

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-生物科

科 別：生物科

組 別：高中組

作品名稱：馬齒莧的睡眠運動之再探討

關 鍵 詞：馬齒莧、睡眠運動

編 號：040707

學校名稱：

國立宜蘭高級中學

作者姓名：

李宗穎、陳均銘、陳佑銘、辜任廷

指導老師：

吳月鈴



馬齒莧的睡眠運動之再探討

壹、摘要及動機：

在國中時以”馬齒莧的睡眠運動”為題做科展，得到不錯的成績。而研究主要探討的四個大方向為（1）馬齒莧睡眠運動的特性（2）是否為概日韻律？（3）馬齒莧睡眠運動的機制（4）馬齒莧睡眠運動的意義。而我們已經透徹了解了馬齒莧睡眠運動的特性，且知它為一概日韻律，因此這次科展，我們將對馬齒莧睡眠運動的葉片開閉的機制及意義做深入探討。尤其在測量葉溫及蒸散方面，由上次科展較為麻煩的儀器，我們自行改良為更精準更方便的儀器，希望能有不錯的成果！

貳、研究目的：

- 一、睡眠運動是否有受器？
- 二、葉片開閉時水分如何移動？
- 三、馬齒莧睡眠運動的意義。

參、設備及器材：

馬齒莧、量角器、黑色廣告顏料、溼度計（附件圖）、溫度紀錄器、投影紙、紙膠帶、指甲油、顯微鏡。

肆、過程與結果：

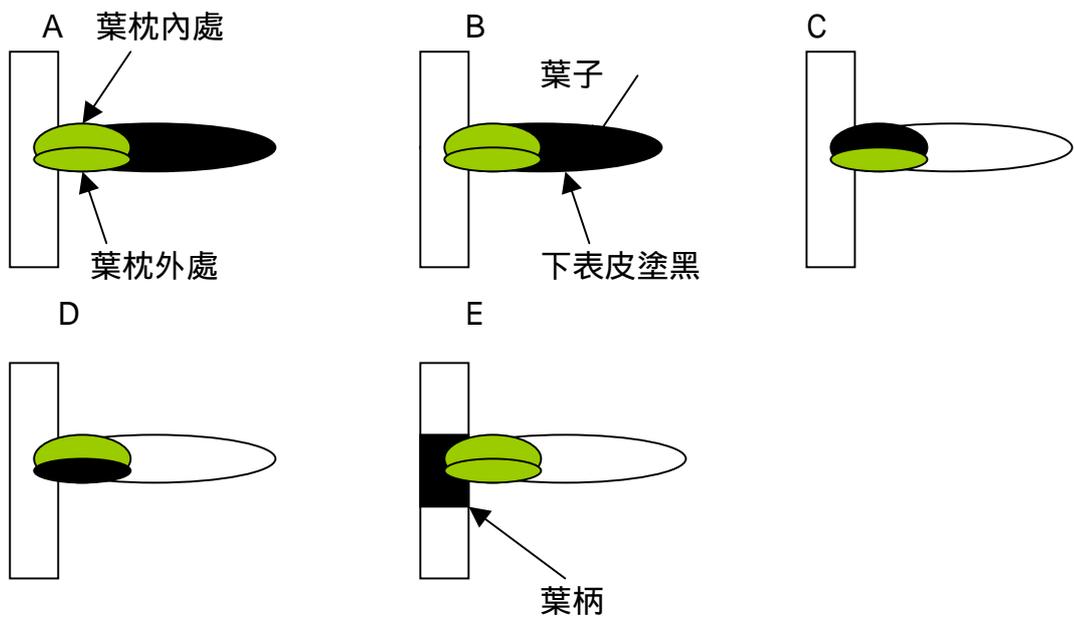
一、睡眠運動的受器

前言：在上一次的科展中，我們知道馬齒莧睡眠運動是一生理時鐘，但他也會對外界光暗的刺激做出反應（影響韻律），所以應該有光的受器；我們判斷受器應在葉片或葉枕，設法將這幾處隔絕光照，再觀察韻律性有無改變，應可找出受器。

實驗一：受器在哪裡？

（一）方法：

- 1、於晚上葉片閉合時，葉和莖的夾角為0度時，將同一株馬齒莧上的葉片分為六組，A組 - 將油漆塗抹在葉子上表皮。B組 - 將油漆塗抹在下表皮。C組 - 將油漆塗抹在葉枕內處。D組 - 將油漆塗抹在葉枕外處。E組 - 將油漆塗抹在葉柄。F組 - 不塗油漆，作為對照組。
（注意：陽光照射在各組葉片上的角度相同。）
- 2、在室外連續置放一天，於上午四點起每隔四小時使用量角器測量一次各組角度。
- 3、重複三次求平均值。

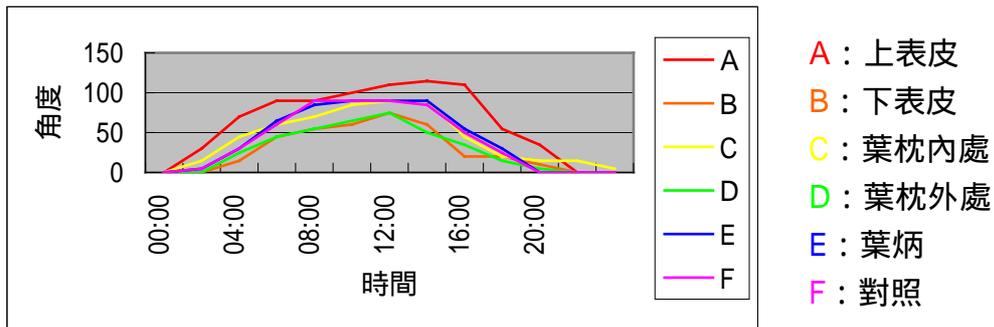


(二) 紀錄與結果：

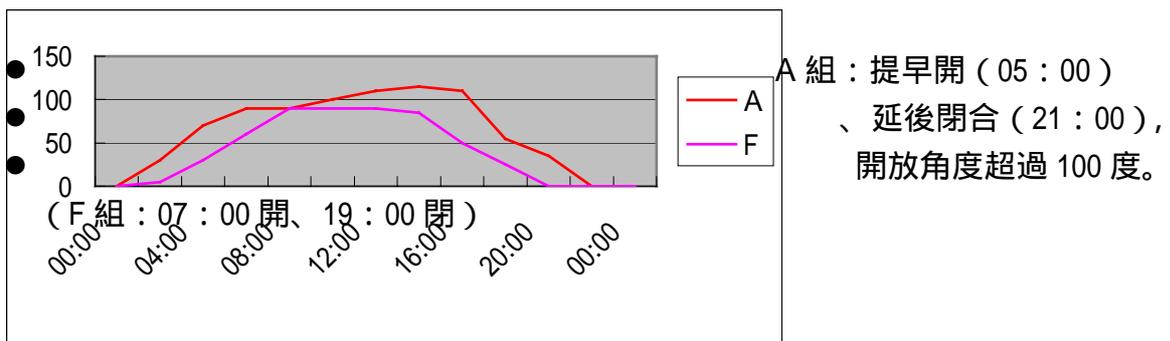
	24 : 00	04 : 00	06 : 00	08 : 00	12 : 00	14 : 00	16 : 00	17 : 30	19 : 30	22 : 00	24 : 00
A	0	70°	90°	90°	110°	115°	110°	60°	30°	0°	0°
B	0	15°	45°	55°	75°	60°	20°	20°	0°	0°	0°
C	0	45°	60°	70°	90°	90°	45°	30°	20°	15°	5°
D	0	25°	45°	55°	75°	50°	35°	15°	0°	0°	0°
E	0	30°	65°	85°	90°	90°	55°	30°	0°	0°	0°
F	0	30°	60°	90°	90°	85°	50°	30°	0°	0°	0°

(註：超過 70 度算開啟、低於 30 度算閉合。)

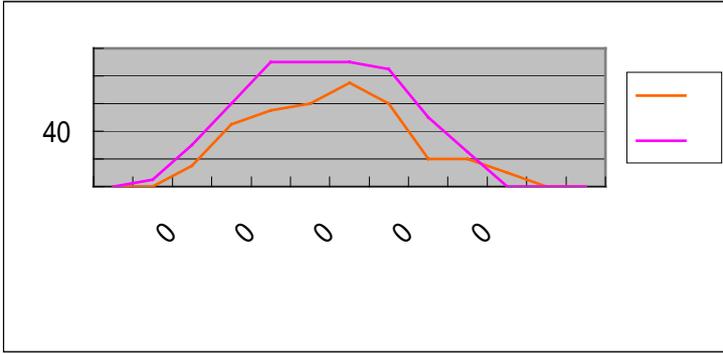
圖一 各組比較



圖二 A 組、F 組比較

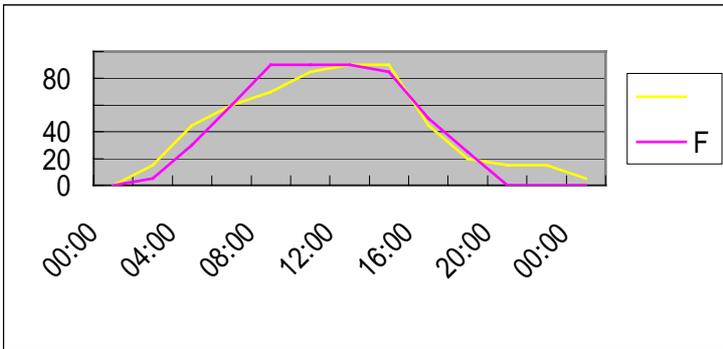


圖三 B 組、F 組比較



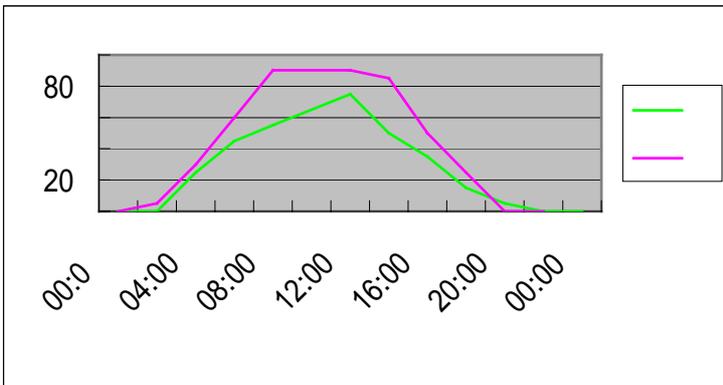
B 組：延後開（12：00）、
提早閉合（15：30），
開放角度未達
90 度。

圖四 C 組、F 組比較



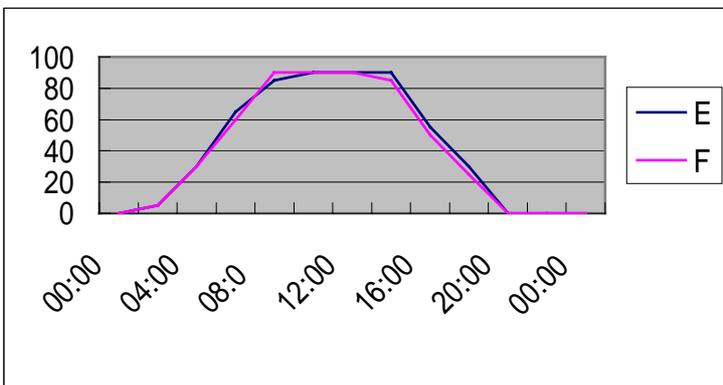
C 組：開閉正常，不受影響。

圖五 D 組、F 組比較



D 組：延後開（12：00）
、提早閉合（16：30），
開放角度未達 90
度。

圖六 E 組、F 組比較



E 組：開閉正常，不受影響。

(三) 討論：

- 1、 想要在細微的葉枕處隔絕日光不是用鋁箔紙或暗箱能做到的，我們試了很多方法，最後以塗上黑色顏料最方便。而且塗上顏料，葉片沒有萎縮或其他變化，推測對葉片的傷害不大，所以可以採用。
- 2、 B、D 組的結果都是：開放時間延後、閉合時間提早，且開放的角度縮小、仍有規律性，但強度減弱：即葉枕處所接受的刺激不足以改變規律性、但可加減表現強度。
- 3、 C 組（葉枕內處）、E 組（葉柄）的開閉角度的曲線大致和對照組吻合，不受隔絕光照影響。
- 4、 最值得探討的是 A 組（上表皮）的變化：提早開、延後閉，且開放角度達 115 度之大。根據這次的受器的實驗，我們證明，光並不是促使葉片開放的因子，因為如果是，A 組應該會延後開啟，甚至無法開啟。
- 5、 B、D、C、E 四處對韻律性無影響或只是減弱強度，所以應該不是主要受器分布處，A 處（葉的上表皮）處理後，韻律性明顯改變，所以上表皮應為睡眠運動的受器，而依據改變的結果：葉片開放超過 115 度，所以推斷，光線並非啟動開放的因素，較可能是：黑暗一段時間後：葉片開放。照光一段時間後：葉片閉合。

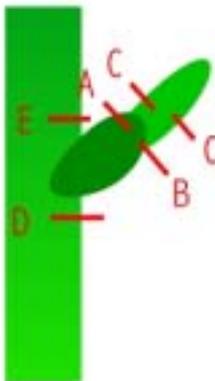
二、葉枕處水分的進出對馬齒莧葉片開閉的影響

前言：水分進出葉枕是引起睡眠運動的動力，我們想證實水分的確滲入葉枕附近的細胞內了，方法包括用解剖的方式或測量滲透勢的方式（這兩個方法以前用過了，只是以前只測葉枕處而忽略了他附近的細胞），或阻止水分移動：我們想在葉枕前後用塑膠片插入葉枕或葉柄內，阻止水分擴散或運輸，觀察葉片閉合是否有變化？

實驗二：水分往何處移動？

(一) 方法：

- 1、 於凌晨 2 點葉片閉合（葉片啟動開放時間之前 2 小時）葉片開起前兩個鐘頭時，將同一盆栽中的馬齒莧取七株分別為 A、B、C、D、E、G 七組。
- 2、 A 組 - 將投影紙切一小片，插在葉枕內處的上方（外）。B 組 - 將投影紙插在葉枕外處的上方（外）。C 組 - 將投影紙插在葉枕內外處的上方（外）。D 組 - 將投影紙插在葉枕下方的葉柄。E 組 - 將投影紙插在葉枕內上方的葉柄。G 組 - 不做改變，作為對照組。
- 3、 同一天上午四點起，使用量角器，測量各組葉片開起的角度。

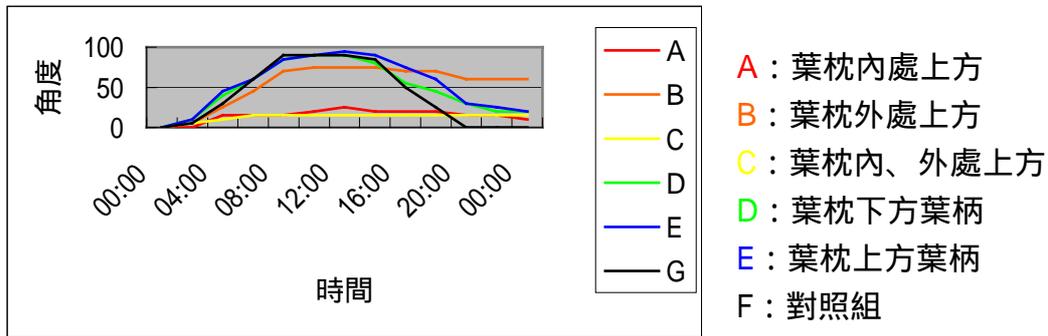


(二) 紀錄與結果：

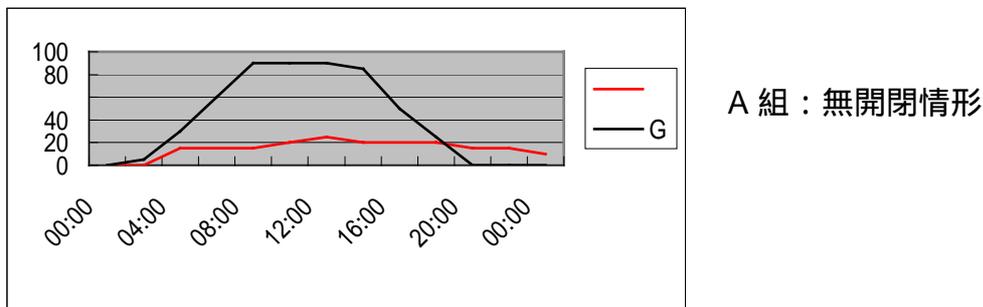
	04 : 00	06 : 00	08 : 00	12 : 00	14 : 00	16 : 00	17 : 30	19 : 30	22 : 00	24 : 00
A	15°	15°	15°	25°	20°	20°	20°	15°	15°	10°
B	25°	45°	70°	75°	75°	70°	70°	60°	60°	60°
C	10°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°
D	40°	60°	85°	90°	80°	55°	45°	30°	20°	20°
E	45°	60°	85°	95°	90°	75°	60°	30°	25°	20°
G	30°	60°	90°	90°	85°	50°	30°	0°	0°	0°

(注：超過 75 度算開啟、低於 25 度算閉合。)

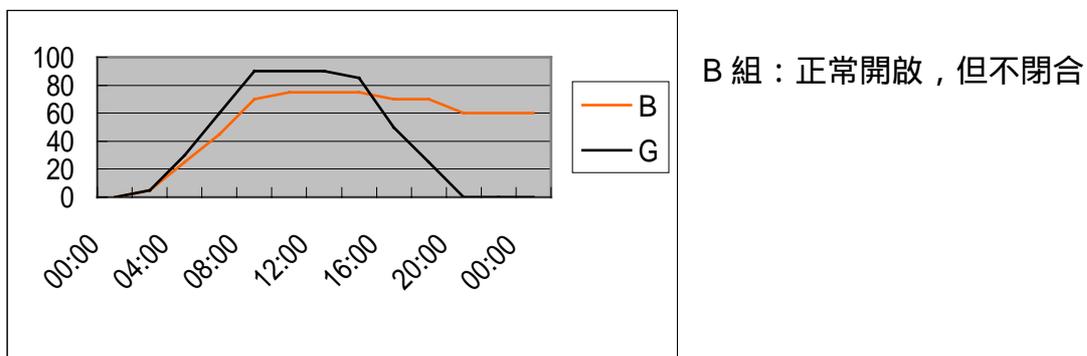
圖七 各組比較



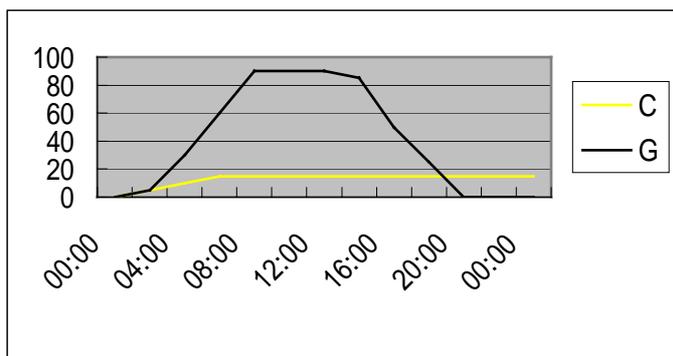
圖八 A 組、G 組比較



圖九 B 組、G 組比較

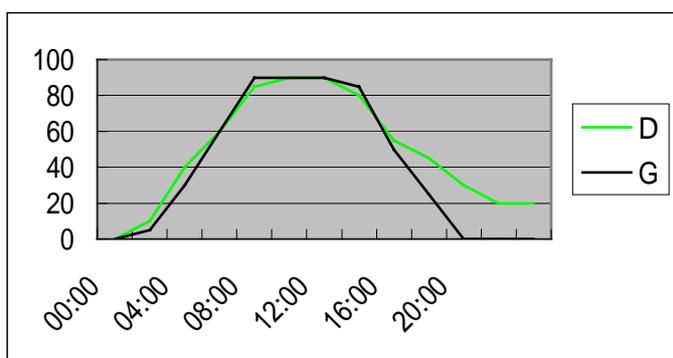


圖十 C 組、G 組比較



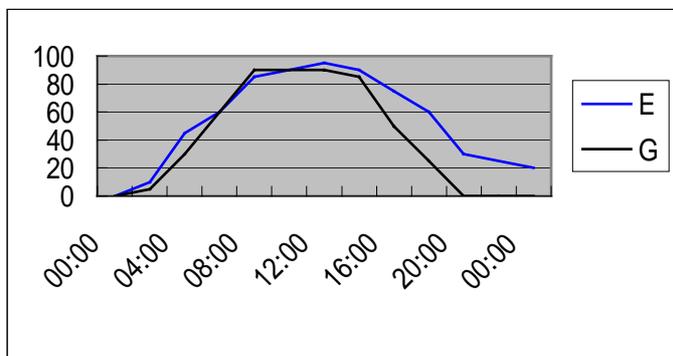
C 組：無開閉情形

圖十一 D 組、G 組比較



D 組：正常開閉

圖十二 E 組、G 組比較



E 組：正常開閉

(三) 討論：

- 1、根據上一次科展有關葉枕處滲透壓的測定，我們知道，白天因為葉枕內側的滲透勢小於葉枕外側，水分較容易進入內側造成內側膨壓漸大，所以葉片被由內向外壓，造成開放；相反的，夜晚內側滲透勢大於外側，水分滲入葉枕外側造成內側膨壓漸小，葉子由外向內壓，造成閉合。
- 2、A 組（葉枕內處上方）、C 組（葉枕內、外處上方）無開閉情形，B 組（葉枕外處上方）有開放、但未閉合，D 組（葉枕下方葉柄）、E 組（葉枕上方葉柄）正常開閉。
- 3、就葉片開啟而言，阻止水分進入葉枕內側，則葉片無法開啟，而由 A、

C 組無法開放，D、E 組則不受影響，可枝葉枕內側水分是由葉枕附近細胞滲透，而非由葉的維管束運輸進來；而由 B 組無法閉合、D、E 組不受影響，同樣可知，葉片閉合時，水分由葉枕外側附近滲透進入葉枕外側：即滲透壓的改變是葉枕附近細胞水分滲透的結果，而非由維管束運輸的水分供應。

三、馬齒莧睡眠運動的意義

- 閉合是否可以減少散熱及失水？

前言：(一) 這次因為有更精確方便的溫度紀錄器，可以長時間連續紀錄葉溫，應該可以做出更好的結果，我們還要設法讓葉片在夜晚時不閉合（用一些物理方法固定葉片），測出葉溫，和閉合重疊處比較。（這樣可以算出閉合時，減少葉面裸露的面積，所發揮的保溫效果）

(二) 這次重點之一放在找出方便精確的測水分的方法，上次實驗發現馬齒莧的蒸散作用在夜間仍非常旺盛（甚至比白天還高），當時因為對用氯化亞鈷測蒸散量的準確度不太有信心，所以把這種現象當作實驗誤差，未深入探討；科展時評分教授一眼看出我們的數據是對的，只是我們沒想到馬齒莧是 CAM 植物，所以這次除了測出蒸散量變化，也要針對氣孔量、開閉情形深入探討，量化葉片閉合和散熱、水分散失間的關係。

實驗三：在恆溫環境下，葉溫的變化（生長箱中 25 度 C）

(一) 方法：

- 1、將馬齒莧及溫度記錄器搬入生長箱（24°~25°）中。溫度記錄器有 1、2、3、4、5、6 號六條感溫線，可分別記錄六組不同的溫度，並自動將結果記錄在列印紙上。
- 2、選取馬齒莧上的 5 片葉子（篩選過）分為 A、B、C、D 四組。A 組 - 為正常開閉的葉片。B 組 - 在正常開閉的葉片下表皮，緊貼一片葉子，模擬葉閉合。C 組 - 用白膠將小衛生紙球卡在正常開閉的葉片葉枕內處，不讓他閉合。D 組 - 將葉片摘下，用牙籤固定立起，作為對照組。（測試葉片的材質在沒有代謝作用下，其表面溫度，可以得知代謝作用對葉溫的影響）
- 3、利用其中四條感溫線，分別貼在 A、B、C、D 四組對象上，開動紀錄器自動紀錄 48 小時的溫度。

實驗四：在自然變溫環境下，葉溫的變化

(一) 方法：

- 1、將待測的植株放置在室外，其餘步驟及方法同上。
(E 組：空氣中溫度)

實驗五：在溫度逆境下，葉溫的變化

(生長箱中：上午 35 度 C、晚上 10 度 C)

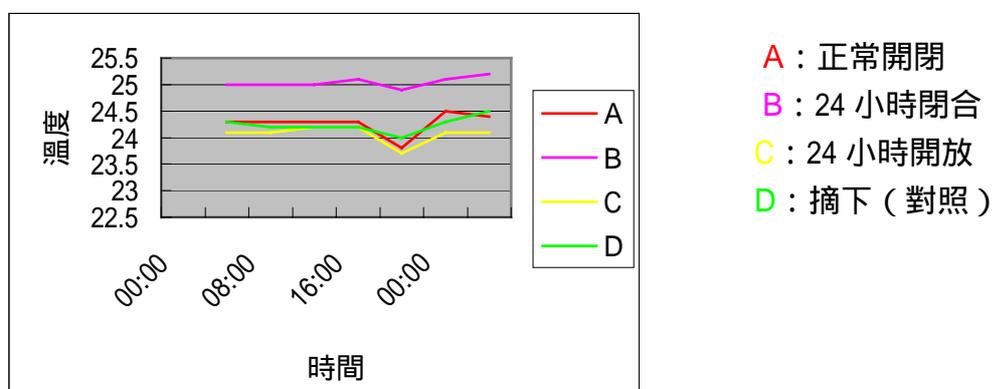
(一) 方法：同實驗三

(二) 紀錄與結果：

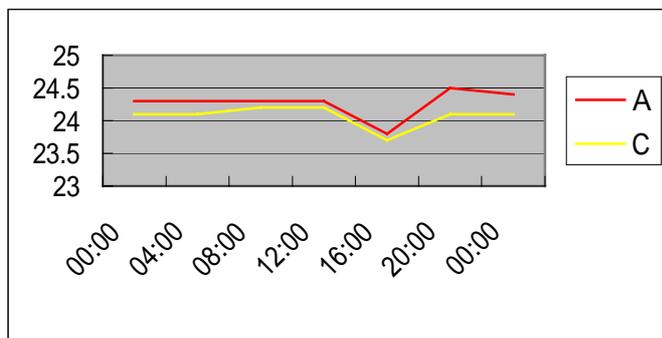
● 1、生長箱中：(25 度 C)

	00 : 00	04 : 00	08 : 00	12 : 00	16 : 00	20 : 00	00 : 00
A	24.3	24.3	24.3	24.3	23.8	24.5	24.4
B	25.0	25.0	25.0	25.1	24.9	25.1	25.2
C	24.1	24.1	24.2	24.2	23.7	24.1	24.1
D	24.3	24.2	24.2	24.2	24.3	24.3	24.5
生長箱	24.3	24.2	24.2	24.3	24.3	24.3	24.5

圖十四：生長箱中各組溫度比較：



圖十五：A、C 組比較



	00 : 00	04 : 00	08 : 00	12 : 00	16 : 00	20 : 00	00 : 00
A	24.3	24.3	24.3	24.3	23.8	24.5	24.4
C	24.1	24.1	24.2	24.2	23.7	24.1	24.1
相差值	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3

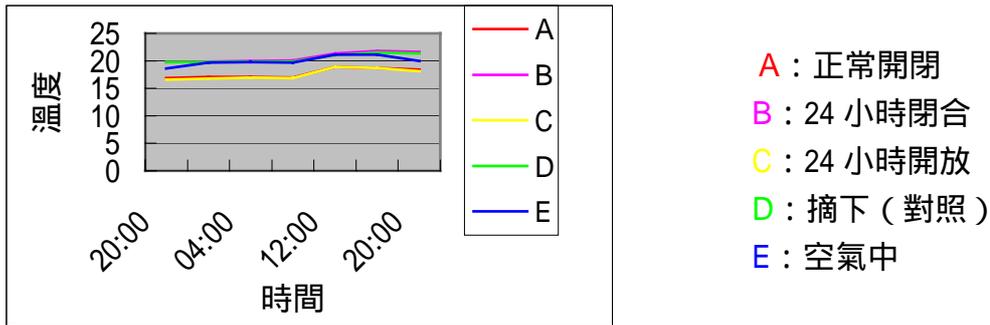
A：正常開閉

C：24 小時開放

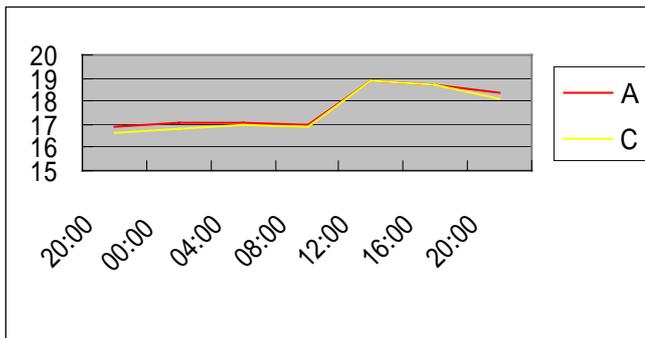
● 2、自然變溫環境下：

	20 : 00	00 : 00	04 : 00	08 : 00	12 : 00	16 : 00	20 : 00
A	16.9	17.1	17.1	17.0	18.9	18.7	18.4
B	19.8	19.9	20.0	20.1	21.3	21.8	21.6
C	16.6	16.8	17.0	16.9	18.9	18.7	18.1
D	19.8	19.8	19.9	19.9	21.0	21.5	21.3
E 空氣中	18.6	19.7	19.8	19.7	21.1	21.1	20.0

圖十六：室外各組溫度比較：



圖十七：A、C 組比較



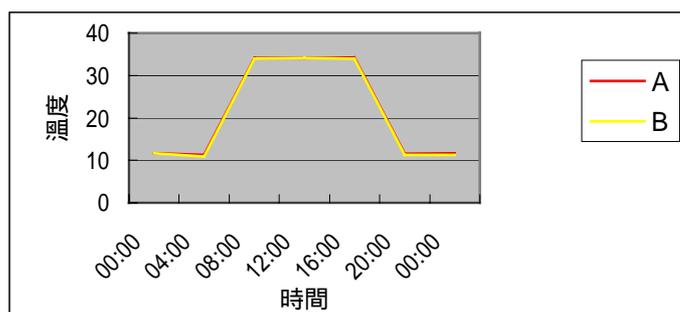
	20 : 00	00 : 00	04 : 00	08 : 00	12 : 00	16 : 00	20 : 00
A	16.9	17.1	17.1	17.0	18.9	18.7	18.4
C	16.6	16.8	17.0	16.9	18.9	18.7	18.1
相差值	0.3	0.3	0.1	0.1	0	0	0.3

A : 正常開閉 C : 24 小時開放

● 3、溫度逆境下：(上午 35 度 C、晚上 10 度 C)

	00 : 00	04 : 00	08 : 00	12 : 00	16 : 00	20 : 00	00 : 00
A	11.7	11.3	34.1	34.1	34.2	11.6	11.8
B	11.6	11.2	34.3	34.2	34.3	11.4	11.6
C	11.7	10.9	34	34.1	34.0	11.3	11.3

圖十八：A、C 組比較



A：正常開閉
C：24 小時開放

	00 : 00	04 : 00	08 : 00	12 : 00	16 : 00	20 : 00	00 : 00
A	11.7	11.3	34.1	34.1	34.2	11.6	11.8
C	11.7	10.9	34	34.1	34.0	11.3	11.3
相差值	0.1	0.4	0.1	0	0.2	0.3	0.5

(三) 討論：

- 1、無論在定溫或變溫、逆溫下，葉片溫度變化曲線都和外界平行。可知馬齒莧的葉溫變化並非內在調控，而以和外界環境、輻射、對流的物理作用為準。
- 2、在生長箱時（25、35、10 度 C）葉溫和室溫的差距較小，而在陽台時的差距則較大得多，可能是生長箱中的熱很均勻，且維持同一條件的時間很長，微環境的差異很小，所以差異變小。
- 3、從三個條件中（恆溫、自然、逆境）比較 A、C 二組：08：00~16：00：此時 A 和 C 葉片都是張開的，二組葉溫的差距是 0~0.1 度 C，但在夜間（20：00~08：00）（C 組葉片被用物理方式張開；而 A 組閉合）二組的葉溫差距變為 0.2~0.5 度 C，也就是說，在夜間葉片疊合的確有保溫的作用。而 B 組 ”24hr” 被迫葉片閉合更較其他組溫度高了 0.4~3 度 C，說明「閉合」確實有保溫作用。但因強迫閉合的方式是在葉片上加了白膠，這是否影響葉溫，則需更深入探討。在無法去除這項干擾因素前，這組結果僅供參考。
- 4、設計 B 組（強迫 24hr 閉合）、C 組（強迫 24hr 開放）的主要意義是要比較：在白天葉片開啟時，若葉片疊合是否能保溫？在晚上葉片閉合時，葉片疊合是否能保溫？若開啟是否會散失熱量？實驗結果顯然如我們所預期的：葉片疊合的確有保溫效果。而又以在低溫環境下，保溫效果更加明顯（圖十八）（差了 0.5 度 C）
- 5、設計白天 35 度 C、夜晚 10 度 C 的環境是要模仿馬齒莧的原生環境，想知道在溫差大的情況下葉片閉合是否發揮特別的功效。從結果看來，閉合可保溫，但和 25 度 C 的差異不大。

實驗六：葉片開閉情形和蒸散量的關係

(一) 方法：

- 將植株作如同實驗三的處理：
A 組：正常開閉 B 組：全天開放
- 再細分為三個小實驗：(1) 自然環境中。(2) 生長箱中 35 度 C。
(3) 生長箱中 10 度 C
- 使用溼度計測量蒸散值：先將待測的植株用透明小塑膠袋包住 (12 片)，隔絕外界空氣干擾，再將溼度計的感應器插入透明袋中，測量五分鐘，紀錄其變化值。
- 於早 (08:00)、中 (12:00)、晚 (18:00) 測量。

(二) 紀錄與結果：

● 1、自然環境下：

	08:00	11:00	14:00	17:00	19:00	20:00	22:00
Start	50 %	46 %	51 %	52 %	55 %	56 %	62 %
5 秒後	67 %	62 %	69 %	62 %	63 %	62 %	66 %
相差值	17 %	16 %	18 %	10 %	8 %	6 %	4 %

● 2、生長箱：35 度 C

35 度 C	8:00 早	變化值	12:00 中	變化值	18:00 晚	變化值
第一天 A	57 % ~ 63 %	6 %	58 % ~ 76 %	18 %	54 % ~ 68 %	14 %
B	55 % ~ 64 %	9 %	55 % ~ 78 %	23 %	54 % ~ 78 %	24 %
A B 差值		-3 %		-5 %		-10 %
第二天 A	56 % ~ 75 %	19 %	59 % ~ 88 %	29 %	48 % ~ 63 %	15 %
B	55 % ~ 79 %	24 %	58 % ~ 87 %	29 %	45 % ~ 67 %	22 %
A B 差值		-5 %		0 %		-7 %

● 3、生長箱：10 度 C

10 度 C	8:00 早	變化值	12:00 中	變化值	18:00 晚	變化值
第一天 A	56 % ~ 66 %	10 %	57 % ~ 64 %	7 %	56 % ~ 65 %	9 %
B	56 % ~ 70 %	14 %	56 % ~ 65 %	9 %	57 % ~ 66 %	9 %
A B 差值		-4 %		-2 %		0
第二天 A	61 % ~ 69 %	8 %	58 % ~ 73 %	15 %	55 % ~ 62 %	7 %
B	62 % ~ 73 %	11 %	57 % ~ 73 %	16 %	55 % ~ 66 %	11 %
A B 差值		-3 %		-1 %		-4 %

(三) 討論：

- 1、 白天 V.S 晚上：從葉片蒸散出的水分，白天 < 晚上，但蒸發到空氣中的水分，白天 > 晚上：晚上因為葉片閉合，減少蒸發面積，所以蒸散量較低。
- 2、 葉片開放 V.S 葉片閉合：從 35 度 C、10 度 C 的實驗中，A 組(正常) B 組(強迫 24hr 開放) 在 08:00~18:00 間，二組葉片皆為開放，二者蒸散量的差值也較小(0~4%)；而夜間(18:00~08:00) A 組葉片閉合，C 組的蒸散值明顯比 A 組高(最高差 10%)。可知：葉片閉合，確實有減少蒸散的作用。
- 3、 高溫 V.S 低溫(10 度 C V.S 35 度 C)：從實驗結果來看，高溫中(35) 葉片的蒸散量明顯比低溫中(10) 的蒸散量高(約 2 倍)。而高溫中，A 組較 C 組所減少蒸散的量也較低溫中多(10% V.S 4%)。所以，葉片閉合在高溫中的效能比在低溫中好。
- 4、 上次的科展使用氯化亞鈷紙，是測量一片葉子的上下表皮使氯化亞鈷紙變色的時間的變化，當時的數據恰巧和現在相反，白天的蒸散比夜晚來的慢，且差距滿大的，當初覺得奇怪，不能解釋，不過在做了下一個氣孔的實驗(實驗六)以及這個實驗後，經過比對，就可以徹底察覺其中的關聯性了(詳見實驗六及結論)。

實驗七：氣孔的開閉情形

(一) 方法：

- 1、 選定一盆馬齒莧後，從上午 04:00 起，每隔 2~3 小時，利用指甲油將之塗在葉子的上、下表皮，約 2 分鐘後將之撕起，置放在載玻片上，一旁註明時間，將之保存。
- 2、 使用顯微鏡觀察氣孔在各個時段的開閉情況及個數(400 倍)，算出氣孔開放率。

(二) 紀錄與結果：

● 1、下表皮：

	04:00	06:00	08:00	12:00	14:00	16:00	17:30	22:00	24:00
氣孔數 (400 倍)	7	8	8	7	7	7	8	8	7
開放數	4	5	3	1	1	1	2	8	6
開放率	57 %	63 %	38 %	14 %	14 %	14 %	25 %	100 %	86 %

● 2、上表皮：

	04：00	06：00	08：00	12：00	14：00	16：00	17：30	22：00	24：00
氣孔數 (400倍)	6	7	7	8	7	7	7	7	6
開放數	3	5	4	1	2	1	2	7	5
開放率	50 %	71 %	57 %	13 %	29 %	14 %	29 %	100 %	83 %

(三) 討論：

- 1、馬齒莧的上下表皮的分布情形以及個數差不多，且開閉狀況一致。
- 2、馬齒莧的氣孔白天幾乎呈現閉合狀態（8：00~17：30），到了晚上才打開。這點和一般植物早上氣孔打開、晚上閉合的情形顯然不同，而上一次的科展，就是少做了氣孔的觀察，才無法很完備的解釋馬齒莧葉片閉合時的蒸散以及葉溫的關係。
- 3、根據書上及網路上查詢的結果---馬齒莧是屬於光合作用 CAM（景天酸代謝）型的植物。這一型的植物氣孔白天閉合、到了晚上才開啟，這種方式有利於適應高溫、缺水的環境。白天天氣熱，氣孔閉合可避免水分過度散失，晚上溫度較低時開啟氣孔可進行氣體交換。
- 4、至於這跟馬齒莧葉片晚上閉合有什麼關係，我們在結論會做一個總整理。

伍、結論：

- 一、馬齒莧葉片開閉雖是生理時鐘，但外界光暗的刺激會加強或改變其強度、頻率。結果顯示，這個感應的受器大部分分布在葉的上表皮，其他地方也有受器分布，但數量較少。而另一重大的發現是：光並不是促使葉片開啟的因子，相反的，連續的黑夜才是使葉片開放的因子。
- 二、葉片開閉時膨壓的改變，是由葉枕處附近的水分進出（滲透）引起的，和莖的維管束運輸並無直接關係。

三、意義：

(一) 睡眠運動可減少熱量的損失：

葉片閉合可提高局部溫度至少 0.3 度 C 以上。馬齒莧葉片閉合時可減少約 1/2 的裸露面積，而整株植物的葉面積是相當大的，這些面積所覆蓋的質量更大，根據 $H = m \times s \times \Delta T$ ，可知 ΔT 雖不大，但 m 極大，所以節省的能量 H 也是相當大的。而另一解釋是利用牛頓的散熱定律：「散熱的容易與否 正比於 裸露的表面積」，馬齒莧葉片閉合減少了裸露面積，也更不易損失熱量了。

(二) 睡眠運動可減少水分的損失：

馬齒莧的氣孔在夜間時是開放的，水分蒸散在夜間的量比白天氣孔閉合時多，但葉片閉合使裸露面積減少，蒸發到空氣中的（透明袋中的水分）減少，即閉

合使水分蒸發減少，降低熱量散失，所以葉溫也提高了。

馬齒莧的睡眠運動使他在夜間低溫時，減少了熱量的散失，也保留了更多的水分，是他適應環境的利器。

四、其他：

在兩次的科展實驗中，我們發現「測量儀器方法」的改進左右了你設計實驗的方向及最終成果。比如：最早我們一直覺得閉合可以提高葉溫，但如果沒有可測量局部微小變化的溫度計，就無法證實我們的想法對錯。而上次的科展，我們一直想比較在不改變生理狀況下，葉片的開閉，是否影響溫度，但當時想不出辦法來強迫葉片閉合或開啟，所以沒作測試。這次我們想出了方法，使我們可以接續上次科展的實驗。尤其在測量「蒸散值」方面，更嘗試了很多方式，最後找到了市面電子式溼度計，利用已設計好的 IC 板來幫助我們轉換、量化訊息，比用氯化亞鈷紙簡單、準確多了。也比在實驗室中，動用數十萬的儀器便宜多了。所以「設計、改裝儀器」的能力也是該培養的，這也是我們兩次科展中的另一重大收穫！

陸、參考資料：

- 一、第四十一屆中小學科學展覽 國中組 馬齒莧的睡眠運動
- 二、中興大學植物系 中華農業氣象 翁仁憲 3(1)：1-7, 1996
作物之光合、呼吸及蒸散作用與其環境適應性之關係
- 三、指導老師：郭耀綸教授 學生：李淑珍（民 86）蒸散作用對葉溫的影響
- 四、中興大學土壤環境科學系 中華農業氣象 申雍、余淑玲 4(2)：81-86, 1997
熱逆境下水耕小白菜之光合、呼吸及蒸散作用
- 五、<http://www.lungteng.com.tw/LTnews/natural/10/new-mid.htm>

柒、附件

一、馬齒莧：



二、實驗三、四、五：(強迫開放)



三、實驗三、四、五：(強迫開放)

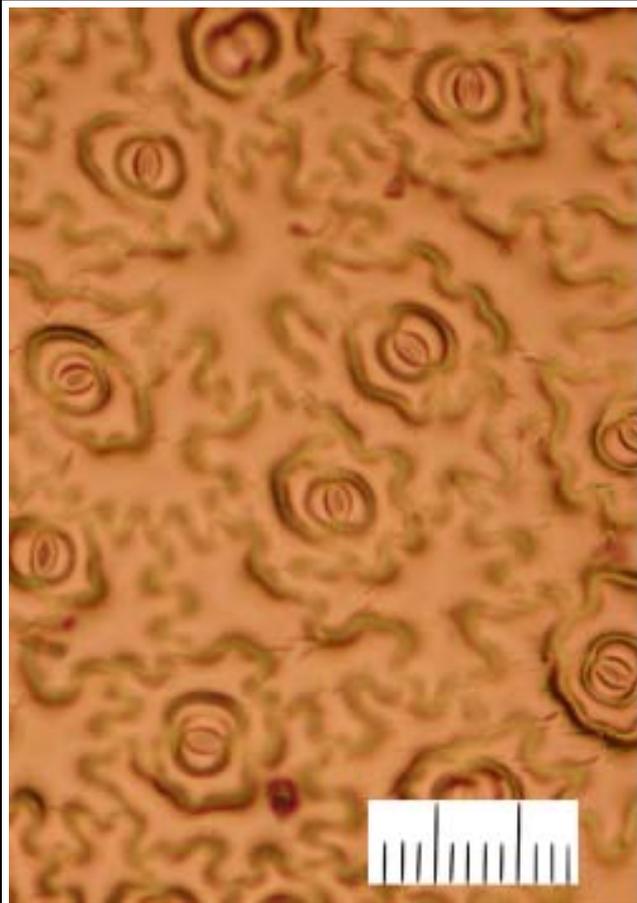


四、實驗六：(測量溼度)

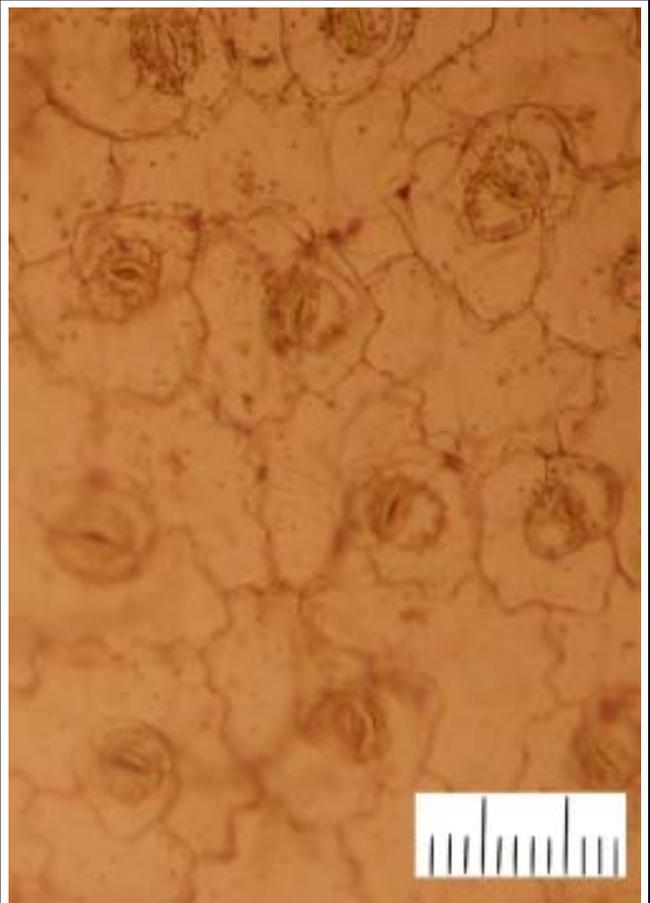


實驗四、五：(生長箱中：溫度紀錄器)





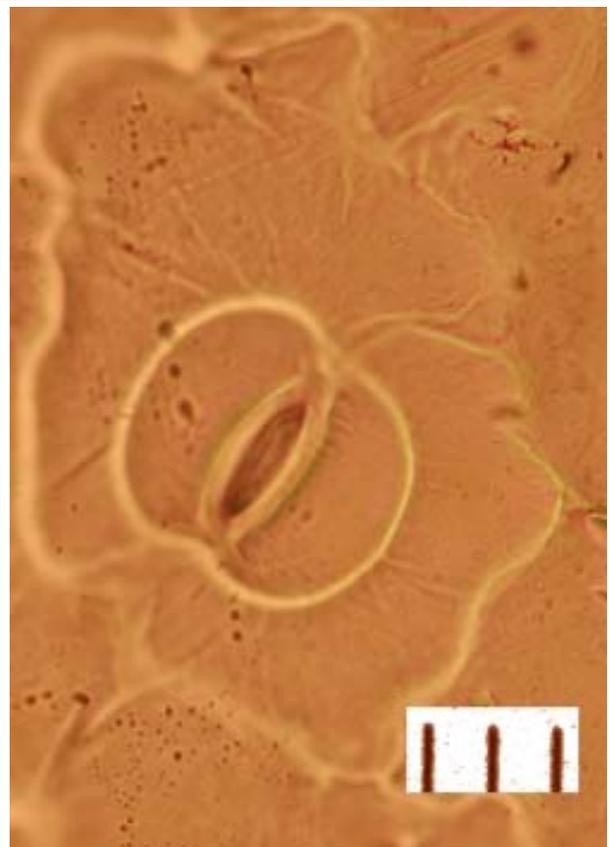
100X 上表皮



100X 下表皮



400X 下表皮 閉



400X 下表皮 開

040707 (第三名)

1. 利用投影片阻斷水分輸送，器材容易取得，頗具創意。
2. 植株小，要測量葉閉合角度，不好觀察，將來可思考利用定期攝影，與電腦連線處理。

過程嚴謹。