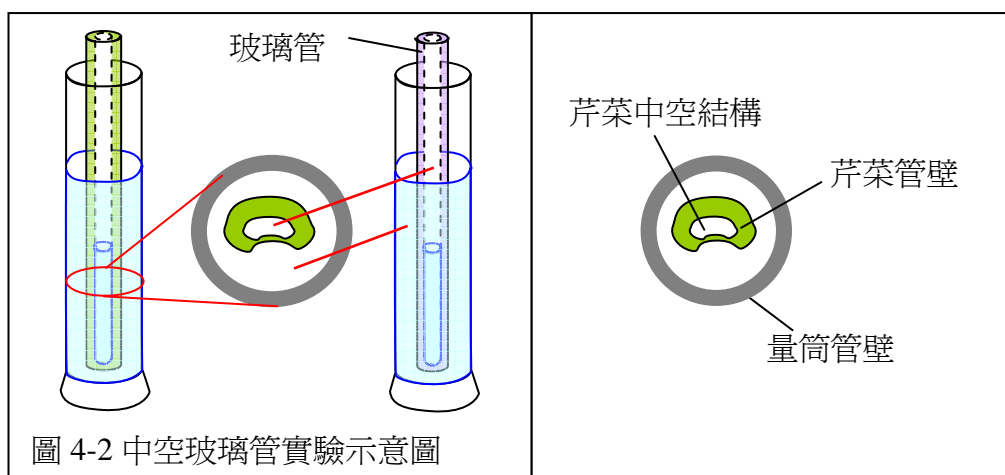


表 4-1 中空玻璃管模擬實驗各組操作條件及模擬狀況

| 組別 | A | B | C | D |
|----------|---------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| 操作 順序 | (管口無黏土) → 戳一個洞 | (管口塞有洞黏土) → 戳一個洞 | (管口塞無洞黏土) → 不戳洞 | (管口塞無洞黏土) → 戳一個洞 |
| 模擬 狀況 | 1. 芹菜有肉眼可觀察到的大裂縫。 2. 後被摘除葉片* | 1. 芹菜有小裂縫。 2. 後被摘除葉片。 | 1. 芹菜沒有裂縫，也沒有摘除葉片。 | 1. 芹菜沒有裂縫。 2. 後被摘除葉片。 |

*：摘除葉片以戳一個洞模擬，因芹菜葉柄中空摘除後會形成一小洞。

2. 吸管模擬實驗

利用透明吸管(編號 a~h 共 8 支)模擬芹菜葉柄(圖 4-3)，利用其可以切割的特性，製造裂縫來了解**芹菜裂縫可能對蒸散作用實驗**造成之影響，並藉此尋求改良實驗的可行性，實驗操作步驟如下：

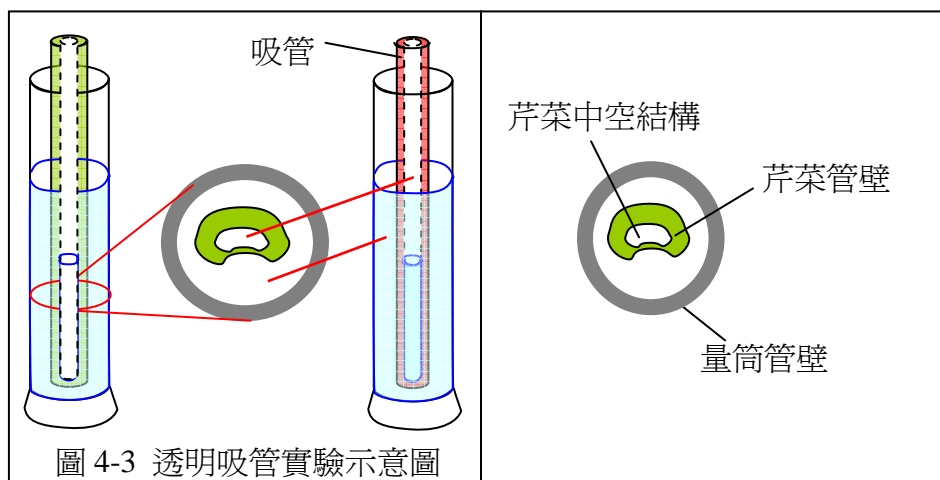


表 4-2 吸管模擬實驗各組操作條件及模擬狀況

| 操作條件* | | 管口無密封 | 管口黏土密封 | 管壁縱切一刀 | 各吸管 (a~h)插入 裝有 5ml 紅 色溶液的 量筒中 | 黏土刺洞 |
|--------|---|-------|--------|--------|---|----------|
| 模擬狀況** | | 原有大裂縫 | 完整無裂縫 | 人為製造切口 | | 摘除葉片(小洞) |
| 組 別 | a | V | | | | |
| | b | V | | | | V |
| | c | | V | | | |
| | d | | V | | | V |
| | e | V | | V | | |
| | f | V | | V | | V |
| | g | | V | V | | |
| | h | | V | V | | V |

*：描述吸管的實驗處理

**：模擬蒸散作用實驗裡各種條件下的芹菜

註：“V”表有做處理。

實驗說明：

- (1) **管口無密封**：吸管口無黏土處理，模擬芹菜葉柄具有**明顯大裂縫**。
- (2) **管口黏土密封**：吸管口以黏土塞住密封處理，模擬芹菜葉柄**無裂縫**。
- (3) **管壁縱切一刀**：吸管管壁以刀片縱切 3 公分的切口，製造裂縫。模擬在芹菜葉柄上**製造人為切口**。
- (4) **黏土刺洞**：吸管口無黏土處理或以黏土塞住密封處理後，再以**解剖針**在黏土上刺洞。模擬在**摘除芹菜葉片**後形成極微細會漏氣的小洞。
- (5) 分別記錄實驗 a~h 各吸管插入裝有 5ml 紅色溶液的量筒中後的液面高度及黏土刺洞後的液面高度並加以比較。

(二)課本上蒸散作用實驗驗證

控制葉柄結構的芹菜來進行實驗，第一：嘗試逐一剪掉芹菜葉片，觀察水位升降的變化。第二：運用排水法觀察芹菜目測與實際的粗細差異，以下將分述我們的實驗技巧與步驟。

1. 觀察逐一剪掉芹菜葉片，水位的變化
 - (1) 挑選一支(需完整且無裂縫的芹菜葉柄)插入裝有 5ml 紅墨水的量筒中
 - (2) 逐一剪掉其葉片，並觀察水位變化
 - (3) 等水位變化暫停後，將芹菜拿出水面(仍在量筒中)，再插入水中
 - (4) 觀察並記錄芹菜剛放入水中的水位，及 5 分鐘後的水位
 - (5) 重複步驟 3、4
 - (6) 共做三次(挑選三支芹菜)
2. 探討目測粗細相同的芹菜葉柄與實際測量粗細的比較
 - (1) 從 1 把芹菜取出 2 枝目測粗細相似的芹菜
 - (2) 將 3ml 的紅墨水分別加入 2 個 10ml 量筒中，再將芹菜插入量筒中，觀察記錄其水分上升的高度
 - (3) 重複 3 次

三、驗證課本實驗與改良實驗設計之結果差異

探討芹菜水分散失與運輸情形，進行課本實驗方法與本研究設計的實驗方法之比較。

(一) 課本實驗方法

請見表 5-14(p16)

(二) 本研究設計實驗方法

請見表 5-14(p16)

伍、研究結果

本研究針對芹菜誤差、蒸散作用模擬實驗、課本之蒸散作用實驗與改良實驗之比較等項目的探討結果如下：

一、芹菜葉柄之特性探討

(一)芹菜葉柄外觀檢查

我們觀察芹菜裂縫及葉柄的中空結構(如圖 5-1 所示)，確實發現部分芹菜葉柄存在著明顯裂縫(如圖 5-2 所示)，芹菜葉柄結構檢查結果如表 5-1 所示。



圖 5-1 芹菜葉柄中央存在中空結構



圖 5-2 芹菜葉柄上具有肉眼可見的明顯裂縫(箭頭處)。

表 5-1 芹菜葉柄結構檢查結果

| | 目測無明顯裂縫 | | 目測有明顯裂縫 | |
|--------|-----------|-------|-----------|-------|
| A 大把芹菜 | 13 枝/21 枝 | 61.9% | 8 枝/21 枝 | 38.1% |
| B 大把芹菜 | 18 枝/28 枝 | 64.3% | 10 枝/28 枝 | 35.7% |

註：(A、B 兩大把)芹菜葉柄構造結果顯示，「無明顯裂縫」與「目測有明顯裂縫」比例為 31：18(約為 1.72：1)

(二) 探討芹菜差異性對插入量筒後水面的改變情形

目測無明顯裂縫的芹菜，插入裝有 5 毫升紅色溶液的量筒中，觀察並記錄。然後在葉柄縱切一條 3 公分的切口，再觀察並記錄，實驗結果如表 5-2 所示。

1. 芹菜葉柄粗細不同且中央具有中空管狀結構，中空結構體積大小也不同。
2. 最粗的 18 號芹菜若進行課本蒸散作用實驗，在摘除葉片後液面將可能下降達 2.1ml，造成教與學的困擾。
3. 16 號和 17 號芹菜剛放入水中時，水位上升的量相當，但縱切一刀後的水位下降卻有 0.7ml 的差值。

表 5-2 無裂縫芹菜切一刀前後液面變化

(單位：ml)

| 編號 \ 水位變化 | 原水位 | 縱切前液面高 | 縱切後液面高 | 差值 |
|-----------|-----|--------|--------|--------|
| 3 | 5.0 | 6.8 | 6.4 | -0.4 |
| 16 | 5.0 | 6.9 | 6.7 | -0.2* |
| 17 | 5.0 | 7.0 | 6.1 | -0.9 |
| 2 | 5.0 | 7.1 | 6.4 | -0.7 |
| 13 | 5.0 | 7.3 | 5.9 | -1.4 |
| 4 | 5.0 | 7.9 | 6.7 | -1.2 |
| 7 | 5.0 | 8.0 | 7.0 | -1.0 |
| 12 | 5.0 | 9.2 | 7.1 | -1.9 |
| 18 | 5.0 | 10.0 | 7.9 | -2.1** |
| 平均 | 5.0 | 7.66 | 6.64 | -1.01 |

*：最大下降 2.1 毫升

**：最小下降 0.2 毫升

二、蒸散作用實驗設計改良

(一)蒸散作用模擬實驗設計

利用中空玻璃管、吸管模擬芹菜的各種情況(有裂縫、無裂縫、有葉、無葉、葉柄切一刀)並觀察量筒內紅墨水液面變化情形，詳細實驗結果分述如下：

1. 中空玻璃管模擬實驗

以中空玻璃管，模擬芹菜中空結構(管內)與量筒液面之差異，操作示意圖如圖 5-3、5-4、5-5、5-6，實驗結果表 5-3 所示，說明分述如下。

- (1) A 玻璃管(無黏土)與 A 號量筒：戳洞前後紅墨水液面無變化
- (2) B 玻璃管(黏土有洞)與 B 號量筒：戳洞前後紅墨水液面無變化
- (3) C 玻璃管(黏土無洞)與 C 號量筒：紅墨水液面無變化(無戳洞)
- (4) D 玻璃管(黏土無洞)與 D 號量筒：戳洞後中空玻璃管內含空氣柱的紅墨水液面上升，量筒的紅墨水液面下降。

實驗結果顯示，中空管狀結構的葉柄是否具有裂縫，將對芹菜蒸散作用實驗造成極大的影響。

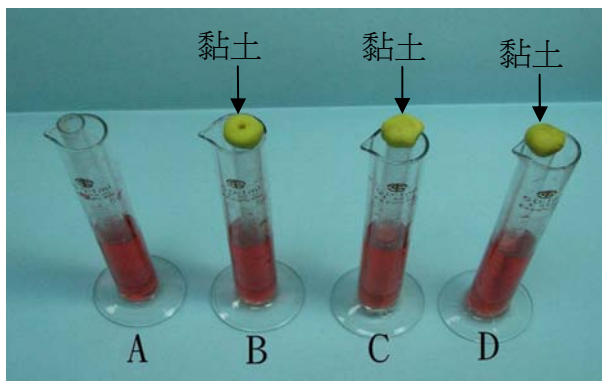


圖 5-3 中空玻璃管實驗(戳洞前，A：無黏土、B：黏土有洞、C 及 D：黏土無洞)上視圖

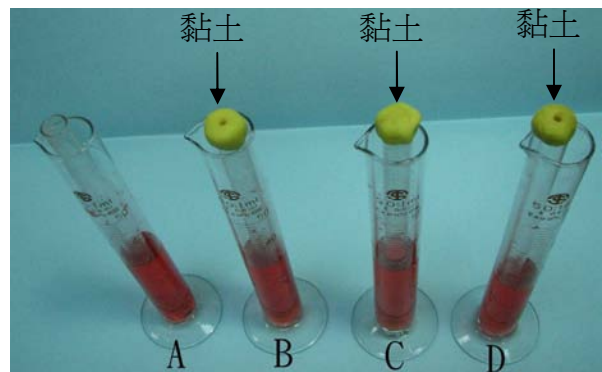


圖 5-4 中空玻璃管實驗(戳洞後，A：無黏土、B 及 D：黏土無洞、C：黏土有洞)上視圖

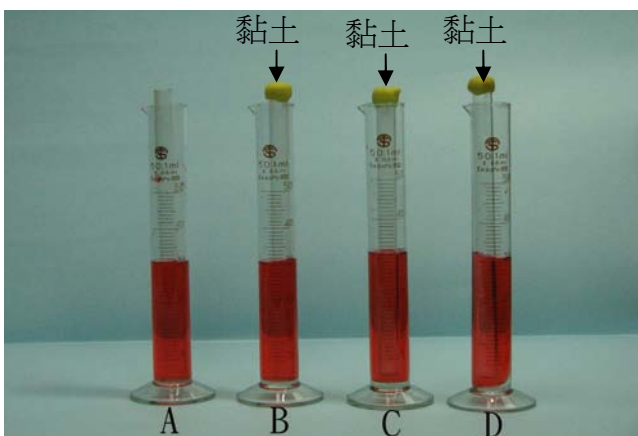


圖 5-5 中空玻璃管實驗(戳洞前，A：無黏土、B：黏土有洞、C 及 D：黏土無洞)側視圖

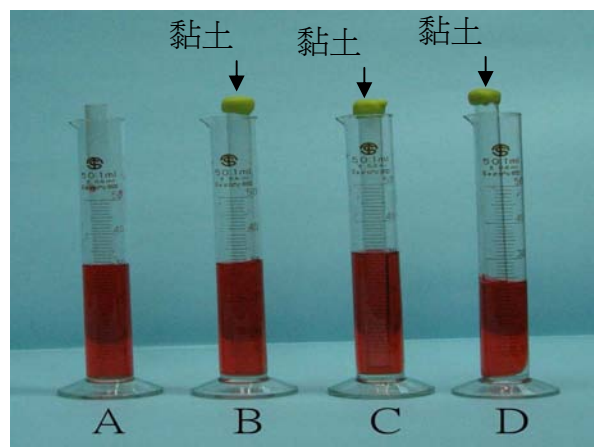


圖 5-6 中空玻璃管實驗(戳洞後，A：無黏土、B 及 D：黏土無洞、C：黏土有洞)側視圖

表 5-3 中空玻璃管實驗(如圖 5-3、5-4、5-5、5-6)

| 實驗操作步驟 | | 紅墨水液面高度(中空玻璃管外的液面) | | | |
|--------|-------------------------|--------------------|--------|--------|--------|
| | | A | B | C | D |
| 1 | 插入中空玻璃管 | 22ml | 22ml | 29ml | 28.5ml |
| 2 | 將紅墨水加至 30ml(如圖 5-3、5-5) | 30ml | 30ml | 30ml | 30ml |
| 3 | A、B、D 戳洞(如圖 5-4、5-6) | 30ml | **30ml | 30ml | 21.5ml |
| 4 | 抽出玻璃管 | 28ml | 28ml | 21.5ml | 21.5ml |

**：B 的中空玻璃管原有戳洞，水能流入管中，再戳洞後結果相同，故液面無變化

2. 吸管模擬實驗

我們使用吸管，模擬芹菜裂縫及在芹菜葉柄縱切一刀(3 公分)可能對蒸散作用實驗造成之影響，實驗結果如表 5-4 所示，結果說明如下：

- (1) 由 b 與 c 發現以黏土塞住的吸管較未塞住的吸管水位高出 1.5 毫升。
- (2) 由 c 與 d 發現以黏土塞住的吸管較未塞住的吸管水位高出 1.5 毫升，在戳洞後此差值即歸零。
- (3) 由 d 與 h 發現以黏土塞住的吸管較未塞住的吸管水位高出 1.5 毫升，在劃一刀後此差值即歸零。
- (4) 由 b 與 h 發現加劃一刀後以黏土塞住的吸管與未塞住水位的差異情形是相同的。

表 5-4 吸管模擬實驗

(單位：ml)

| 組 別 | 放入量筒後 液面高(A) | 吸管放入前 後差值(A-5) | 戳洞後液 面高(B) | 戳洞前後液面 下降(A-B) |
|-------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|
| 實驗 a | 5.2 | 0.2 | | 無戳洞 |
| 實驗 b | 5.2 | 0.2 | 5.2 | 0 |
| 實驗 c 塞住 | 6.7 | 1.7 | | 無戳洞 |
| 實驗 d 塞住 | 6.7 | 1.7 | 5.2 | 1.5 |
| 實驗 e 劃一刀 | 5.2 | 0.2 | | 無戳洞 |
| 實驗 f 劃一刀 | 5.2 | 0.2 | 5.2 | 0 |
| 實驗 g 塞住 劃一刀 | 5.2 | 0.2 | | 無戳洞 |
| 實驗 h 塞住 劃一刀 | 5.2 | 0.2 | 5.2 | 0 |

註：量筒內均原裝有 5 毫升的紅墨水(單位：ml)

(二)課本上蒸散作用實驗驗證

直接以芹菜做為實驗材料，刻意控制芹菜葉柄的差異，比較蒸散作用差異。各組實驗分述如下：

1. 逐一剪掉芹菜葉子對水位升降的影響

研究結果如圖 5-7 所示，一支完整無裂縫的芹菜在逐一拔除葉子的過程中，就會造成緩慢的水位下降，但量筒中的實際水量並無減少(抖出芹菜中空管狀結構內的水後，量筒水位又上升約至原水位)，故此水位下降並非完全來自於蒸散作用。

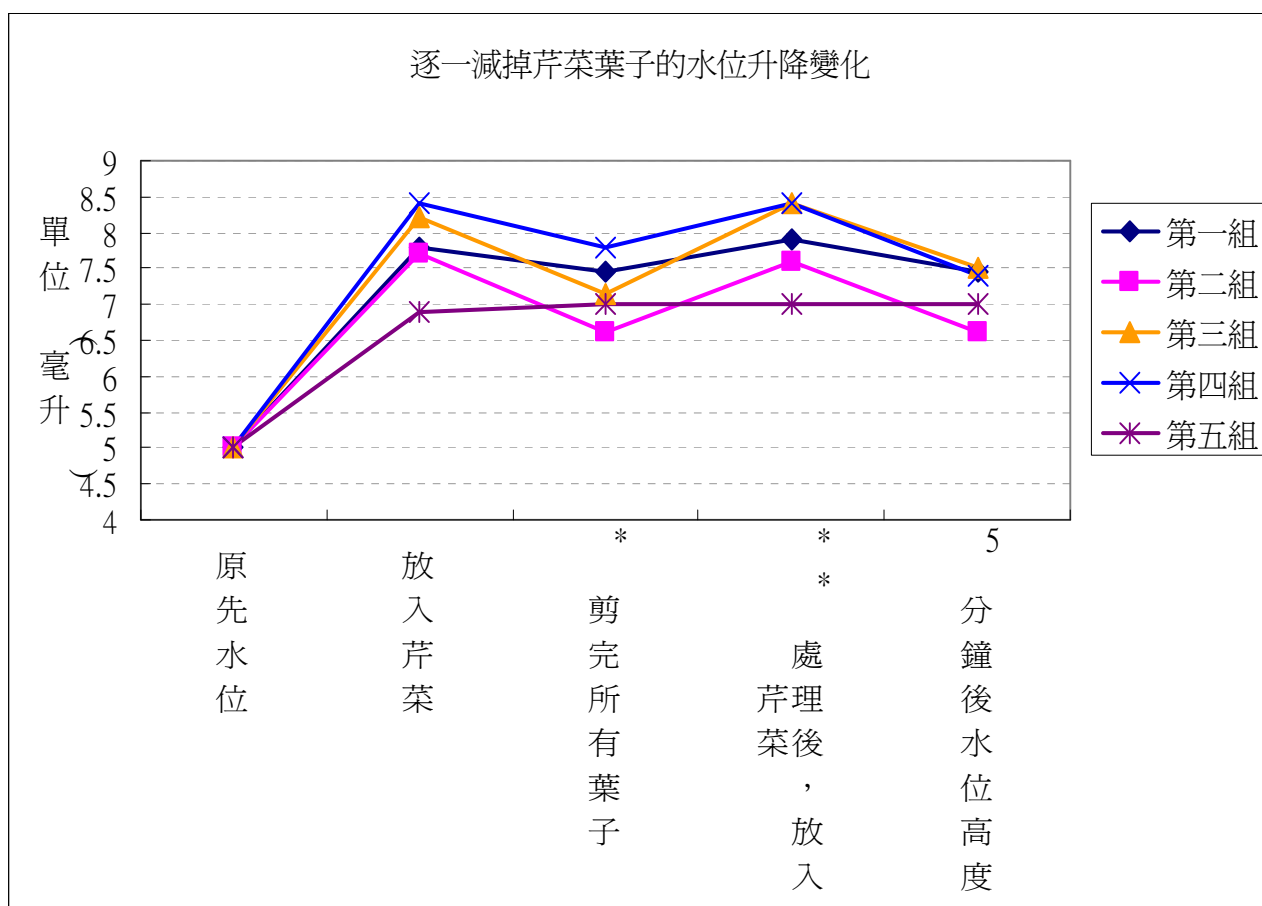


圖 5-7 逐一剪掉芹菜葉子對水位升降的影響

*：每剪下一片葉子，應需暫停一下(約 10 秒)再繼續剪，以利觀察是否有水位變化。

**：將芹菜離開水面但不拿出量筒，抖掉葉柄內外水分。再重新放入量筒，量測數據。

2. 目測相同粗細的芹菜葉柄與排水法測量粗細的比較

本研究選出 3 組(芹菜 1、2 為一組， 3、4 為一組，5、6 為一組)目測相同粗細的葉柄，將其選出的芹菜分別放入量筒內，重覆此動作三次，欲得知目測粗細相同的芹菜，排水法測量體積是否相同。

由表 5-5 可知，目測粗細相當的芹菜經排水法測量後，發現實際體積有極大的差異，相差 0.83ml(特別是芹菜 3 與芹菜 4)。由此可見，目測法是個既不科學又不準確的方法，因此本組將原本實驗的目測法改為利用排水法測量芹菜體積。

表 5-5 目測相同粗細的芹菜與實際體積的比較

(單位：ml)

| 組別 | 芹菜 1 | 芹菜 2 | 芹菜 3 | 芹菜 4 | 芹菜 5 | 芹菜 6 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 未放入芹菜 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| 放入芹菜 | 8.15 | 8.46 | 6.96 | 7.79 | 3.72 | 3.62 |
| 芹菜實際體積 | 5.15 | 5.46 | 3.96 | 4.79 | 0.72 | 0.62 |

註：以上數據為重複三組的平均值

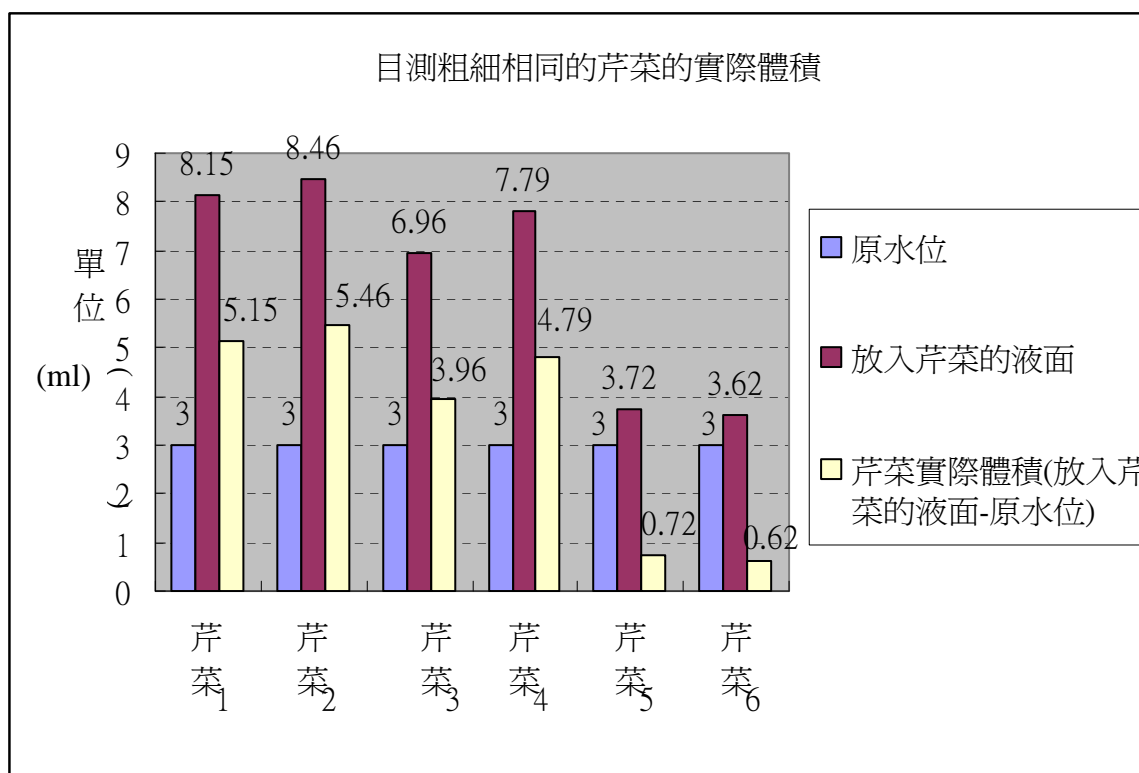


圖 5-8 目測粗細相同芹菜的體積比較

三、 驗證課本實驗與改良實驗設計之結果差異

(一)重新設計「新蒸散作用實驗」

藉由上述研究結果，修正了課本所述之蒸散作用實驗，修改後的結果如表 5-6。

表 5-6 課本內的蒸散作用實驗與改良後「新蒸散作用實驗」實驗步驟比較

| 課本內的蒸散作用實驗步驟* | 修改後之新蒸散作用實驗步驟 |
|--|--|
| 1. 1000 毫升燒杯裝滿水，然後將芹菜於水中切除根部備用。 | 1. 2 個淺盆裝水 ，然後將芹菜於水中切除根部備用。另一個淺盆裝剩餘根部，以保持實驗桌整潔。 |
| 2. 取一芹菜葉柄保留葉片(甲組)，另一芹菜葉柄去除葉片(乙組)，然後各插入 10 毫升量筒內。 (注意：芹菜葉柄要插到量筒底部。) 3. 用膠帶將甲、乙 2 個量筒固定在桌面，以免傾倒。 4. 以滴管吸取紅色溶液，加入量筒內至液面為 10 毫升刻度處。 | 2. 選擇粗細相當的 20 支(偶數)芹菜。 |
| | 3. 在芹菜 葉柄上分節前 用美工刀 各劃一刀約 3 公分 |
| | 4. 將已 劃一刀 各芹菜插入裝有 5 毫升紅色溶液的 10 毫升量筒中， 觀察液面，挑出液面刻度相當的 2 支芹菜為一組 (注意：芹菜葉柄要插到量筒底部。) |
| | 5. 用膠帶將 2 個量筒固定在桌面，以免傾倒。將 2 支芹菜分別放入試管以滴管吸取紅色溶液，加入量筒內至液面為 10 毫升刻度處。 |
| | 6. 取一芹菜葉柄保留葉片(甲組)，另一芹菜葉柄去除葉片(乙組)。 |
| 5. 待 30 分鐘後，觀察並記錄甲、乙量筒紅色溶液的液面高度。 (注意：想加快結果，可以用電扇吹。) | 7. 待 30 分鐘後，觀察並記錄甲、乙量筒紅色溶液的液面高度。 (注意：想加快結果，可以用電扇吹。) |

(二) 課本所述實驗方法與新修正方法實驗結果之比較

我們重複進行本研究所改良的蒸散作用實驗與課本蒸散作用實驗 (40 分鐘)，研究結果如表 5-7 所示。

由表 5-7 與圖 5-9 的研究結果顯示，改良蒸散作用實驗可以準確的表現蒸散作用的原理，看到量筒液面下降，透過將芹菜拿出水面(未離開量筒)並抖出芹菜中空管內部的水分，再將芹菜葉柄插回水中，發現液面高度不變。

依據課本蒸散作用的實驗，看到量筒液面下降，透過將芹菜拿出水面(未離開量筒)並抖出芹菜中空管內部的水分，再將芹菜葉柄插回水中，發現液面高度升高(有葉芹菜 10.00ml(初水位)→8.70ml(40 分鐘後)→9.53ml(拔出芹菜再插入，液面下降又升高 0.83ml。無葉芹菜 10.00ml(初水位)→9.43ml(40 分鐘後)→10.00ml(拔出芹菜再插入)，液面又升高 0.57ml)，所以在這段時間內(40 分鐘)觀察到液面下降的量並非蒸散作用所造成的，多是水流進芹菜葉柄內中空處所造成的。

表 5-7 新舊蒸散作用實驗比較

單位：ml

| 實驗項目 | 葉片有無 | 實驗編號 | 實驗開始後已歷經時間(分) | | | | | | | | | 實驗設計* |
|----------|------|------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | |
| 改良蒸散作用實驗 | 有葉 | 平均 | 10.00 | 9.90 | 9.83 | 9.83 | 9.73 | 9.70 | 9.60 | 9.60 | 9.50 | 9.50 |
| | | % | 100.00 | 99.00 | 98.30 | 98.30 | 97.30 | 97.00 | 96.00 | 96.00 | 95.00 | 95.00 |
| | 無葉 | 平均 | 10.00 | 9.97 | 9.97 | 9.97 | 9.93 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.87 | 9.87 |
| | | % | 100.00 | 99.70 | 99.70 | 99.70 | 99.30 | 99.00 | 99.00 | 98.70 | 98.70 | 98.70*** |
| 課本蒸散作用實驗 | 有葉 | 平均 | 10.00 | 9.57 | 9.40 | 9.30 | 9.17 | 9.03 | 8.93 | 8.80 | 8.70 | 9.53** |
| | | % | 100.00 | 95.70 | 94.00 | 93.00 | 91.70 | 90.30 | 89.30 | 88.00 | 87.00 | 95.30** |
| | 無葉 | 平均 | 10.00 | 9.67 | 9.63 | 9.57 | 9.50 | 9.50 | 9.47 | 9.47 | 9.43 | 10.00** |
| | | % | 100.00 | 96.70 | 96.30 | 95.70 | 95.00 | 95.00 | 94.70 | 94.70 | 94.30 | 100.00*** |

*：記錄 40 分鐘後的液面刻度，再將芹菜拿出水面(尚未離開量筒)並抖出芹菜中空管內部未蒸散的水分，再插回量筒紅墨水中，記錄其液面高度。

**：課本蒸散作用實驗經抖出芹菜葉柄內水分的處理，前後液面高度差距極大，顯示水流進芹菜葉柄內中空處會造成的誤差。

***：將量筒中的水位刻度換算成百分率以便製圖比較

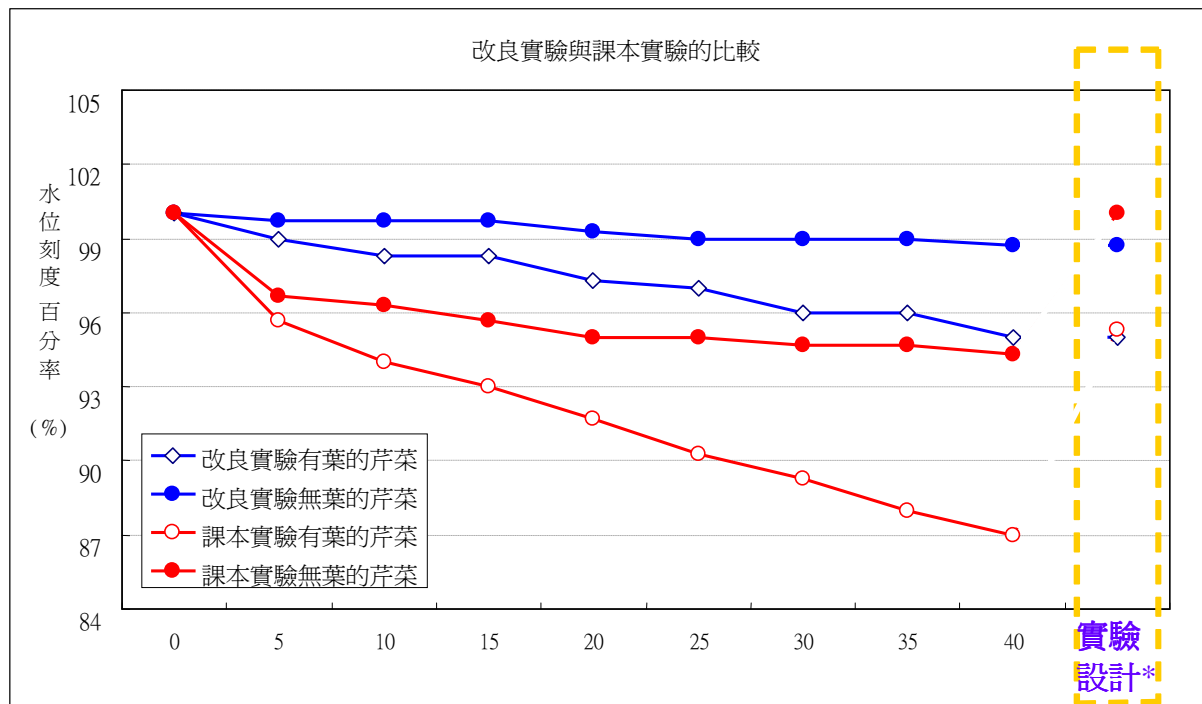


圖 5-9 水位刻度換算成百分率的新舊蒸散作用實驗比較(實驗時間 40 分鐘)

*：記錄 40 分鐘後的液面高度，將芹菜拿出水面(尚未離開量筒)並抖出芹菜中空管內未蒸散的水分，再插回量筒紅墨水中，記錄其液面高度。

陸、討論

一、觀察芹菜裂縫及葉柄中央存在的中空管狀結構。

- (一)一把芹菜中，有著各種不同情況的芹菜(有無裂縫、有無葉片)若不將此誤差因素考慮周全，將造成實驗誤差，如：將含有微小裂縫的有葉芹菜插入紅墨水中，由於芹菜中空管內有空氣，使得內外氣壓不均，則剛插入時中空管內的液面較低，管外較高。又因為芹菜有裂縫，使內外氣壓能趨於平衡，則管外水會流入管內，此時會觀察到液面下降，並誤以為此為芹菜進行蒸散作用。
- (二)透過將芹菜中空管內含有的紅墨水抖回量筒中的步驟，可以發現：液面又回升，證明實驗所看到的液面下降並非蒸散作用，只是裂縫造成的氣壓問題，使外部的水流入芹菜中空管內部。
- (三)由於無法確定芹菜是否含有裂縫，將每一株芹菜都縱切一刀(3 公分)(製造裂縫)，確保內外氣壓不會有太大的差異。

二、利用中空玻璃管、吸管模擬芹菜的各種狀況(有無裂縫、有無葉、將葉柄縱切一刀)

(一)中空玻璃管模擬實驗：

1. 每一個量筒皆裝入等量的紅墨水，A、B 的中空玻璃管未密封，使水能流入管內，液體所排除的體積較小(只有管壁體積)，故液面上升至 22 毫升；而 C、D 的中

空玻璃管以黏土緊緊密封，使水無法流入管中，液體所排除的體積較大(管壁體積+空氣柱體積)，故液面上升至 28.5 或 29 毫升。

2. 各加紅墨水至 30 毫升，實驗後將中空玻璃管抽離，A、B 的量筒內有 28 毫升，而 C、D 有 21.5 毫升。透過統一加至 30 毫升和抽離中空玻璃管的步驟，4 組量筒液面看似相同，但可發現**實際中空玻璃管內液柱高度是不同的，代表實際水量也不相同**。
3. 在市場購買的芹菜無法判定裂痕情形，經中空玻璃管實驗結果，建議課本實驗步驟加入在**芹菜葉柄縱切一刀**，使實驗條件一致。

(二)吸管模擬實驗：

1. 直接將吸管插入裝有 5 毫升紅墨水的量筒中，吸管内有水柱，吸管內外水位相當。吸管為開放空間，**管內外空氣壓力相等，管內外液面幾乎等高**。用解剖針在吸管的管壁刺一個小洞，管內外液面無變化。**【模擬有大裂縫的芹菜，再拔除葉片】**
2. 吸管的一端用黏土塞住，另一端放入裝有 5 毫升紅墨水的量筒中，吸管内有空氣柱，此時水**未大量**進入吸管的管中(吸管外的液面上升至 6.7 毫升)，用解剖針在吸管的管壁刺一個小洞，水由外部慢慢進入吸管的管內，(吸管外液面降低，由 6.7 毫升下降至 5.2 毫升，共下降 1.5 毫升。此下降結果並非蒸散作用所造成，僅是水的流動，實際水量並無減少)。液面下降原因：**用解剖針在吸管的管壁刺一個小洞，空氣慢慢逸出(吸管的管中氣體壓力慢慢變小)，水分慢慢進入。【模擬被拔除葉片的芹菜，故以刺一洞代表拔除葉片後產生的小洞】**
3. 吸管的一端用黏土塞住，在吸管的壁上縱切一刀(3 cm)後，另一端放入裝有 5 毫升紅墨水的量筒中，由於吸管的管中封閉空間被切開，吸管內外空氣壓力相等，故水由外部迅速流入內部，再戳一洞，**戳洞前後的差值為零**，(吸管內外的液面無明顯變化)。**【模擬縱切一刀的芹菜，且被拔除葉片。】**
4. 由實驗結果得知，縱切一刀能有效排除芹菜葉柄有無裂縫的差異，**使蒸散作用實驗所觀察的液面下降是真正來自於蒸散作用，而不是紅墨水從外部慢慢進入芹菜葉柄內部的物理現象**，也不會再產生無葉芹菜下降較有葉芹菜多的結果。

三、探討芹菜粗細不同對植物體內水分散失與運輸情形實驗造成的誤差。

將目測粗細相近的芹菜，放入裝有 5 毫升紅墨水的量筒中，測芹菜實際體積大小(此即排水法)。發現目測粗細相近的芹菜，實際體積差值最小約 0.2 毫升，最大可達到 2.1 毫升。可見目測法並無法確切比較芹菜體積是否相同，應**改用排水法，以找出真正粗細相同的芹菜**。

四、連通管原理：

在數個底部以導管相通的容器內注入液體，不論容器的形狀粗細如何，液體靜止後，**各容器的液面必在同一個水平面上**，這是因為各容器的液面壓力皆相同。正如同芹菜蒸散作用實驗，中空葉柄內外壓力的差異，造成內外液面的不等高，甚至在小裂縫的狀態下內外壓力漸趨平衡，而液面會緩慢的產生變化，造成實驗結果的誤判，詳細討論如下。

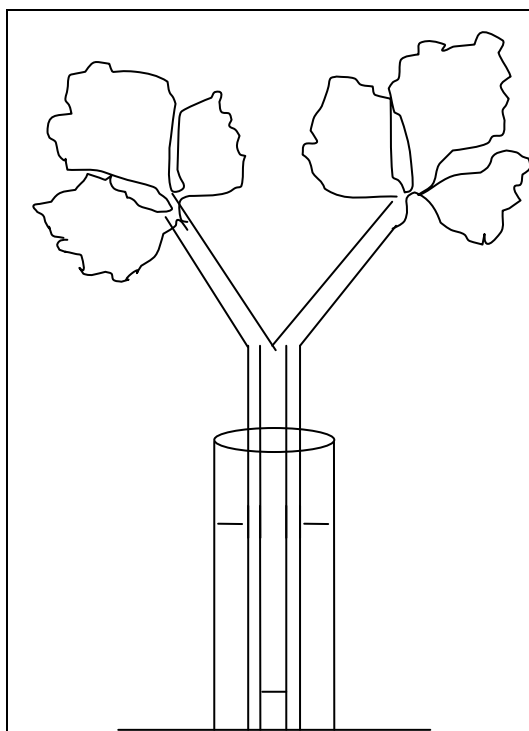


圖 6-1

當芹菜葉柄完整無裂縫時，芹菜中空的葉柄內有空氣柱存在，放入有水的量筒中，**內部氣壓較高**，量筒中的水無法進入中空的芹菜葉柄，使芹菜葉柄內的液面低於葉柄外的液面。

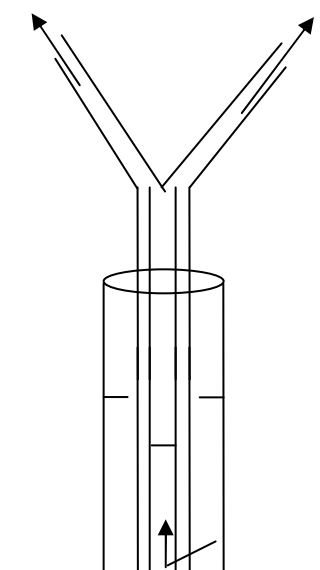
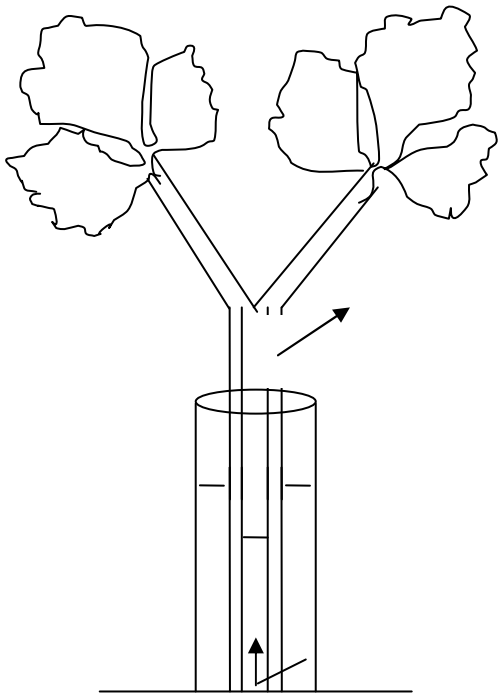
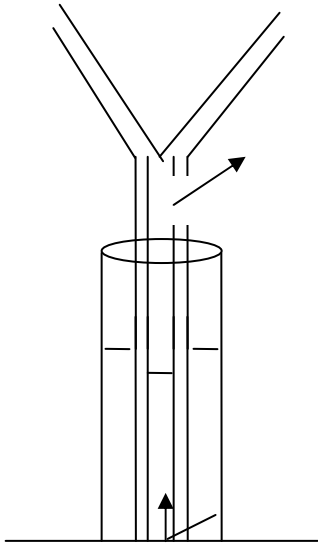


圖 6-2

因摘除葉片產生小裂縫，使得芹菜中空葉柄內原有的**空氣柱的氣體由小裂縫慢慢逸出**，葉柄內部氣壓下降，量筒中的**水逐漸進入中空的芹菜葉柄**，使芹菜葉柄內的液面呈現慢慢升高，**量筒中(葉柄外)的水位慢慢降低**，此現象被誤認為是蒸散作用的結果，**實則為造成實驗誤差(0ml~2ml)的物理現象**。由實驗結果看出課本實驗設計不周全，建議應加以修正。

| | |
|--|--|
|  | <p style="text-align: center;">圖 6-3</p> <p>芹菜中空葉柄縱切 3 公分大裂縫，芹菜放入有水的量筒中，芹菜中空葉柄內原有的空氣柱的氣體由裂縫迅速逸出，葉柄內部氣壓下降，量筒中的水快速進入中空的芹菜葉柄，使芹菜葉柄內的液面升高，量筒中(葉柄外)的水位降低，因此若每根芹菜皆有裂縫，將排除可能的實驗誤差，再開始進行實驗步驟。</p> |
|  | <p style="text-align: center;">圖 6-4</p> <p>芹菜中空葉柄縱切產生的 3 公分的大裂縫，使得芹菜中空葉柄內原有的空氣柱的氣體由大裂縫逸出，量筒中的水已快速進入中空的芹菜葉柄，故排除因摘除葉片後，芹菜中空葉柄內原有的空氣柱的氣體由小裂縫慢慢移出，使量筒中的水位慢慢降低造成實驗誤差(0ml~2ml)的物理現象。再開始進行實驗步驟後，量筒液面下降的結果將更接近蒸散作用。</p> |

經上述結果，改良實驗中將有葉、無葉的芹菜皆縱切一道 3 公分的切口，使芹菜葉柄內外氣壓平衡、液面相當，再進行實驗，可避免觀察到非蒸散作用的液面下降。

柒、結論

一、課本以目測法來判別芹菜是否粗細相當。一個班級，大約買 1~2 把芹菜供給同學使用，越後面選取芹菜的人，選出的芹菜粗細相似度越低。因此以目測方式容易造成實驗誤差，應利用排水法選擇粗細相近的芹菜。

二、芹菜葉柄完整無裂縫時，芹菜葉柄內的中空結構含有空氣柱，當插入量筒中，由於管內外氣壓不均，造成管內液面低，管外液面高。而當把葉片摘除後，會產生細微小孔，使內外氣壓能趨於平衡，此時管外的水會流入管內，液面因而下降。我們試將實驗完畢的芹菜抽出，抖出管內的水後再插回量筒中，液面又回到原本刻度，證明液面下降所減少的水量並非因為進行蒸散作用而散失。我們的克服方式是：將每一株芹菜都切一刀，製造相同的條件(都有裂縫)。

*切一刀：在芹菜葉柄薄膜處縱切約 3 公分的切口，且需切至中空處，以製造裂縫。

三、本組所設計新的實驗方法。

1. 以 2 個淺盆裝水，將芹菜放於水中切除根部備用。另一個淺盆裝剩餘根部，以保持實驗桌整潔。
2. 將所有芹菜都切一刀。
3. 以排水法挑出體積相當的芹菜，
4. 用膠帶將 2 個量筒固定在桌面，以免傾倒，並加入 5 毫升之紅墨水。
5. 取一芹菜葉柄保留葉片(甲組)，另一芹菜葉柄去除葉片(乙組)，並將兩組均插入量筒中，再各加入紅墨水至 10 毫升。
6. 待 30 分鐘後，觀察並記錄甲、乙量筒紅色溶液的液面高度。(注意：想加快結果，可以用電扇吹。)

四、植物體內水分散失與運輸情形的課本實驗方法與本組設計的實驗方法之差異

表 7-1 課本實驗方法與本組設計的實驗方法之差異

| 方 法 差 異 | 課本實驗方法 | 本組設計的實驗方法 |
|------------------|---|---------------------------|
| 芹菜粗細不同 | 只用肉眼比較，無法挑選出粗細相同的芹菜。 | 利用排水法，選擇實際體積相近的芹菜。 |
| 葉柄有裂縫和無裂縫 | 無法確認芹菜有無裂縫。易造成非蒸散作用的水位變動。 | 將芹菜劃一刀，全部統一製造裂縫，使管內外氣壓相同。 |
| 學生觀念 | 只要看到水面下降，就會認為是蒸散作用。例如將水流進芹菜葉柄中空處當作蒸散作用。 | 透過改良，可使水面下降的量，接近實際蒸散作用的量。 |

捌、未來展望

「植物體內水分的運輸與蒸散作用」實驗步驟造成的誤差在各版課本、參考書上都普遍存在，卻一直未被修正。希望透過本組的研究及改良後的實驗步驟，能夠修正課本實驗，使實驗結果能與理論相符。

玖、參考資料

- 一、 小魚看世界之生物教學資源，實驗課手札－植物體內水分的運輸・蒸散作用。2009年5月19日。取自：<http://biofish.ncc.to/>
- 二、 生物教學共享－蒸散作用實驗-美國芹菜。2009年5月19日。
取自：http://ccjhbio.blogspot.com/2007/10/blog-post_29.html
- 三、 遠距教學討論群組。2009年5月19日。
取自：<http://www.biol.ntnu.edu.tw/1998board/Detail.asp?TitleID=49>
- 四、 阿簡生物筆記－令人讚嘆不已的芹菜維管束觀察。2009年5月19日。
取自：http://a-chien.blogspot.com/2007/11/blog-post_7273.html
- 五、 叫我第一名－在十五分鐘內完成植物水分上升的實驗。2009年5月19日。
取自：<http://209.85.173.104/>
- 六、 南一書局。2009。自然與生活科技國一上學期課本。臺南，南一書局出版股份有限公司，p81。
- 七、 康軒書局。2009。自然與生活科技國一上學期課本。臺北，康軒文教事業股份有限公司，p77~78
- 八、 翰林書局。2009。自然與生活科技國一上學期課本。臺南，翰林出版事業股份有限公司，P86~87

附錄

附錄一、國一自然科課程芹菜蒸散作用實驗

(一)康軒書局。2009。自然與生活科技國一上學期課本。臺北，康軒文教事業股份有限公司，p77

活動4-2 植物體內水分的運輸與蒸散作用

說明：實際觀察植物體內水分運輸的情形和氣孔的構造，**測量植物蒸散作用的快慢**

目的：探討植物體內水分的運輸構造、運輸過程，並認識葉片的氣孔，進而了解植物葉片與水分散失的關係。

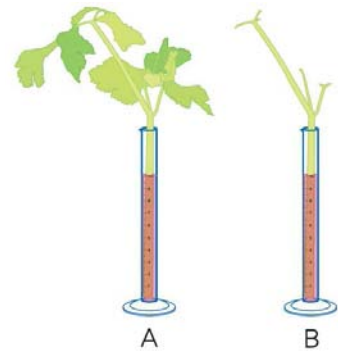
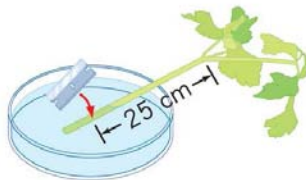
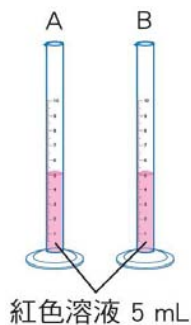
器材 (每組)

| | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 芹菜2枝 | <input type="checkbox"/> 量筒(10 mL)2個 | <input type="checkbox"/> 滴管1支 | <input type="checkbox"/> 放大鏡1個 |
| <input type="checkbox"/> 單面刀片1片 | <input type="checkbox"/> 紅色溶液20 mL | <input type="checkbox"/> 培養皿1個 | <input type="checkbox"/> 複式顯微鏡1臺 |
| <input type="checkbox"/> 載玻片1片 | <input type="checkbox"/> 蓋玻片1片 | <input type="checkbox"/> 新鮮植物葉片適量 | <input type="checkbox"/> 鑷子1支 |

流程

1.植物體內水分的運輸與蒸散作用

- ①將兩個相同的量筒標示A、B後，分別加入5 mL的紅色溶液。
- ②在水中切取2枝直徑大小相當的芹菜葉柄（含葉片），柄長約25 cm。
- ③將葉柄分別插入A、B兩量筒中，並用滴管加入紅色溶液，**使液面達至10 mL**；並將B量筒內的芹菜葉片全部摘除。



- ④**靜置30分鐘。**

記錄A、B兩量筒中紅色溶液體積的變化，與紅色溶液在芹菜葉柄和葉片上的分布情形。



活動

3-2 植物體內水分如何運輸

【目的】探討植物體內水分的散失與運輸情形。

【器材】(以組為單位)

| 項目 | 數量 | 項目 | 數量 |
|-------------|-----|-------------|----------|
| 燒杯(1000 毫升) | 1 個 | 小刀(或美工刀) | 1 把 |
| 膠 帶 | 1 卷 | 量筒(10 毫升) | 2 個 |
| 滴 管 | 1 支 | 放大鏡(或解剖顯微鏡) | 1 支(1 部) |
| 芹菜(或小白菜) | 2 株 | 紅色溶液 | 約 20 毫升 |

註：1. 芹菜或小白菜選葉柄粗細大致相同的。

2. 紅色溶液可用紅墨水或食用的紅色色素調製，但顏色不要太淡，以免觀察不易。

【步驟】

1. 1000 毫升燒杯裝滿水，然後將芹菜於水中切除根部備用(如圖 A)。

2. 取一芹菜葉柄保留葉片(甲組)，另一芹菜葉柄去除葉片(乙組)，然後各插入 10 毫升量筒內。

! 注意：芹菜葉柄要插到量筒底部。

3. 用膠帶將甲、乙兩個量筒固定在桌面，以免傾倒。

4. 以滴管吸取紅色溶液，加入量筒內至液面為 10 毫升刻度處(如下頁圖 B)。

5. 待 30 分鐘後，觀察並記錄甲、乙量筒紅色溶液的液面高度。

註：想加快結果，可以用電扇吹。



④將芹菜於水中切除根部



⑤探測植物體內水分運輸的裝置

附錄二、芹菜差異性對插入量筒後水面的改變情形

無裂縫芹菜切一刀前與後液面變化

(單位：ml)

| 順序 編號 | 原水位 | 縱切前液面高 | 縱切後液面高 | 差值 |
|----------|-----|--------|--------|---------------|
| 1 | 5 | 6.2 | 5.8 | -0.4 |
| 2 | 5 | 7.1 | 6.4 | -0.7 |
| 3 | 5 | 6.8 | 6.4 | -0.4 |
| 4 | 5 | 7.9 | 6.7 | -1.2 |
| 5 | 5 | 6.5 | 6 | -0.5 |
| 6 | 5 | 8.4 | 7.2 | -1.2 |
| 7 | 5 | 8 | 7 | -1 |
| 8 | 5 | 9.1 | 7.3 | -1.8 |
| 9 | 5 | 7 | 6.3 | -0.7 |
| 10 | 5 | 7.5 | 6.6 | -0.9 |
| 11 | 5 | 7.1 | 6.3 | -0.8 |
| 12 | 5 | 9.2 | 7.1 | -1.9 |
| 13 | 5 | 7.3 | 5.9 | -1.4 |
| 14 | 5 | 8.5 | 7 | -1.5 |
| 15 | 5 | 7.4 | 6.8 | -0.6 |
| 16 | 5 | 6.9 | 6.7 | -0.2* |
| 17 | 5 | 7 | 6.1 | -0.9 |
| 18 | 5 | 10 | 7.9 | -2.1** |
| 平均 | 5 | 7.66 | 6.64 | -1.01 |

附錄三、利用不同受試者進行芹菜之排水法檢測

在利用排水法測量芹菜實際體積時，為減少人為誤差，成員三人輪流將每一支芹菜放入紅墨水中，觀察三次並記錄其液面刻度。

● 同學 A 選的芹菜 (單位：ml)

目測粗細相同芹菜的體積比較 1

| 組別 | | 芹菜 1 | | | 平均 | 芹菜 2 | | | 平均 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 未放入芹菜 | | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| 實驗 A | 放入芹菜 | 8.10 | 8.40 | 8.10 | 8.20 | 8.50 | 8.60 | 8.60 | 8.57 |
| 實驗 B | 放入芹菜 | 8.20 | 8.10 | 8.10 | 8.13 | 8.50 | 8.30 | 8.40 | 8.40 |
| 實驗 C | 放入芹菜 | 8.20 | 8.20 | 8.20 | 8.20 | 8.40 | 8.40 | 8.40 | 8.40 |

● 同學 B 選的芹菜 (單位：ml)

目測粗細相同芹菜的體積比較 2

| 組別 | | 芹菜 3 | | | 平均 | 芹菜 4 | | | 平均 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 未放入芹菜 | | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| 實驗 A | 放入芹菜 | 6.60 | 6.50 | 7.50 | 6.87 | 7.50 | 7.40 | 8.60 | 7.83 |
| 實驗 B | 放入芹菜 | 6.70 | 6.70 | 7.40 | 6.94 | 7.40 | 7.30 | 8.40 | 7.70 |
| 實驗 C | 放入芹菜 | 6.80 | 6.75 | 7.70 | 7.08 | 7.60 | 7.50 | 8.40 | 7.83 |

● 同學 C 選的芹菜

目測粗細相同芹菜的體積比較 3 (單位：ml)

| 組別 | | 芹菜 5 | | | 平均 | 芹菜 6 | | | 平均 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 未放入芹菜 | | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| 實驗 A | 放入芹菜 | 3.70 | 3.70 | 3.70 | 3.70 | 3.70 | 3.70 | 3.60 | 3.67 |
| 實驗 B | 放入芹菜 | 3.70 | 3.70 | 3.80 | 3.73 | 3.70 | 3.70 | 3.40 | 3.60 |
| 實驗 C | 放入芹菜 | 3.70 | 3.80 | 3.70 | 3.73 | 3.70 | 3.70 | 3.40 | 3.60 |

附錄四、有葉片芹菜的葉柄粗細對蒸散作用的影響，步驟如下：

1. 選二支芹菜，一支較粗，一支較細。
2. 兩支芹菜皆保留葉片。
3. 2 支芹菜同時插入裝有 5ml 紅色溶液的量筒中，並觀察量筒液面變化情形，五分鐘記錄一次。(五分鐘、十分鐘、一小時後記錄)

我們刻意挑選兩支目測粗細明顯不同(一支粗，一支細)有葉片芹菜，實驗結果如下表所示。

有葉芹菜葉柄粗細不同對蒸散作用的影響

(單位：ml)

| | 有葉的芹菜 粗細比較 | 剛放入芹菜 | 5 分鐘後 | 10 分鐘後 | 一小時後 | 量筒液面下降 的總量 |
|-----|---------------|-------|-------|--------|------|---------------|
| 第一組 | 較粗的芹菜 | 9.3 | 8.6 | 8.0 | 7.8 | 1.5 |
| | 較細的芹菜 | 6.8 | 6.3 | 6.3 | 6.1 | 0.7 |
| 第二組 | 較粗的芹菜 | 7.1 | 6.6 | 6.4 | 6.3 | 0.8 |
| | 較細的芹菜 | 6.1 | 6.0 | 6.0 | 5.7 | 0.4 |
| 第三組 | 較粗的芹菜 | 6.8 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 0.3 |
| | 較細的芹菜 | 6.1 | 6.0 | 5.9 | 5.5 | 0.6 |
| 平均值 | 較粗的芹菜 | 7.7 | 7.3 | 7.0 | 6.9 | 0.9 |
| | 較細的芹菜 | 6.3 | 6.1 | 6.1 | 5.8 | 0.6 |

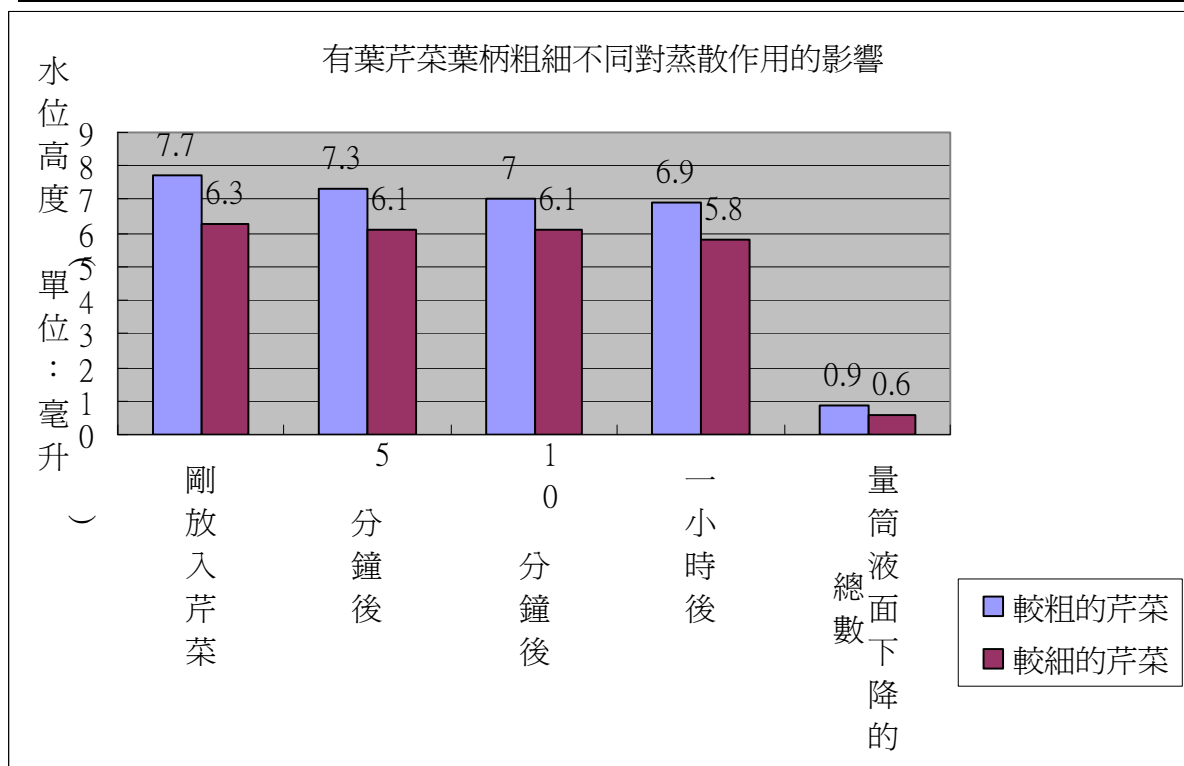


圖 5-10 有葉芹菜葉柄粗細不同對蒸散作用的影響 (單位：ml)

結語 芹菜的粗細會影響到芹菜水量下降的速率，粗的芹菜的蒸散作用速率比細的芹菜還來得快速，所以粗的芹菜水量下降的速率也較細的芹菜快速。

附錄五、無葉片芹菜的葉柄粗細對蒸散作用的影響，步驟如下：

1. 選 2 支芹菜，一支較粗，一支較細。
2. 兩支芹菜的葉片皆拔除
3. 將 2 支芹菜同時插入裝有 5ml 紅色溶液的量筒中，並觀察量筒液面變化情形，五分鐘記錄一次。(五分鐘、十分鐘、一小時後記錄)

我們刻意挑選兩支目測粗細明顯不同(一支粗，一支細)的芹菜，拔除葉片後，再進行蒸散作用實驗，實驗結果如表 5-13 所示。

表 5-13 無葉芹菜葉柄粗細不同對蒸散作用的影響

(單位：ml)

| | 無葉的芹菜 粗細比較 | 剛放入芹菜 | 5 分鐘後 | 10 分鐘後 | 一小時後 | 量筒液面下降的總數 |
|-----|---------------|-------|-------|--------|------|-----------|
| 第一組 | 較粗的芹菜 | 7.2 | 7.0 | 6.8 | 6.5 | 0.7 |
| | 較細的芹菜 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 0.0 |
| 第二組 | 較粗的芹菜 | 9.9 | 8.3 | 7.8 | 6.8 | 3.1 |
| | 較細的芹菜 | 6.7 | 6.6 | 6.4 | 6.3 | 0.4 |
| 第三組 | 較粗的芹菜 | 7.6 | 7.4 | 7.2 | 6.8 | 0.8 |
| | 較細的芹菜 | 5.5 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 0.1 |
| 平均值 | 較粗的芹菜 | 8.2 | 7.6 | 7.3 | 6.7 | 1.5 |
| | 較細的芹菜 | 6.0 | 6.0 | 5.9 | 5.8 | 0.2 |

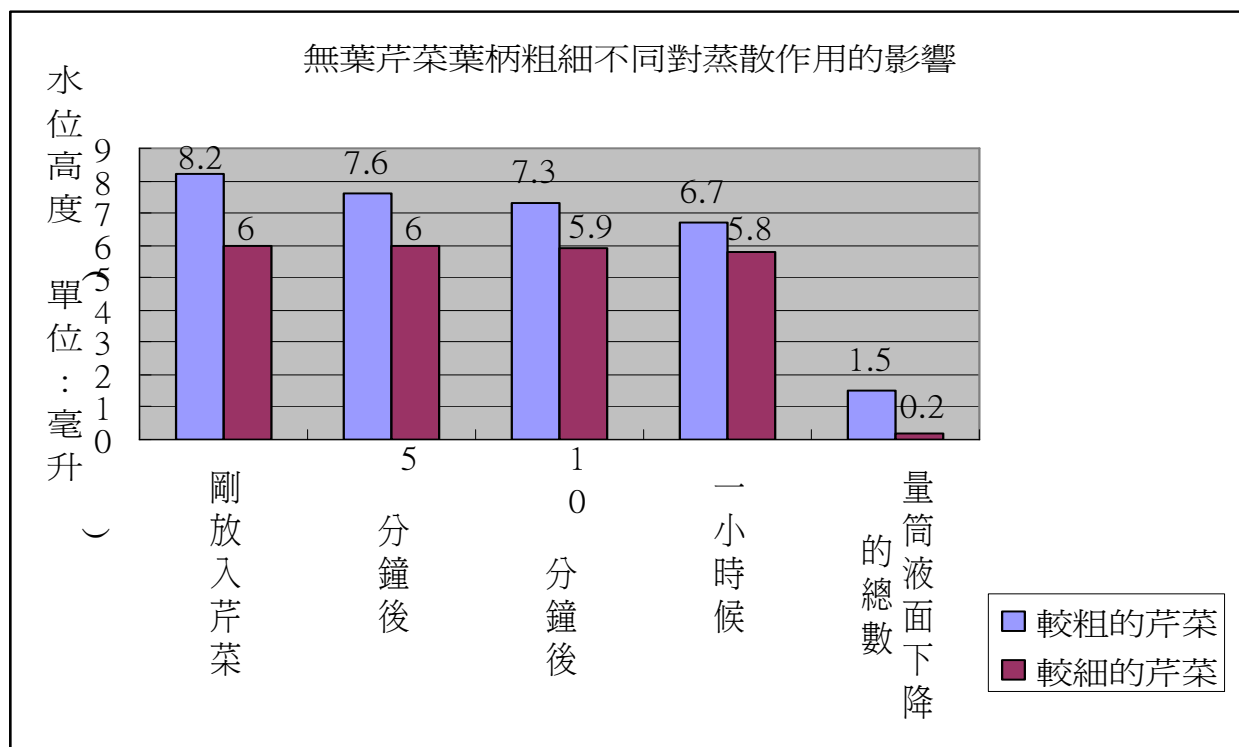


圖 5-11 無葉芹菜葉柄粗細不同對蒸散作用的影響(單位：ml)

結語由上述兩實驗(實驗 2、3)可得知：不論是有葉片或無葉片的芹菜進行蒸散作用，其結果都會受芹菜葉柄粗細不同影響。

附錄六、新舊蒸散作用實驗比較

單位：毫升

| 實驗項目 | 葉片有無 | 實驗編號 | 實驗開始後已歷經時間(分) | | | | | | | | | |
|----------|------|------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 去除芹菜內未蒸散水分* |
| 改良蒸散作用實驗 | 有葉 | A01 | 10.00 | 9.80 | 9.70 | 9.70 | 9.60 | 9.50 | 9.40 | 9.40 | 9.20 | 9.20 |
| | | A02 | 10.0 | 10.0 | 9.90 | 9.90 | 9.80 | 9.80 | 9.70 | 9.70 | 9.70 | 9.70 |
| | | A03 | 10.0 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.80 | 9.80 | 9.70 | 9.70 | 9.60 | 9.60 |
| | | 平均 | 10.0 | 9.90 | 9.83 | 9.83 | 9.73 | 9.70 | 9.60 | 9.60 | 9.50 | 9.50 |
| | | % | 100.00 | 99.00 | 98.30 | 98.30 | 97.30 | 97.00 | 96.00 | 96.00 | 95.00 | 94.70 |
| | 無葉 | B01 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.90 |
| | | B02 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.90 |
| | | B03 | 10.00 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.90 | 9.80 | 9.80 |
| | | 平均 | 10.00 | 9.97 | 9.97 | 9.97 | 9.93 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.87 | 9.87 |
| | | % | 100.00 | 99.70 | 99.70 | 99.70 | 99.30 | 99.00 | 99.00 | 98.70 | 98.70 | 99.70*** |
| 課本蒸散作用實驗 | 有葉 | C01 | 10.00 | 9.50 | 9.40 | 9.40 | 9.30 | 9.20 | 9.10 | 9.00 | 8.90 | 10.00 |
| | | C02 | 10.00 | 9.50 | 9.30 | 9.10 | 8.90 | 8.70 | 8.60 | 8.40 | 8.30 | 9.00 |
| | | C03 | 10.00 | 9.70 | 9.50 | 9.40 | 9.30 | 9.20 | 9.10 | 9.00 | 8.90 | 9.60 |
| | | 平均 | 10.00 | 9.57 | 9.40 | 9.30 | 9.17 | 9.03 | 8.93 | 8.80 | 8.70 | 9.53** |
| | | % | 100.00 | 95.70 | 94.00 | 93.00 | 91.70 | 90.30 | 89.30 | 88.00 | 87.00 | 95.30** |
| | 無葉 | D01 | 10.00 | 9.40 | 9.40 | 9.40 | 9.30 | 9.30 | 9.30 | 9.30 | 9.30 | 10.00 |
| | | D02 | 10.00 | 9.90 | 9.90 | 9.80 | 9.70 | 9.70 | 9.60 | 9.60 | 9.60 | 10.00 |
| | | D03 | 10.00 | 9.70 | 9.60 | 9.50 | 9.50 | 9.50 | 9.50 | 9.50 | 9.40 | 10.00 |
| | | 平均 | 10.00 | 9.67 | 9.63 | 9.57 | 9.50 | 9.50 | 9.47 | 9.47 | 9.43 | 10.00** |
| | | % | 100.00 | 96.70 | 96.30 | 95.70 | 95.00 | 95.00 | 94.70 | 94.70 | 94.30 | 100.00*** |

【評語】 030310

本研究設計改良現有國中「蒸散作用」之實驗課程，研究過程中能以模擬器材驗證改良方法之可行性，並在結論中提出簡易而可行之研究成果，研究態度值得鼓勵。