

「莓」，有「光」係

——光波長、強度對有機草莓甜度及植株發育狀況之影響

摘要

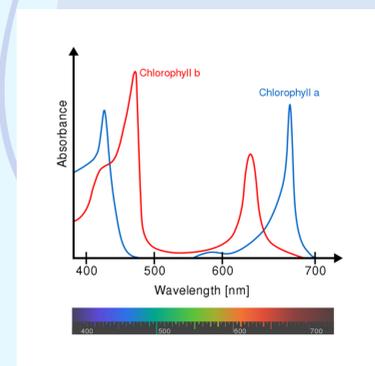
本研究利用LED燈調整不同的光波長，以及利用黑網調整光強度，尋找有機草莓發育狀況及糖度的關係。最後的實驗結果得出紅光的葉片較藍光大且重，在糖度方面也較藍光好。室內植物燈種出的草莓植株普遍較高，我們認為主要原因是缺少特定光波長的光而導致植株徒長。室內紫光及白光果實產率高；另照射太陽光草莓的大小較大，但顆數較少，與室外的蟲害嚴重有關，在糖度部分無網及一層網無顯著差異，但在發育狀況下使用一層網種植的草莓較無網好。

研究動機

隨著氣候的變遷，全球暖化也顯得越來越嚴重，許多植物陸陸續續受到影響，包括草莓這個冬季（2023）也遭受波及，且日照光源的不穩定性對於葉片對光的吸收也不盡理想，因此我們想栽種出能利用LED光源生長的有機草莓，不僅能躲避病蟲害，也不用被天氣好壞影響，更能有效控制光週期及光譜組成，讓植物獲取足夠時間及強度的光源。目前我們只清楚不同的光對於草莓植株的影響，尚未清楚與果實糖度的關係，因此我們想利用人工光源來改善草莓生長的條件，利用不同的光強度、光波長，研究不同的光照條件是否能影響草莓的糖度，從中探討有機草莓糖度與光的關係。

研究目的

- (1)探討不同光強度對草莓糖度及發育狀況之影響
- (2)探討不同顏色（波長）色光對草莓糖度及發育狀況之影響
- (3)探討太陽光源與人工光源（LED）對草莓糖度及發育狀況之影響



圖(一) 作用光譜圖

文獻回顧

(1)光波長對植株的影響：

光是植物光合作用的主要能量來源，亦為植物生長和發育的重要角色。植物不僅對光強度甚至連光波長之反應皆不相同 (Lulane,2013)。光對於作物就像動物需要食物攝取熱量，透過葉片擷取光作為能量來源驅動光合作用，因此作物生產上我們必須注意環境的光強度，特別是光合有效光譜區間 400-700nm 波段的光強度，因為這是作物光合作用能量來源，與作物的產量品質息息相關。紅光是最早被用於作物栽培試驗的光質，也是人工光源中最重要光質，以紅光處理植株之平均葉柄長最長、葉面積最大，而藍光處理則使葉柄短縮且葉面積較小。(Ya-Chu Hsu, 2013) 對於植物的光合作用及生長發育而言，僅有紅光是不夠的，在單一紅光LEDs光源下小麥可以完成生命週期，但是要想獲得高大植株和大量種子，必須補充適量的藍光。(Goins et al., 1997)

在不同光質下，也有可能造成光合作用的產物不同，如植物在藍光下生長，其光合產物中的蛋白質和脂肪數量增加，而紅光栽培者則形成較多的碳水化合物。因此人們栽培植物時，可根據所需的光合產物類型，選擇合適的光源。這也是我們收集到為何照射紅光的草莓較其他的要高。

(2)有機定義：

有機農業的解釋是「無化學」耕作，主要旨在改善土壤健康，從而改善動物、人類和社會健康。(Verena Seufert, 2017)

光 譜 範 圍	對 植 物 生 理 的 影 響
280 ~ 315nm	對形態與生理過程的影響極小
315 ~ 400nm	葉綠素吸收少，影響光周期效應，阻止莖伸長
400 ~ 520nm (藍)	葉綠素與類胡蘿蔔素吸收比例最大，對光合作用影響最
520 ~ 610nm	色素的吸收率不高
610 ~ 720nm (紅)	對光合作用與光周期效應有顯著影響
720 ~ 1000nm	刺激細胞延長，影響開花與種子發芽
> 1000nm	轉換成爲熱量

圖(二) 光譜對植物生理的影響

(3)LED燈對植株的影響：

植物生命週期中，大部分發育過程都依賴光。使用LED作為光源的優點在於光能轉換效率高、輻射熱少、持久及器材輕便，且無需考慮外在環境，適用於封閉式的環控作物生產系統(楊琇淳等, 2014)。LED具有高的光電轉換率、低的熱度及特定之發光波長等優點，在可控制的環境下，配合涼溫、長日及二氧化碳補充，可促進草莓苗營養生長，縮短育苗期，減少病蟲害及降低生產成本(Hsun-Yao Chang, 2013)。

(4)光強度對植株的影響：

光照是影響草莓產量的關鍵因素，提高草莓整體品質的最佳光合有效輻射 (PAR) 為339.6~452.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Zhong et al., 2011)。如果PAR過高，草莓的生長就會受到抑制，因此必須為草莓生長提供適當的光照。溫室遮陽是炎熱陽光地區實現草莓生長適宜環境、提高草莓植株生產力和草莓果實品質的有效途徑，溫室內適宜的溫度和光照強度可以提高草莓的產量和品質 (Zarei et al, 2017)。草莓果實的生產力和品質因遮蔭條件而異。在自然光下，它們可能透過平衡營養和生殖生長而得到改善。但在日照不足的遮光條件下，光合活性下降，碳水化合物產生不足；這對植物的高度和品質產生不利影響。在 50% 遮光條件下，負面影響更為明顯。遮蔭處理導致日照不足，對植物生產力和生長產生不利影響；這意味著適當的遮蔭條件有助於提高產量和果實品質。(Lee and Gyu-Bin, 2020)

研究設備及器材

美姬草莓苗共35株、植物燈（可定時全光譜180W LED植物生長燈，每種色光各兩盞）、玻璃紙（紅、藍、紫）、照度計（GM1030C）、黑網、糖度計、溫濕度計、培養土（Flora Gard Floration 3,70L）、2呎盆栽、磅秤（最小刻度0.01克）、循環式高溫烘箱、研鉢



圖(三) 四種波長植物燈

研究過程或方法

一、植物栽種——光強度

(1)栽種：架設三盆內各有五株美姬草莓苗的盆栽，每一種光強度各一盆，每盆利用不同的黑網層數遮蓋，調整植株的光強度使其三者分別約為100000lux、40000lux、12000lux。

(2)收成：大約二到三天收成一次，且將正值紅熟期8~9分的草莓剪下。

(3)測量重量、甜度：利用磅秤測量新鮮草莓重量取至小數點後兩位，以及利用糖度計測量糖度。

二、植物栽種——光波長：在不同波長的植物燈下，架設內有五株美姬草莓苗的盆栽，共有四盆，每一種色光下各有一盆，控制植株與燈的距離為40公分，並定期整理草莓的走莖，且每盆一天光照時間為12小時。(2)、(3)步驟與光強度相同。

三、葉片面積測量步驟：我們選擇每株最大片且成熟的葉片測量葉面積，使用手機拍照，接著將照片匯入ImageJ程式計算葉面積。

四、葉片濕重的測量步驟：選用每株最大且成熟的葉片，剪下後測量葉片的重量。

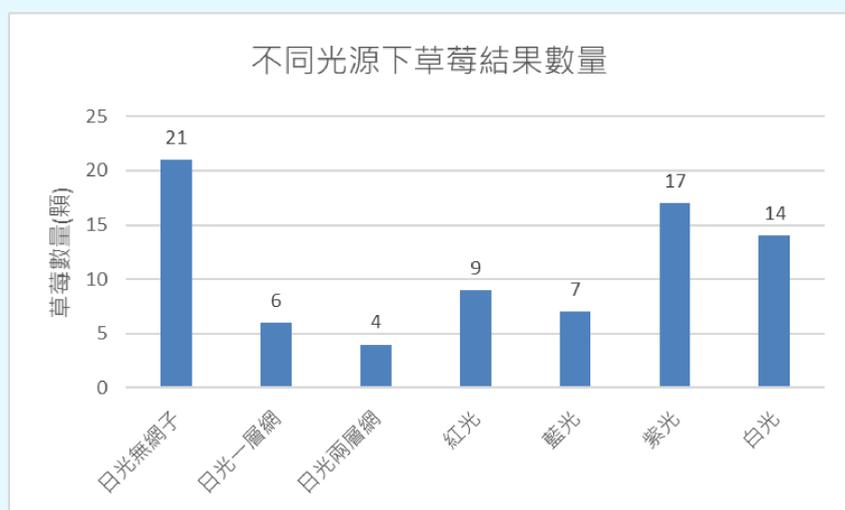
五、測量葉片乾重步驟：將測得濕重的葉片放在鋁箔紙上，再將葉片放入預熱至攝氏90度的烘箱中17小時，最後測量烘乾後的葉片重量。

六、測量草莓植株高度：使用測量尺直接測量植物株高度，從植物基部測到植物的頂部。測量在相同光源下每一株草莓的株高（共五株）。

研究結果

1、不同光源下草莓結果狀況

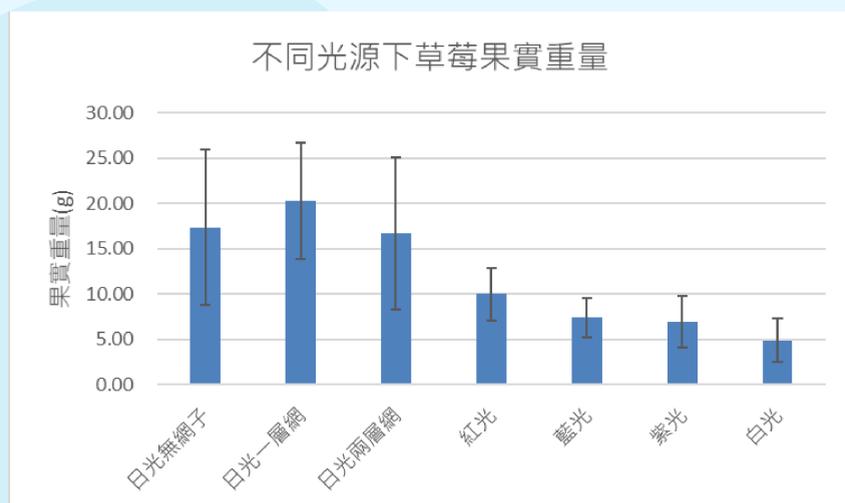
在此次實驗中，日光無網子果實有21顆，日光一層網有6顆，日光兩層網有4顆，紅光有9顆，藍光有7顆，紫光有17顆，白光有14顆。在此顆數是指可以完整被採收且沒有受到蟲害影響的果實。由圖(四)可得知草莓植株在不同光源下結果數量為太陽光 > 紫光 > 白光 > 紅光 > 藍光，在不同光強度下草莓結果數量為無網 > 一層網 > 兩層網。



圖(四) 不同光源下草莓果實數量。橫軸為不同光源，縱軸為草莓果實數量，由圖可知草莓植株在不同光源下結果數量為太陽光 > 紫光 > 白光 > 紅光 > 藍光，在不同光強度下草莓結果數量為無網 > 一層網 > 兩層網。

2、不同光源下草莓果實重量

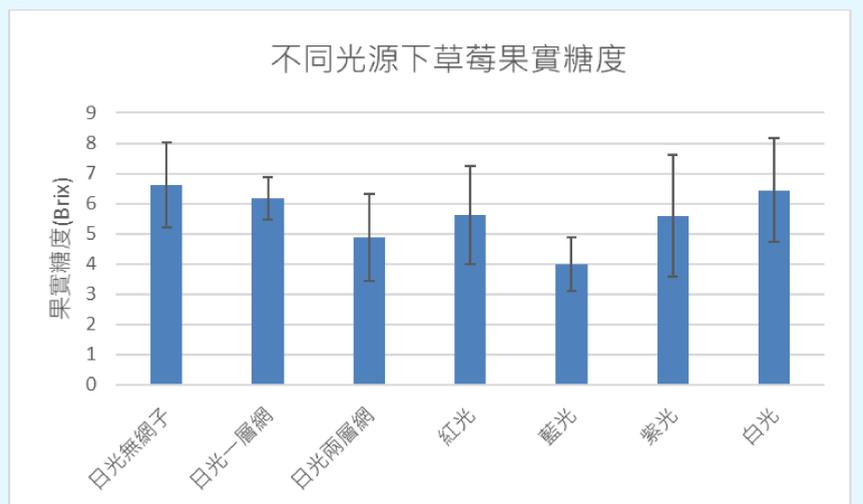
在此實驗中，日光無網子的果實平均重量為17.35 ± 8.56g，日光一層網為20.29 ± 6.41g，日光兩層網為16.71 ± 8.34g，紅光為10.03 ± 2.89g，藍光為7.43 ± 2.17g，紫光為6.99 ± 2.83g，白光為4.93 ± 2.36g。由圖(五)可得知草莓植株在不同光源下果實重量為太陽光 > 紅光 > 藍光 > 紫光 > 白光，在不同光強度下草莓果實重量沒有顯著差異(日光無網與一層網p=0.45，日光無網與日光兩層網p=0.90)。



圖(五) 不同光源下草莓果實重量。橫軸為不同光源，縱軸為草莓果實重量，由圖可知草莓植株在不同光源下果實重量為太陽光 > 紅光 > 藍光 > 紫光 > 白光，在不同光強度下草莓果實重量沒有顯著差異(日光無網與一層網p=0.45，日光無網與日光兩層網p=0.90，日光一層網與日光兩層網p=0.56)。

3、不同光源下草莓果實糖度

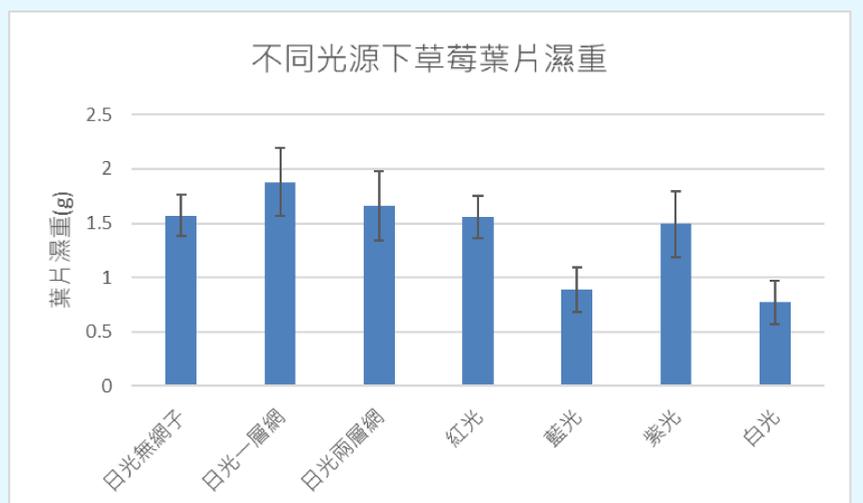
在此實驗中，日光無網子的果實平均糖度為6.62 ± 1.4°Bx，日光一層網為6.17 ± 0.69°Bx，日光兩層網為4.88 ± 1.43°Bx，紅光為5.61 ± 1.63°Bx，藍光為4.00 ± 0.89°Bx，紫光為5.59 ± 2.01°Bx，白光為6.43 ± 1.72°Bx。由圖(六)可得知草莓植株在不同光源下果實糖度為太陽光 > 白光 > 紅光 ≈ 紫光 > 藍光，紫光與紅光的果實糖度較近 (p=0.98)，在不同光強度下果實糖度為無網 ≈ 一層網 > 兩層網(日光無網與一層網p=0.32)。



圖(六) 不同光源下草莓果實糖度。橫軸為不同光源，縱軸為草莓果實糖度，由圖可知草莓植株在不同光源下果實糖度為太陽光 > 白光 > 紅光 ≈ 紫光 > 藍光，紫光與紅光的果實糖度較近 (p=0.98)，在不同光強度下果實糖度為無網 ≈ 一層網 > 兩層網(日光無網與一層網p=0.32)。

4、不同光源下草莓葉片濕重

在此實驗中，日光無網子的草莓平均葉片濕重為1.57 ± 0.19g，日光一層網為1.88 ± 0.31g，日光兩層網為1.66 ± 0.32g，紅光為1.56 ± 0.20g，藍光為0.88 ± 0.21g，紫光為1.49 ± 0.30g，白光為0.77 ± 0.20g。由圖(七)可得知草莓葉片在不同光源下濕重為太陽光 > 紅光 > 紫光 > 藍光 ≈ 白光(藍光與白光p=0.42)，在不同光強度下葉片濕重為日光一層網 > 日光兩層網 > 日光無網。



圖(七) 不同光源下草莓葉片濕重。橫軸為不同光源，縱軸為草莓葉片濕重，由圖可知草莓葉片在不同光源下濕重為太陽光 > 紅光 > 紫光 > 藍光 ≈ 白光(藍光與白光p=0.42)，在不同光強度下葉片濕重為日光一層網 > 日光兩層網 > 日光無網。

討論

一、光波長及光強度對植物發育影響

(一) 葉片重量與面積：日光兩層網下葉片濕重較其他組重，但乾重未有具體數據支持。不同光波長下，紅光及紫光促進葉片重量增加，而白光與藍光效果較差。葉面積與葉片濕重呈正相關，但與乾重關係不顯著。光強度適中能最大化葉面積，紅光或紫光有助於提高糖度。

(二) 株高：日光無網的草莓株高最高，但與葉片重量無直接相關。紅光照射下的株高較高，白光株高較低，但不影響糖度及產量。

二、光波長及光強度對果實影響

(一) 果實顆數：日光無網組果實顆數最高，但透過我們觀察能發現日光無網子受到蟲害影響的嚴重程度較日光一層網、日光兩層網高。我們推測強度對果實數量影響較大於蟲害。紫光及白光有助於增加果實數量，且室內種植可降低蟲害影響。

(二) 草莓鮮重：透過我們的實驗結果，光強度需適中才能增加果實重量。紅光有助於增加果實重量，白光則有利於提高糖度。

(三) 糖度：葉片面積與糖度無直接相關，光強度對糖度影響較大。白光照射下的果實糖度高，但不影響果實重量。

三、LED植物燈與太陽光比較

在葉面積方面，紫光明顯較日光一層網還要來的大，主要原因是因為紫光是由紅光及藍光組成，而這兩種光對於葉面積有助益。LED可調控光週期及光波長，減輕蟲害影響，但LED光強度不足。太陽光提供高光強度，但無法調整光周期及波長。綜合考量兩者優劣，增強LED光強度或搭配不同波長光源可改善果實產量與品質。

結論

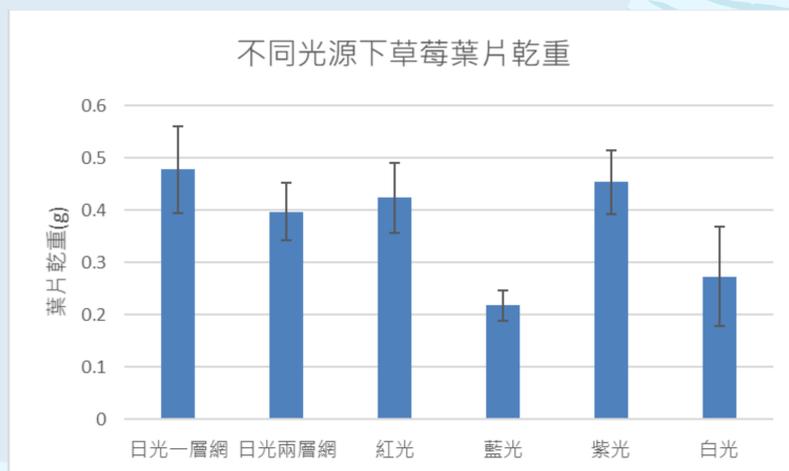
- 在不同的光強度下（日光無網100000lux和日光兩層網12000lux之間），發育狀況的部分，要使葉面積較高適合蓋上一到兩層網，若要讓葉片濕重較高適合蓋一層網，讓株高較高適合無網。在果實的部分，光強度越高糖度、顆數越高，但若要改善重量適合蓋一層網。
- 在不同的顏色（光波長），生長狀況的部分，若要讓葉片的面積較大較適合用紫光，其次是紅光，而藍光和白光的葉面積較小；若要讓葉片濕重變重，較適合使用紫光或紅光，不適合用藍光或白光；要讓株高較高，適合使用紅色，不適合使用白色。在果實的部分，紫光和白光的顆數最多，白光的糖度較高，略高於紫光和紅光，光波長越長重量越高。
- 雖然太陽光的整體表現略比室內的人工光源來的好，但是風險也較大，不只有天氣不穩定，還有蟲害和光週期也難以控制，所以有較大機會影響草莓植株的生長和結果。而人工光源有些方面其實不輸太陽光，生長狀況的部分，紅光、藍光的平均濕重已經跟日光無網大致相同，平均糖度的部分白光比日光一層網還要高，也比日光無網低不到0.5，顆數的部分紫光也比日光無網低4顆，人工光源較差的就是重量，大幅比太陽光低。

參考文獻資料來源

- 《國際農業科技新知》 61期 (2014/01) Pp. 15-20(楊琇淳等，2014)
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H., Miyoshi, Y., Takayama, T., Sameshima, K., ... & Okimura, M. (2013). Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. *Environmental Control in Biology*, 51(1), 41-47.
- Journal of Environmental Science International 29 (2), 167-175(Lee, Gyu-Bin,2020)
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H., Miyoshi, Y., Takayama, T., Sameshima, K., ... & Okimura, M. (2013). Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. *Environmental Control in Biology*, 51(1), 41-47.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Mayerhofer, T. (2017). What is this thing called organic?—How organic farming is codified in regulations. *Food Policy*, 68, 10-20. (詳情見作品說明書)

5.不同光源下草莓葉片乾重

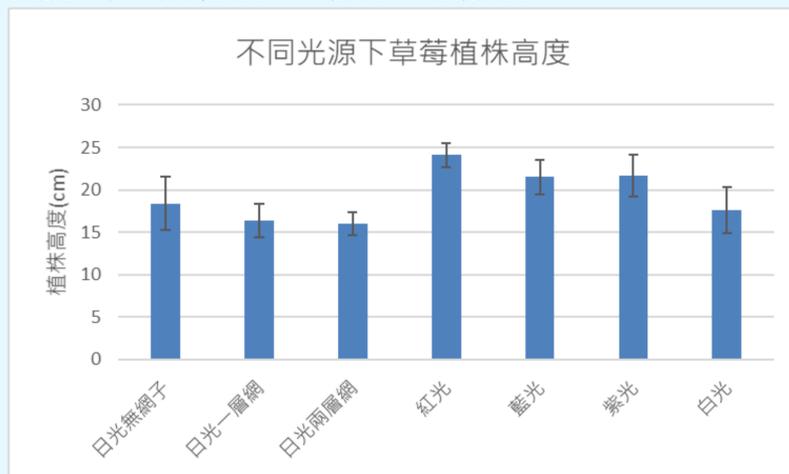
在此實驗中，紅光的草莓平均葉片乾重為0.42 ± 0.07g，藍光為0.22 ± 0.03g，紫光為0.45 ± 0.06g，白光為0.27 ± 0.10g，日光一層網為0.48 ± 0.08g，日光兩層網為0.40 ± 0.05g。由圖(八)可得知草莓葉片在不同光源下乾重為紅光 > 紫光 > 白光 > 藍光，在不同光強度下葉片乾重為一層網 > 兩層網。



圖八 不同光源下草莓葉片乾重。橫軸為不同光源，縱軸為草莓葉片乾重，由圖可知草莓葉片在不同光源下乾重為紅光 > 紫光 > 白光 > 藍光，在不同光強度下葉片乾重為一層網 > 兩層網。

6.不同光源下草莓株高

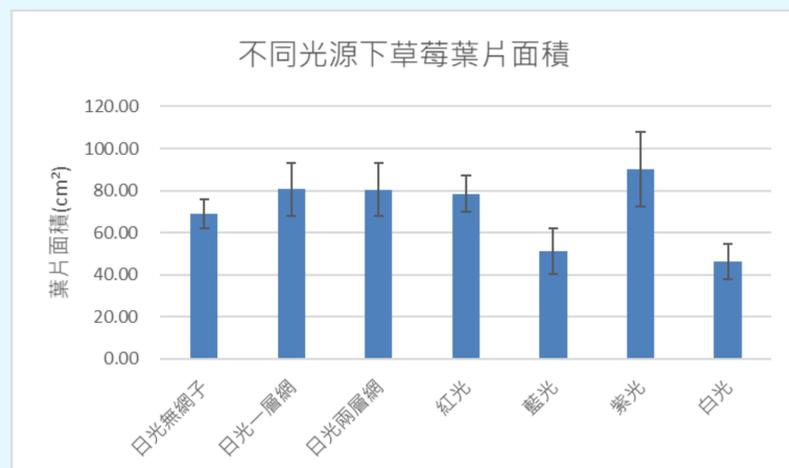
在此實驗中，日光無網子的草莓平均株高為18.40 ± 3.13cm，日光一層網為16.40 ± 1.95cm，日光兩層網為16.00 ± 1.41cm，紅光為24.10 ± 1.43cm，藍光為21.50 ± 2.00cm，紫光為21.70 ± 2.47cm，白光為17.60 ± 2.70cm。由圖(九)可得知草莓植株在不同光源下高度為紅光 > 紫光 > 藍光 > 太陽光 > 白光，在不同光強度下株高為無網 > 一層網 > 兩層網。



圖九 不同光源下草莓植株高度。橫軸為不同光源，縱軸為草莓株高，由圖可知草莓植株在不同光源下高度為紅光 > 紫光 > 藍光 > 太陽光 > 白光，在不同光強度下株高為無網 > 一層網 > 兩層網。

7.不同光源下草莓葉片面積

在此實驗中，日光無網子的草莓平均葉面積為68.88 ± 6.82cm²，日光一層網為80.63 ± 12.70cm²，日光兩層網為80.32 ± 12.57cm²，紅光為78.46 ± 8.56cm²，藍光為51.20 ± 10.71cm²，紫光為90.19 ± 17.69cm²，白光為46.19 ± 8.36cm²。由圖(十)可得知草莓葉片在不同光源下面積為紫光 ≈ 紅光 ≈ 太陽光 > 藍光 > 白光(紅光與日光無網p=0.13，紅光與紫光p=0.28)，在不同光強度下葉面積無顯著差異(日光無網與日光一層網p=0.16，日光無網與日光兩層網p=0.16，日光一層網與日光兩層網p=0.97)。



圖十 不同光源下草莓葉片面積。橫軸為不同光源，縱軸為葉片面積，由圖可知草莓葉片在不同光源下面積為紫光 ≈ 紅光 ≈ 太陽光 > 藍光 > 白光(紅光與日光無網p=0.13，紅光與紫光p=0.28)，在不同光強度下葉面積無顯著差異(日光無網與日光一層網p=0.16，日光無網與日光兩層網p=0.16，日光一層網與日光兩層網p=0.97)。