

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第一名

030312

不讓你睡

～睡眠運動植物適應時差變化節奏之研究

學校名稱：高雄市立五福國民中學

| | |
|-------------------------|---------------------|
| 作者： 國二 蔡佩穎 國二 劉丞軒 | 指導老師： 李正媚 陳富堅 |
|-------------------------|---------------------|

關鍵詞：睡眠運動、酢醬草、含羞草

得獎感言

通常，從國外旅遊回來，大部份的人都會有時差問題需要調整生物時鐘，那植物呢？這個答案被我們找到了，植物真的也會有時差問題。秉著這樣的初衷，我們利用酢醬草和含羞草葉片會開閉的睡眠運動特性作實驗，發現二種植物對於光線強弱的反應不同，清晨與傍晚，葉片開閉狀況也不同。

每個實驗都必須連續十八天的測量，期間調整二次十二小時較長的時差，發現酢醬草分別需二天和一天調整生物時鐘節奏配合新的光週期；含羞草在第一次時差後無調適期能立即配合新的光週期調整生物時鐘，第二次則須調適五天後才能發展新的生物時鐘。另一個實驗也是連續十八天的測量，期間調整二次六小時較短的時差，發現酢醬草的生物時鐘節奏無調適期，能立即配合時差調整新的生物時鐘；含羞草的生物時鐘分別需要調適三天和一天後才會發展出新的生物時鐘。研究過程中，最辛苦的部份莫過於以人工計算葉片的開閉情形，晝夜不分，每個小時須測量一次。

另外，我們也發現二種植物的「生物時鐘機制」影響睡眠運動的能力比「光線」的影響因素強。在恆亮、恆暗及亮暗交替的環境，酢醬草與含羞草仍會啟動睡眠運動，平均週期接近二十四小時。

還記得在全國科展比賽那天，會場裡高手雲集，一想到自己的對手都是各縣市精挑細選的第一名作品，就令我們頭皮發麻，一進到比賽場地時，覺得每一組的表現都非常優秀，讓我們更加緊張。平時犧牲午休及別人在玩樂休息的時間，在圖書館、網路查閱文獻及閱讀國內外相關資料，加上平日老師的辛勤指導，終究皇天不負苦心人，我們平時所累積的功力，在比賽當時發揮的淋漓盡致，順利奪魁。

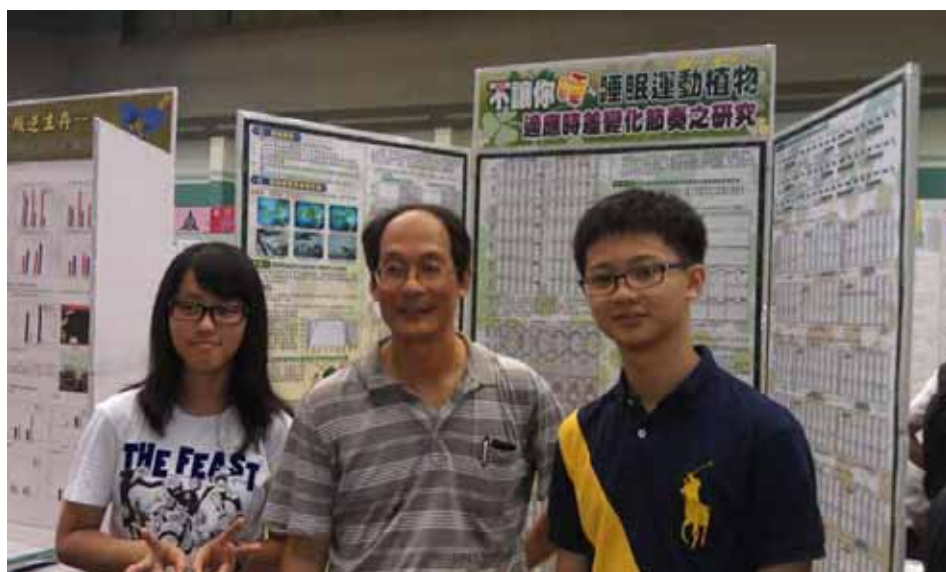
在這次科學展覽中，學到的不僅是從研究中所獲得的知識，同時也領悟到「團隊合作」的重要，研究科學的道路是不寂寞的，隊友之間的相輔相成才是研究的致勝之道。在研究的過程中，一個人的想法可能會有遺漏或是偏差，需要靠隊友的提醒與指點，才能發現其中的問題而導正。

科學研究使我們的視野更加開闊寬廣，在進行研究時，我們觀察到了許多現象及理論，查閱網路及國內外文獻資料後，才知道前人已有得到類似的結果，並能提供完整的理論，這使我深深覺得原來自己所學與課本所授的，僅為滄海之一粟，真是讓我獲益匪淺！

最後，能夠脫穎而出，要感謝許多默默在背後支持鼓勵我們的人。首先，感謝指導老師們，沒有您們的指導，我們就像大海裡沒有羅盤的一艘船，不知從何而來，也不知該航向何處；第二，感謝父母，因為有您們的支持與鼓勵，我們才有今天如此耀眼的成績！



即將到彰化比賽囉！



在佈置會場上和作品海報合照，留下紀念。



我們的努力總算沒白費，很高興拿到最高榮譽。

不讓你睡~睡眠運動植物適應時差變化節奏之研究

摘要

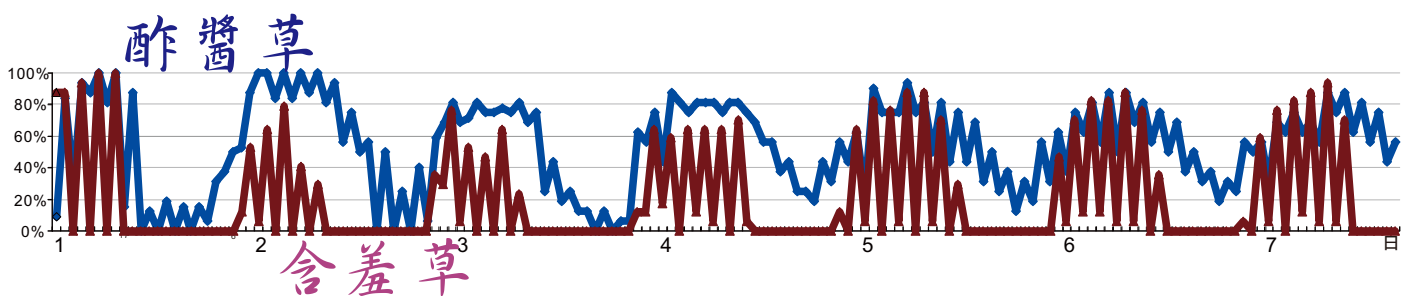
一天中，酢醬草葉片開展時間比含羞草長，清晨與傍晚，葉片開閉狀況也不同。

兩者均能配合12hr光週期穩定調整生物時鐘節奏；6hr光週期，酢醬草調適生物時鐘的能力較弱(與3hr、1hr光週期相似)，含羞草對光線敏感度高，能隨即配合光週期而調整。

在恆亮、恆暗及亮暗交替環境，酢醬草與含羞草仍啟動睡眠運動，平均週期接近24hr，推論二種植物的生物時鐘機制影響睡眠運動的能力比光線的影響強。

18天的12hr光週期中，調整二次12hr較長時差，酢醬草分別需2天和1天調整生物時鐘節奏配合新的光週期；含羞草在第一次時差後無調適期，第二次須調適5天。

相較之下，18天內調整二次6hr較短時差，酢醬草的生物時鐘節奏無調適期；含羞草的生物時鐘分別需要調適3天和1天。



壹、研究動機

從自然與生活科技課程中，我們知道酢醬草與含羞草等感夜性的高等植物，受其細胞內水分變化而改變膨壓，在傍晚或中午炎熱時，會閉合葉片進行睡眠運動。查閱文獻資料，多半只針對其中一種植物來進行研究與討論，鮮少對二種植物相互比較其特性，因此，我們想利用植物睡眠運動的特性，探討其生物時鐘面臨光週期及時差變化時是否被改變呢？

貳、研究目的

- 一、觀察酢醬草與含羞草葉片開閉的日律週期
- 二、比較酢醬草與含羞草的葉片受到刺激後的反應
- 三、探討不同光週期對酢醬草與含羞草的睡眠運動節奏之影響
- 四、探討酢醬草與含羞草適應光週期後進入恆暗環境的睡眠運動節奏之影響
- 五、探討恆亮及恆暗環境對酢醬草與含羞草的睡眠運動節奏之影響
- 六、探討時差變化對酢醬草與含羞草睡眠運動節奏之影響

參、研究設備及器材

數位攝影照相顯微鏡(Leica DM500)、USB 數位顯微鏡(USB G622)、數位相機、計時器、照度計、定時器、LED 燈、有蓋容器、載玻片、膠帶、解剖針、盆栽、電扇、吹風機、保冰袋、保利綸箱。

肆、研究過程

我們將葉片開閉的狀態分為 3 個階段(全開、半開、完全閉合)，每組實驗取數株狀況良好的酢醬草與含羞草進行實驗，重覆實驗後取平均值作為判斷葉片開展或閉合的依據。



酢醬草葉片全開

酢醬草葉片半開

酢醬草葉片完全閉合



一、觀察酢醬草與含羞草葉片開展的日律週期

(一) 將酢醬草與含羞草植栽到花盆(如下圖)，直到適應環境後，連續 7 日內，每小時觀察葉片開閉情形。



二、比較酢醬草與含羞草葉片受到刺激後的反應

(一) 在白天及晚上，分別以手觸動、以噴霧器噴水、吹冷風(強、弱)、吹熱風(強、弱)、低溫急降等刺激方式觀察酢醬草與含羞草的葉片開閉情形。



(二) 密閉容器內，分別放入酢醬草與含羞草，點燃 3 柱線香，加蓋密封，記錄葉片完全閉合時間。



三、探討不同光週期對酢醬草與含羞草的睡眠運動之影響

(一) 酢醬草與含羞草盆栽放入紙箱，夾掛 2 支接有定時器之 LED 燈，以黑色垃圾袋罩住。依照光週期設定，定時開關 LED 燈，改變明期與暗期環境，定時觀察記錄。



(二) 光週期的設定條件如下：

- 1、明期：暗期=12 hr：12 hr
- 2、明期：暗期= 6 hr： 6 hr
- 3、明期：暗期= 3 hr： 3 hr
- 4、明期：暗期= 1 hr： 1 hr

四、探討酢醬草與含羞草適應光週期後進入恆暗環境的睡眠運動之影響。

盆栽以人工光週期 6hr 種植 3 日後，置於恆暗環境 3 日，觀察並記錄葉片開展率。

五、探討恆亮及恆暗環境對酢醬草與含羞草的睡眠運動之影響。

- (一) 酢醬草與含羞草置於照光環境 6 日，每 1 小時觀察並記錄葉片開展率。
- (二) 酢醬草與含羞草置於暗期環境 5 日，每 1 小時觀察並記錄葉片開展率。

六、探討時差變化對酢醬草與含羞草睡眠運動節奏之影響。

(一) 盆栽以人工光週期 12hr 種植 3 日(明期 7:00~19:00、暗期 19:00~7:00)，使其適應。

(二) Day4 和 Day12 各調整時差延後 12 小時，其間則仍以 12hr 為光週期，觀察並記錄葉片開展率，共 18 天。方式如下：



(三) 重覆步驟(一)，Day4 將時差縮短 6 小時，Day12 時差延後 6 小時，其間則仍以 12hr 為光週期，觀察並記錄葉片開展率。



(四) 以人工光週期 12hr 種植 4 日，使其適應。

(五) Day5 調整時差縮短 6 小時，Day13 時差延後 6 小時，其間仍以 12hr 為光週期，觀察並記錄葉片開展率。



伍、研究結果與討論

一、觀察酢醬草與含羞草葉片開閉的日律週期

(一) 查閱文獻，此二種植物在生物學的分類地位與特性如下：

1、酢醬草

分類：被子植物門，雙子葉植物綱，酢漿草目，酢漿草科(Oxalidaceae)，酢漿草屬(*Oxalis*)

學名：*Oxalis corniculata*

別名：鹽酸仔草、酢漿草、酸味草、黃花酢漿草、三葉酸

植株形態：多年生匍匐性草本，喜歡潮濕肥沃的沙質土壤，但耐旱性強。

特性：節上長根，葉對生，具長柄小葉倒心形，花黃色，蒴果近圓柱形，略具5稜，熟時彈裂；種子深褐色，近卵形而扁，有縱槽紋。植物體明顯具蔓性莖；葉明顯莖生；花黃色。果莢成熟後，會彈出棕色種子。對環境要求不高，時常成為侵略地表植被的殺手。



2、含羞草

分類：被子植物門，雙子葉植物綱，豆目，豆科(Mimosoideae)，含羞草屬(Mimosa)

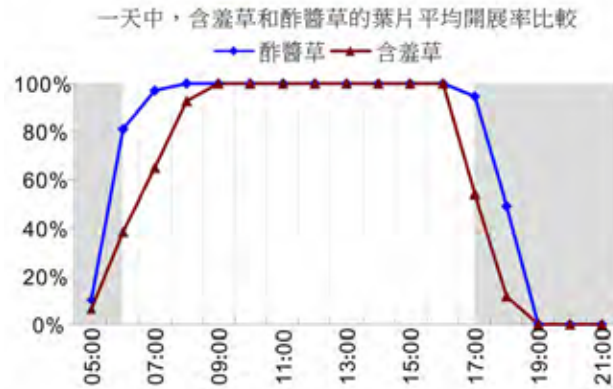
學名：*Mimosa pudica*

別名：知羞草、怕癢花、懼內草

植株形態：宿根性草本，匍匐性半灌木狀，二回羽狀複葉，兩面疏被毛，先端銳形。生性強健粗放，土質不拘，以砂質壤土生育最佳。性喜高溫，耐旱。

特性：葉互生，總柄很長，基部膨大成葉枕。全株生有毛茸及銳刺。運動現象是由於細胞內膨壓改變所造成，成熟的植物細胞有個大液泡，當液泡內充滿水份時，壓迫周圍的細胞質，使它緊貼細胞壁，而給予細胞壁一種壓力，就是膨壓。碰到葉子時，葉枕細胞受到刺激，產生去極化作用，細胞立刻失去水份，喪失膨壓，葉枕就變得癱軟，小羽片失去葉枕的支持，依次合攏起來。

(二) 連續測量多次酢醬草與含羞草葉片在一天中的開展率，取平均值，如圖(1)：



圖(1) 20°C，酢醬草葉片的開展時間比含羞草長，兩者的差異出現在 5:00~9:00 與 16:00~19:00，亦即此二種葉片對光線的敏感度不同。

- 1、20°C，連續 7 日測量平均值得知，一天中，酢醬草葉片的開展時間比含羞草長，如圖(1)。
- 2、酢醬草與含羞草葉片在 5:00 以後逐漸開展，9:00 以後全部開展，17:00 以後開始閉合，同一環境下，含羞草葉片全部閉合的時間比酢醬草早。兩者的差異出現在 5:00~9:00 與 16:00~19:00，顯示二者對光線的敏感度不同。
- 3、除了睡眠運動以外，二種植物是否有其他因素而造成葉片閉合呢？於是，我們進行下一個實驗。

二、比較酢醬草與含羞草葉片受到刺激後的反應。

(一)在白天進行的實驗，如表(1)

表(1) 葉片在白天的反應

| 刺激方式 | 刺激前狀態 | | 刺激後狀態 | |
|-----------|--------|-----|-----------------|------------------------------------|
| | 含羞草 | 酢醬草 | 含羞草 | 酢醬草 |
| 用手接觸 | 葉片全部開展 | | 立即閉合 | 5min 後，葉片慢慢閉合 |
| 噴水霧 | | | 小水滴不影響，大水滴則立即閉合 | 20min 後，葉片慢慢閉合 |
| 吹冷風(強) | | | 立即閉合 | 15~18min 後，葉片慢慢閉合 |
| 吹冷風(弱) | | | 全部開展 | 全部開展 |
| 吹熱風(強) | | | 立即閉合 | 全部開展 |
| 吹熱風(弱) | | | 立即閉合 | 全部開展 |
| 低溫急降至 8°C | | | 全部開展 | 全部開展 |
| 低溫急降至-4°C | | | 立即閉合 | 30min 後，葉片支撐力較差； 60min 後，葉片慢慢閉合 |

- 1、酢醬草的觸發運動不明顯，回應刺激的方式比含羞草緩慢，但是酢醬草的葉片仍會因為外在刺激改變膨壓而逐漸閉合。
- 2、含羞草葉片能適應環境的小改變而不閉合，例如微風吹拂、早晚氣溫的變化等。只要羽狀複葉或葉瓣互相碰觸即會產生閉合現象。



(二)在夜晚進行的實驗，如表(2)：

表(2) 葉片在晚上的反應

| 刺激方式 | 刺激前狀態 | | 刺激後狀態 | |
|--------|--------|-----|-------|-----|
| | 含羞草 | 酢醬草 | 含羞草 | 酢醬草 |
| 用手接觸 | 葉片全部閉合 | | 葉柄下垂 | 無反應 |
| 噴水霧 | | | 無反應 | |
| 吹冷風(強) | | | | |
| 吹冷風(弱) | | | | |
| 吹熱風(強) | | | | |
| 吹熱風(弱) | | | | |
| 低溫急降 | | | | |

- 1、酢醬草葉片在閉合狀態下，任何刺激方式都不產生反應。
- 2、以手碰觸含羞草，葉柄會垂得更低，其餘的刺激則無反應。
- 3、歸納實驗，推論日夜的溫差應不會對葉片開閉造成太大的影響。

(三) 密閉容器內，放入含羞草或酢醬草盆栽與點燃的線香，觀察葉片開閉情形。



葉片張開狀態下進行實驗



密封罐



盆栽及線香放入密封罐



實驗開始



線香煙霧佈滿容器內



觀察葉片開閉情形

- 1、線香熄滅後，含羞草的葉片比酢醬草較快速閉合，如表(3)：

表(3) 密封罐內，葉片閉合情形

| 盆栽 | 線香燃燒情形 | 葉片開閉情形 | | |
|-----|-------------|--------|---------|--------------------|
| 酢醬草 | 約 20min 後熄滅 | 線香熄滅後 | 約 58min | 葉片全部閉合，照光後 逐漸開展 |
| 含羞草 | | | 約 38min | |

- 2、實驗後，葉片已遲鈍無法再張開，皆於實驗完第三天完全枯死。
- 3、含羞草葉片對於外來刺激比較敏感，酢醬草葉片則較無明顯的變化或緩慢閉合。

(四) 從文獻與實驗得知，光線對二種植物葉片閉合的影響較大，因此，我們聚焦於光線來進行研究。

三、比較不同光週期對酢醬草與含羞草的睡眠運動之影響。

(一) 我們嘗試以葉下表皮拓膜標本來觀察氣孔的開閉情形，如圖(2)



在酢醬草與含羞草葉片下表皮塗透明指甲油



待酢醬草與含羞草葉片上的指甲油完全乾燥(約 10min)，再以透明膠帶貼住並按壓



完成的玻片寫下製作時間



在顯微鏡下觀察氣孔



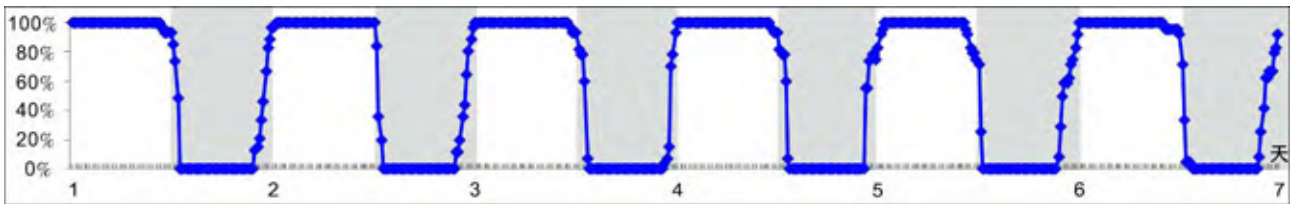
隨機移動玻片，在顯微鏡下觀察並拍照

1. 計算總氣孔數，氣孔張開數與閉合數。
2. 隨機移動玻片共 3 次，記錄同一葉片上總氣孔數，氣孔張開數、閉合數，取平均值。
3. 每 1hr 觀察酢醬草與含羞草下葉片氣孔變化。

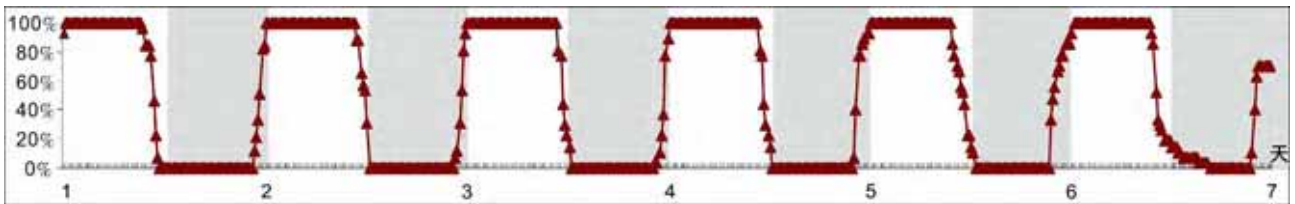
圖(2) 葉片拓膜的製作相當困難，碰觸開啟的含羞草葉片下表皮塗指甲油常會因膨脹改變而導致葉片晃動。酢醬草葉片嬌嫩，塗指甲油後不易脫離葉片並導致破碎，因此，我們選擇葉片開閉來觀察睡眠運動。

(二)光週期為 12 小時 (明期 7:00~19:00、暗期 19:00~7:00)，圖(3)

連續 6 日的酢醬草葉片開展率，每 15min 觀察一次



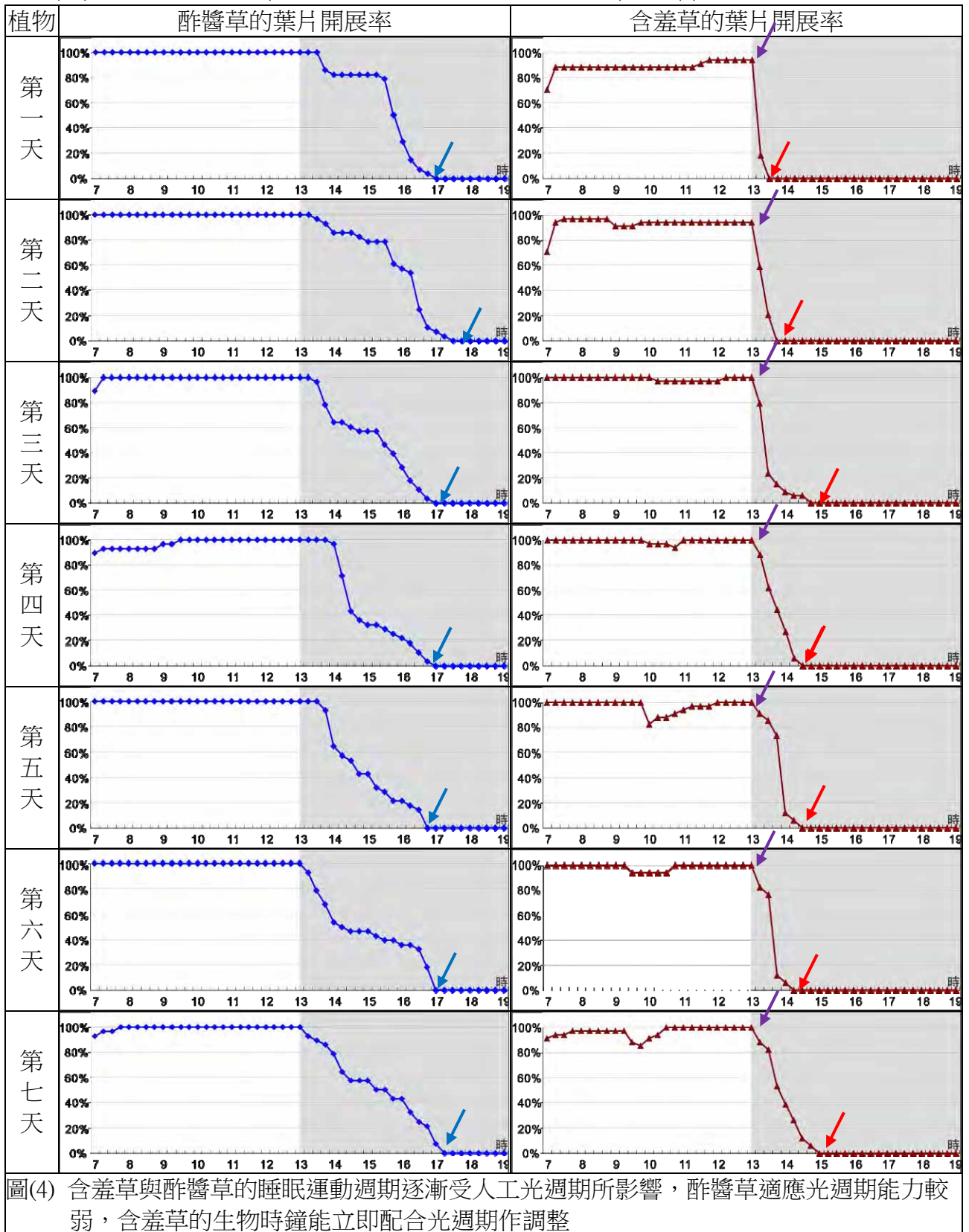
連續 6 日的含羞草葉片開展率，每 15min 觀察一次



圖(3) 光週期為 12hr，酢醬草與含羞草的生物時鐘隨著明期而開啟葉片，暗期葉片則完全閉合，與正常照光時的生物時鐘稍有不同

- 1、實驗得知，酢醬草與含羞草的生物時鐘隨著明期而開啟葉片(幾乎達 100%)、暗期葉片則完全閉合，與正常照光時的生物時鐘稍有不同，但是均能配合人工光週期而穩定調整生物時鐘的節奏。因此，再次確認光線仍是影響睡眠運動的主要因素。
- 2、連續 6 日，每隔 15min 記錄葉片開閉狀況，是為了減少觀測時的誤差，實驗測得其生物時鐘的節奏可隨著光線作調整。接下來，我們想縮短光週期的時間來觀測葉片開閉的狀況，礙於上學的作息，於是將光週期的實施時間設定在每日 7:00~19:00，19:00~翌日 7:00 則置於暗期。
- 3、為了簡化實驗觀察，曾經嘗試以攝錄方式來計算葉片開閉數，卻發現不易完整計算葉片開閉狀況，於是捨棄攝錄而改採人工計算方式。

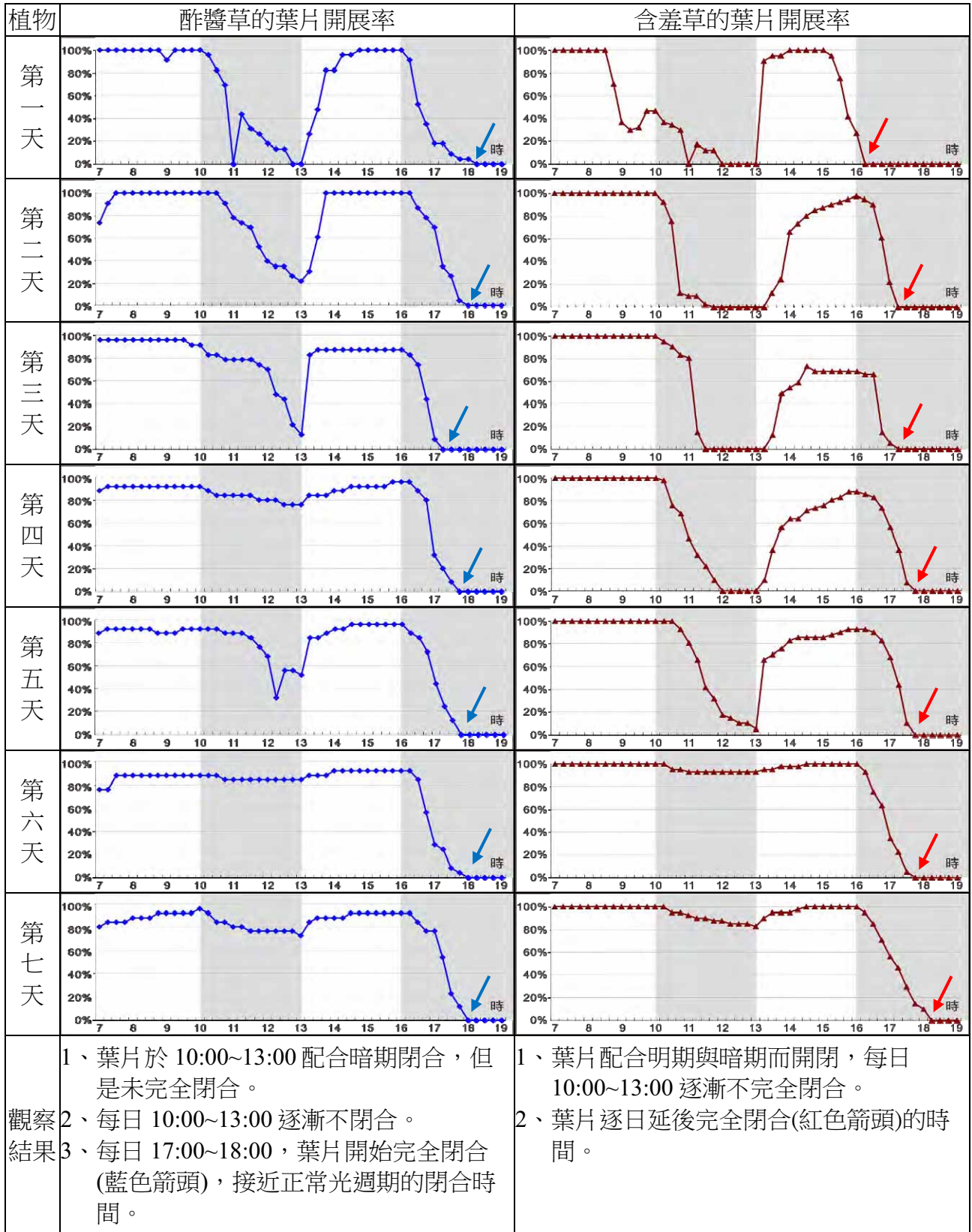
(三)光週期為 6 小時 (明期 7:00~13:00、暗期 13:00~19:00)，圖(4)



圖(4) 含羞草與酢醬草的睡眠運動週期逐漸受人工光週期所影響，酢醬草適應光週期能力較弱，含羞草的生物時鐘能立即配合光週期作調整

- 1、酢醬草適應光週期能力較弱，但調整其生物時鐘逐漸適應新週期，對照於正常光週期，13:00~17:00 雖處於暗期，酢醬草葉片仍會開啟，但開展率逐日降低。葉片完全閉合的時間仍在 17:00 以後(藍色箭頭)。
- 2、13:00 以後含羞草隨即調整生物時鐘而閉合葉片進入暗期(紫色箭頭)，但逐日延後葉片完全閉合的時間(紅色箭頭)。
- 3、含羞草與酢醬草的睡眠運動週期逐漸受人工光週期所影響。

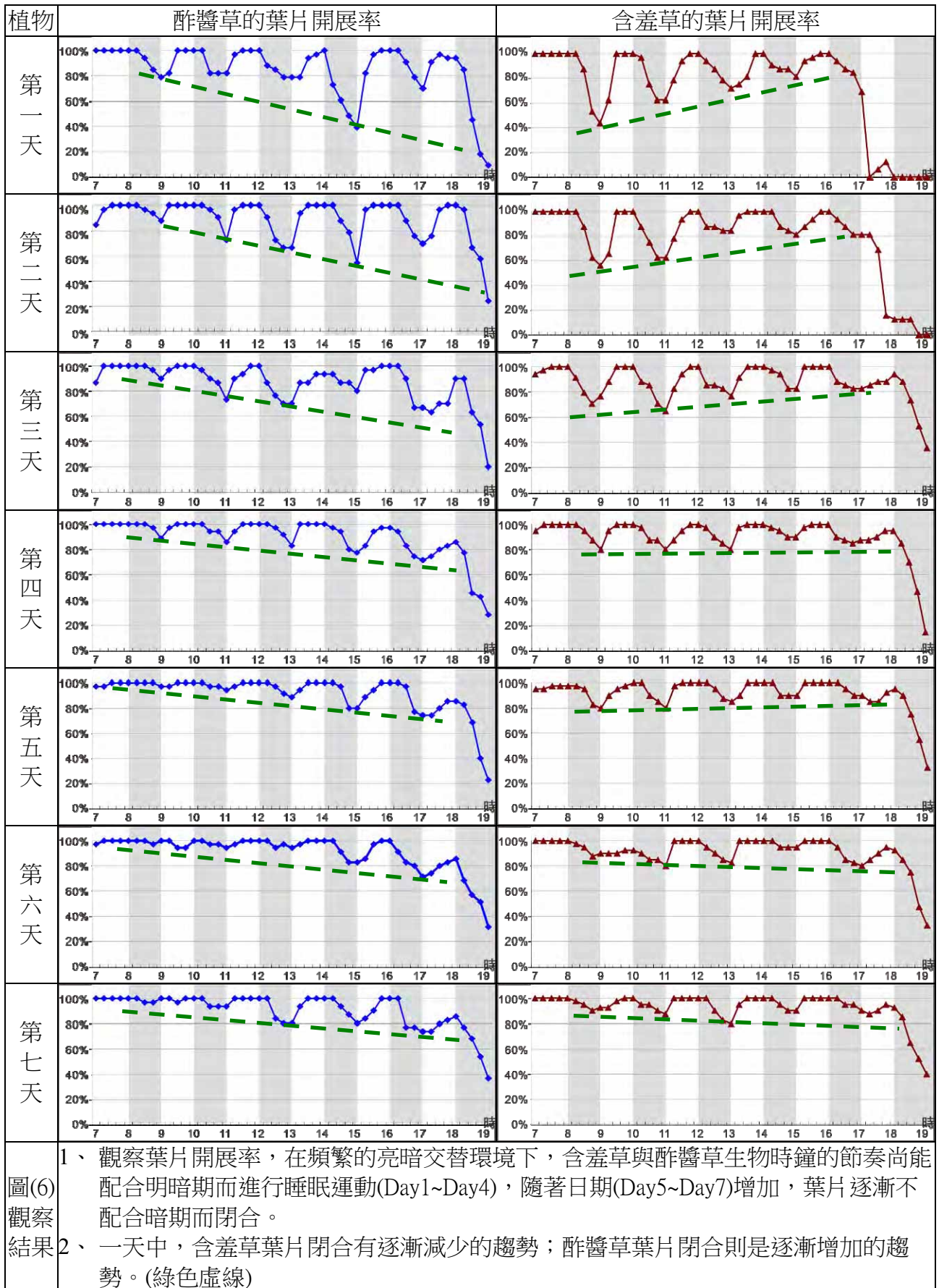
(四)光週期為 3 小時 (明期 7:00~10:00、13:00~16:00，暗期 10:00~13:00、16:00~19:00)，圖(5)



圖(5) 含羞草配合新的光週期進行睡眠運動，但酢醬草需要較長時間配合新的光週期，顯示含羞草葉片敏感度比酢醬草高。

(五)光週期為 1 小時，圖(6)

(明期：7:00~8:00，9:00~10:00，11:00~12:00，13:00~14:00，15:00~16:00，17:00~18:00、
暗期：8:00~9:00，10:00~11:00，12:00~13:00，14:00~15:00，16:00~17:00，18:00~19:00)

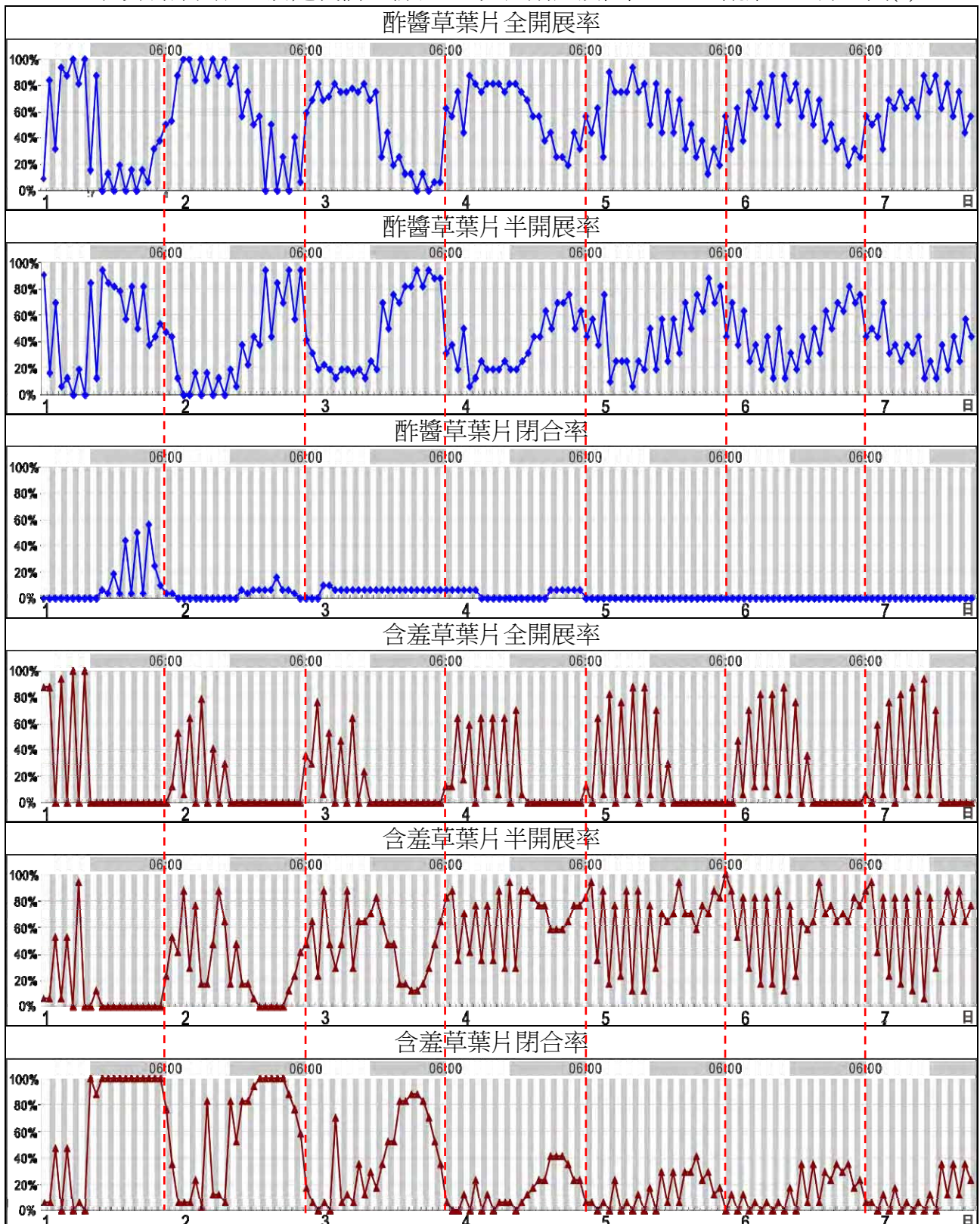


(六) 實驗觀察(圖(7))，新長出的嫩葉(盆栽右側)顏色較淡，對光的反應快，睡眠運動週期比一般成熟的葉片長。



圖(7) 右側的嫩葉顏色較淡，對光的敏感度高，左圖是剛開啟箱子時拍的照片，右圖可看見嫩葉已閉合(紅色框)，其餘葉片仍開啟

(七) 人工光週期 1hr 的實驗，發現酢醬草和含羞草在 19:00 均快速降低葉片開展率，是否另有原因呢？於是我們重新以 1hr 光週期連續種植 7 日，觀察並記錄。圖(8)



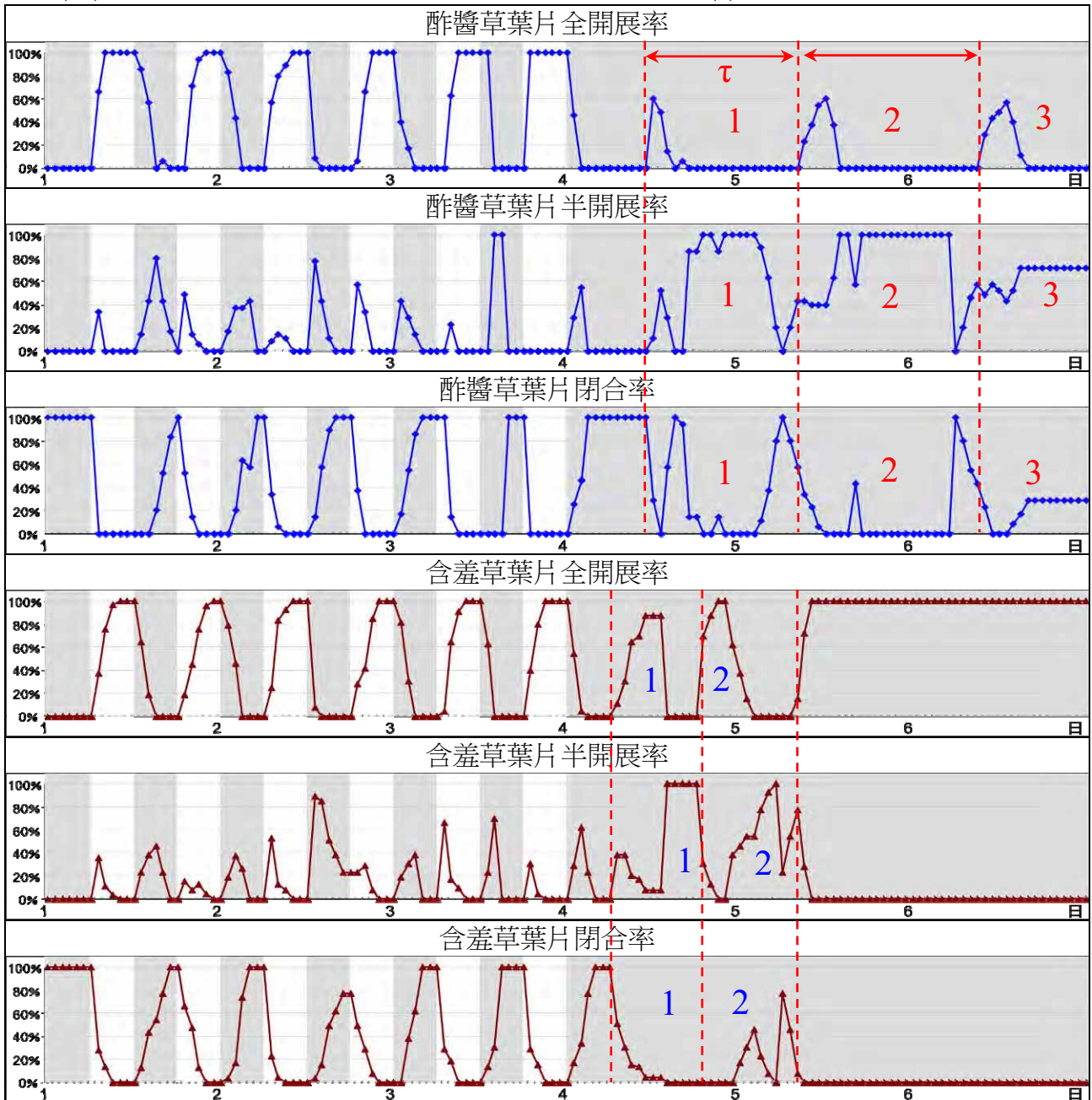
圖(8) 連續以 1hr 人工光週期處理 7 日，由圖中的曲線可看出其生物時鐘仍主宰葉片的開閉，而含羞草對光線的敏感有較明顯的起伏。

- 1、在亮暗交替的環境，二種植物葉片雖然配合光線而開閉，但仍可由圖中看出規律的時間控制，與生物時鐘極相似，二種植物在上午 6:00 後葉片開展率逐漸增加。
- 2、由圖形中可看出其生物時鐘仍主宰葉片的開閉，含羞草對光線的敏感造成圖中的曲線有較明顯的起伏。

3、我們大膽的推論，二種植物啟動生物時鐘機制優於光線改變植物內在規律的時間控制。

四、探討酢醬草與含羞草適應光週期後進入恆暗環境的睡眠運動節奏之影響。

(一) 光週期為 6 小時連續 3 日，置入恆暗環境 3 日，圖(9)

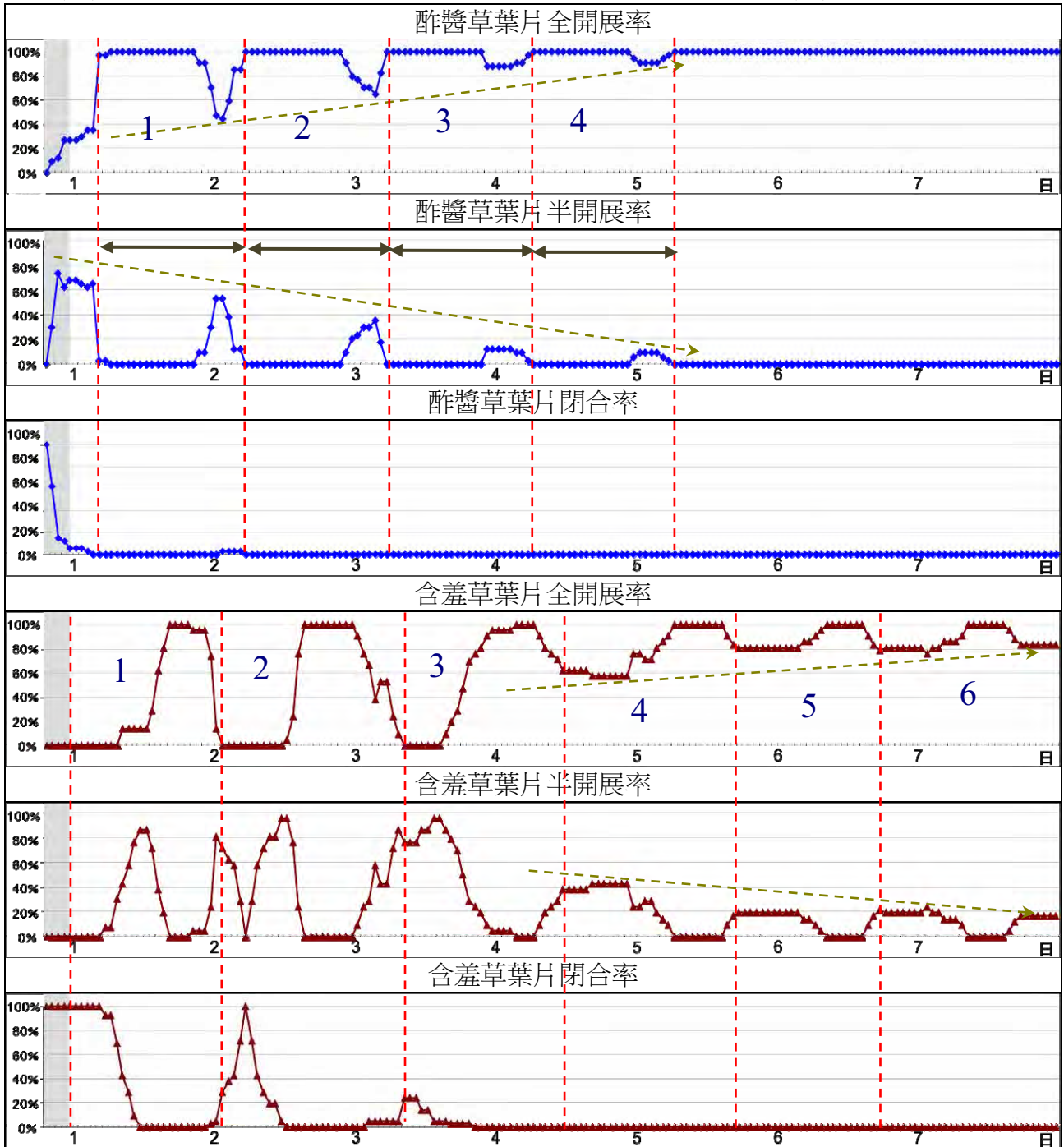


圖(9) 6hr 人工光週期 3 日，在恆暗環境，酢醬草約有 3 次較明顯的睡眠運動；含羞草約有 2 次較明顯的睡眠運動，之後失去調適睡眠運動的功能。

(二) 連續 6hr 人工光週期 3 日後，在恆暗環境下，酢醬草約有 3 次睡眠運動，平均週期約 24hr(全開展率圖之 τ)，受 6hr 人工光週期的影響較小；含羞草約有 2 次睡眠運動，之後失去調適睡眠運動的功能，葉片保持開展。推測調整 3 日光週期 6hr，當進入恆暗環境時，對植物內在性規律時間控制系統的影響不大。

五、探討恆亮及恆暗環境對酢醬草與含羞草的睡眠運動節奏之影響。

(一) 在連續 6 日的恆亮環境，每 1 小時觀察葉片的開閉情形，圖(10)



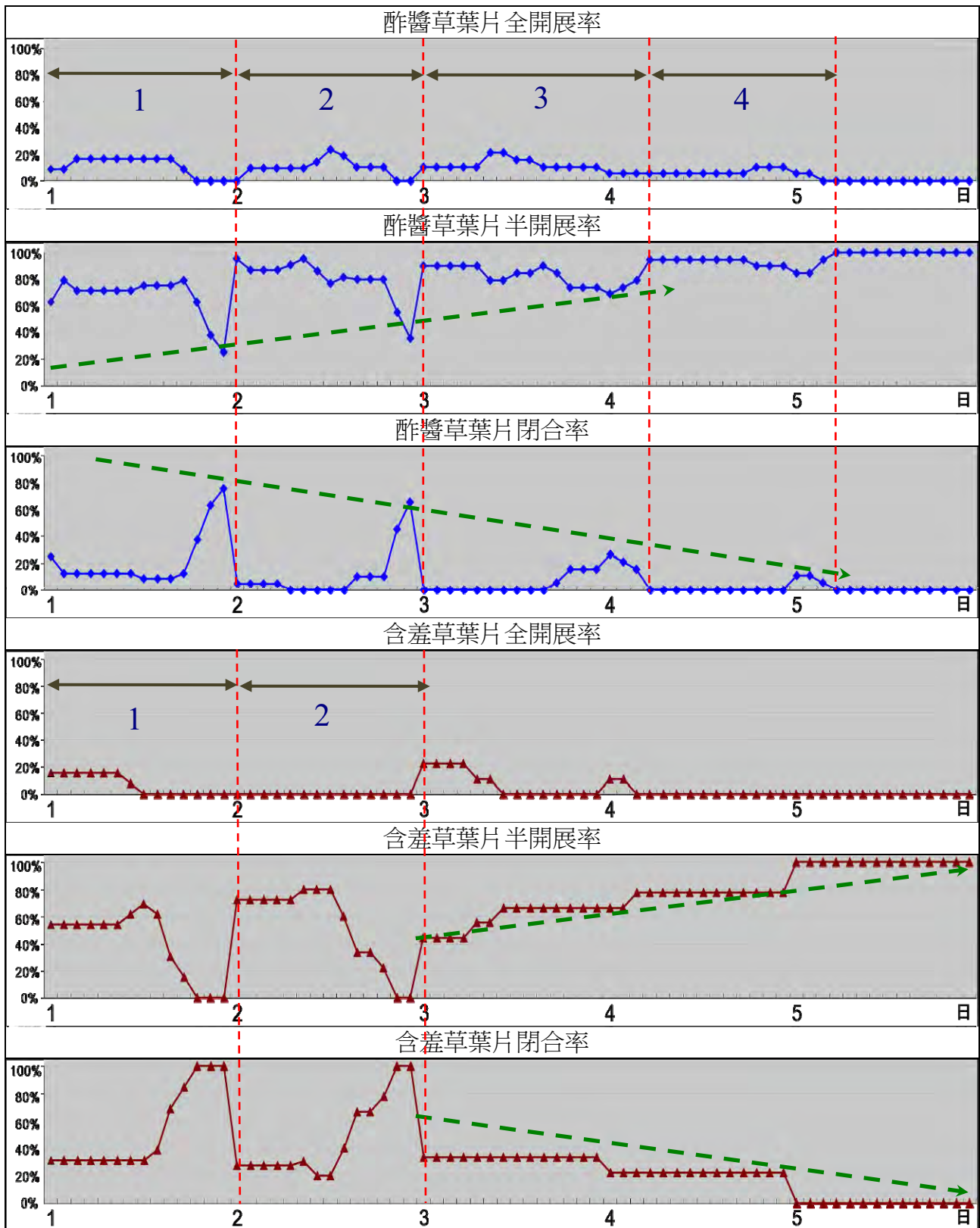
圖(10) 6 日恆亮環境下，酢醬草約有 4 次睡眠運動，平均週期大於 24hr；含羞草約有 6 次睡眠運動，平均週期比酢醬草長。酢醬草與含羞草的葉片開展率逐日增加。

(二) 實驗得知，在連續光照下，酢醬草與含羞草仍啟動生物時鐘進行睡眠運動。

- 1、酢醬草在前 4 日有明顯的睡眠運動，而葉片的全開展率逐日增加，半開展率則逐日減少，平均週期大於 24hr。
- 2、含羞草共有 6 次睡眠運動，平均週期比酢醬草長，葉片開閉的趨勢與酢醬草相似。
- 3、此二種植物相同之處：在恆亮環境下，葉片均降低閉合率或甚至不閉合。

4、M. De Mairan(1729)發現睡眠運動植物(Mimosa)在連續光照下，葉片最大開張之間的時間是 22~23 小時，而非 24 小時。我們雖然未針對單一葉片進行觀察，但是可確定二種植物的葉片在實驗期間都會進行睡眠運動。

(三) 連續 5 日的恆暗環境，每 1 小時觀察葉片的開閉情形，圖(11)



圖(11) 酢醬草與含羞草的葉片開展率低，大部分呈現半開展狀態。5 日內酢醬草約有 4 次睡眠運動，平均週期大於 24hr；含羞草約有 2 次睡眠運動較明顯，Day3 以後，睡眠運動已不明顯。

(四) 比較含羞草與酢醬草在連續五日的恆暗環境下，葉片的開閉狀態：

- 1、恆暗環境下，酢醬草約有 4 次睡眠運動，其生物時鐘和正常環境下生物時鐘的節奏相似，平均週期大於 24hr，葉片閉合率有逐漸減少的趨勢。含羞草也有睡眠運動，但僅在最初 2 日較明顯；Day3 以後，睡眠運動已不明顯，與研究四的結果相似。
- 2、酢醬草與含羞草的葉片，除了睡眠運動以外的時間，大部分呈現半開展狀態，而且葉片半開展率逐日增加，至第 5 天時可達 100%。5 日後，以手碰觸含羞草葉片不閉合，在夜間亦不閉合。

(五)W. Pfeffer(1875)認為菜豆(*Phaseolus vulgaris*，也是睡眠運動植物)葉片在連續光照或暗期中規律的葉片運動是一種「學習」的行為，葉片的運動是一種內在規律(endogenous rhythm)的顯現，也可能是遺傳的行為。根據恆亮及恆暗實驗，我們認為酢醬草和含羞草也具有這種特性。

(六) 比較植物特性的差異，恆亮環境中，含羞草葉片開閉率的變化比酢醬草明顯；恆暗環境中，兩者葉片的開閉率變化相近。

(七)比較二種葉片在暗期的狀況：



拍攝時間：22:00，酢醬草仍依循生物時鐘進行睡眠運動，不受人為因素影響

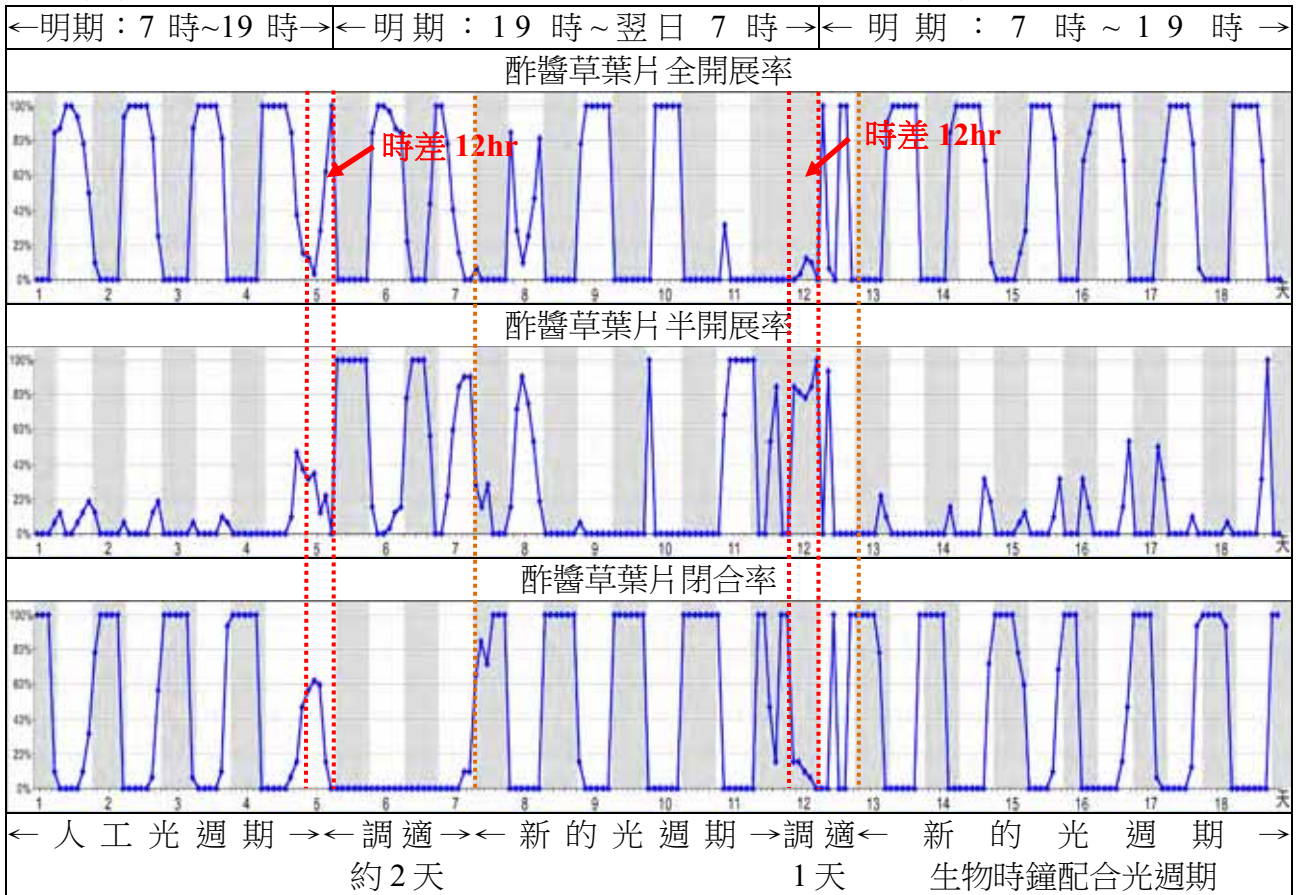


拍攝時間：22:00，部分含羞草葉片未閉合，其睡眠運動週期受人為因素影響。

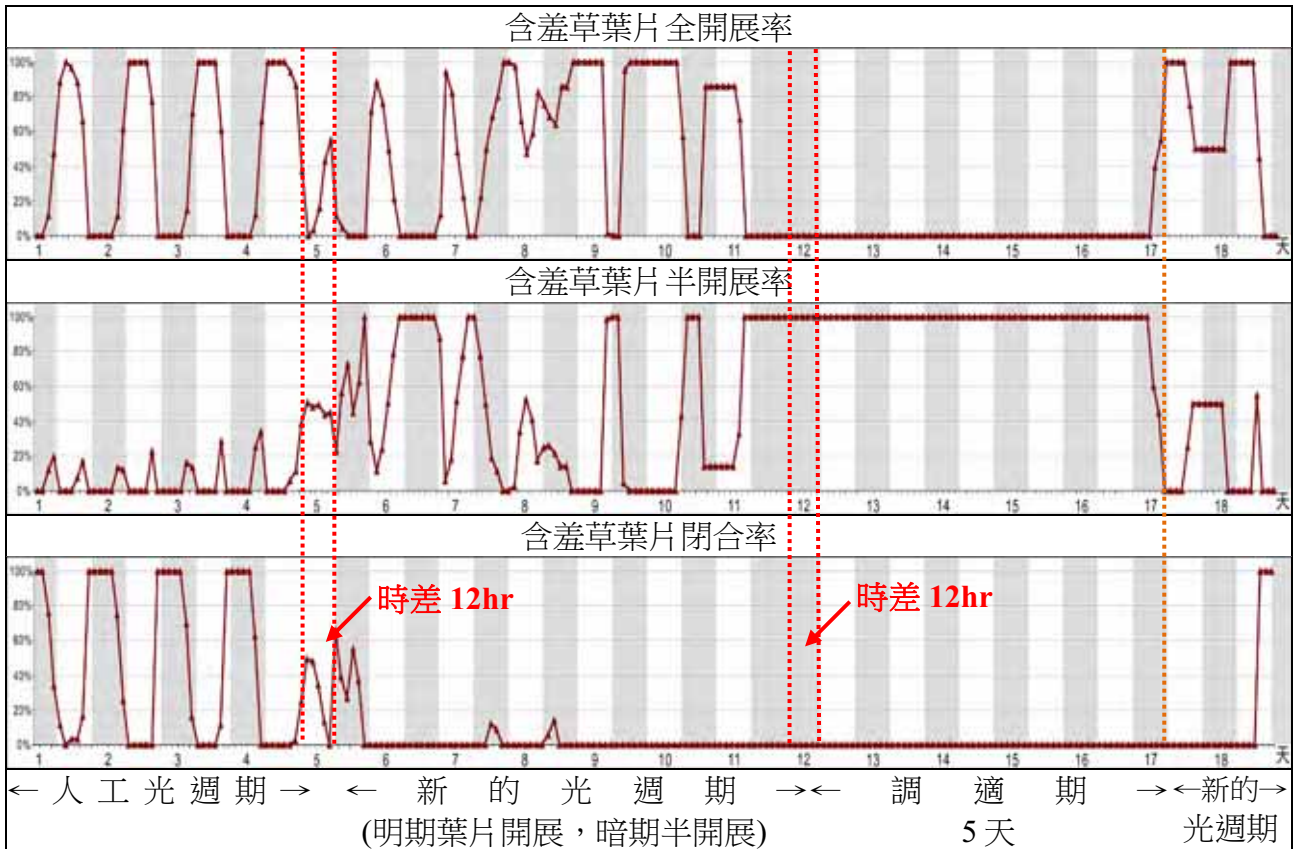
- 1、文獻得知，生物時鐘可以讓生物體預先調整好自己的生理狀態，以期在即將到來的環境刺激下能有最佳的反應。若生物時鐘失調，植物的生長與發育皆會受到影響，進而影響適應力與存活能力(王瑛、吳素幸，2012 年 5 月，科學人 123 期)。本實驗過程中也發現，被調整生物時鐘的酢醬草與含羞草，其存活力都降低。

六、探討時差變化對酢醬草與含羞草睡眠運動節奏之影響。

(一) 12hr 時差變化實驗：連續 18 天觀察葉片的開閉情形，圖(12)



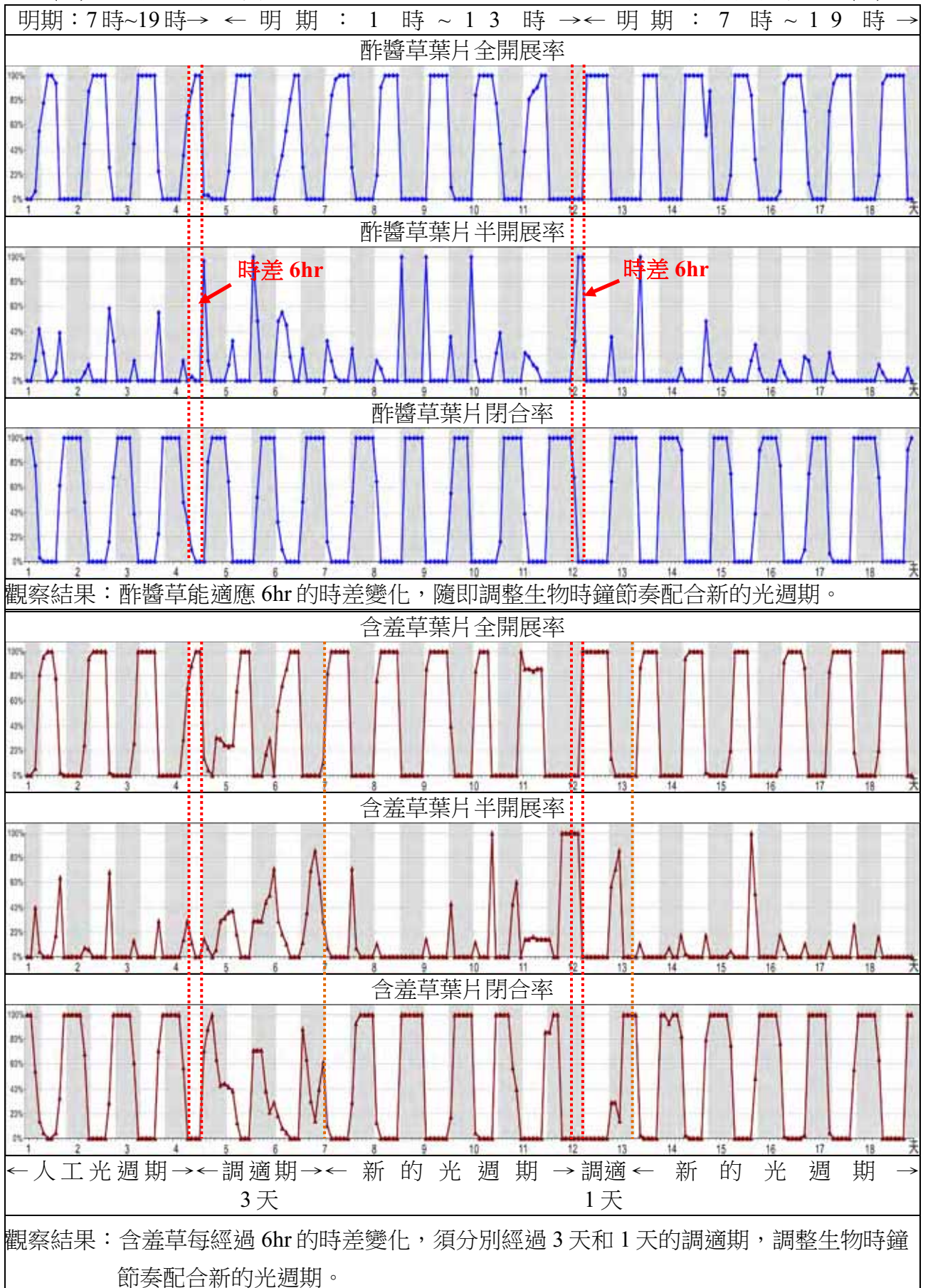
觀察結果：第一次時差，酢醬草生物時鐘與新的光週期抗衡，調適約 2 天後，生物時鐘節奏與新的光週期同步。第二次時差(回復原來的光週期)，生物時鐘節奏須調適 1 天。



觀察結果：第一次時差，由於含羞草對於光線的敏感度高，配合明暗期，隨即調整葉片開閉，大部份呈現全開與半開狀態。面臨第二次時差，葉片須調適約 5 天，生物時鐘節奏才配合新的光週期。

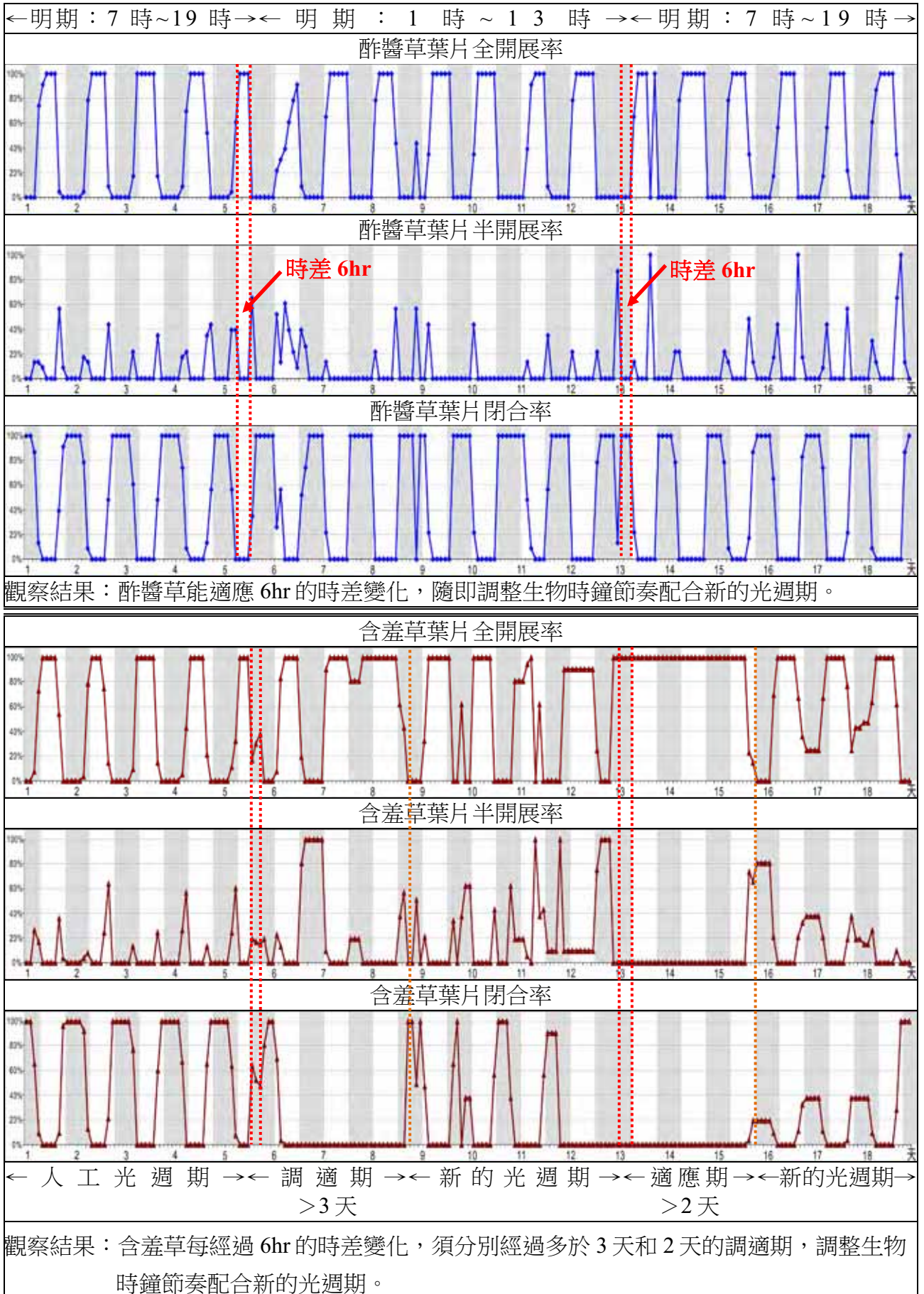
圖(12) 由以上實驗推測酢醬草在日夜顛倒的環境下須調整生物時鐘，而自然光週期的環境則無須調整；含羞草調整生物時鐘的步伐較快，但是適應環境改變的能力較差。

(二) 6hr 時差變化：實施 12hr 人工光週期 3 天，連續 18 天觀察葉片開閉情形，圖(13)



圖(13) 由以上實驗推測，面臨 6hr 的較短時差，酢醬草隨即調整生物時鐘節奏配合新的光週期；含羞草須分別經過 3 天和 1 天的調適期。

(三) 6hr 時差變化：實施 12hr 人工光週期 4 天，連續 18 天觀察葉片的開閉情形，圖(14)



圖(14) 由以上實驗推測，增加人工光週期天數，面臨 6hr 的時差，酢醬草隨即調整生物時鐘節奏配合新的光週期；含羞草須分別超過 3 天和超過 2 天的調適期。

(四) W. Pfeffer(1875)研究菜豆葉片運動，發現植物失去其規律的葉片運動(當植物延長曝於連續的光照或暗期中)，假如再曝於新的光周期，即可恢復。若新的周期逆轉自然日夜，則葉片的運動也會顛倒。實驗結果發現酢醬草和含羞草的生物時鐘確實被改變並重新調整。

(五)綜合三個實驗結果：

1、以人工光週期 12hr 培育 3 天，調整二次 12hr 時差變化各維持 7 天：

- (1) 酢醬草適應人工光週期之後，面臨第一次時差變化，其生物時鐘節奏須調適 2 天配合新的光週期；面臨第二次時差變化，則須調適 1 天。
- (2) 含羞草面臨第一次時差，其生物時鐘能配合新的光週期，在暗期，葉片多呈半開展狀態。面臨第二次時差，須 5 天調適期配合新的光週期，調適期間，葉片都呈現半開展狀態。

2、以人工光週期 12hr 培育 3 天，調整二次 6hr 時差變化各維持 7 天：

- (1) 酢醬草面臨二次時差變化，其生物時鐘都能快速調整並配合新的光週期。
- (2) 含羞草面臨第一次時差變化，需調適 3 天；面臨第二次時差變化，需調適 1 天，其生物時鐘節奏才能配合新的光週期。

3、以人工光週期 12hr 培育 4 天，調整二次 6hr 時差變化各維持 7 天：

- (1) 酢醬草面臨二次時差變化，其生物時鐘都能快速調整並配合新的光週期。與前一個實驗結果相似。
- (2) 含羞草面臨第一次時差變化，需超過 3 天調適；面臨第二次時差變化，需超過 2 天調適，其生物時鐘節奏才能配合新的光週期，與前一個實驗結果相似，但是調適期較長。

4、歸納以上結果

- (1) 酢醬草對於 12hr 時差變化(較長時間)，需調整 1~2 天的調適期，其生物時鐘節奏才能配合新的光週期。但是，對於 6hr 時差變化(較短時間)，其生物時鐘的節奏無須調適期，能快速配合新的光週期作調整。
- (2) 含羞草雖然對光線的敏感度較高，但是順應時差變化，調整生物時鐘節奏的能力較弱。部份葉片在調適期，不論是明期或暗期都呈半開展或全部開展狀態。而且，含羞草適應人工光週期 12hr 的時間愈久，對於時差變化的調適時間需要更長。

陸、結論

一、睡眠運動植物會受到日升日落的影響而開閉葉片，其中蘊含著奧妙的特性。一天中，酢醬草葉片的開展時間比含羞草長，在日出與日落之際，兩者差異最明顯。另外，二種植物受到刺激都屬於短暫的閉合，實驗中，我們發現光線是影響植物睡眠運動的主要因素。

二、比較不同人工光週期對二種植物生長的影響：

- (一) 酢醬草與含羞草能配合 12hr 人工光週期而穩定調整生物時鐘的節奏(與正常生物時鐘相近)。
- (二) 二種植物的生物時鐘逐漸受 6hr 人工光週期影響，酢醬草適應光週期能力較慢(此結果與光週期為 3hr、1hr 相似)；含羞草能快速配合光週期作調整，但葉片完全閉合的時間則逐日延後。
- (三) 接近傍晚，二種植物的葉片閉合率均明顯增加，顯示其生物時鐘驅使植物進行睡眠運動，可由連續 7 天 1hr 光週期的實驗結果得知。對照於正常光週期的白天，葉片開展率仍高，夜晚啟動生物時鐘機制而降低葉片開展率，因此，我們推論植物的生物時鐘機制影響睡眠運動的能力比光線的影響強。

三、以 6hr 人工光週期培育 3 日，進入 3 日恆暗環境，酢醬草約有 3 次睡眠運動；含羞草約有 2 次睡眠運動，之後失去調適睡眠運動的功能，葉片保持開展。

四、比較恆亮及恆暗環境對二種植物的影響：

- (一) 6 日恆亮環境下，酢醬草約有 4 次睡眠運動，平均週期大於 24hr；含羞草約略有 6 次睡眠運動，平均週期比酢醬草長。酢醬草與含羞草的葉片開展率逐日增加。
- (二) 5 日恆暗環境下，酢醬草約有 4 次睡眠運動，平均週期大於 24hr；含羞草約有 2 次睡眠運動，此結果與【結論三】相似。二種葉片均逐日增加半開展率，降低閉合率。
- (三) 恆亮環境，含羞草葉片開閉率的變化比酢醬草明顯；恆暗環境，兩者葉片的開閉率變化相近。

五、比較時差對二種植物的影響：

- (一) 18 天內調整二次 12hr 時差變化(較長時差)
 - 1、酢醬草的生物時鐘節奏分別需調適 2 天和 1 天，以配合新的光週期。
 - 2、含羞草面臨第一次時差，其生物時鐘隨即能配合新的光週期。面臨第二次時差，須調適 5 天才能配合新的光週期，在調適期間，葉片呈現半開展狀態。
- (二) 18 天內調整二次 6hr 時差變化(較短時差)
 - 1、酢醬草面臨二次時差變化，其生物時鐘節奏都能快速調整並配合新的光週期。
 - 2、含羞草面臨第一次時差變化，其生物時鐘節奏分別需調適 3 天和 1 天。其適應 12hr 人工光週期的時間愈久，對於時差變化的調適時間需要更長。可見含羞草雖然對光線的敏感度較高，但是其調整生物時鐘節奏的能力較弱。

柒、參考資料

- 一、田中修，不可思議的葉子，2009，晨星出版
- 二、William G. Hopkins 原著，廖玉琬.徐善德編審，植物生理學，1999，啟英文化事業
- 三、王瑛、吳素幸，從阿拉伯芥走進植物世界，科學人雜誌 123 期，p103~107
- 四、李佶珉、丁偉洋、韓筠茜、張友薰，酢醬草的睡眠運動，中華民國第 45 屆科學展覽會高中組生物科作品
- 五、傅資驊、許庭睿、蔣孟庭，花葉之舞~半日花開花機制與睡眠運動探討，高雄市第 45 屆國中組生物科作品
- 六、王成宇、葉雅瑄、林冠伯，掌握幸運—南國田字草的形態生理與睡眠運動之研究，中華民國第 45 屆科學展覽會國中組生物科作品
- 七、中學生の理科 自由研究入門篇，Gakken，p120~p125
- 八、酢漿草的生理時鐘—探討影響酢漿草睡眠運動的因素，99 學年度新竹區國高中職學生專題競賽 <http://common.hgsh.hc.edu.tw/ProjectContest/.%5CUpload%5C54.pdf>

【評語】 030312

1. 主題有基礎研究的價值。
2. 研究方法設計邏輯清楚。
3. 以兩種植物材料進行睡眠運動反應機制的比較，並已有具體初步結果。
4. 建議在全亮光照處理前和馴化過程應維持一致；進入全光照實驗後，應精準測出兩種植物的確切內在生理時鐘時間 (internal free running time)；對全黑暗處理建議利用紅外光攝影，對植物運動進行紀錄並將分析結果與全光照組進行比對，祈能對兩種植物的睡眠運動機制有更深入了解。