



# 三原色光對彩葉草光合作用影響之研究

## ——以 *Coleus scutellarioides* 為例



摘要：

本研究透過將彩葉草(*Coleus scutellarioides*)施以不同處理來探討其葉片澱粉儲存情況的變化。實驗結果觀察到彩葉草(*Coleus scutellarioides*)葉片的澱粉主要儲存於綠色和紫色區域，且葉片儲存澱粉的消耗時間很長，約需遮光十五天處理才能完全消耗所儲存的澱粉。不同波長光線對於彩葉草(*Coleus scutellarioides*)光合作用的負面影響：紅光>綠光>藍光，紅光照射甚至造成葉片褪色白化，藍光照射處理對彩葉草光合作用的效果與自然光(白光)無差。此外，彩葉草(*Coleus scutellarioides*)葉面物質運送功能發達，葉面不同顏色區域的物質能夠相互支援，本研究亦發現若遇生存逆境，彩葉草(*Coleus scutellarioides*)會優先將光合作用的產物運送至葉面紫色區域儲存，相關機制則有待進一步的探討。

研究動機：

七年級時生物老師用彩葉草(圖一)來進行植物光合作用的觀察，當時葉面綠色部分能夠正常進行光合作用並儲存澱粉，葉面粉色區域則沒有澱粉反應，但葉面粉色區域若因缺乏葉綠素而無法進行光合作用，它進行代謝所需要的養分又是從哪裡來的呢？為此激起我們想要進一步了解彩葉草光合作用相關機制的想法，因而開始進行後續的相關研究。

實驗植物介紹：

俗名：彩葉草 學名：*Coleus scutellarioides*

彩葉草的葉色受溫度與光線等因素影響，同株植物可能出現不同的葉色，色素組成又影響葉面進行光合作用，及是否在滴碘液後出現澱粉反應。本研究所使用的彩葉草品系是柳葉形彩葉草(*Coleus scutellarioides*)。如圖一所示。



圖一、彩葉草植株外觀及葉片顏色分布。

實驗器材及設備：

彩葉草、紅光(波長620~630nm)、藍光(波長470nm)、綠光(波長527nm)LED燈管、碘液、本氏液、酒精、鋁箔紙、鐵櫃

實驗目的及方法：

一、彩葉草(*Coleus scutellarioides*)葉面儲存澱粉消耗速率分析。

將彩葉草置於遮光鐵櫃，觀察並記錄彩葉草葉片澱粉消耗，了解遮光處理下彩葉草葉面澱粉耗盡所需時間。

二、不同波長照射對於彩葉草葉片澱粉儲存的影響。

- 分別以①波長620~630nm的紅光LED；
- ②波長470nm的藍光LED；
- ③波長527nm的綠光LED

進行長時間(1~15天)與短時間(1~8小時)照射處理，觀察並記錄彩葉草葉片澱粉儲存量變化。

三、限制物質運輸(割葉脈)處理下，彩葉草葉片澱粉儲存情況分析。

四、觀察彩葉草葉片部分遮光、剪切葉片等處理後的新生成澱粉儲存情況。

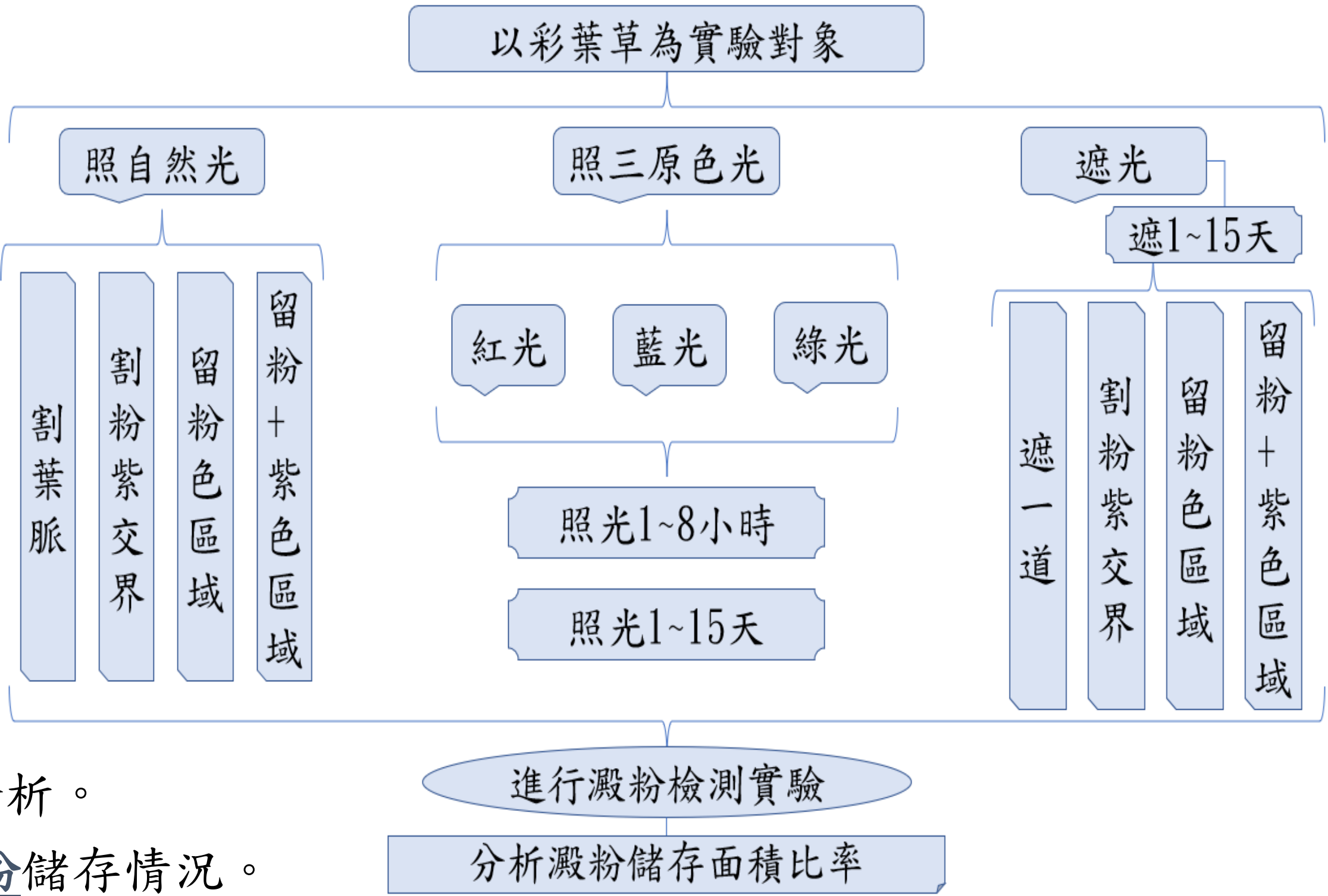
【葉面澱粉儲存狀況分析】

彩葉草葉片進行澱粉儲存測試前、後均拍照記錄，照片使用ImageJ軟體進行葉面不同呈色區域面積比例及深淺分析。

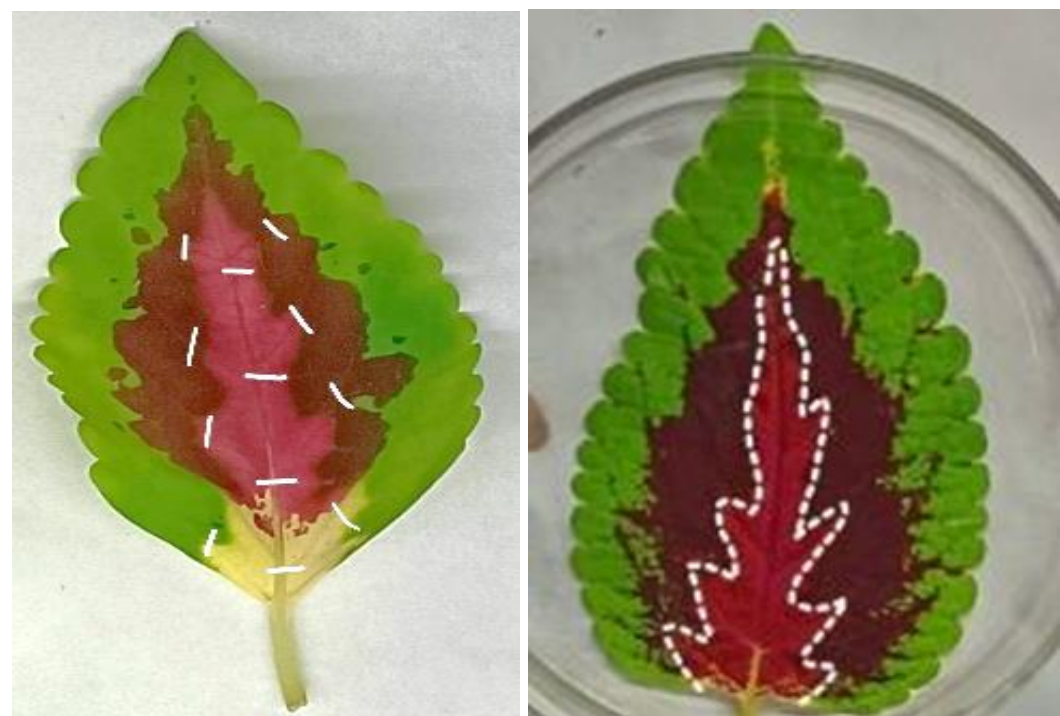
【澱粉儲存面積比率】

彩葉草葉面有澱粉之區域面積比例(滴碘液後呈藍黑色)

彩葉草葉面正常情況下可行光合作用之區域比例(綠色+紫色)



圖二、實驗架構圖



圖三、彩葉草割主、次葉脈處理示意圖



圖四、彩葉草割部分遮光處理示意圖



圖五、彩葉草剪切葉片處理示意圖

實驗結果：

一、彩葉草(*Coleus scutellarioides*)葉面色素分布初步判斷

- 如圖六所示，彩葉草(*Coleus scutellarioides*)葉面~
- 粉色和紫色區域含有水溶性的花青素；
- 紫色區域葉片除具花青素外，亦含有葉綠素；
- 葉片綠色區域則僅具葉綠素。



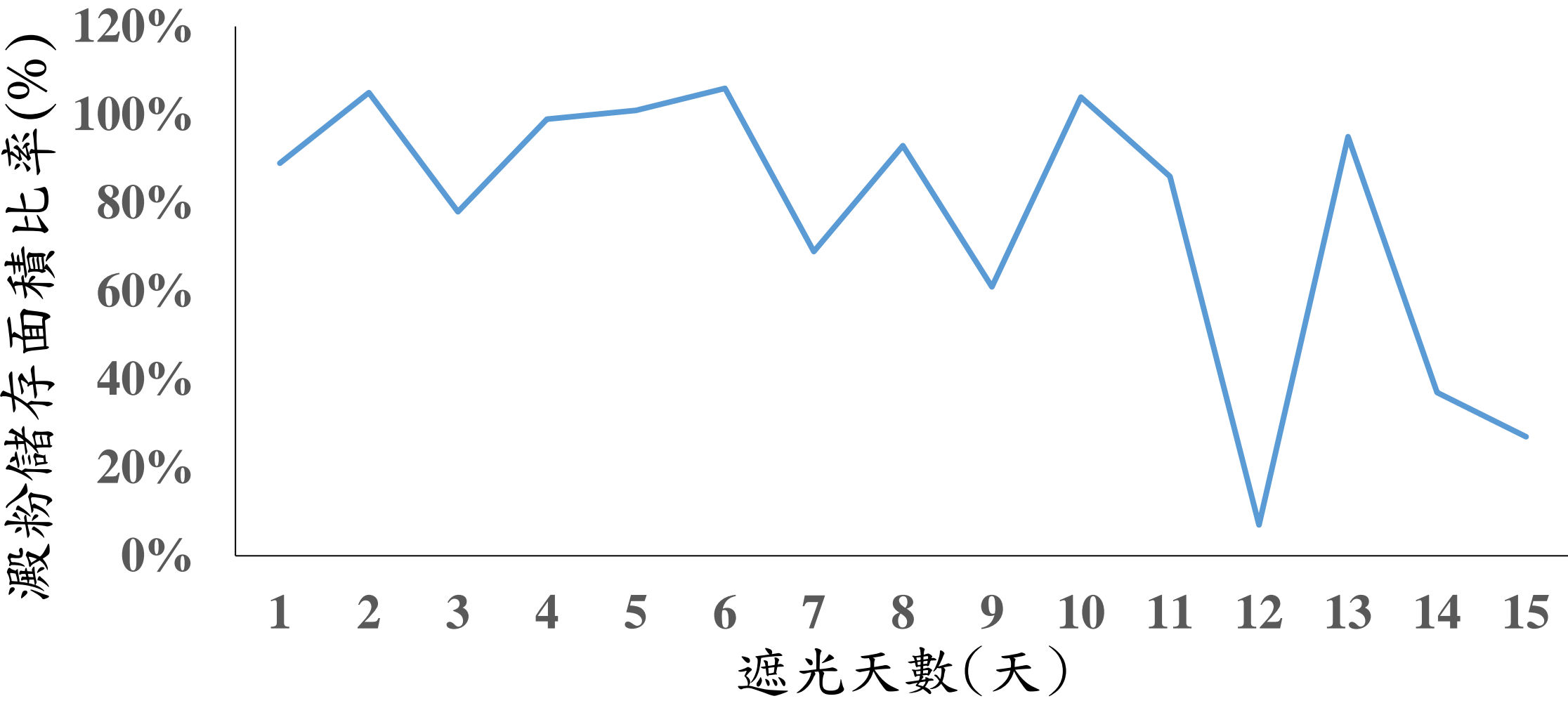
圖六、彩葉草葉面各區域色素分布及經熱水浸泡的彩葉草

二、彩葉草(*Coleus scutellarioides*)限制光照及限制物質運輸處理下澱粉儲存情況

經遮光處理後，至少12天以上才會將澱粉耗盡；而在割主葉脈處理後，發現澱粉儲存面積比率仍高，顯示彩葉草(*Coleus scutellarioides*)葉面草澱粉消耗所需甚久。

表一、遮光葉片原樣及滴碘液反應呈色區域對照。

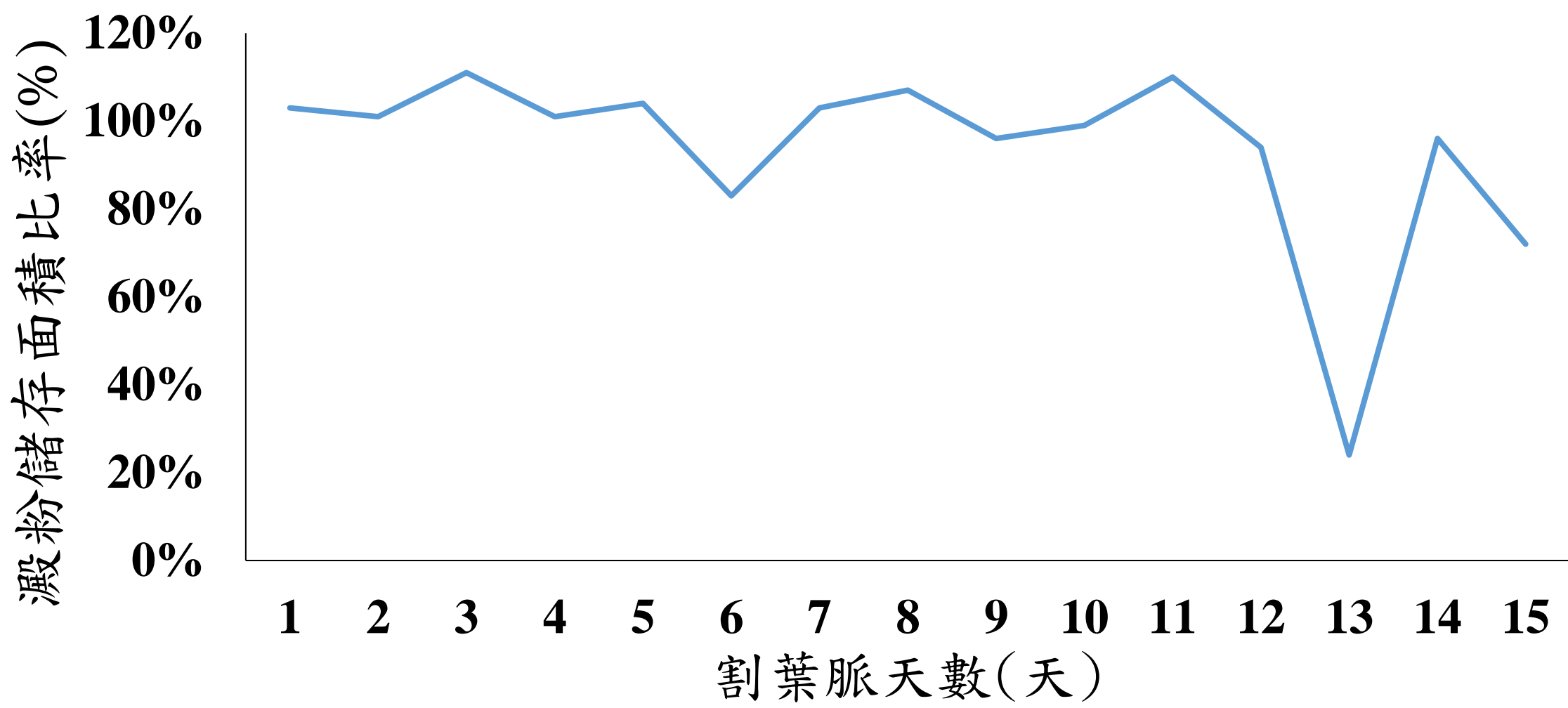
| 時間   | 遮光1天 | 遮光5天 | 遮光10天 | 遮光15天 |
|------|------|------|-------|-------|
| 實驗前  |      |      |       |       |
| 滴碘液後 |      |      |       |       |



圖七、彩葉草植株遮光1~15天葉面澱粉儲存面積變化。

表二、割葉脈葉片原樣及滴碘液反應呈色區域對照。

| 時間   | 割葉脈1天 | 割葉脈5天 | 割葉脈10天 | 割葉脈15天 |
|------|-------|-------|--------|--------|
| 實驗前  |       |       |        |        |
| 滴碘液後 |       |       |        |        |



圖八、彩葉草植株割主葉脈1~15天葉面澱粉儲存面積變化。



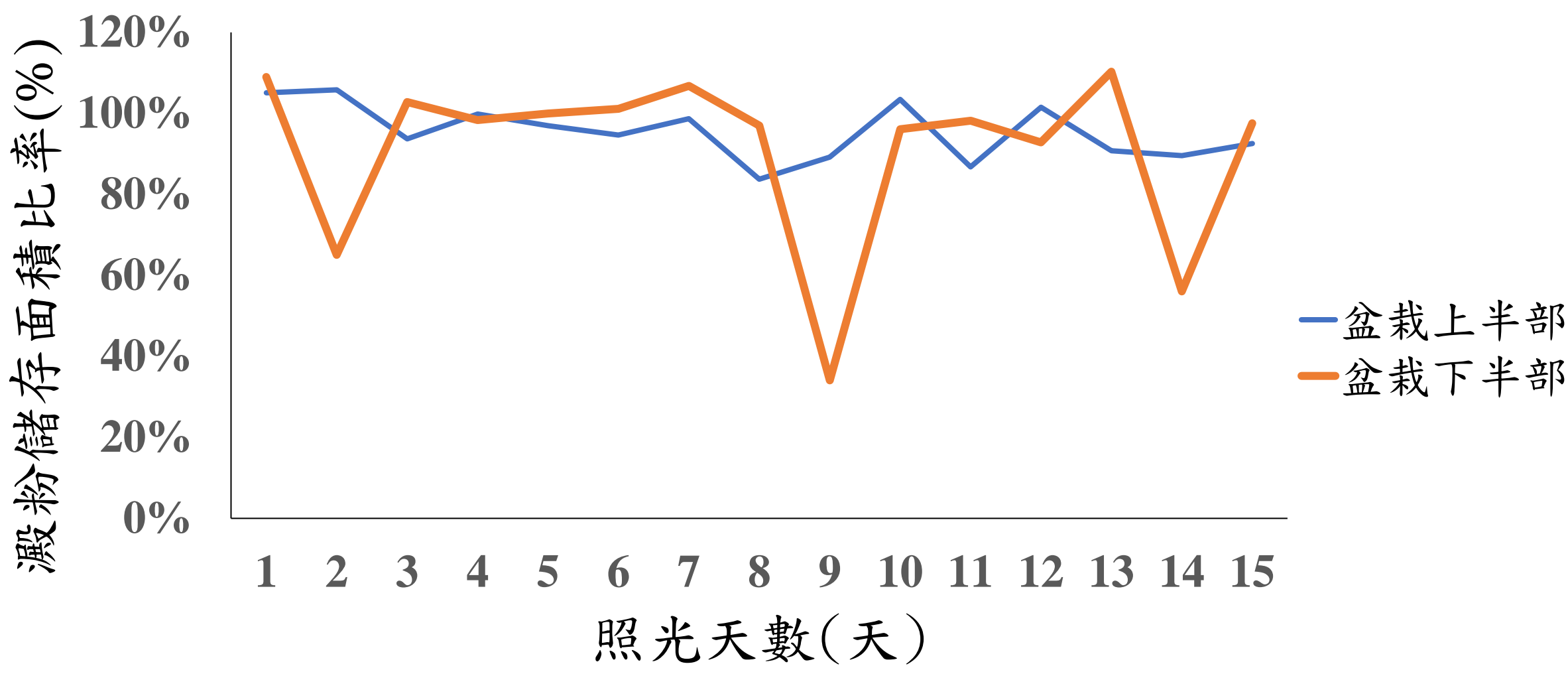
三、彩葉草以不同波長光線照射下的澱粉儲存狀況

(一)藍光長時間(1~15天)及藍光短時間(1~8小時)照射處理對彩葉草葉面澱粉儲存的影響

經**波長470nm的藍光LED**照射下，無論長時間或短時間處理，澱粉儲存面積比率均高。推論藍光可提供較穩定的光合作用環境。








表三、藍光長時間照射處理原樣及滴碘液反應呈色區域對照

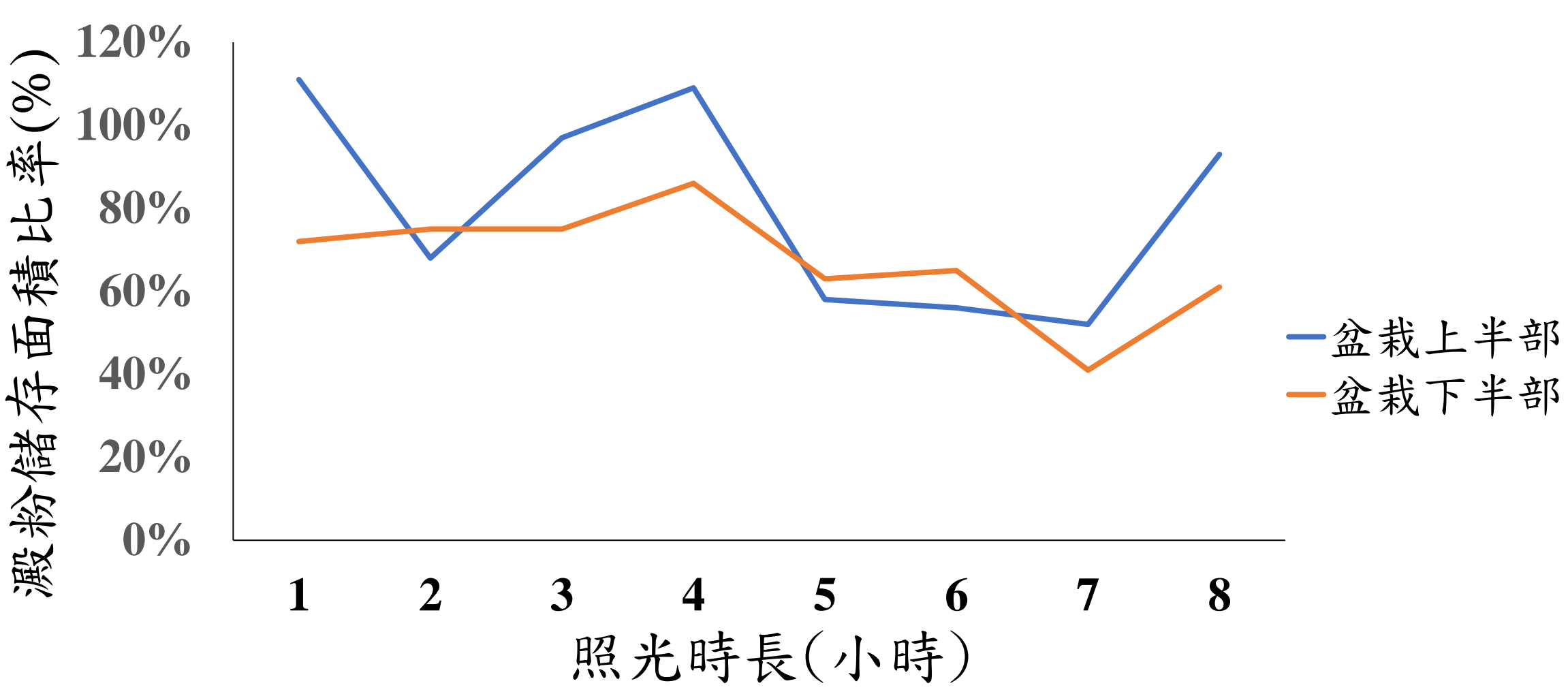
| 時間   | 照藍光1天   | 照藍光5天   | 照藍光10天  | 照藍光15天  |
|------|---|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |  |



圖九、彩葉草植株照射藍光1~15天葉面澱粉儲存面積變化

表四、藍光短時間照射處理原樣及滴碘液反應呈色區域對照

| 時間   | 照藍光1hr  | 照藍光2hr  | 照藍光4hr  | 照藍光8hr  |
|------|---|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |  |


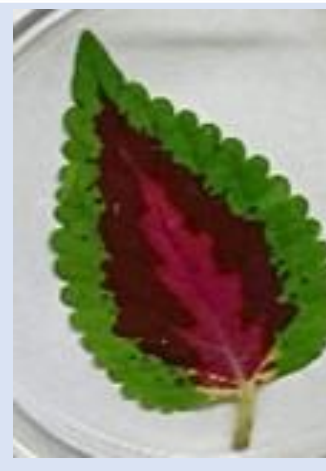








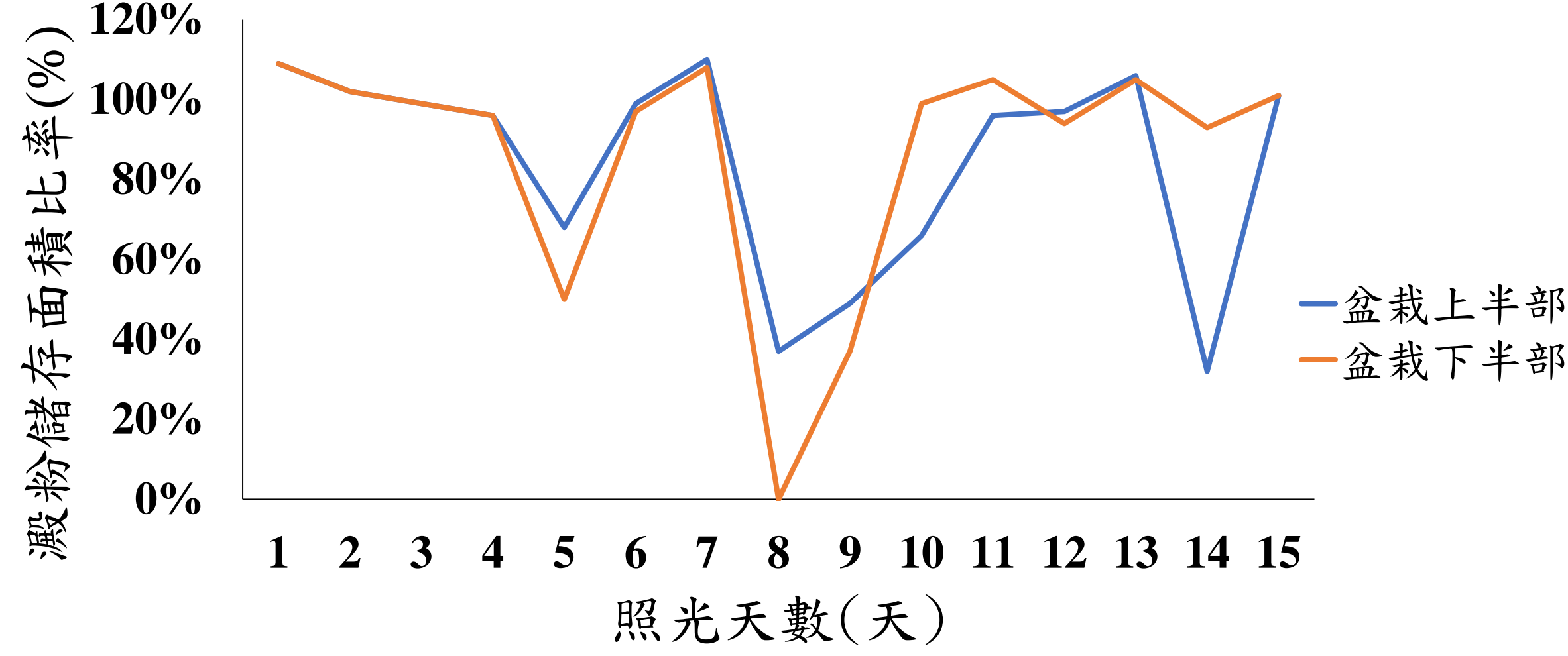
圖十、彩葉草植株照射藍光1~8小時葉面澱粉儲存面積變化

(二)綠光長時間(1~15天)及綠光短時間(1~8小時)照射處理對彩葉草葉面澱粉儲存的影響

以**波長527nm的綠光LED**照射彩葉草植株，整體澱粉儲存面積比率較藍光處理稍低，但較紅光處理高，葉片亦無褪色變化。此外，短時間綠光照射處理，彩葉草葉面澱粉儲存量略有先降後升的情況。









表五、綠光長時間照射處理原樣及滴碘液反應呈色區域對照

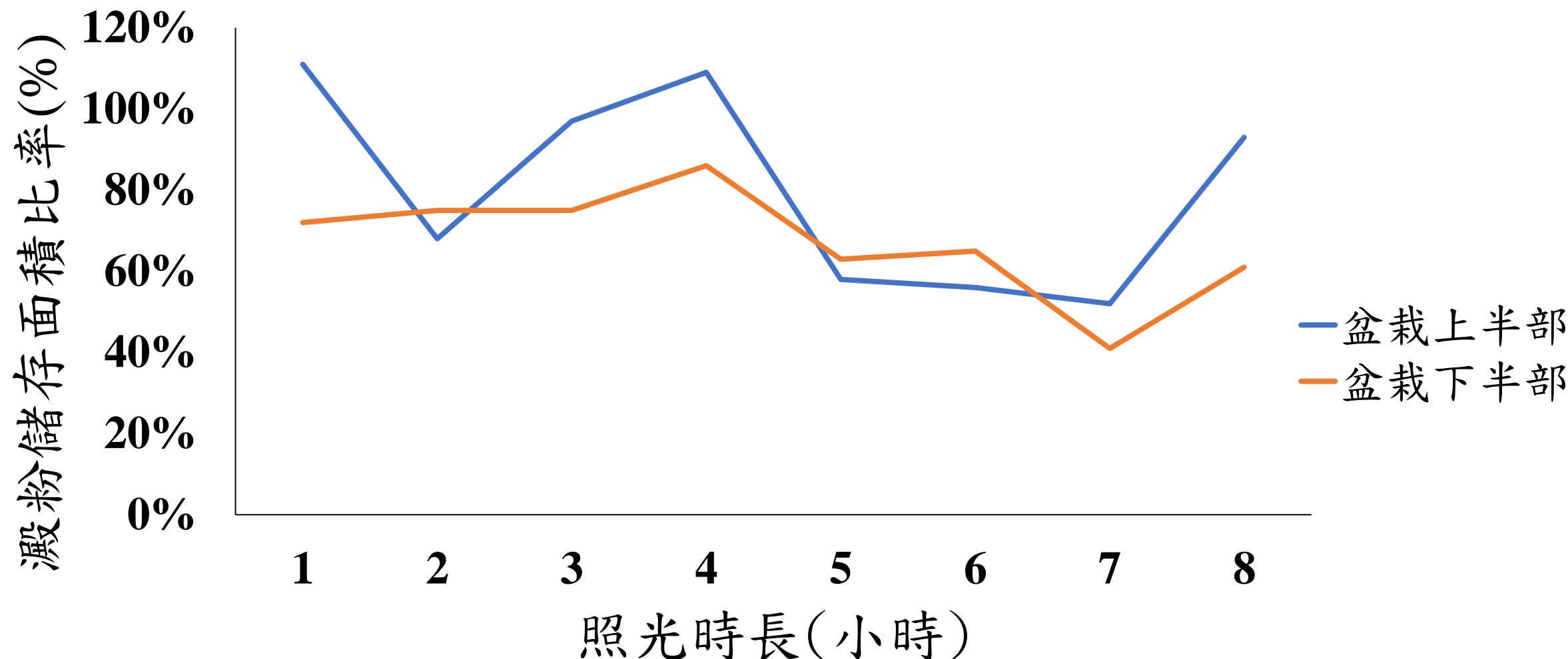
| 時間   | 照綠光1天   | 照綠光5天   | 照綠光10天  | 照綠光15天  |
|------|---|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |  |



圖十一、彩葉草植株照射綠光1~15天葉面澱粉儲存面積變化

表六、綠光短時間照射處理原樣及滴碘液反應呈色區域對照

| 時間   | 照綠光1hr  | 照綠光2hr  | 照綠光4hr  | 照綠光8hr  |
|------|---|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |  |



圖十二、彩葉草植株照射綠光1~8小時葉面澱粉儲存面積變化









(三)紅光長時間(1~15天)及紅光短時間(1~8小時)照射處理對彩葉草葉面澱粉儲存的影響

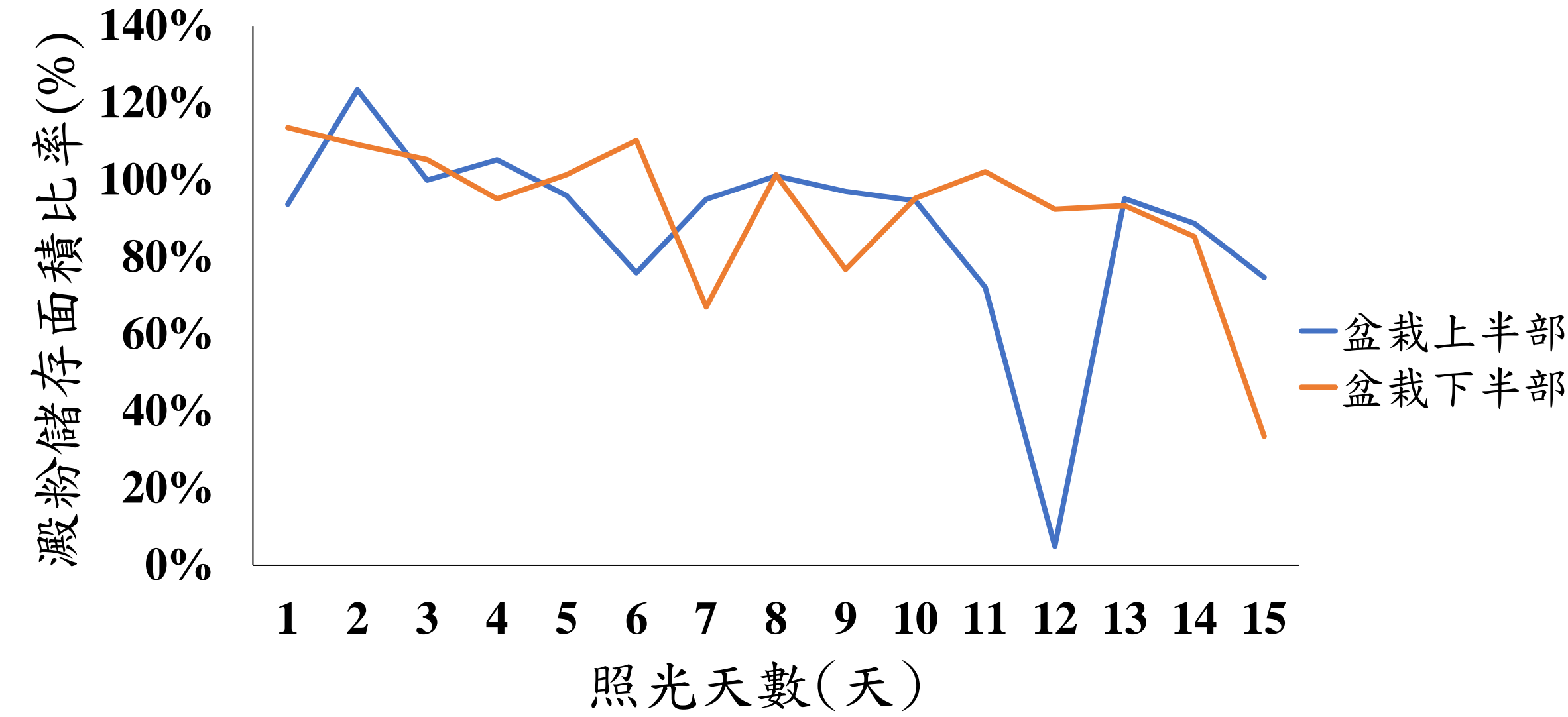
- 1.經**波長620~630nm的紅光LED**照射處理造成彩葉草葉片褪色(如圖十三所示)。
- 2.長時間處理的彩葉草自第3天開始澱粉分布不均，至第5天可觀察到葉面澱粉量儲存量明顯減少，然而第13天後葉片澱粉儲存量略有增加。
- 3.短時間處理的彩葉草亦觀察到葉面澱粉儲存量先降後升的情形。



圖十三、紅光照射處理彩葉草葉面顏色變化。









表七、紅光長時間照射處理原樣及滴碘液反應呈色區域對照

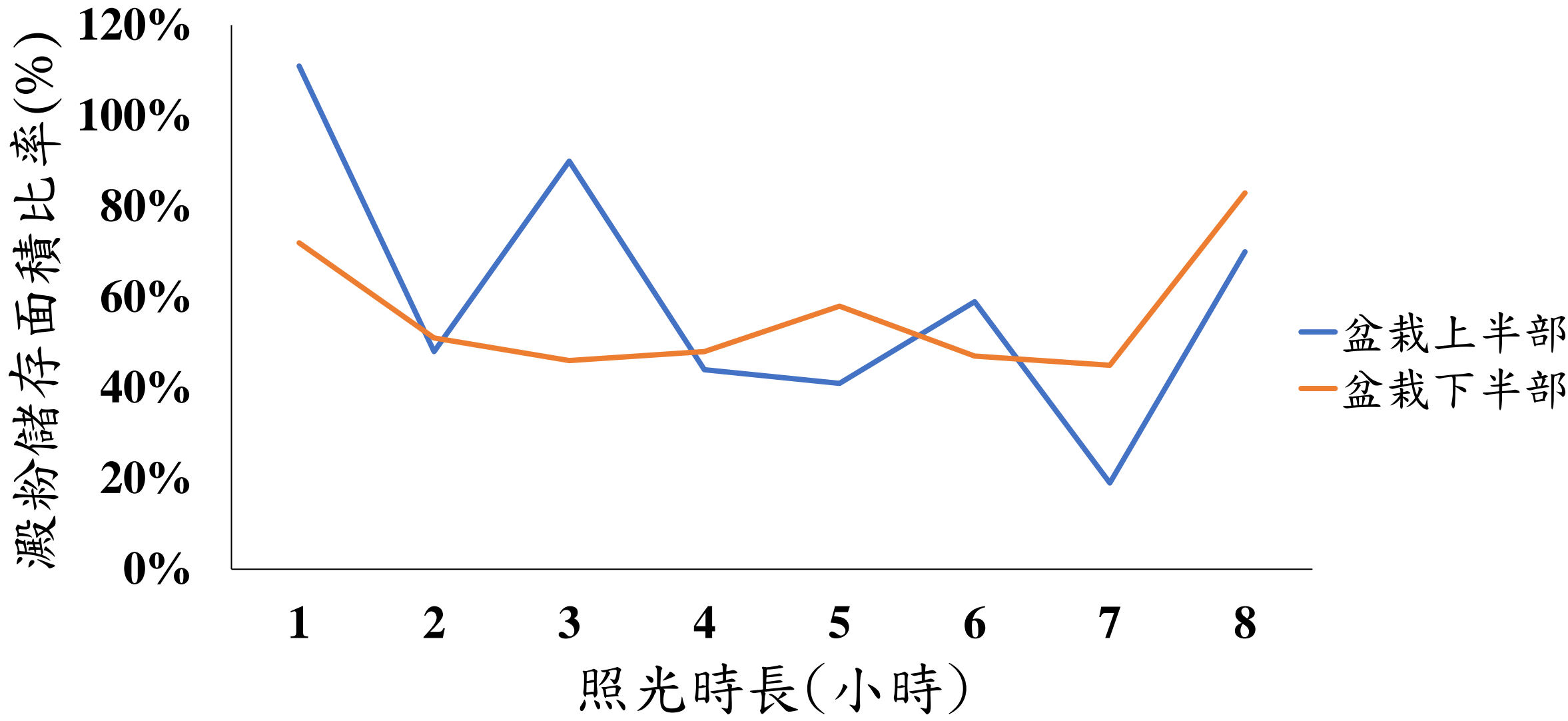
| 時間   | 照紅光1天   | 照紅光5天   | 照紅光10天  | 照紅光15天  |
|------|---|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |  |



圖十四、彩葉草植株照射紅光1~15天葉面澱粉儲存面積變化

表八、紅光短時間照射處理原樣及滴碘液反應呈色區域對照

| 時間   | 照紅光1hr  | 照紅光2hr  | 照紅光4hr  | 照紅光8hr  |
|------|---|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |  |



圖十五、彩葉草植株照射紅光1~8小時葉面澱粉儲存面積變化









三、彩葉草(Coleus scutellarioides)澱粉消耗後於各情形下的重新製造







- 1.遮光15天後恢復光照1天，觀察到葉面綠色區域無澱粉反應，新生成澱粉主要存在於紫色區域(表九箭頭所示)，恢復光照5天則無此現象(結果未顯示)。
- 2.遮光15天後割葉面粉紫區域交界主、次葉脈再恢復光照1天，葉面幾無新生成澱粉，但恢復光照5天後，即可觀察到澱粉反應(結果未顯示)。
- 3.遮光15天後剪除綠色區域葉面再恢復光照一天，葉面紫色區域仍有澱粉反應。若剪除綠色+紫色區域葉面，則恢復光照後沒有觀察到碘液—澱粉呈色反應(結果未顯示)。







表九、遮光15天後葉面部分遮光照光1天處理澱粉測試前後對照

表十、遮光15天後葉面割粉紫交界次葉脈光照1天處理澱粉測試前後對照

表十一、遮光15天後剪除葉面綠色區域光照1天處理澱粉測試前後對照

| 編號   | 1   | 2   | 3   |
|------|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |

| 編號   | 1   | 2  | 3   |
|------|---|--|---|
| 實驗前  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |

| 編號   | 1   | 2   | 3   |
|------|---|---|---|
| 實驗前  |  |  |  |
| 滴碘液後 |  |  |  |

四、彩葉草葉面區域含糖情況測試。

以本氏液測試彩葉草葉面不同區域含糖情況，發現除了彩葉草葉面紫色與綠色含糖外，葉面粉色區域雖不含澱粉，但仍含糖，且含糖量與葉面紫色加綠色區域相當。



圖十六、彩葉草葉面各區域含糖情況測試

討論：

一、長時間遮光處理對彩葉草(Coleus scutellarioides)植株與葉片澱粉儲存情況影響

- (一)植物在低光下會出現葉綠素分解(黃化)、節間距離加大、葉片表面積增加等變化，本研究中彩葉草經遮光處理後葉片黃化，但節間距離和葉片表面積無明顯變化。
- (二)某些植物在逆境環境時會降低代謝速率，減少澱粉消耗，延長澱粉保存時間，以利生存。本研究中彩葉草於長時間遮光處理下澱粉消耗速率確實不高，故推論是因低光逆境所造成。

二、不同波長光線照射處理對彩葉草澱粉儲存情況的影響

表十二、不同波長光線對植物生理影響(引自郭章儀，2010)

| 光譜範圍             | 對植物生理的影響                  |
|------------------|---------------------------|
| 280-315 nm       | 對形態與生理過程的影響極小             |
| 315-400 nm       | 葉綠素吸收少，影響光周期效應，阻止莖延長      |
| 400-520 nm (藍紫光) | 葉綠素與類胡蘿蔔素吸收比例最大，對光合作用影響最大 |
| 520-610 nm       | 色素的吸收率不高                  |
| 610-720 nm (紅光)  | 對光合作用與光周期效應有顯著影響          |
| 720-1000 nm      | 刺激細胞延長，影響開花與種子發芽          |
| > 1000 nm        | 轉換成為熱量                    |

- (一)如表十二所示，一般認為植物主要吸收紅光與藍紫光以進行光合作用，然而本研究觀察到最不利彩葉草光合作用進行的色光是紅光，原本認為可能是因紅光 LED 燈管光照強度較弱而導致此結果，但利用手機應用程式 Light Meter 及 Lux 檢測後，發現實驗所使用 LED 燈管照度均相近，故可排除這個理由。
- (二)由表十三可知何以紅光不利於彩葉草葉面光合作用進行。彩葉草葉面有大量區域分布花青素，花青素是紅色的色素，反射紅光，因而影響到彩葉草葉片吸收光線進行光合作用。

表十三、植物色素的吸收光譜(引自蔡尚恬&蔡振章，2004)

| 植物色素  | 吸收光譜                  |           | 呈色 |
|-------|-----------------------|-----------|----|
|       | 波長                    | 色光        |    |
| 葉綠素   | 640-660 nm；420-430 nm | 紅光、藍光     | 綠色 |
| 類胡蘿蔔素 | 466 nm；497 nm         | 藍光、藍綠光    | 黃色 |
| 花青素   | 500 nm                | 藍光、藍綠光、綠光 | 紅色 |

三、限制物質運輸處理下，彩葉草葉片澱粉儲存情況。

- (一)彩葉草(Coleus scutellarioides)葉面的物質運輸效率很高，僅割斷葉片主要葉脈時，彩葉草葉面澱粉儲存量與未割斷主要葉脈時無差異，要連次要葉脈一同割斷，才能看到物質運輸受限而造成的澱粉儲存量變化。
- (二)彩葉草(Coleus scutellarioides)葉面粉色區域雖缺乏葉綠體而無法行光合作用，須依賴葉片其他區域將養分運送至此，方能維持正常生理功能，然而粉色區域位於葉面中央，若此區域組織無法正常運作，經葉脈運輸而來的水分亦無法送至葉面其他區域，影響全葉片的光合作用。
- (三)為維持葉片正常生理功能，在葉面不同顏色區域的物質運輸十分發達，在原儲存澱粉耗盡後，彩葉草會將光合作用的醣類產物集中運送至葉面紫色區域儲存，而非平均分布於葉面所有具有葉綠體的區域(綠色及紫色區域)。

四、彩葉草(Coleus scutellarioides)葉面不同顏色區域澱粉儲存情況探討

- (一)彩葉草(Coleus scutellarioides)葉面綠色及紫色區域均具葉綠素，可行光合作用，葉面粉色區域則僅具花青素，不含葉綠素，因而無法行光合作用，亦無澱粉累積儲存。
- (二)由實驗結果可知彩葉草葉面粉色區域含糖，且含糖量與等量的葉片紫色加綠色區域相當，因本氏液不與蔗糖反應，故可知彩葉草葉面粉色區域所測得的糖並非一般植物韌皮部內所運送的蔗糖，而是再經過代謝作用轉換的其他小分子糖類。
- (三)彩葉草(Coleus scutellarioides)葉片運送光合作用的醣類產物到粉色區域，卻不儲存澱粉的現象，推論和花青素的合成機制有關。已知植物細胞內醣類濃度的累積可促進花青素的合成與累積，醣類是花青素合成的必要成分，可能也參與花青素合成相關酵素之基因調控，因此植物體花青素的合成須有足夠的含糖量為前提。

【小結】彩葉草(Coleus scutellarioides) 葉面粉色區域含糖卻無澱粉儲存，是為了維持葉面粉色區域花青素含量，葉面其他區域光合作用產物運送至此除提供細胞生長代謝所需外，亦用於合成花青素，以維持葉面多彩的特徵。

結論：

- 一、彩葉草(Coleus scutellarioides)葉片綠色區域細胞內主要色素為葉綠素；紫色區域細胞同時含葉綠色及花青素；粉色區域細胞內主要色素為花青素。
- 二、彩葉草(Coleus scutellarioides)葉片的澱粉主要儲存於綠色和紫色區域，葉片儲存澱粉的消耗時間很長，約需遮光15天處理才能完全消耗所儲存的澱粉。
- 三、不同波長光線對於彩葉草(Coleus scutellarioides)光合作用的負面影響：紅光>綠光>藍光，紅光照射甚至造成葉片褪色白化。
- 四、彩葉草(Coleus scutellarioides)葉面物質運送功能發達，僅限制主要葉脈的物質運輸處理於葉面光合作用影響不大。
- 五、彩葉草(Coleus scutellarioides)若遇生存逆境，會優先將光合作用的產物運送至葉面紫色區域儲存。
- 六、彩葉草(Coleus scutellarioides)葉面粉色區域雖無澱粉儲存，但仍有來自葉面其他區域行光合作用製造的醣類。
- 七、本研究聚焦於彩葉草(Coleus scutellarioides)，不宜過度推論至所有品系彩葉草。

參考資料： 郭章儀(民 99 年 8 月 23 日)。作用光譜。科學 Online。

陳彥樺(2014)。花青素合成途徑及花色呈現影響因子。臺中區農業改良場特刊，122：346-352。

蔡尚恬、蔡振章(2004)。楓葉變紅了—天然色素的顏色化學。科學發展，381。