

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

080309

植物也會發燒嗎？_以仙人掌體內溫度為例

學校名稱：臺中市南屯區大新國民小學

| | |
|--------|-------|
| 作者： | 指導老師： |
| 小六 陳泊瑄 | 童進昌 |
| 小五 林育森 | 彭士峯 |
| 小五 游子毅 | |
| 小四 馬士宸 | |
| 小四 游耿旭 | |
| 小四 彭毓玟 | |

關鍵詞：仙人掌、恆溫、體內溫度

植物也會發燒嗎？_以仙人掌體內溫度為例

摘要

自然課提到環境溫度對動物的影響，我們好奇植物是否也有類似的恆溫或變溫的情形。而沙漠植物的仙人掌在沙漠早晚極端氣溫下，植物體內的溫度變化是否也有相對應的改變呢？我們從探究植物的體內溫度測量開始，進行一連串的觀測記錄與探究，以 Microbit 解決觀測不便等問題。研究結果發現：

- 一、仙人掌體內溫度是會隨外界環境溫度改變的變溫植物。
- 二、環境溫度較高時，照光的、乾燥的仙人掌體內溫度較高，吹風的仙人掌體內溫度較低。
- 三、極端高溫下仙人掌的體內溫度具有維持在 52°C 左右恆溫的現象。
- 四、影響仙人掌體內溫度以太陽輻射與熱傳導為主，自身的蒸散作用調節有限。
- 五、照綠色光的仙人掌比起照白光、藍光、紅光的仙人掌的體內溫度都要低。

壹、前言

研究動機

上自然課時，老師提到動物大致可區分為恆溫動物與變溫動物，也因為如此，動物們為適應生活環境，也各自演化出能克服環境變化所帶來的威脅。這不禁讓我也想到，植物無法自由行動，那麼他們對於周遭環境的改變，在體內溫度上是否也能還維持恆溫，或者也如變溫動物一樣，隨著溫度而有所改變呢？究竟植物是恆溫還是變溫讓我們非常的好奇。特別是植物在遇到極端的酷熱與嚴寒的環境時，他們是否也能有相關適應而產生變化？而在我們所知的植物中，沙漠植物中的仙人掌在沙漠早晚的極端氣溫下，除了形態的適應外，植物體內的溫度變化是否也有相對應的改變呢？因此我們就以該植物為研究素材，開始我們的研究。相關單元：康軒版，自然與生活科技五上第一單元動物世界。

研究目的

- 一、尋找可以測量仙人掌體內溫度的儀器與方法
- 二、探究仙人掌體內溫度變化與環境溫度變化的關係
- 三、探究改變外在環境對仙人掌體內溫度的影響
- 四、探究影響仙人掌體內溫度變化的可能機制

文獻探討

每種生物的生命活動都需要有一定的溫度範圍，在這個範圍內才能保持體內各種生理活動的最佳狀態。溫度是生物必不可少的一個生活條件，會直接影響生物的生長、發育……等。在動物的生理活動中，可明顯區分為恆溫動物與變溫動物兩類，生物在極端溫度時會因為要適應外界的變化而產生形態、生理、行為上的適應(參考資料 1)。然而植物在遇到極端的酷熱與嚴寒的環境時，是否也能有相關適應而產生變化？究竟植物是恆溫還是變溫？這樣想法引起了我們的好奇。

在參考資料中，我們發現曾有例子表明，葛芋花的溫度約為 38°C，而當外界溫度達 20°C 時其溫度還是維持在 40°C 左右，表現出有恆溫的現象。在另一個例子中也指出紅千葉蓮花在環境溫度低至 10°C 時，它的花朵溫度仍能保持在 30~36°C，也展現了恆溫的現象(參考資料 5)。所以在我們所知的植物中，沙漠植物中的仙人掌在沙漠早晚的極端氣溫下，除了形態的適應外，植物體內的溫度變化是否也有相對應的改變呢？因此我們以該植物為研究素材，開始我們的研究。

而在植物體溫測試的方法中，大致可分為接觸式與非接觸式兩種。紅外線輻射法屬非接觸式，其方法快速，便於測量整體溫度，但受環境影響較大。而接觸式如水銀溫度計、熱電偶等，其最大優點是可以直接測得體內溫度，比紅外線輻射法更能代替植物體溫(參考資料 6)。而我們實際在體溫的量測上，也嘗試了上述的一些方法，以溫度計、紅外線及 Microbit 測量等，最後統整出最為實際可行的一種方法，作為我們實際量測仙人掌體內溫度的方式。

另外，決定植物體溫主要包括兩個能量傳遞過程，一是植物與環境間通過傳導對流等方式傳熱，二是生物組織內的傳熱(參考資料 6)。因此就以上兩方面，我們在實驗上分別做了一些設計與探究，試圖找出哪些可能是影響仙人掌體內溫度的因素，然後根據實驗結果再加以分析，更深入的發掘出其影響的原因。

貳、研究設備及器材

仙人掌(八卦癩)、酒精溫度計、紅外線測溫槍、Microbit v2.2 主機板、DS18B20 防水溫度探針、攪拌棒、風扇、紙箱、光度計、冰箱、植物烘乾機、凡士林、燒杯、玻璃紙、T5 燈管、電鑽。

參、研究過程或方法

本研究的架構，大致如下所示：

一、尋找可以測量仙人掌體內溫度的儀器與方法

探究一：測量溫度儀器的校正

探究二：以溫度計實際測量仙人掌的體內溫度與氣溫的關係

探究三：以 Microbit 測量與記錄仙人掌體內溫度的可行性

二、探究仙人掌體內溫度變化與環境溫度變化的關係

探究四：以 Microbit 實際測量仙人掌的內在溫度與環境溫度的關係

三、探究改變外在環境對仙人掌體內溫度的影響

探究五：太陽光照射對仙人掌體內溫度的影響

探究六：風對於仙人掌體內溫度的影響

探究七：極端溫度對於仙人掌體內溫度的影響

探究八：水分對於仙人掌體內溫度的影響

四、探究影響仙人掌體內溫度變化的可能機制

(一)植物體修復

探究九：仙人掌表面產生傷口對於仙人掌體內溫度的影響

(二)蒸散作用

探究十：移除仙人掌的針狀葉對於仙人掌體內溫度的影響

探究十一：對仙人掌表面塗凡士林對於仙人掌體內溫度的變化的影響

(三)植物體液的比熱

探究十二：探究仙人掌的比熱大小

(四)不同的色光

探究十三：不同色光對於仙人掌體內溫度的影響



上方照片由指導老師拍攝

一、尋找可以測量仙人掌體內溫度的儀器與方法

探究一：測量溫度儀器的選擇

方法：

- 1.準備水族箱，內裝八分滿的水
- 2.將想要校正的溫度測量儀器一起放入水中
- 3.每隔 5 分鐘記錄一次溫度
- 4.將結果製作成圖表加以比較

結果：如表一

表一：溫度計的溫度變化記錄表(單位：°C)

| 編號/時間 | 5 分 | 10 分 | 15 分 | 20 分 | 25 分 | 30 分 |
|-------|-----|------|------|------|------|------|
| 溫 1 | 54 | 52 | 50 | 47 | 47 | 46 |
| 溫 2 | 56 | 54 | 52 | 50 | 47 | 47 |
| 溫 3 | 56 | 54 | 50 | 48 | 46 | 46 |
| 溫 4 | 56 | 55 | 52 | 50 | 48 | 48 |
| 溫 5 | 56 | 54 | 51 | 48 | 48 | 47 |
| 溫 6 | 51 | 50 | 48 | 47 | 46 | 45 |
| 溫 7 | 54 | 55 | 50 | 48 | 45 | 46 |
| 溫 8 | 56 | 55 | 53 | 50 | 49 | 47 |
| 溫 9 | 58 | 56 | 53 | 50 | 49 | 48 |
| 溫 10 | 56 | 54 | 51 | 49 | 48 | 47 |

討論：

在相同的測試條件下，每個溫度計測出來的溫度變化不太相同，我們討論後希望能夠找出較為相近的溫度計作為實驗觀測的儀器，我們先以測量的起始溫度與結束溫度相同為選擇標準，再分別計算三支溫度計的標準差(如下表二)，我們最後選擇了編號 2、5、10 三支溫度計作為觀測的儀器。

表二：各組溫度計度間的標準差

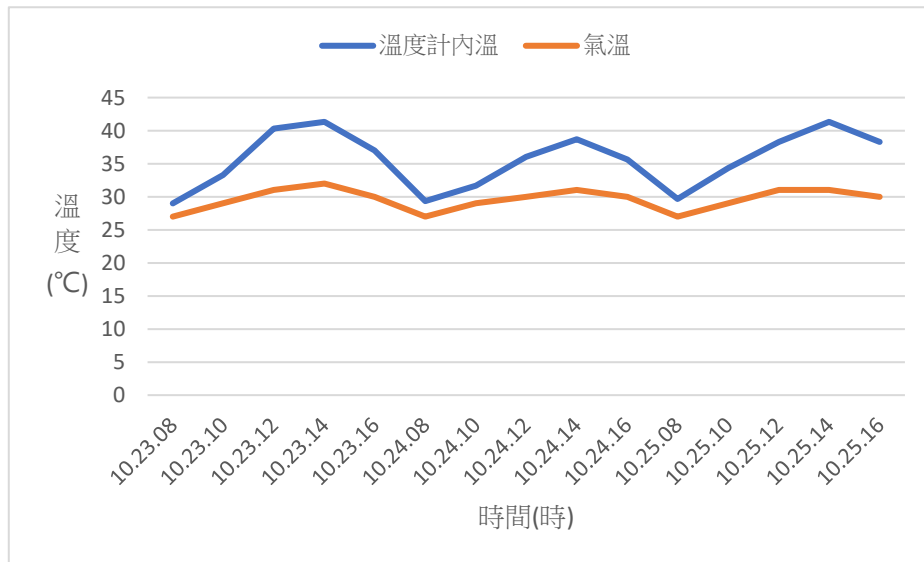
| 編號 | 5 分鐘 | 10 分鐘 | 15 分鐘 | 20 分鐘 | 25 分鐘 | 30 分鐘 |
|--------|------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 2、5、8 | 0 | 0.5774 | 1 | 1.1547 | 1 | 0 |
| 2、5、10 | 0 | 0 | 0.5774 | 1 | 0.5774 | 0 |
| 2、8、10 | 0 | 0.5774 | 1 | 0.5774 | 1 | 0 |
| 5、8、10 | 0 | 0.5774 | 1.1547 | 1 | 0.5774 | 0 |

探究二：以溫度計實際測量仙人掌的體內溫度與氣溫的關係

方法：

- 1.取三株仙人掌，以電鑽鑽孔，深度約為 3.5 公分。
- 2.將編號 2、5、10 的溫度計依序插入三株仙人掌中，以凡士林在封口塗抹密封。
- 3.放置經過 5 天，放在太陽可照射到的地方，依學校作息每 2 小時記錄一次溫度。
- 4.每日抓取學校附近氣象站的氣溫逐時資料並加以比較。

結果：如圖一



圖一：仙人掌體內溫度與氣溫比較

發現：

從觀測資料可以發現仙人掌內溫的變化與氣溫的變化趨勢一致，可見仙人掌體內溫度變化受外界環境溫度影響不小，是屬於會隨著外界環境溫度改變的變溫植物。

討論：

- 1.由於測量需要透過人工記錄，加上配合學校作息，因此能夠記錄的資料有限，如果想要做長期且全天的觀測，必須要改用能夠自動監測與記錄的儀器。
- 2.由於氣象站的資料溫度大氣資料與現場的溫度資料不完全相同，為了更接近實驗觀測的所在溫度，因此我們也同步測量仙人掌附近的環境溫度，做為比較的依據之一。

探究三：以 Microbit 測量與記錄仙人掌體內溫度的可行性

[3-1]以 Microbit 測量溫度的可行性

方法：

- 1.以 Microbitv2.22 的模板，連接擴充模組與 DS18B20 的防水溫度探針。
- 2.在 Microbit 模板中寫入下面程式，設定每 5 分鐘測量溫度一次。



上方圖片由指導老師協助截圖

- 3.將 DS18B20 溫度探針放入待測的水中，使 Microbit 每隔 5 分鐘記錄一次溫度
- 4.實驗 30 分鐘後，將結果從 Microbit 中取出並製作成圖表加以比較

結果：如下表三

表三：Microbit 配合 DS18B20 溫度探針的溫度變化記錄表(單位：°C)

| 時間(分)\探針編號 | MA | MB | MC | MD | ME | MF | 標準差 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 5 | 54.25 | 54.69 | 54.19 | 54.44 | 54.19 | 54.44 | 0.20 |
| 10 | 53.63 | 53.25 | 53.25 | 53.00 | 53.19 | 52.88 | 0.26 |
| 15 | 51.81 | 51.69 | 51.50 | 51.44 | 51.25 | 51.25 | 0.23 |
| 20 | 50.38 | 50.19 | 50.13 | 49.94 | 49.81 | 49.81 | 0.23 |
| 25 | 49.25 | 48.94 | 48.88 | 48.69 | 48.50 | 48.63 | 0.27 |
| 30 | 48.06 | 47.69 | 47.81 | 47.56 | 47.50 | 47.44 | 0.23 |

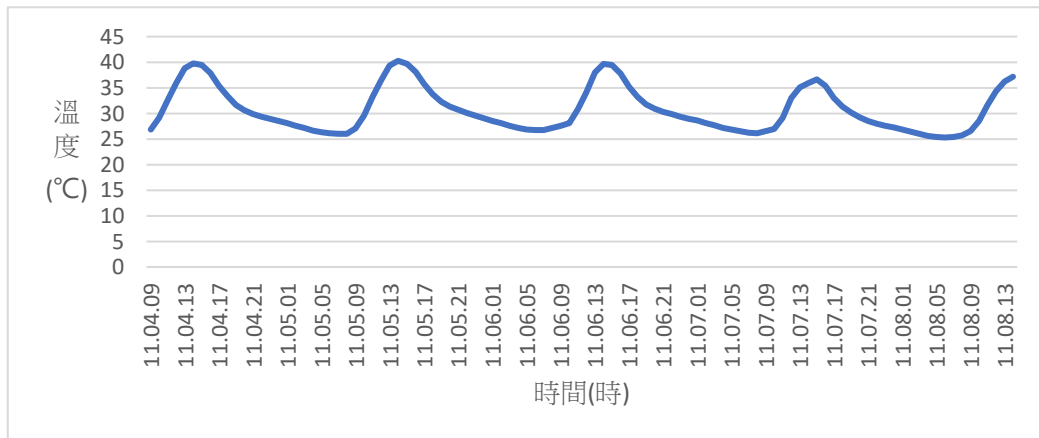
討論：從表中可以看到以 Microbit 所測出來的數據標準差更小，代表資料更為集中，誤差也相對較小，另外由於是自動記錄，因此不受夜間影響，克服了我們在夜間無法記錄的問題，所以往後的仙人掌體內溫度測量工具，我們捨棄溫度計改以 Microbit 配合 DS18B20 探針的方式測量。

[3-2]測試使用 Microbit 記錄仙人掌體內溫度的可行性。

方法：

- 1.以 Microbitv2.22 的模板，連接擴充模組與 DS18B20 的防水溫度探針。
- 2.在 Microbit 模板中寫入的程式中，改設定一小時測量一次。
- 3.將 DS18B20 探針插入已挖好深度 3.5cm 的仙人掌中，並以凡士林在仙人掌與溫度探針的出口處塗抹，使得探針與仙人掌的出口密合。
- 4.以 Microbit 每小時記錄仙人掌體內溫度。
- 5.四天後取出 Microbit 並以電腦抓取數據，製成圖。

結果：如下圖二



圖二：仙人掌體內溫度的逐時變化

發現：

以 Microbit 可以每小時記錄仙人掌體內的溫度變化，並且克服了在夜間無法觀察記錄仙人掌體內溫度變化的問題。所以用 Microbit 記錄仙人掌體內溫度是可行的。

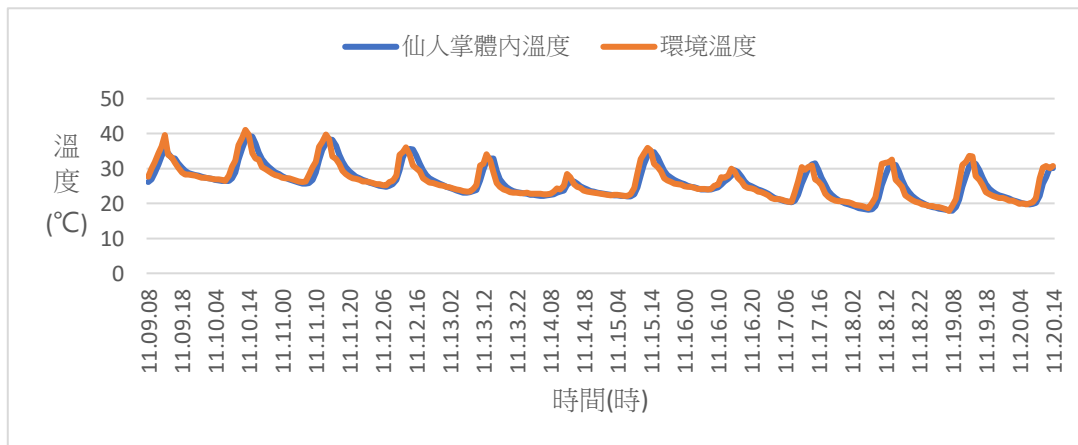
二、探究仙人掌體內溫度變化與環境溫度變化的關係

探究四：以 Microbit 實際測量仙人掌體內溫度與環境溫度的關係

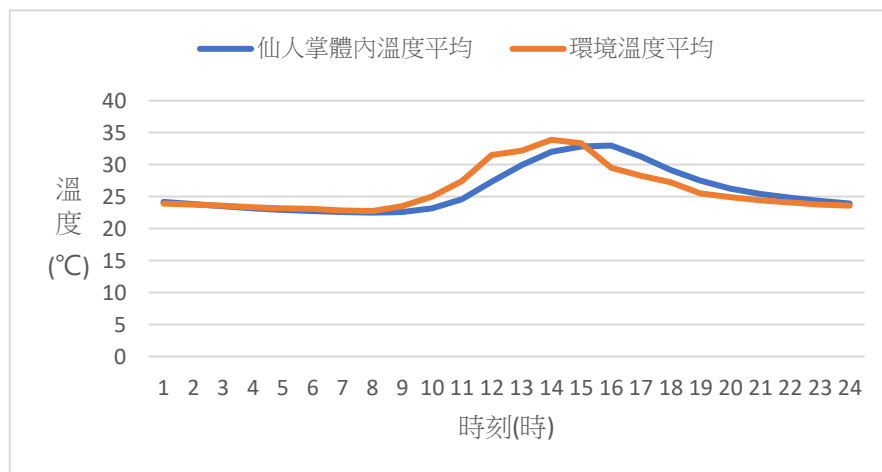
方法：

- 1.以 Microbitv2.22 的模板，連接擴充模組與 DS18B20 的防水溫度探針。
- 2.在 Microbit 模板中寫入的程式中，改設定一小時測量一次。
- 3.將 DS18B20 探針插入已挖好深度 3.5cm 的仙人掌中，並以凡士林在仙人掌與溫度探針的出口處塗抹，使得探針與仙人掌的出口密合。
- 4.準備三支 DS18B20 探針，置於仙人掌旁邊測量環境溫度。
- 5.以 Microbit 每小時記錄仙人掌體內溫度與環境溫度。
- 6.數天後取出 Microbit 並以電腦抓取數據，製成圖分析。

結果：如圖三、圖四



圖三：仙人掌體內溫度與環境溫度的逐時記錄



圖四：仙人掌體內溫度與環境溫度的逐時平均記錄

發現：

- 1.仙人掌的溫度會隨著外界的環境溫度改變而改變，但是溫度升降的變化的時間略落後環境溫度的變化的時間。
- 2.仙人掌的體內溫度每日最高溫約莫出現在下午三點，而最低溫出現在每天的早上六、七點左右。

討論：

我們猜想仙人掌溫度的變化主要受環境溫度的改變而產生改變，11月太陽約莫在早上六點後升起，因此環境溫度開始有升溫的變化，而仙人掌體內溫度的變化，除了太陽輻射之外，則是當環境溫度高於仙人掌體內溫度後，熱量傳導進入仙人掌體內才升溫，因此我們猜想由於仙人掌體內的傳導可能較慢，造成我們測量的仙人掌體內的溫度會略落後於環境溫度。

三、探究改變外在環境對仙人掌體內溫度的影響

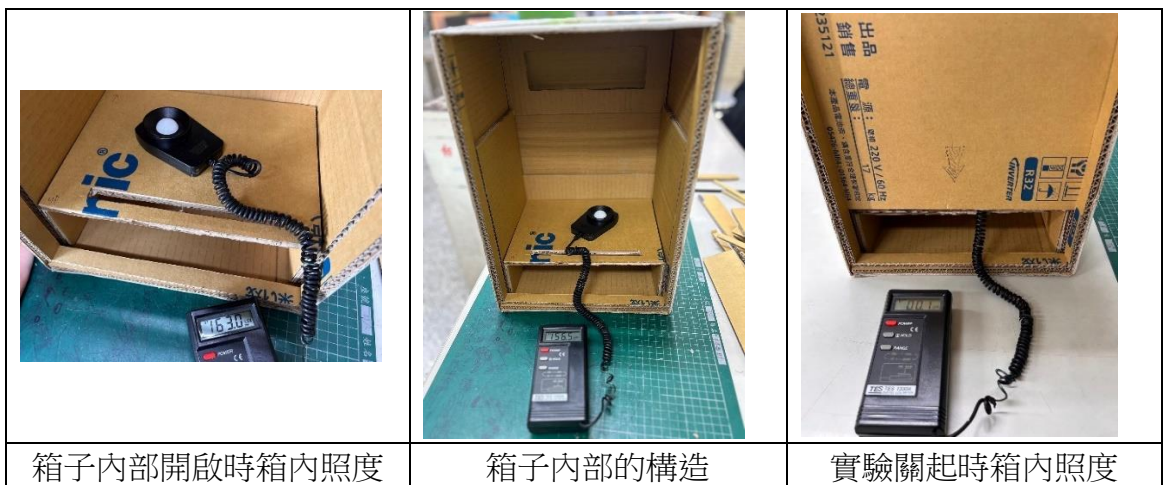
探究五：太陽光照射與仙人掌體內溫度的影響

[5-1]製作可測量的裝置

想法：我們做不照光的實驗時，使用箱子來遮光，但為了避免遮光時造成箱子內外溫度的不同，所以將不照光的箱子設計如下圖，透過空氣的流動讓箱子內的溫度和外界一致，並且使用照度計測試箱內的照度。

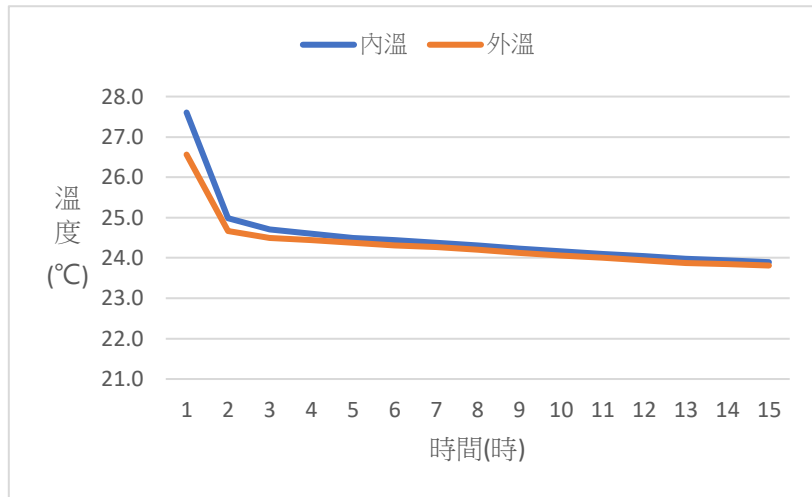
實驗測試：

- 1.以照度計測試箱門未關上時數值是 163Lux，箱門關起來時的數值為 0.1Lux，接近為零，可以看到遮光效果很好，箱子中幾乎照不到陽光。



上方照片由指導老師拍攝

- 2.以 MicroBit 記錄箱內與箱外的氣溫數值，結果如下圖五，發現在 2 小時後平均數值已經相當接近，3 小時後數值幾乎重疊，因此可以知道箱內外的溫差很小。



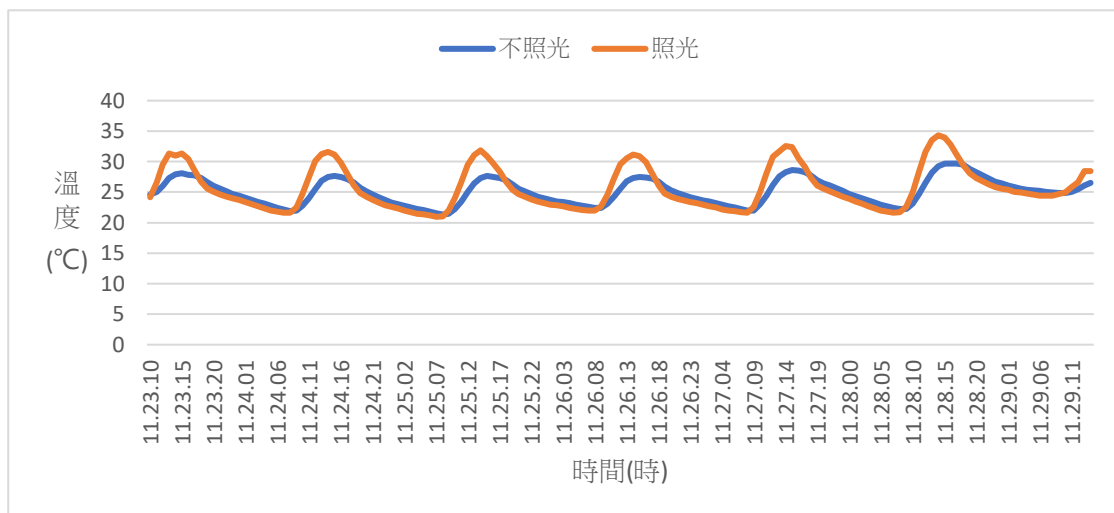
圖五：箱內與箱外的氣溫數值記錄

[5-2]以自製裝置箱測量太陽光照射與不照射時仙人掌體內溫度的影響

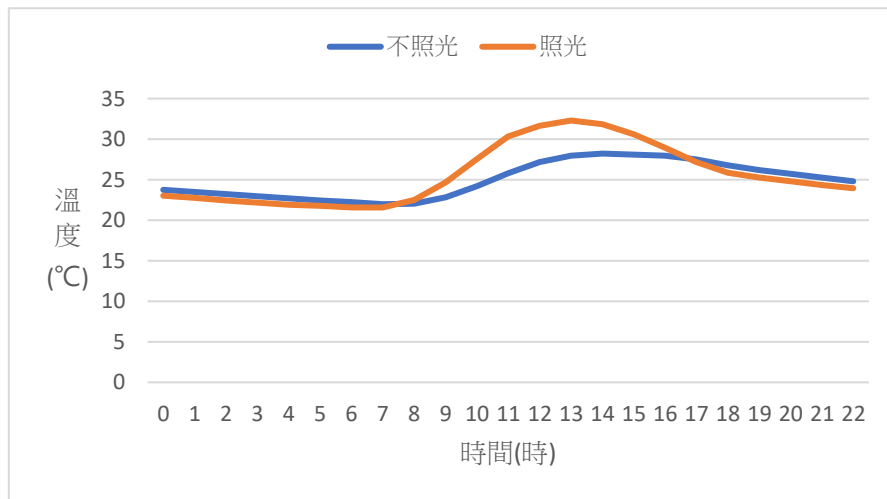
方法：

- 1.將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於太陽能照射的地方
- 2.另在同地點將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於自製裝置箱內。
- 3.以 Microbit 記錄每小時的資料，記錄數天。
- 4.將上述資料做成圖表比較並加以分析。

結果：如圖六、圖七



圖六：仙人掌照光與不照光的溫度變化



圖七：仙人掌照光與不照光的逐時平均溫度變化

發現：

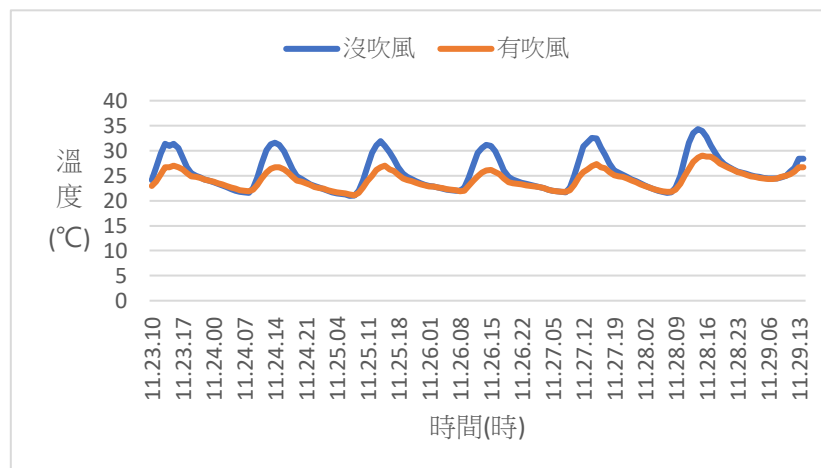
- 1.照光的仙人掌在白天溫度較高，但是在 18 點後大致上溫度差異不大。
- 2.不論是照光或是不照光的仙人掌的出現最高溫與出現最低溫的時刻差不多。
- 3.照光的仙人掌在白天升溫的速率較不照光的升溫速率快。

探究六：風對於仙人掌體內溫度的影響

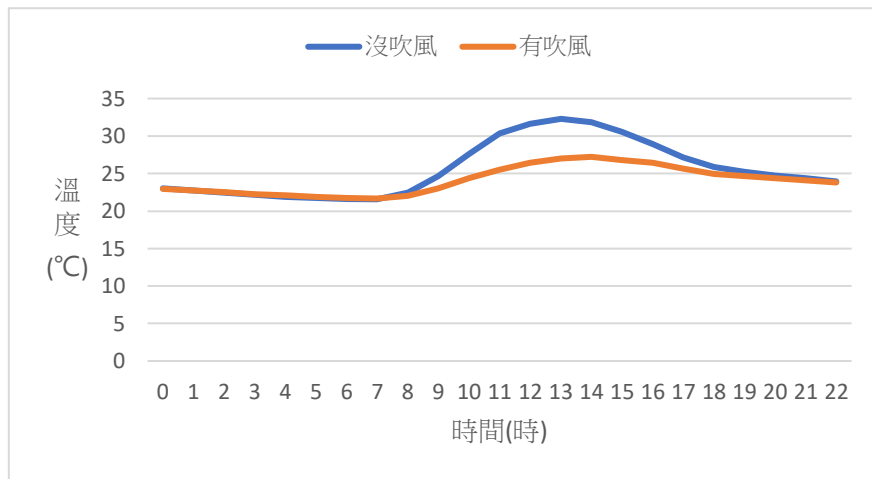
方法：

- 1.將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於無風的地方
- 2.另將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於電風扇前方 (每天由早上 6:00 到下午 6:00 以定時器設定供電使風扇運轉)
- 3.將上述實驗器材置於相同環境，中間以隔板隔開。
- 4.以 Microbit 記錄每小時的資料，記錄數天。
- 5.將上述資料做成圖表比較並加以分析。

結果：如下圖八、圖九



圖八：仙人掌吹風與不吹風的逐時溫度變化



圖九：仙人掌吹風與不吹風的逐時平均溫度變化

發現：

吹風的仙人掌溫度變化的趨勢會與對照組的溫度變化一致，但是溫度會略低於對照組的溫度，因此吹風會使植物體的體內溫度降低，當電風扇停止時(18:00 到隔日 6:00)溫度又會趨於一致。

討論：

由於風會帶走熱量，因此吹風會帶走仙人掌的熱量使得溫度降低，由於我們的定時器設定在 6:00-18:00，從上圖也可以看到，18:00 以後到隔天 6:00 的溫度大約又相同，可以再次說明吹風確實會影響仙人掌，使仙人掌體內溫度降低。

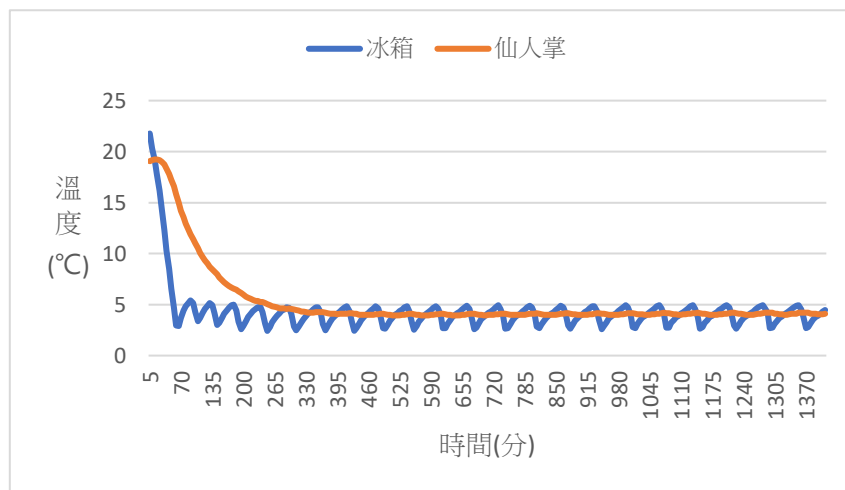
探究七：極端溫度對於仙人掌體內溫度的影響

[7-1]極度低溫對於仙人掌體內溫度的影響

方法：

- 1.將冰箱設定從常溫降溫到 5°C
- 2.將安裝好探針的三組仙人掌和裸露的三支探針(探針要懸空不能碰到附近的物體)放置冰箱內。
- 3.關上冰箱開始降溫，並使用 Microbit 每隔 5 分鐘記錄一次數據，共記錄 24 小時仙人掌體內的溫度與冰箱環境溫度的變化數據。
- 4.將上述結果以電腦抓取數據，並製成圖表比較。

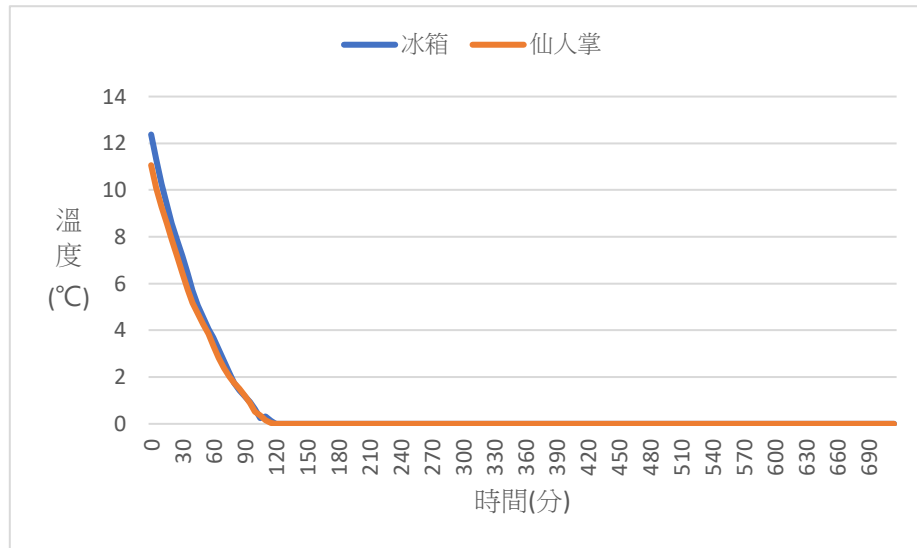
結果：如下圖十



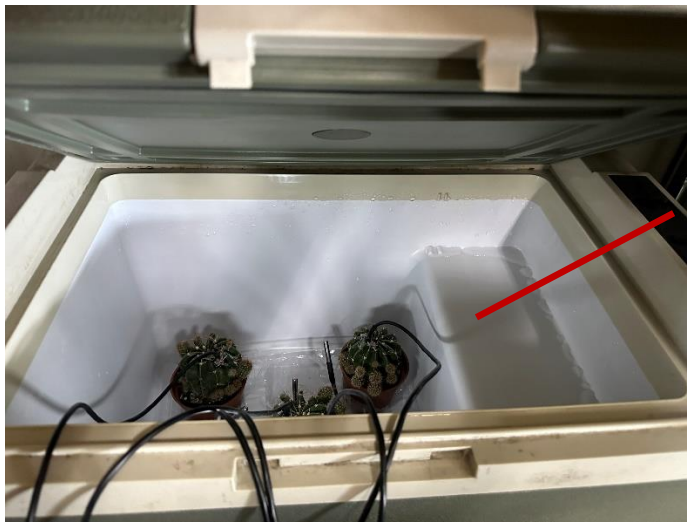
圖十：極端低溫(5°C)對於仙人掌體內溫度的變化

發現：

冰箱的溫度在 5°C 附近上下波動，冰箱環境溫度於 60 分鐘後達到 5°C，仙人掌體內溫度則在 240 分鐘後達到 5°C，之後維持在 4°C 附近，我們懷疑仙人掌在 4°C 時是否會有恆溫的現象，所以將冰箱溫度調至 0°C，結果如圖十一，再次說明即使在低溫的環境下，仙人掌體內的溫度還是受外界環境溫度的影響，沒有呈現恆溫的現象。



圖十一：極端低溫(0°C)對於仙人掌體內溫度的變化



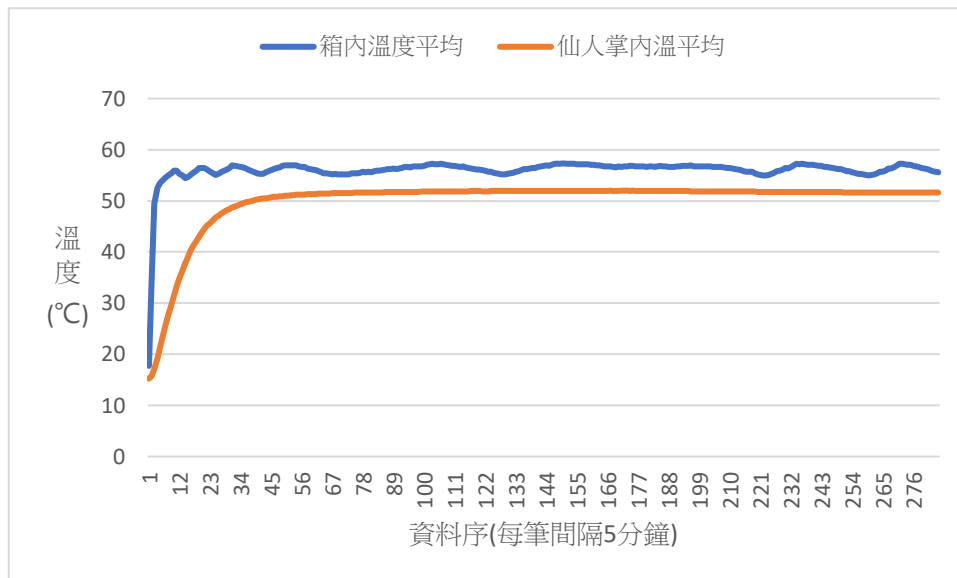
上方照片由指導老師拍攝

[7-2]極度高溫對於仙人掌內在溫度的影響

方法：

- 1.將安裝好探針的三組仙人掌和裸露的三支探針(探針要懸空不能碰到附近的物體)，放置紙箱的烘烤架上。
- 2.以溫度控制器控制箱內氣溫由常溫加熱至 55°C，在達到 55°C 時，使其溫度維持在 55°C 上下。
- 3.關上紙箱開始升溫，並使用 Microbit 每隔 5 分鐘記錄一次數據，共記錄 24 小時仙人掌體內的溫度與紙箱內環境溫度的變化數據。
- 4.將上述結果以電腦抓取數據，並製成圖表比較。

結果：如圖十二



圖十二：極端高溫(55°C)對於仙人掌體內溫度的變化

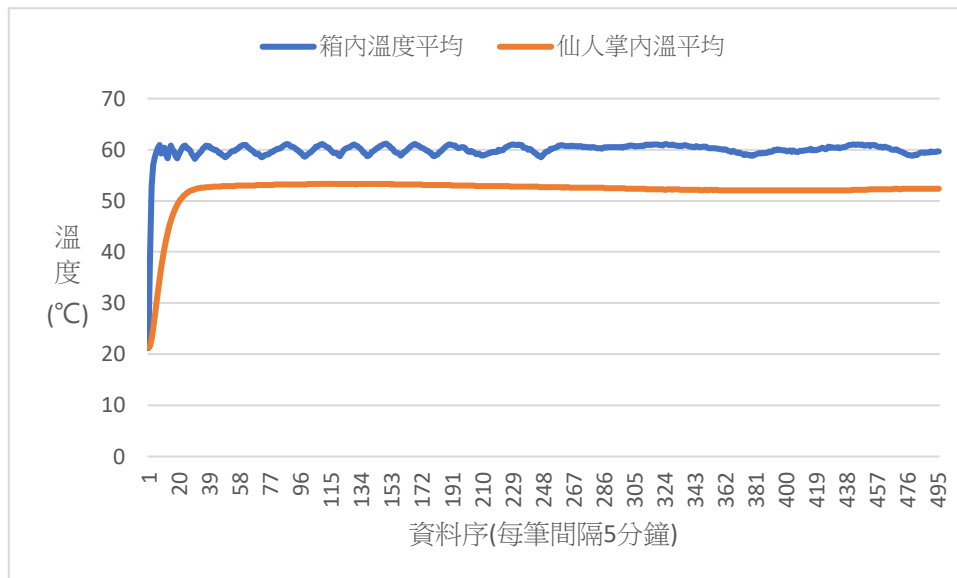
發現：

仙人掌在外溫 55°C 時，仙人掌的溫度會維持在 52°C 左右，不會隨著外界溫度升高而改變仙人掌的體內溫度。

討論：

由先前的實驗，我們發現仙人掌的溫度會隨著外界環境溫度改變的變溫植物，然而在這個觀察中，我們發現了仙人掌在高溫時會有恆定的現象出現，為了再次確認我們的發現，我們假設仙人掌是沙漠植物，而沙漠中長年要面對的是高溫環境，是不是仙人掌對於極高的溫度有恆定的現象呢？因此我們將溫度設定由原先的 55°C 上升到 60°C 再實驗看看，看看是否仍然出現恆定的現象。

結果：圖十三



圖十三：極端高溫(60°C)對於仙人掌體內溫度的變化

發現：

仙人掌在實驗時外界溫度是 60°C，但是仙人掌體內溫度仍會維持恆定溫度在 52°C 左右。

討論：

我們發現兩個實驗仙人掌體內溫度都維持在 52°C 左右，也就是環境溫度超過了一定溫度後，仙人掌體內溫度仍不再上升，這個部份很類似恆溫才有的現象，我們猜想仙人掌也許在演化的過程為了對抗高溫，而使仙人掌出現了在高溫下類似恆溫的機制，才能使仙人掌能夠適應沙漠高溫的變化。



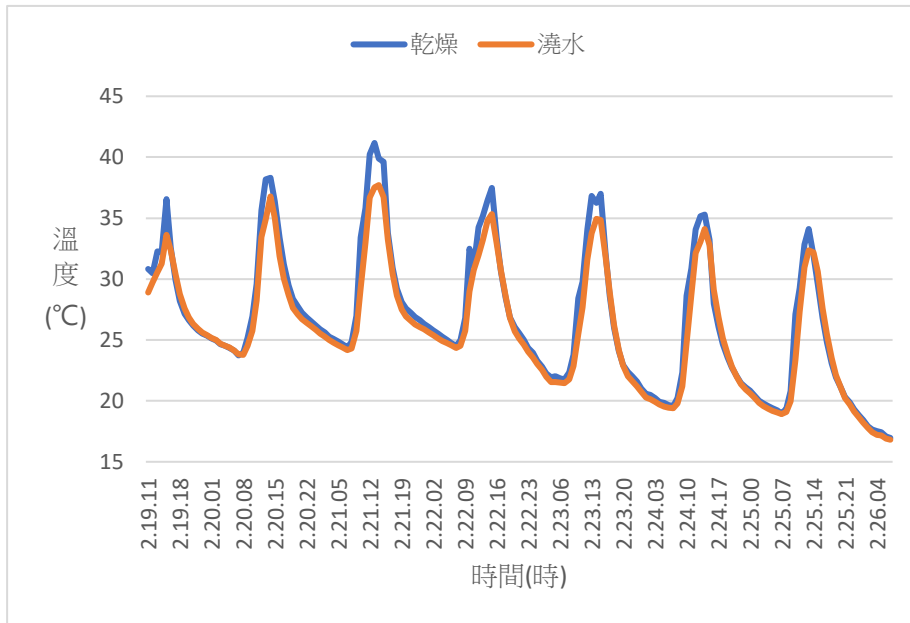
上方照片由指導老師拍攝

探究八：水分對於仙人掌體內溫度變化的影響

方法：

1. 安裝好探針的六組仙人掌。
2. 其中三組一星期澆水一次持續一個月。另外三組持續不澆水一個月。
3. 一個月後，將上述六組仙人掌放置在相同環境中，並使用 Microbit 每隔一小時記錄一次數據，共記錄 7 天。
4. 將上述結果以電腦抓取數據，並製成圖表比較。

結果：如圖十四



圖十四：水分對於仙人掌體內溫度的變化

發現：

在溫度較高時，乾燥的仙人掌較有澆水的仙人掌溫度來得高。

討論：

我們知道水分是植物體內調節溫度的重要元素，再加上之前的實驗說明仙人掌體內溫度會隨環境溫度改變，我們猜測乾燥的仙人掌因為體內的水分較少，所以在高溫時，仙人掌或許會為了維持體內水分而降低蒸散作用，因此體內的熱量無法靠著蒸散作用散熱，而使體內溫度上升，為此我們將三株仙人掌各切部分植物體做含水率的測試，結果如下表四，發現乾燥的仙人掌平均含水率約為 83.5% 較澆水的仙人掌平均含水率 95% 來得低，因此我們猜測乾燥的仙人掌體內溫度容易上升或許與該仙人掌的水分含量有關。

表四：乾燥仙人掌與澆水仙人掌的含水率

| | 乾燥仙人掌 | | | 澆水仙人掌 | | |
|----------|-------|------|-----|-------|------|------|
| 烘乾前重量(g) | 1.8 | 1.9 | 3 | 3.6 | 2.2 | 4 |
| 烘乾後重量(g) | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.3 |
| 含水率(%) | 88.8 | 78.9 | 83 | 97.2 | 95.5 | 92.5 |
| 平均含水率(%) | 83.5 | | | 95 | | |

四、探究影響仙人掌體內溫度變化的可能機制

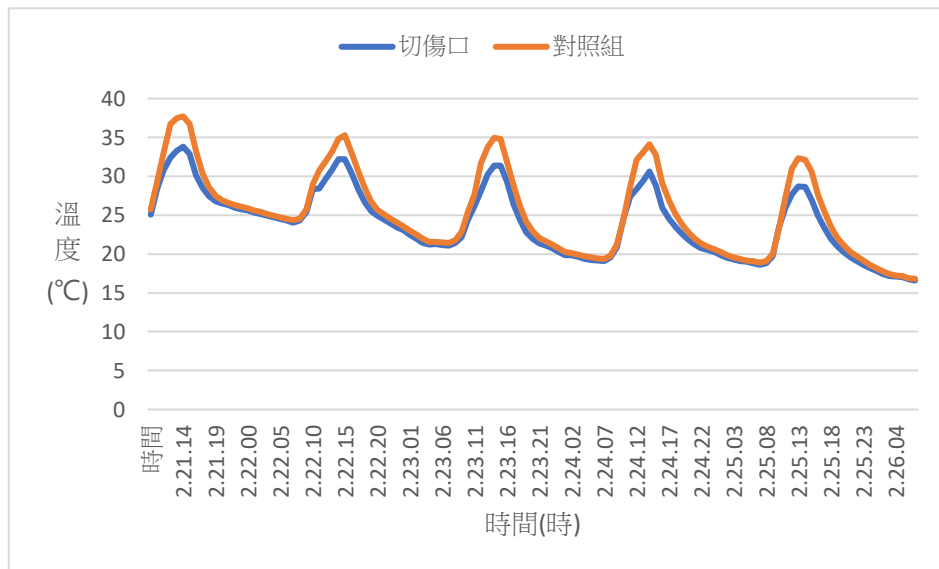
(一)植物體修復

探究九：仙人掌表面切傷口對於仙人掌體內溫度的影響

方法：

- 1.將三株仙人掌以刀片各削去突出的莖一片，使仙人掌表面產生傷口
- 2.將上述的仙人掌分別安裝好溫度探針
- 3.將正常的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
- 4.將上述仙人掌放在太陽可照射的地方
- 5.每個一小時記錄一次數據。
- 6.依據實驗數據繪成圖表並加以分析

結果：圖十五



圖十五：仙人掌表面切傷口對於仙人掌體內溫度的記錄

發現：

有傷口的仙人掌在白天溫度較高時，體內溫度較沒有傷口的對照組來得低。

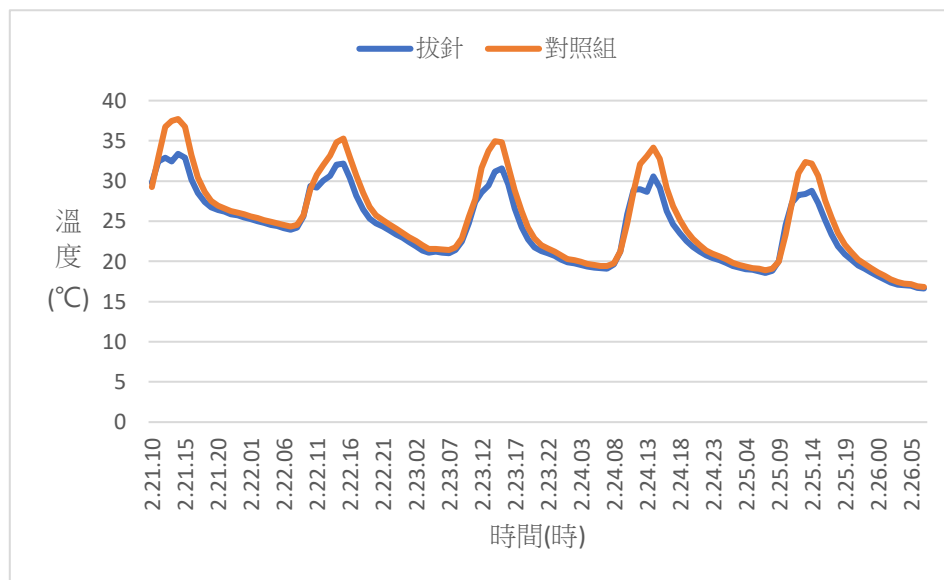
(二)蒸散作用

探究十：移除仙人掌的針狀葉對於仙人掌體內溫度的影響

方法：

- 1.將三株仙人掌分別以鑷子移除仙人掌表面的針狀葉
- 2.將上述的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
- 3.將正常的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
- 4.將上述植物置於太陽可照射的地方，每隔一小時記錄一次數據。
- 5.依據實驗數據繪成圖表並加以分析

結果：如圖十六



圖十六：移除仙人掌針狀葉對於仙人掌體內溫度的記錄

發現：

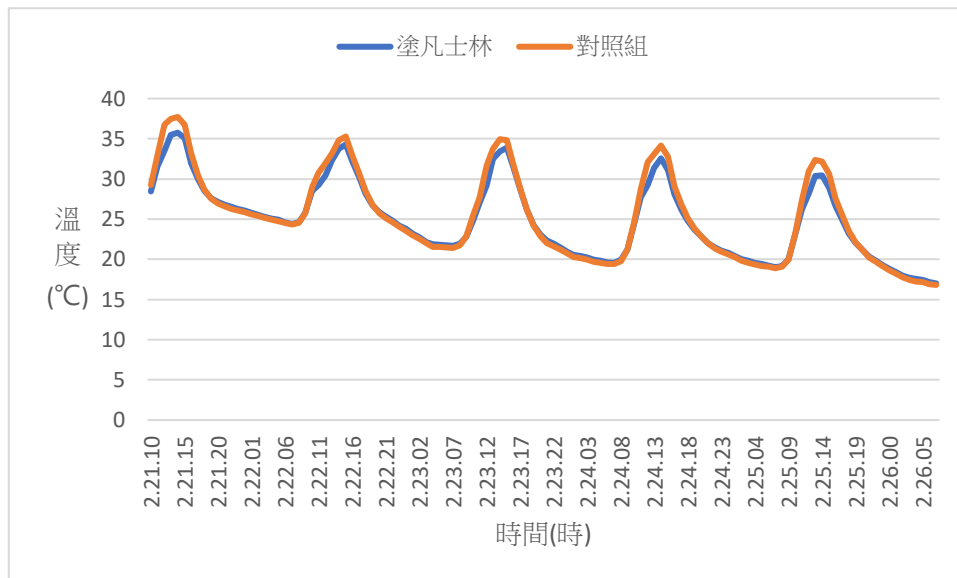
移除針狀葉的仙人掌在白天溫度較高時，體內溫度較沒有拔針的對照組來得低。

探究十一：仙人掌表面塗凡士林對於仙人掌體內溫度的影響

方法：

- 1.將三株仙人掌分別在莖與針狀葉的表面塗上凡士林
- 2.將上述的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
- 3.將正常的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
- 4.將上述植物置於太陽可照射的地方，每隔一小時記錄一次數據。
- 5.依據實驗數據繪成圖表並加以分析

結果：如圖十七



圖十七：仙人掌表面塗凡士林對於仙人掌體內溫度的記錄

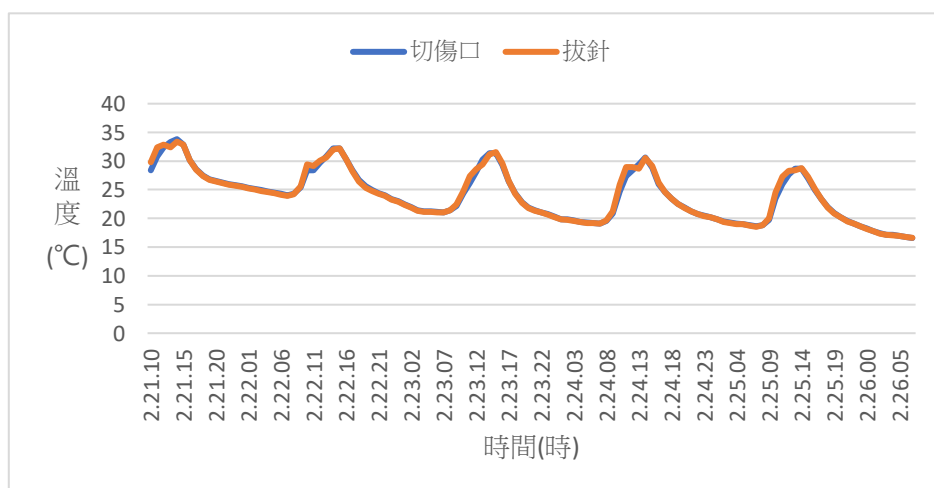
發現：

表面塗凡士林的仙人掌在白天溫度較高時會比對照組略低一些。

討論：

由於上述實驗的結果與我們實驗預想的結果恰好相反，我們起初認為拔針、塗凡士林的仙人掌會因為蒸散作用的減少而使體內的溫度升高，然而實驗的結果卻推翻了這個想法，在多次的討論後，我們認為仙人掌為了適應長期缺水的情況，在已經特化的莖和葉中蒸散作用已經降到很低了，而由之前的多個探究發現影響仙人掌體內溫度變化的主要因素，還是透過太陽輻射及熱傳導的機制來升溫或降溫。

另外，我們切傷口與拔針的資料比對如圖十八，意外發現兩者幾乎重疊，我們猜測對仙人掌拔針與切傷口具有同樣的影響，因此結果大致上相同，或許拔針這動作對仙人掌而言可看成是對仙人掌產生傷口也說不定。



圖十八：移除仙人掌針狀葉與切除傷口對於仙人掌體內溫度的記錄比較

(三)植物體的比熱

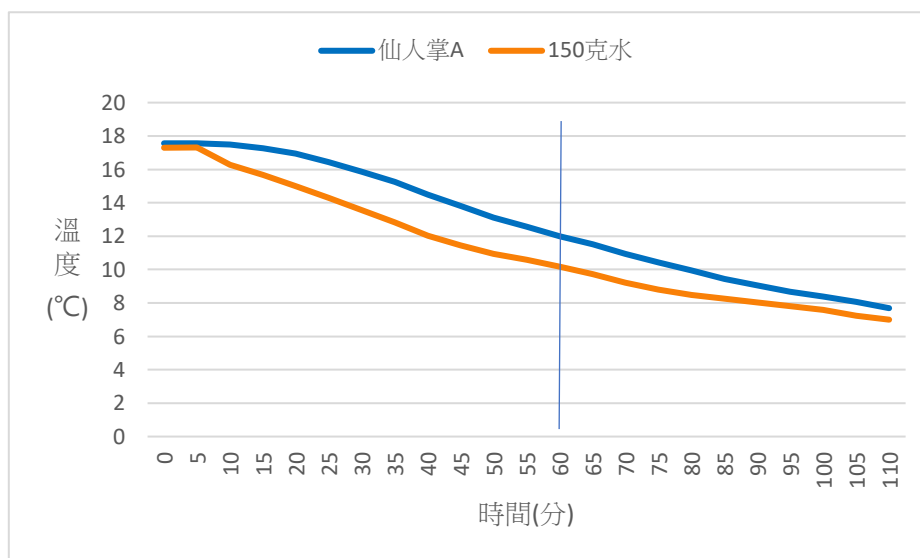
探究十二：探究仙人掌的比熱大小

(1)整株植物的比熱大小

方法：

- 1.先將三株仙人掌分別安裝好溫度探針
- 2.取三杯 150 克水分別放入溫度探針
- 3.將上述實驗的仙人掌及水杯放入 5°C 的冰箱冷藏中
- 4.每 5 分鐘記錄一次溫度變化
- 5.依據實驗記錄分析計算出整株仙人掌可能的比熱大小

結果：如圖十九



圖十九：仙人掌(以仙人掌 A 為例)與 150 克水在 5°C 的冰箱冷藏中的溫度變化

討論：

我們取一個小時後的資料，由 150g 水的平均溫差 7.125°C 可以計算出相同時間內冰箱帶走的熱量為 $150 \times 7.125 = 1068.75$ 卡，透過比熱=熱量/(質量 x 溫差)的公式換算，以仙人掌 A 為例，仙人掌整株重量為 107.7g，60 分鐘時溫差為 5.6°C，因此從公式可以計算出比熱= $1068.75 / (107.7 \times 5.6) = 1.772...$ 四捨五入取小數第一位可得比熱為 1.8(卡/克°C)，我們相對於水比熱為 1(卡/克°C)時，三株仙人掌全株平均比熱為 2.3(卡/克°C)。

表五：全株植物的比熱計算

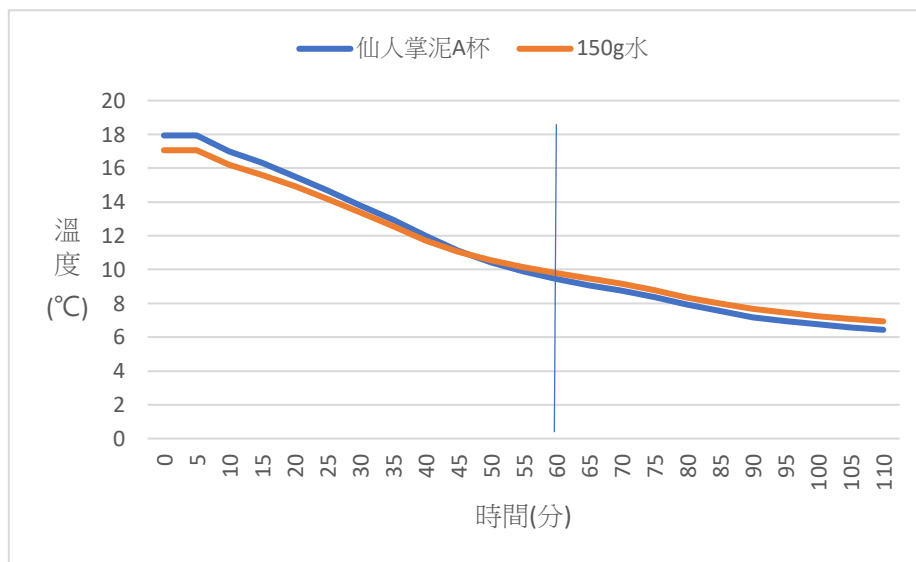
| 植物 | A | B | C |
|--------------|-------|------|------|
| 重量(g) | 107.7 | 64.3 | 67.1 |
| 溫差(°C) | 5.6 | 6.6 | 6.4 |
| 比熱(卡/克·°C) | 1.8 | 2.5 | 2.5 |
| 平均比熱(卡/克·°C) | 2.3 | | |

(2)仙人掌體液的比熱大小

方法：

- 1.分別將三株整株仙人掌以攪拌棒打成泥狀。
- 2.先將三株仙人掌的泥秤重並分別安裝好溫度探針
- 3.取三杯 150 克水分別放入溫度探針
- 4.將冰箱預先調整溫度到 5°C。
- 5.將上述實驗的仙人掌泥及水杯放入 5°C 的冰箱冷藏中
- 6.每隔 5 分鐘記錄一次數據。
- 7.依據實驗記錄分析計算出仙人掌泥可能的比熱大小

結果：如圖二十



圖二十：仙人掌泥(以 A 杯為例)與 150 克水在 5°C 的冰箱冷藏中的溫度變化

討論：

- 1.與前面相同方法，由 150 公克水溫差為 7.272°C，算出冰箱帶走熱量為 1090.625 卡，進而求出仙人掌泥 A 杯的比熱為 $1090.625 / (68.5 \times 8.5) = 1.873\dots$ ，比熱為 1.9(卡/克°C)，三杯仙人掌泥平均比熱為 1.6(卡/克°C)。
- 2.我們比較全株仙人掌與仙人掌泥的比熱可以發現都比水的比熱來得大，再思考仙人掌中的含水率，我們猜想仙人掌因為有水和仙人掌中的特殊構造，所以植物體的溫度較水來得難升溫與難降溫。

表六：仙人掌泥的比熱計算

| 植物 | A | B | C |
|--------------|------|------|------|
| 重量(g) | 68.5 | 89.7 | 74.1 |
| 溫差(°C) | 8.5 | 10.4 | 8.9 |
| 比熱(卡/克·°C) | 1.9 | 1.2 | 1.6 |
| 平均比熱(卡/克·°C) | 1.6 | | |

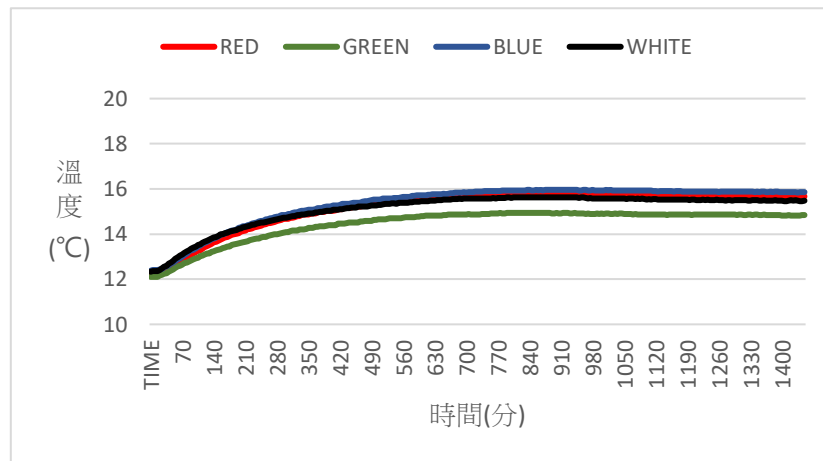
(四)不同的色光

探究十三：不同的色光對於仙人掌體內溫度的影響

方法：

- 1.安裝好探針的十二株仙人掌。
- 2.以三株為一組分別置入已經套好紅色、綠色、藍色玻璃紙的 T5 燈管密閉紙箱中。
- 3.將燈源打開每 5 分鐘測量一次，共測量 24 小時。
- 4.將資料製圖並加以分析。

結果：如下圖二十一



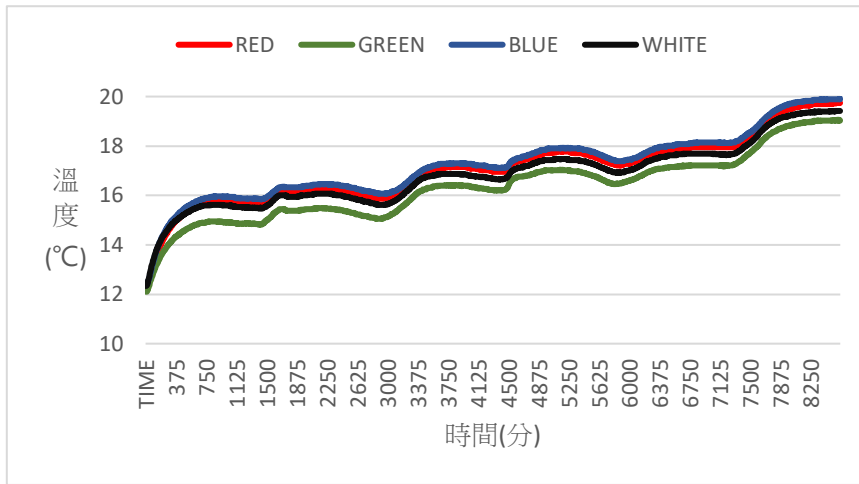
圖二十一：不同色光對於仙人掌體內溫度的記錄

發現：

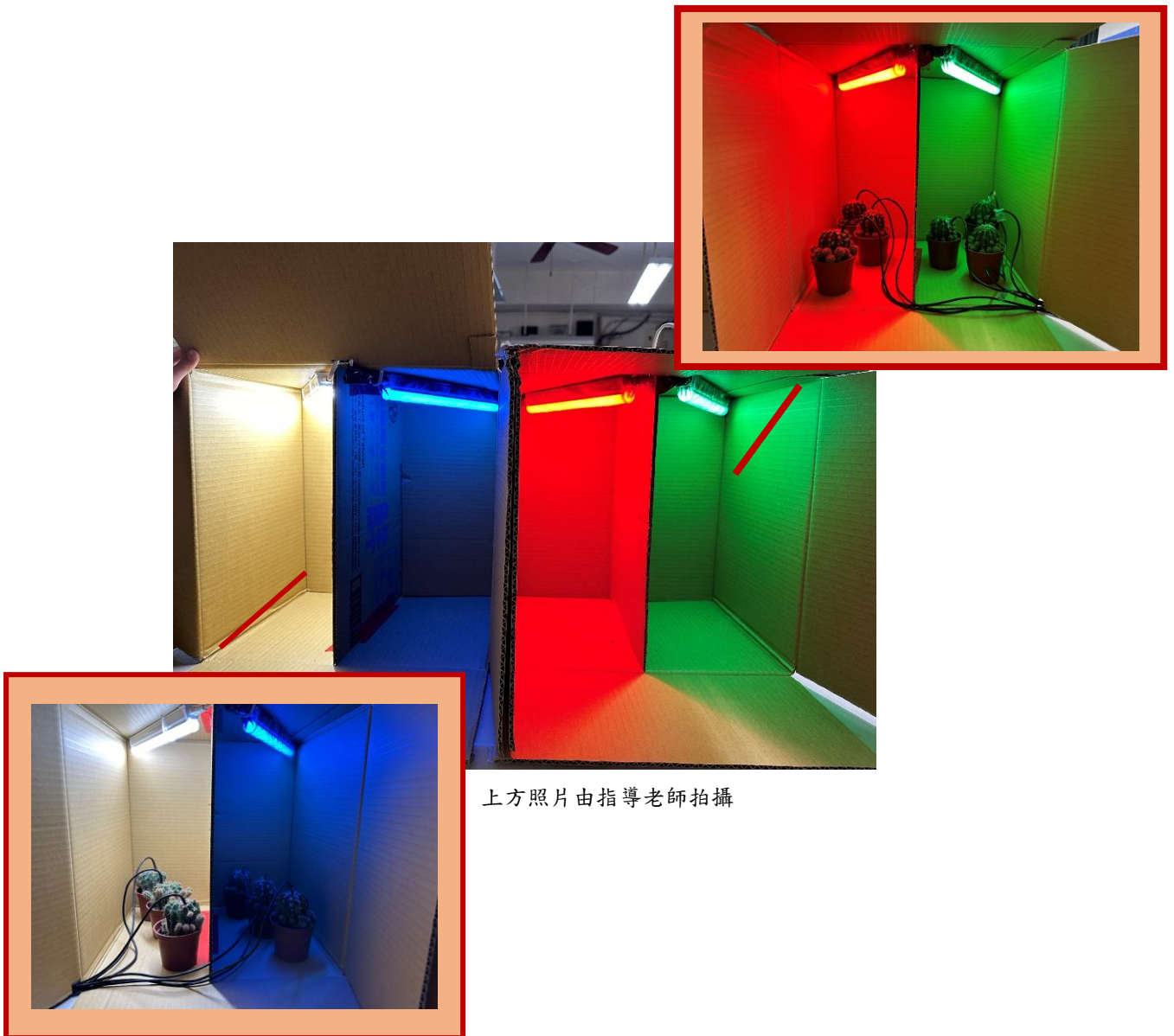
從圖形中可以發現照綠色光的仙人掌平均溫度比起照白光、藍光、紅光的仙人掌的平均溫度低。

討論：

我們知道植物的葉片會吸收不同波長的光而使溫度產生變化，紅色光和藍色光一般會讓植物體中葉綠素吸收，而綠色光容易讓植物體反射，因此實驗結果中我們發現紅色光、藍色光和白色光(三色兼具的光)會使仙人掌的溫度較高，但三者間的溫度相差不大，而綠色光溫度較低符合植物體會反射綠色光，因此並沒有吸收綠色光，所以呈現溫度較低的結果，由於這次實驗數據只有一天，為了再次證明，我們多記錄 6 天的數據，結果如圖二十二，所得到的結果也相同，因此可以知道光中的紅色光和藍色光可以使仙人掌體溫升高，綠色光則無法使仙人掌體溫升高。



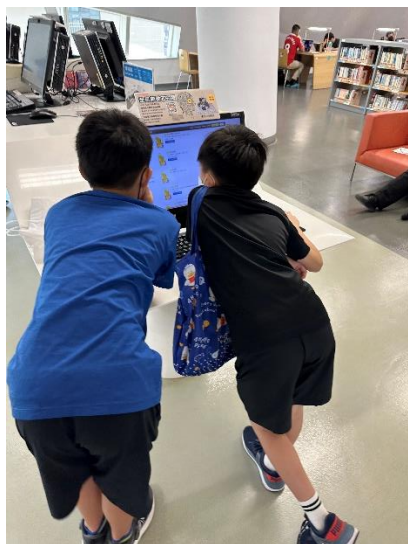
圖二十二：不同色光對於仙人掌體內溫度的六天記錄



上方照片由指導老師拍攝

肆、結論

- 一、仙人掌體內溫度的變化與環境溫度的變化趨勢一致，且溫度升降的變化的時間略落後於環境溫度的變化的時間，是屬於會隨著外界環境溫度改變的變溫植物。
- 二、仙人掌的體內溫度每日最高溫約莫出現在下午三點，而最低溫出現在每天的早上六、七點左右。
- 三、改變外在環境的探究中：
 - (一)照光的仙人掌在白天溫度較高，但是在晚上溫度大致差異不大。
 - (二)吹風會使植物體的體內溫度降低，當電風扇停止時溫度又會趨於一致。
 - (三)在極端低溫的環境下，仙人掌體內的溫度還是受外界環境溫度的影響。而在極端高溫時，仙人掌的溫度會維持在 52℃ 左右，不會隨著外界溫度升高而改變仙人掌的體內溫度，呈現了恆溫的現象。
 - (四)當環境溫度較高時，乾燥的仙人掌較有澆水的仙人掌的體內溫度來得高。
- 四、有傷口的、移除針狀葉以及表面塗凡士林的仙人掌在白天溫度較高時，體內溫度會較對照組來得低，所以影響仙人掌體內溫度以太陽輻射與熱傳導為主，自身的蒸散作用調節有限。
- 五、仙人掌的比熱 2.3(卡/克℃)與仙人掌泥的比熱 1.6(卡/克℃)可以發現都比水的比熱大。
- 六、照綠色光的仙人掌比起照白光、藍光、紅光的仙人掌的體內溫度都要低些。



上方照片由指導老師拍攝

伍、參考資料及其他

1. 周光裕(1990[民79])。生態學簡明教程。臺北市:地景。
2. 柯勇(2016[民105])。植物生理學。新北市新店區 :藝軒圖書文具。
3. 林德勳, 鍾國基著(2008[民97])。植物解說圖鑑：野外植物觀賞與解說入門。臺中市：晨星出版。
- 4.那根有何用—仙人掌體溫恆定之研究。全國科展35屆高中組生物科。
5. 植物有體溫嗎？<https://kknews.cc/zh-tw/science/mk36k22.html>
6. 植物體溫。 <https://www.zgbk.com/ecph/words?SiteID=1&ID=90564&SubID=69108>

【評語】 080309

研究主題：

這項研究探討了沙漠植物仙人掌在不同環境條件下的體內溫度變化，並利用 Microbit 技術進行觀測和記錄。研究結果揭示了仙人掌作為變溫植物的特性。

創意、學術或實用價值：

本研究以探討仙人掌對於環境溫度是否有調節能力，並具體分析了各種環境因素（如光照、風速、極端高溫等）對體內溫度的影響、與可能的機制。研究成果具有學術價值。

研究證實仙人掌是變溫植物，其體內溫度會隨外界環境溫度改變，這一發現對於理解沙漠植物的生態適應性具有重要意義。在極端高溫下，仙人掌能將體內溫度維持在 52°C 左右，這表明其具有一定的溫度調節能力，這一點對於理解仙人掌在極端環境中的生存策略非常重要。

研究發現照綠色光的仙人掌體內溫度較低，這對於光譜和植物溫度關係的研究提供了新的視角。

科學方法之適切性：

作者說明了研究目的、詳細列出實驗材料與器材，也提供相關照片佐證實驗結果，並採用實際測量溫度等方式紀錄資料。得出關於溫度調節等結論。

連結電子式溫度計與 Microbit，探討生物問題，具跨領域實作探究能力。

展示及表達能力：

建議增加樣本數量、進行長期觀測以及嚴格控制實驗變量將進一步提升研究的科學價值和應用潛力。

土壤濕度是否與仙人掌體內溫度有關？

實驗使用的仙人掌都用同樣的 3 株？不同形狀的仙人掌是否會會影響實驗結果？

作品簡報

積

物

也

會

發

燒

嗎

?

以仙人掌體內溫度為例

三、探究改變外在環境對仙人掌體內溫度的影響

探究五：太陽光照射與仙人掌體內溫度的影響

[5-1] 製作可測量的裝置

想法：我們做不照光的實驗時，使用箱子來遮光，但為了避免遮光時造成箱子內外溫度的不同，所以將不照光的箱子設計如下圖，透過空氣的流動讓箱子內的溫度和外界一致，並且使用照度計測試箱內的照度。

實驗測試：

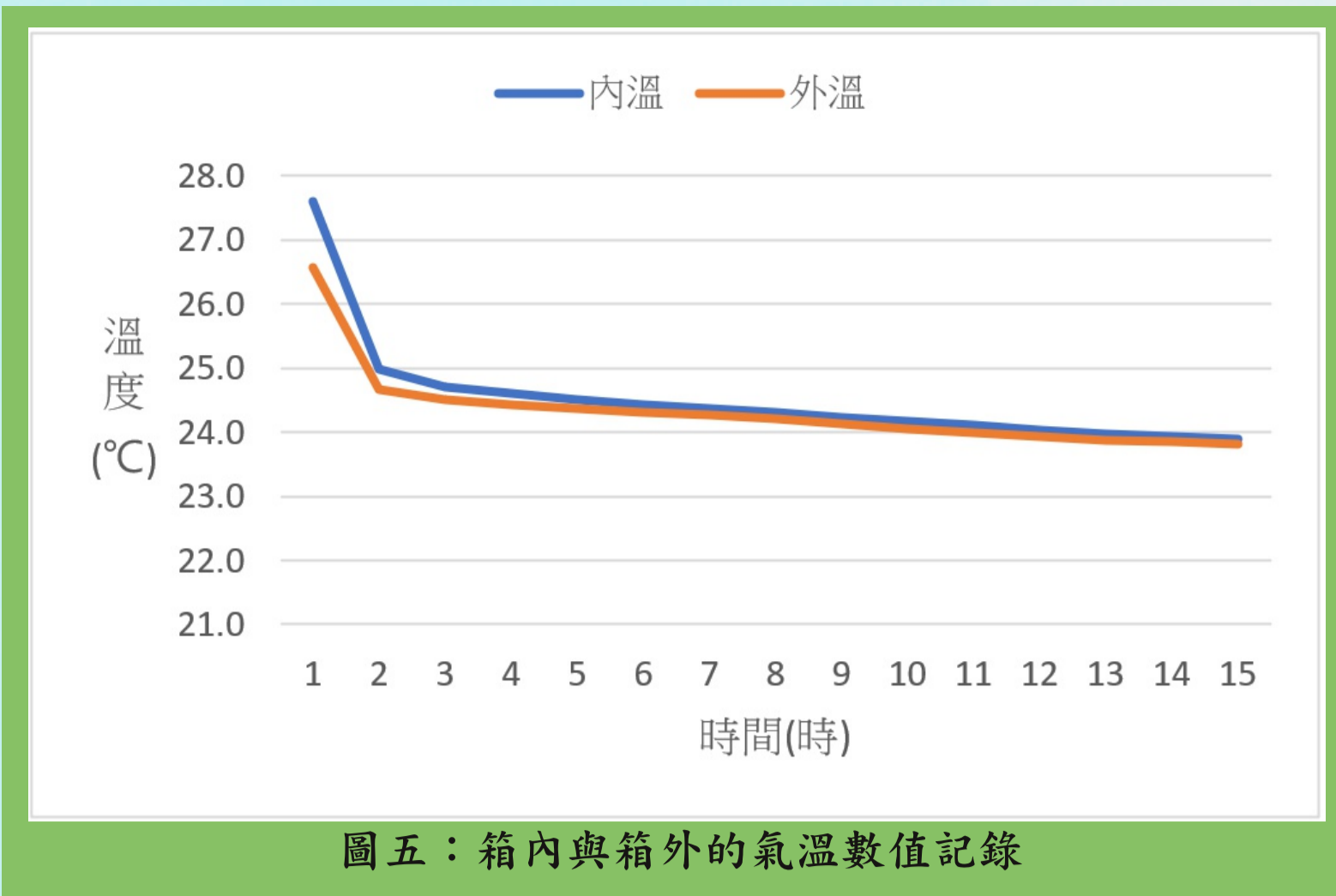
1. 以照度計測試箱門未關上時數值是 163Lux，箱門關起來時的數值為 0.1Lux，接近為零，可以看到遮光效果很好，箱子中幾乎照不到陽光。
2. 以 MicroBit 記錄箱內與箱外的氣溫數值，結果如下圖五，發現在 2 小時後平均數值已經相當接近，3 小時後數值幾乎重疊，因此可以知道箱內外的溫差很小。

[5-2] 以自製裝置箱測量太陽光照射與不照射時仙人掌體內溫度的影響

- 方法：
1. 將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於太陽能照射的地方
 2. 另在本地點將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於自製裝置箱內。
 3. 以 Microbit 記錄每小時的資料，記錄數天。
 4. 將上述資料做成圖表比較並加以分析。

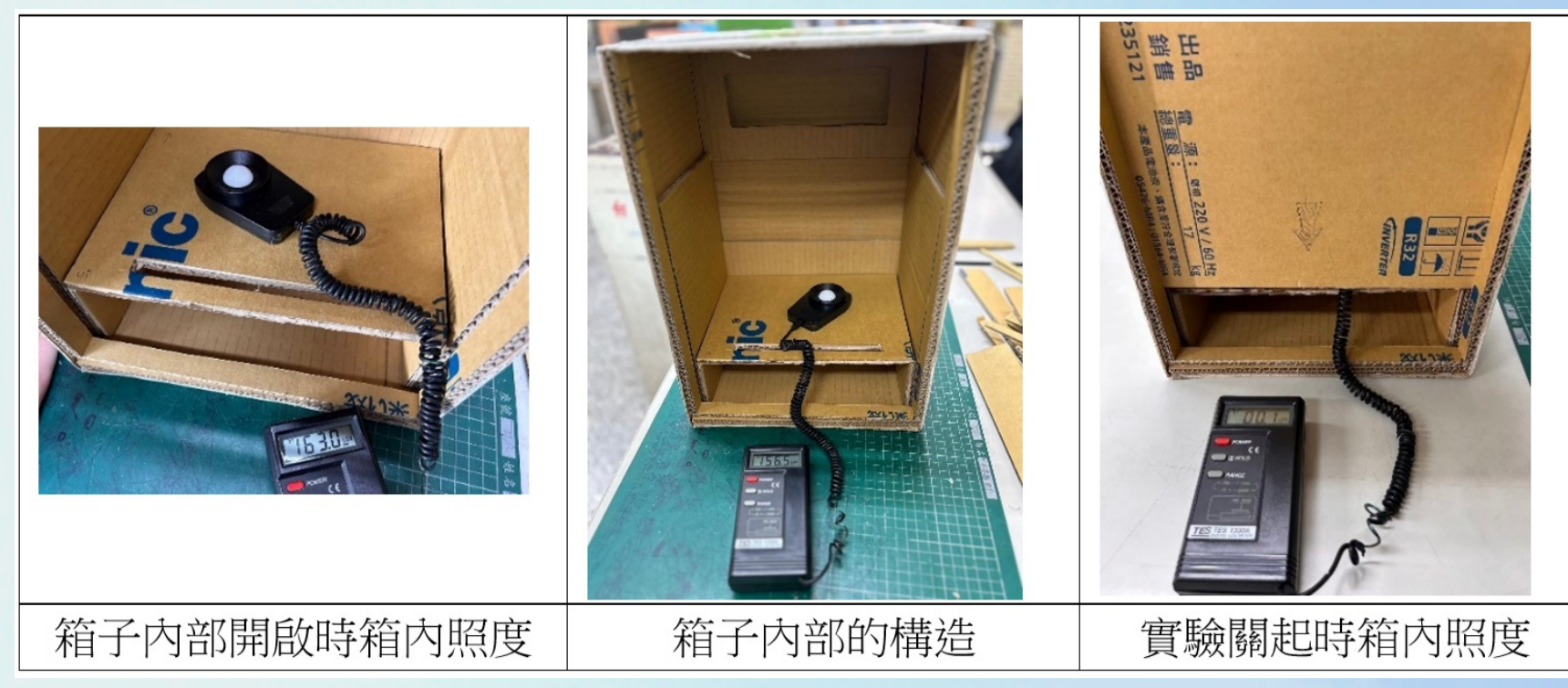
結果：如圖六、圖七

- 發現：
1. 照光的仙人掌在白天溫度較高，但是在 18 點後大致上溫度差異不大。
 2. 不論是照光或是不照光的仙人掌的出現最高溫與出現最低溫的時刻差不多。
 3. 照光的仙人掌在白天升溫的速率較不照光的升溫速率快。



圖五：箱內與箱外的氣溫數值記錄

由 1-3 作者共同繪製

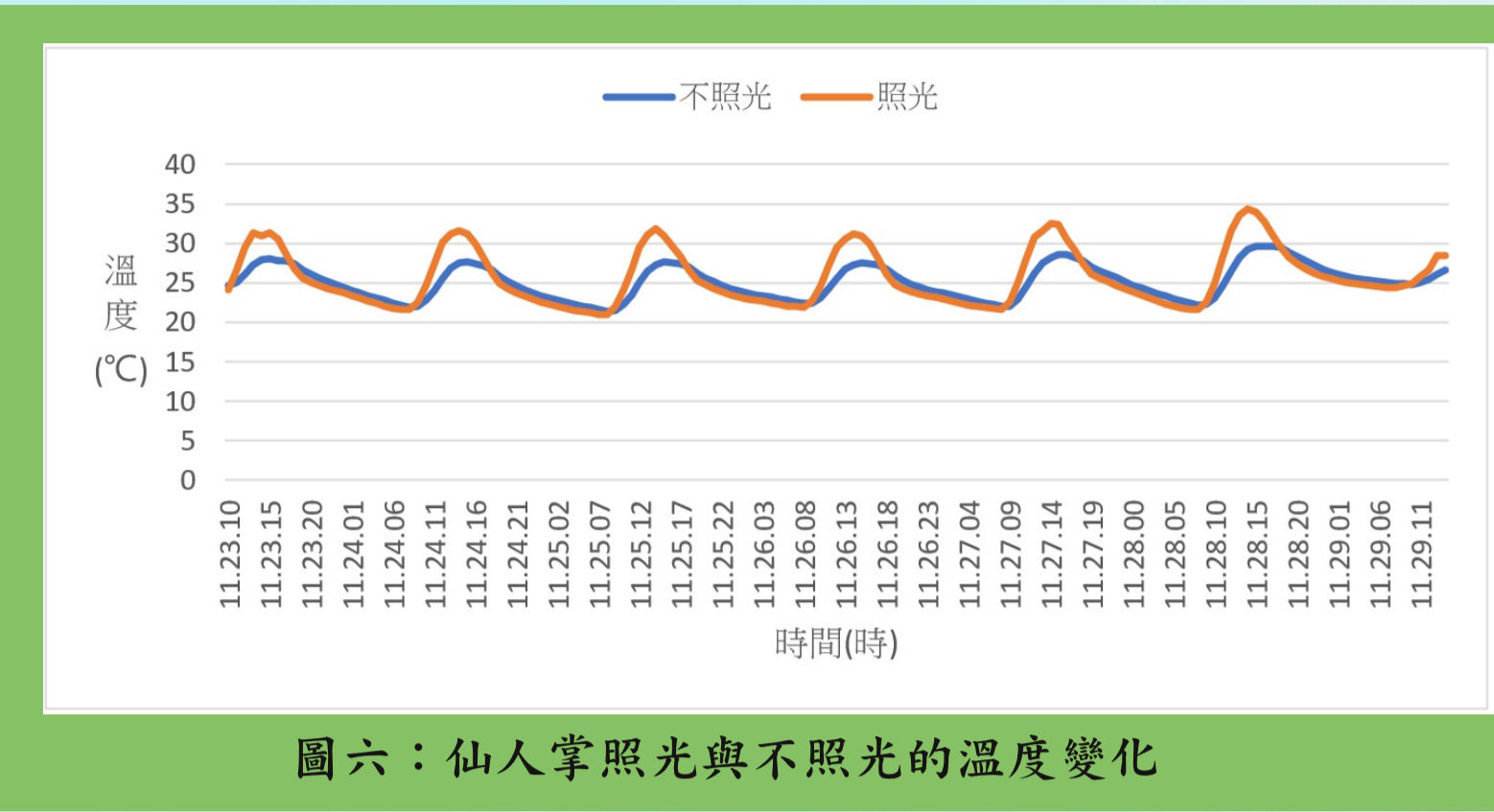


箱子內部開啟時箱內照度

箱子內部的構造

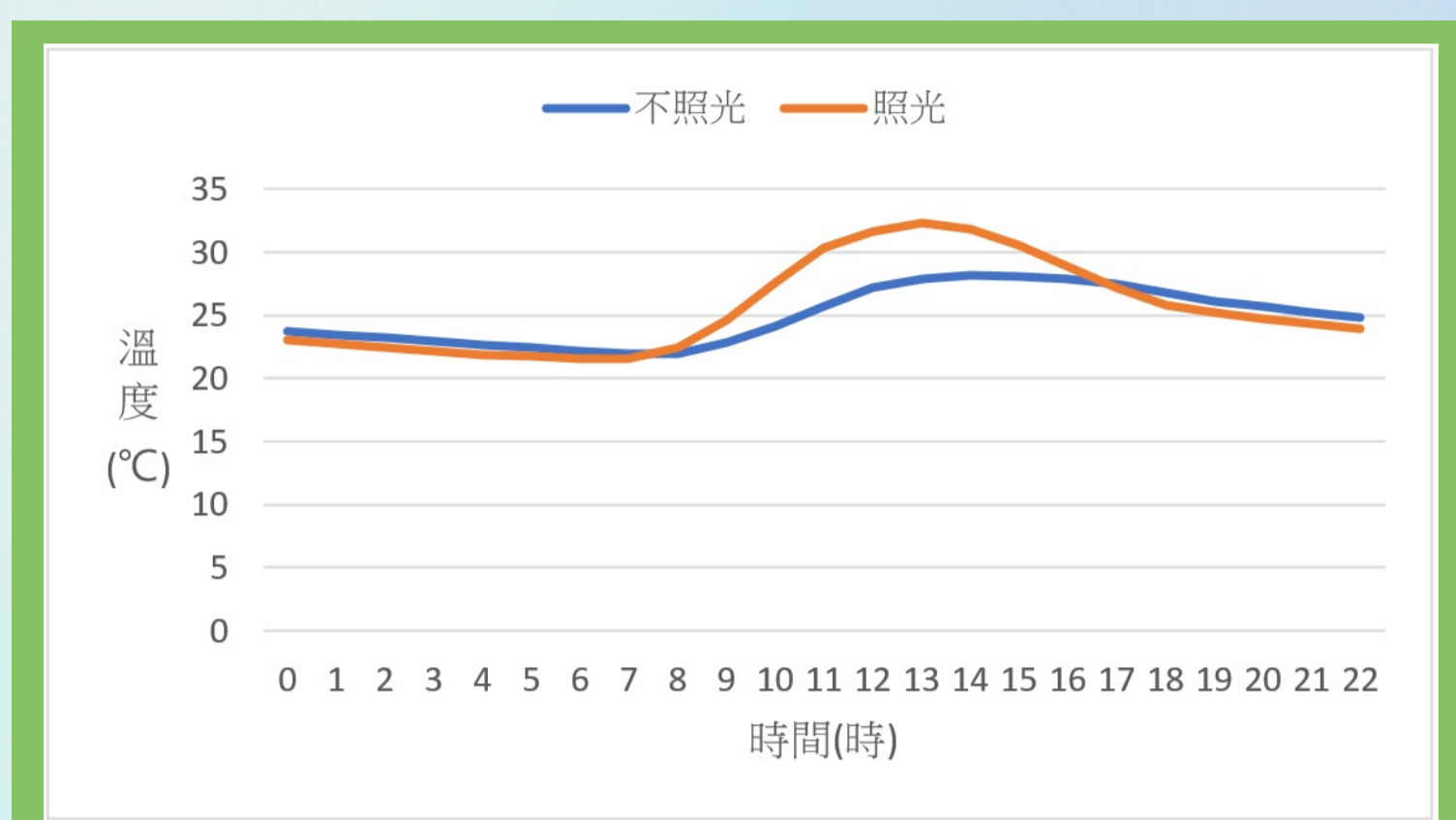
實驗關起時箱內照度

上圖為指導老師協助拍攝



圖六：仙人掌照光與不照光的溫度變化

由 1-3 作者共同繪製



圖七：仙人掌照光與不照光的逐時平均溫度變化

由 1-3 作者共同繪製

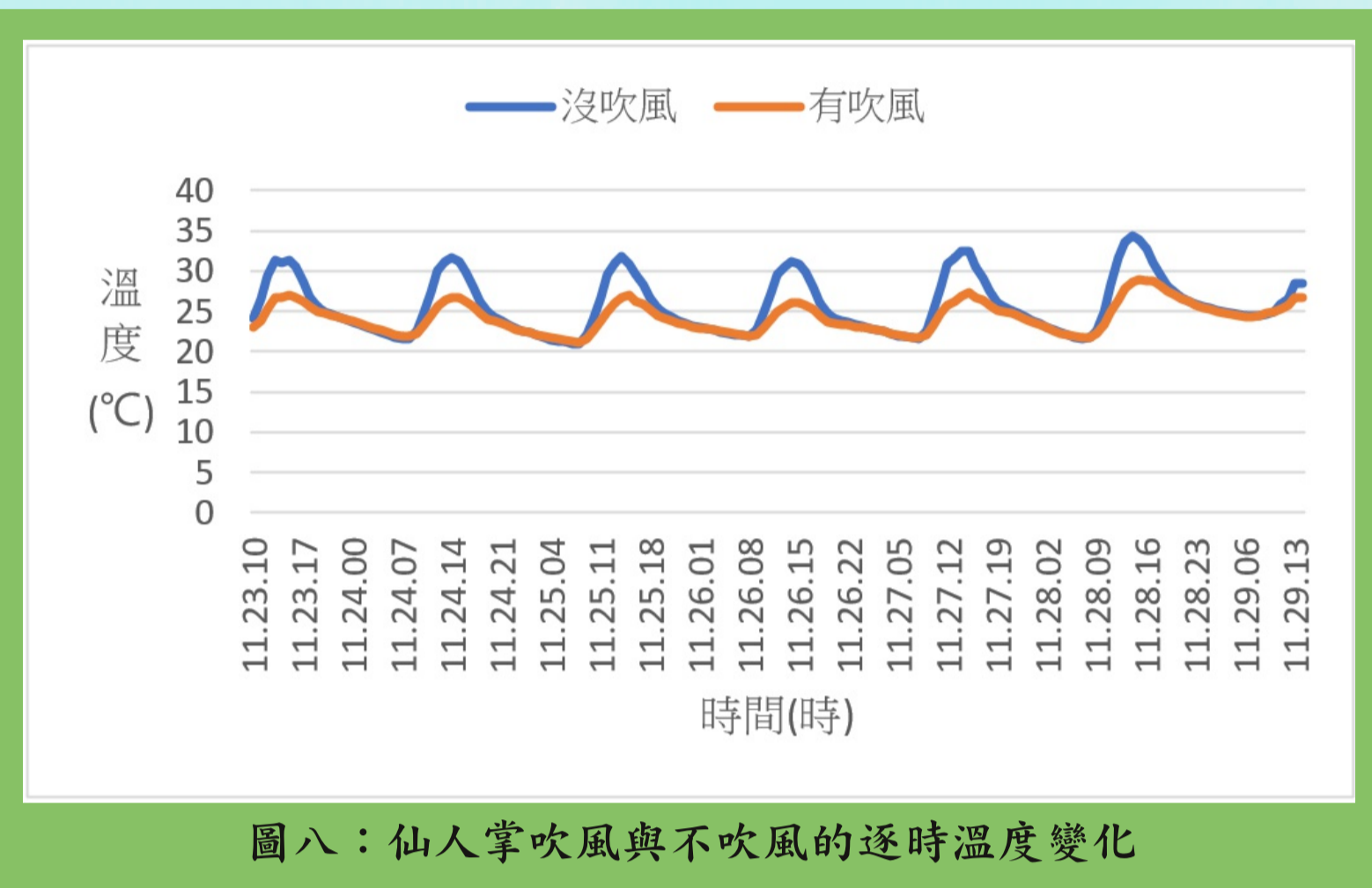
探究六：風對於仙人掌體內溫度的影響

- 方法：
1. 將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於無風的地方
 2. 另將已置入 DS18B20 溫度感測器的仙人掌三株放於電風扇前方（每天由早上 8:00 到下午 6:00 以定時器設定供電使風扇運轉）
 3. 將上述實驗器材置於相同環境，中間以隔板隔開。
 4. 以 Microbit 記錄每小時的資料，記錄數天。
 5. 將上述資料做成圖表比較並加以分析。

結果：如下圖八、圖九

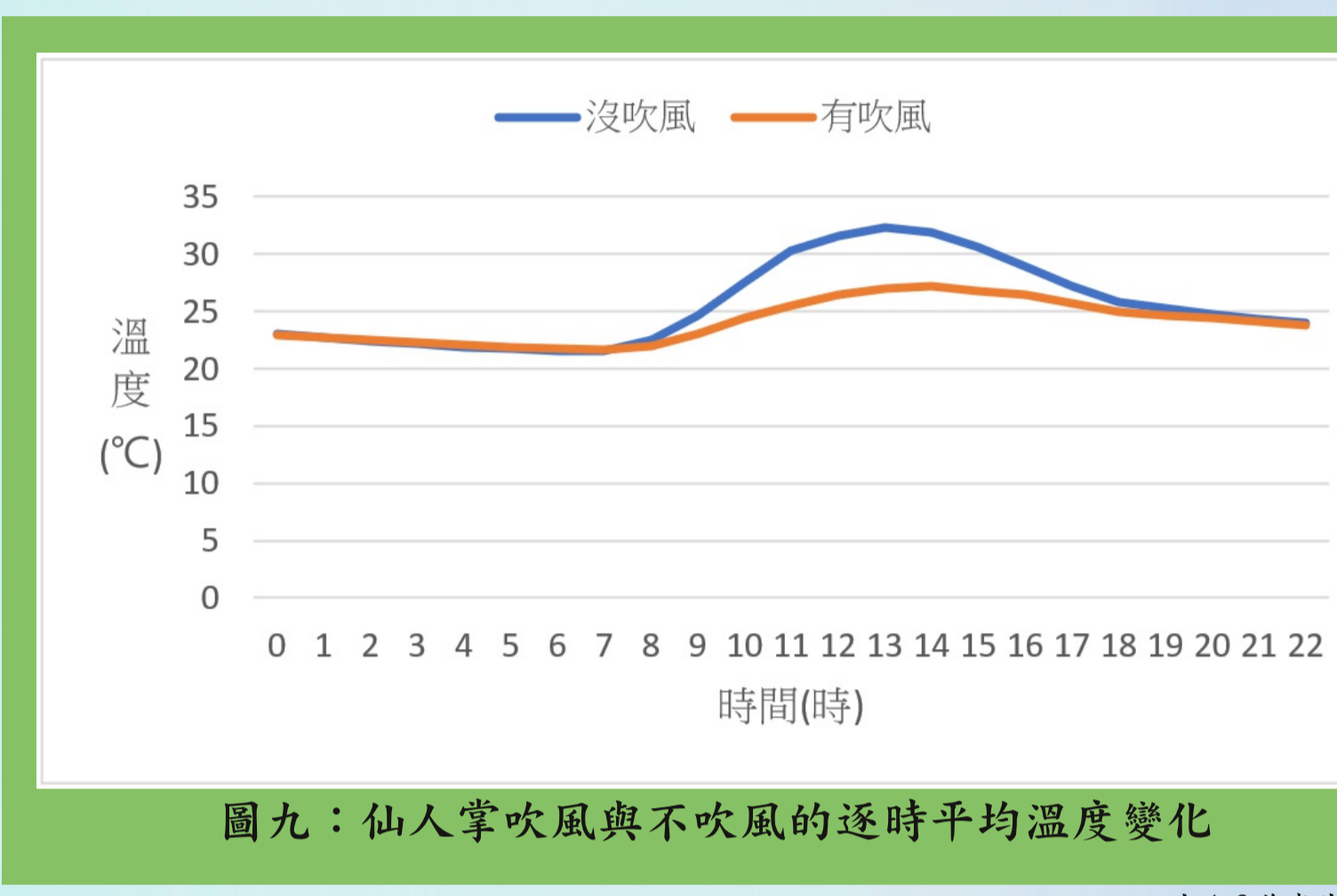
- 發現：
- 吹風的仙人掌溫度變化的趨勢會與對照組的溫度變化一致，但是溫度會略低於對照組的溫度，因此吹風會使植物體的體內溫度降低，當電風扇停止時（18:00 到隔日 6:00）溫度又會趨於一致。

- 討論：
- 由於風會帶走熱量，因此吹風會帶走仙人掌的熱量使得溫度降低，由於我們的定時器設定在 6:00-18:00，從上圖也可以看到，18:00 以後到隔天 6:00 的溫度大約又相同，可以再次說明吹風確實會影響仙人掌，使仙人掌體內溫度降低。



圖八：仙人掌吹風與不吹風的逐時溫度變化

由 1-3 作者共同繪製



圖九：仙人掌吹風與不吹風的逐時平均溫度變化

由 1-3 作者共同繪製

探究七：極端溫度對於仙人掌體內溫度的影響

[7-1] 極端低溫對於仙人掌體內溫度的影響

- 方法：
1. 將冰箱設定從常溫降溫到 5°C
 2. 將安裝好探針的三組仙人掌和裸露的三支探針（探針要懸空不能碰到附近的物體）放置冰箱內。
 3. 關上冰箱開始降溫，並使用 Microbit 每隔 5 分鐘記錄一次數據，共記錄 24 小時仙人掌體內的溫度與冰箱環境溫度的變化數據。
 4. 將上述結果以電腦抓取數據，並製成圖表比較。

結果：如下圖十

- 發現：
- 冰箱的溫度在 5°C 附近上下波動，冰箱環境溫度於 60 分鐘後達到 5°C，仙人掌體內溫度則在 240 分鐘後達到 5°C，之後維持在 4°C 附近，我們懷疑仙人掌在 4°C 時是否會有恆溫的現象，所以將冰箱溫度調至 0°C，結果如圖十一，再次說明即使在低溫的環境下，仙人掌體內的溫度還是受外界環境溫度的影響，沒有呈現恆溫的現象。

[7-2] 極端高溫對於仙人掌內在溫度的影響

- 方法：
1. 將安裝好探針的三組仙人掌和裸露的三支探針（探針要懸空不能碰到附近的物體），放置紙箱的烘烤架上。
 2. 以溫度控制器控制箱內氣溫由常溫加熱至 55°C，在達到 55°C 時，使其溫度維持在 55°C 上下。
 3. 關上紙箱開始升溫，並使用 Microbit 每隔 5 分鐘記錄一次數據，共記錄 24 小時仙人掌體內的溫度與紙箱內環境溫度的變化數據。
 4. 將上述結果以電腦抓取數據，並製成圖表比較。

結果：如圖十二

發現：

仙人掌在外溫 55°C 時，仙人掌的溫度會維持在 52°C 左右，不會隨著外界溫度升高而改變仙人掌的體內溫度。

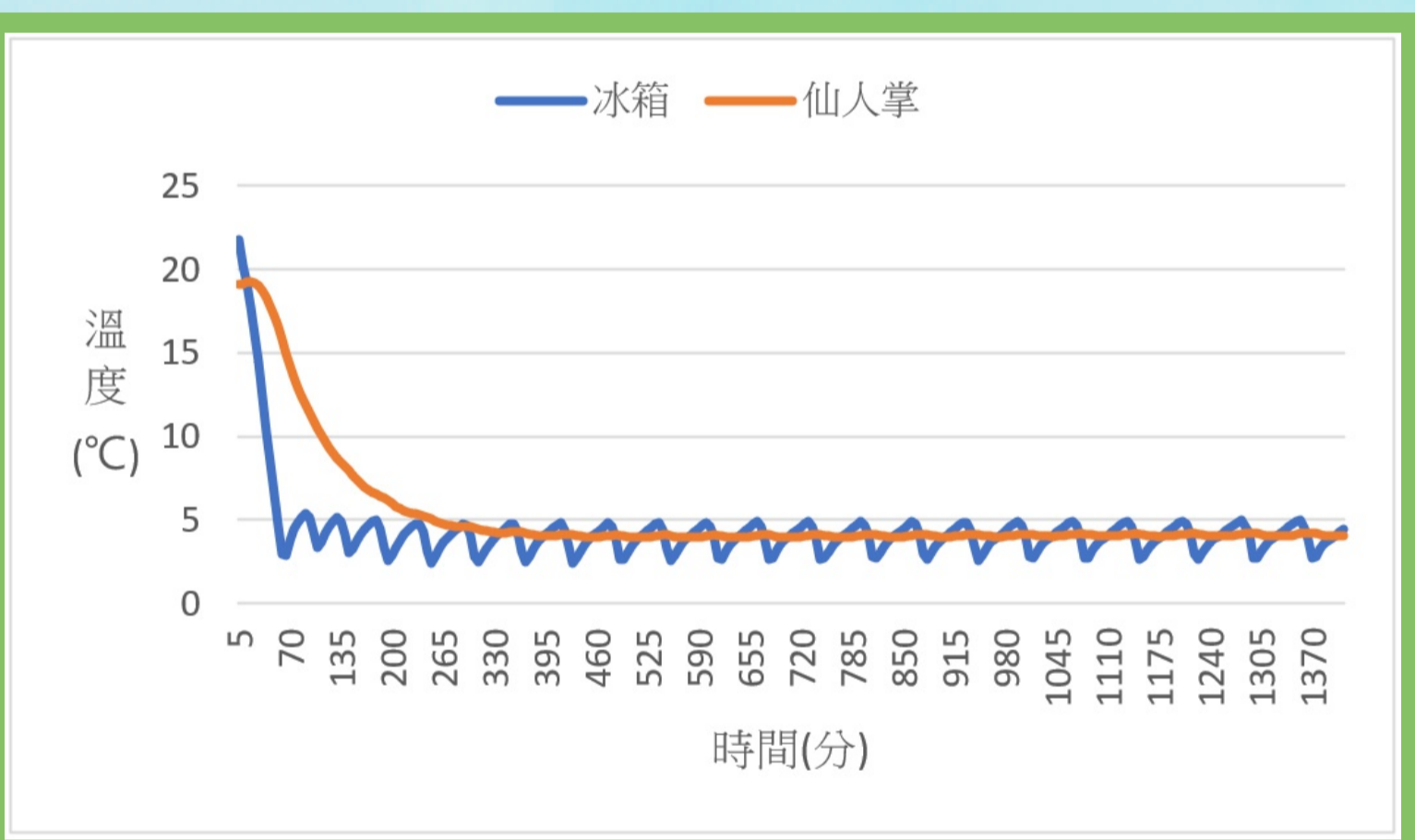
- 討論：
- 由先前的實驗，我們發現仙人掌的溫度會隨著外界環境溫度改變的變溫植物，然而在這個觀察中，我們發現了仙人掌在高溫時會有恆定的現象出現，為了再次確認我們的發現，我們假設仙人掌是沙漠植物，而沙漠中長年要面對的是高溫環境，是不是仙人掌對於極高的溫度有恆定的現象呢？因此我們將溫度設定由原先的 55°C 上升到 60°C 再實驗看看，看看是否仍然出現恆定的現象。

結果：圖十三

發現：

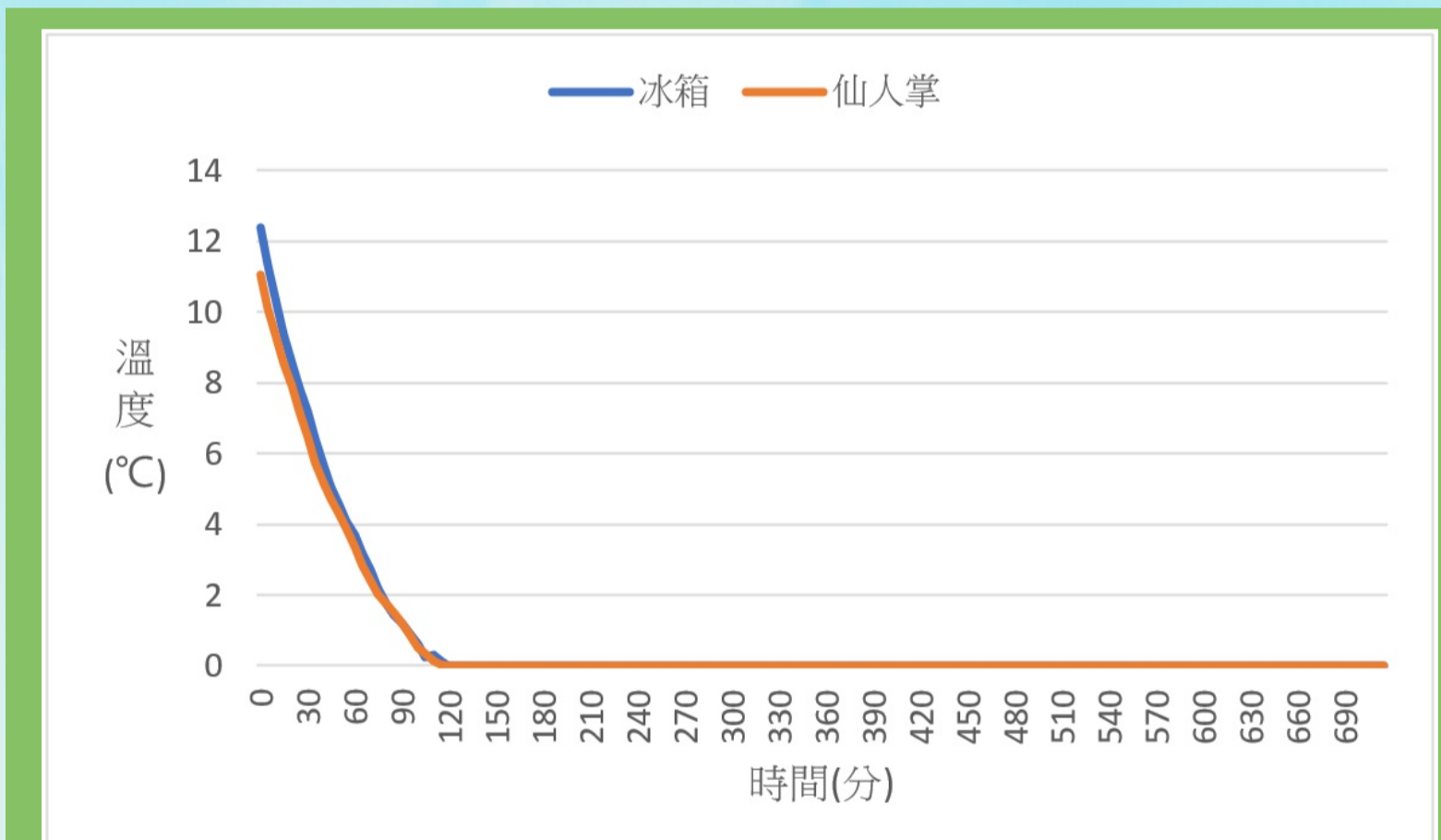
仙人掌在實驗時外界溫度是 60°C，但是仙人掌體內溫度仍會維持恆定溫度在 52°C 左右。

- 討論：
- 我們發現兩個實驗仙人掌體內溫度都維持在 52°C 左右，也就是環境溫度超過了一定溫度後，仙人掌體內溫度仍不再上升，這個部份很類似恆溫才有的現象，我們猜想仙人掌也許在演化的過程為了對抗高溫，而使仙人掌出現了在高溫下類似恆溫的機制，才能使仙人掌能夠適應沙漠高溫的變化。



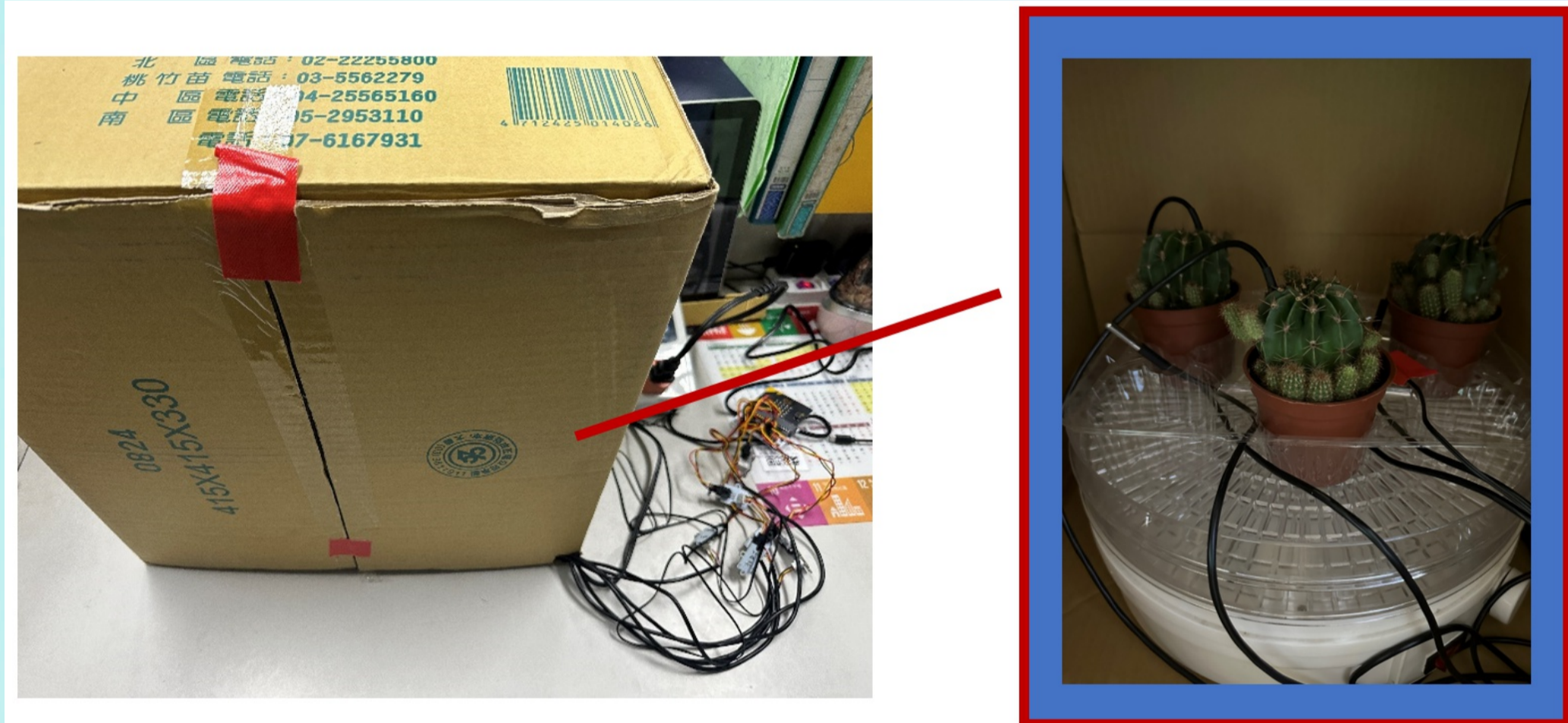
圖十：極端低溫 (5°C) 對於仙人掌體內溫度的變化

由 4-6 作者共同繪製

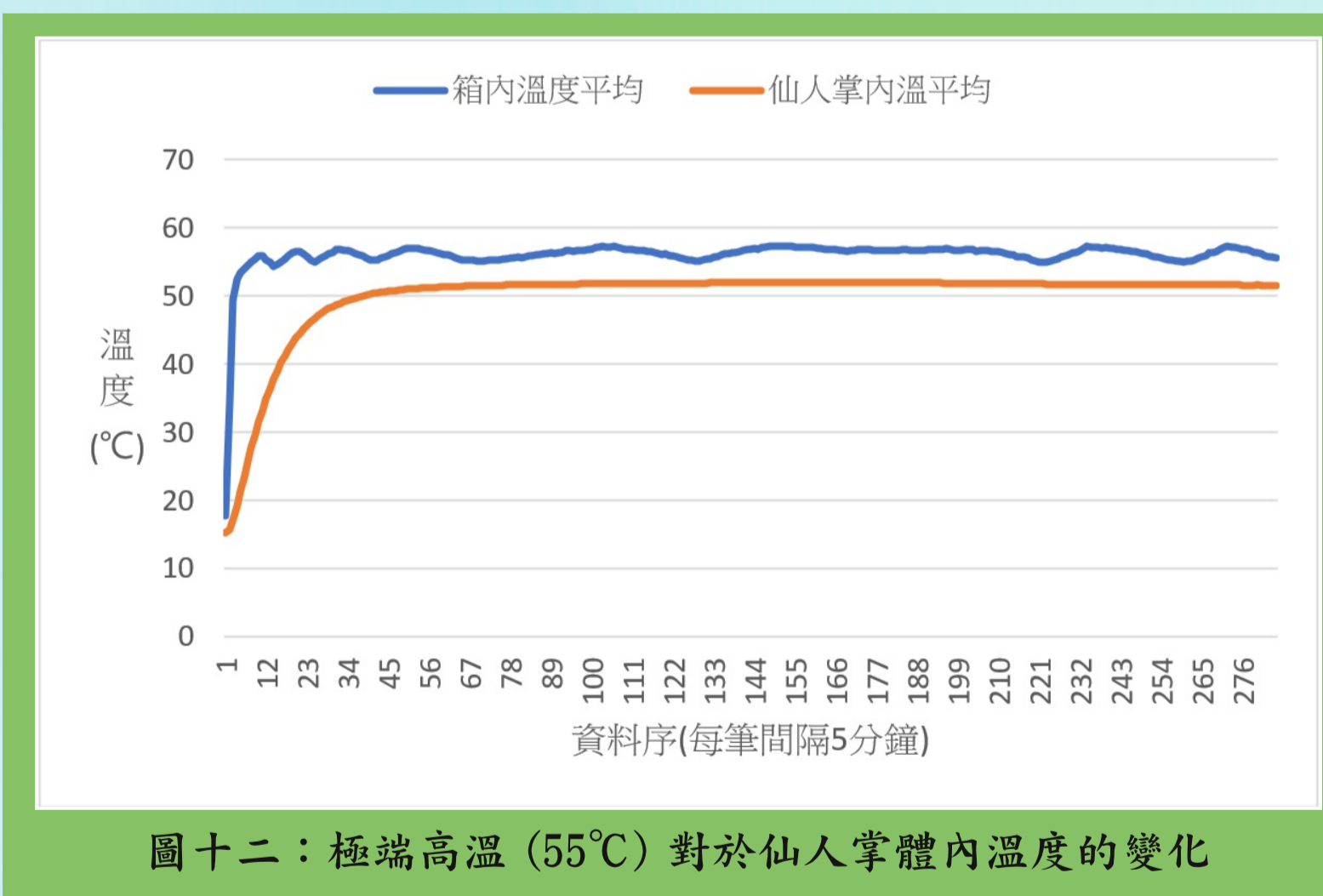


圖十一：極端低溫 (0°C) 對於仙人掌體內溫度的變化

由 4-6 作者共同繪製

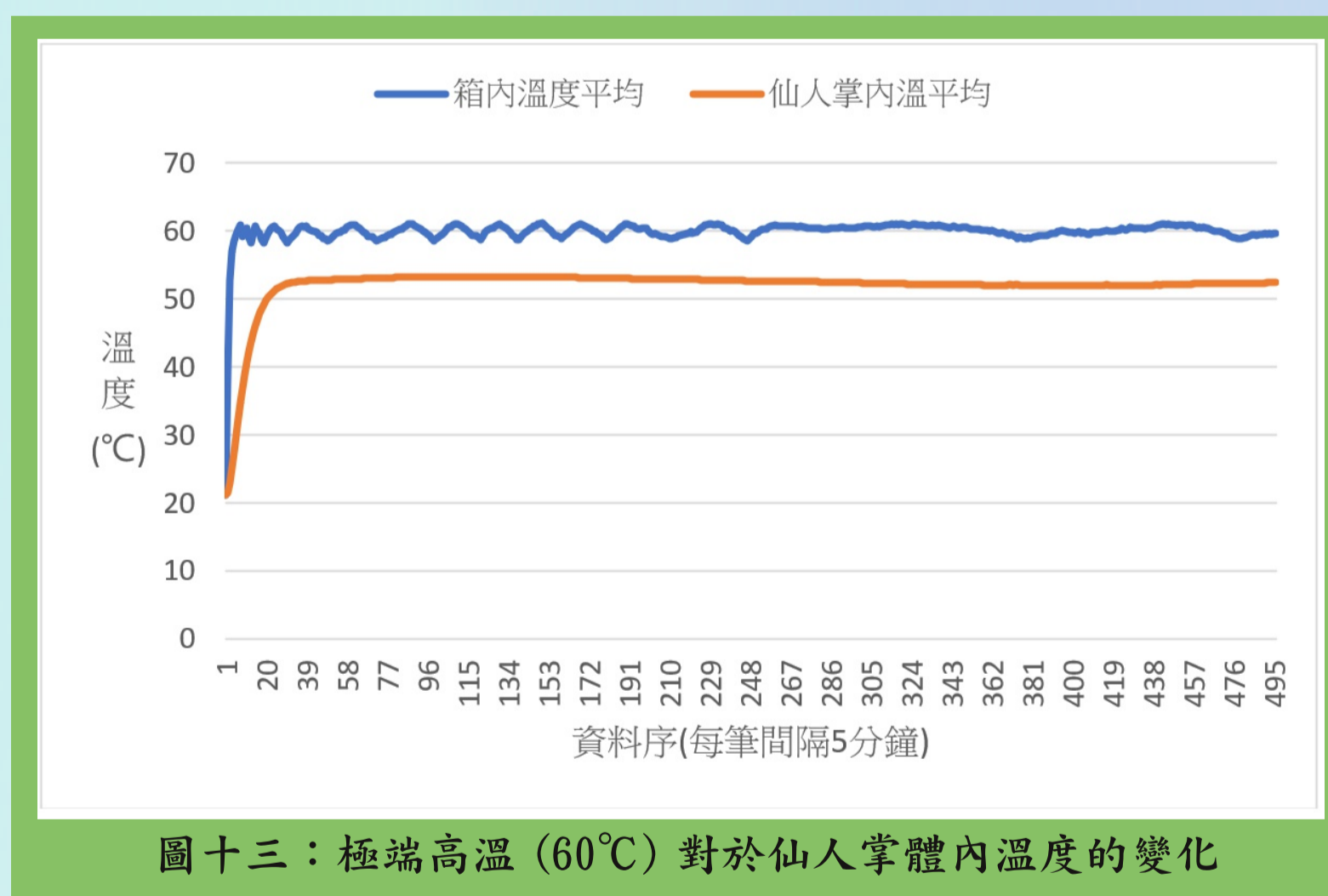


上圖為指導老師協助拍攝



圖十二：極端高溫 (55°C) 對於仙人掌體內溫度的變化

由 4-6 作者共同繪製



圖十三：極端高溫 (60°C) 對於仙人掌體內溫度的變化

由 4-6 作者共同繪製



上圖為指導老師協助拍攝

探究八：水分對於仙人掌體內溫度變化的影響

- 方法：
1. 安裝好探針的六組仙人掌。
 2. 其中三組一星期澆水一次持續一個月。另外三組持續不澆水一個月。
 3. 一個月後，將上述六組仙人掌放置在相同環境中，並使用 Microbit 每隔一小時記錄一次數據，共記錄 7 天。
 4. 將上述結果以電腦抓取數據，並製成圖表比較。

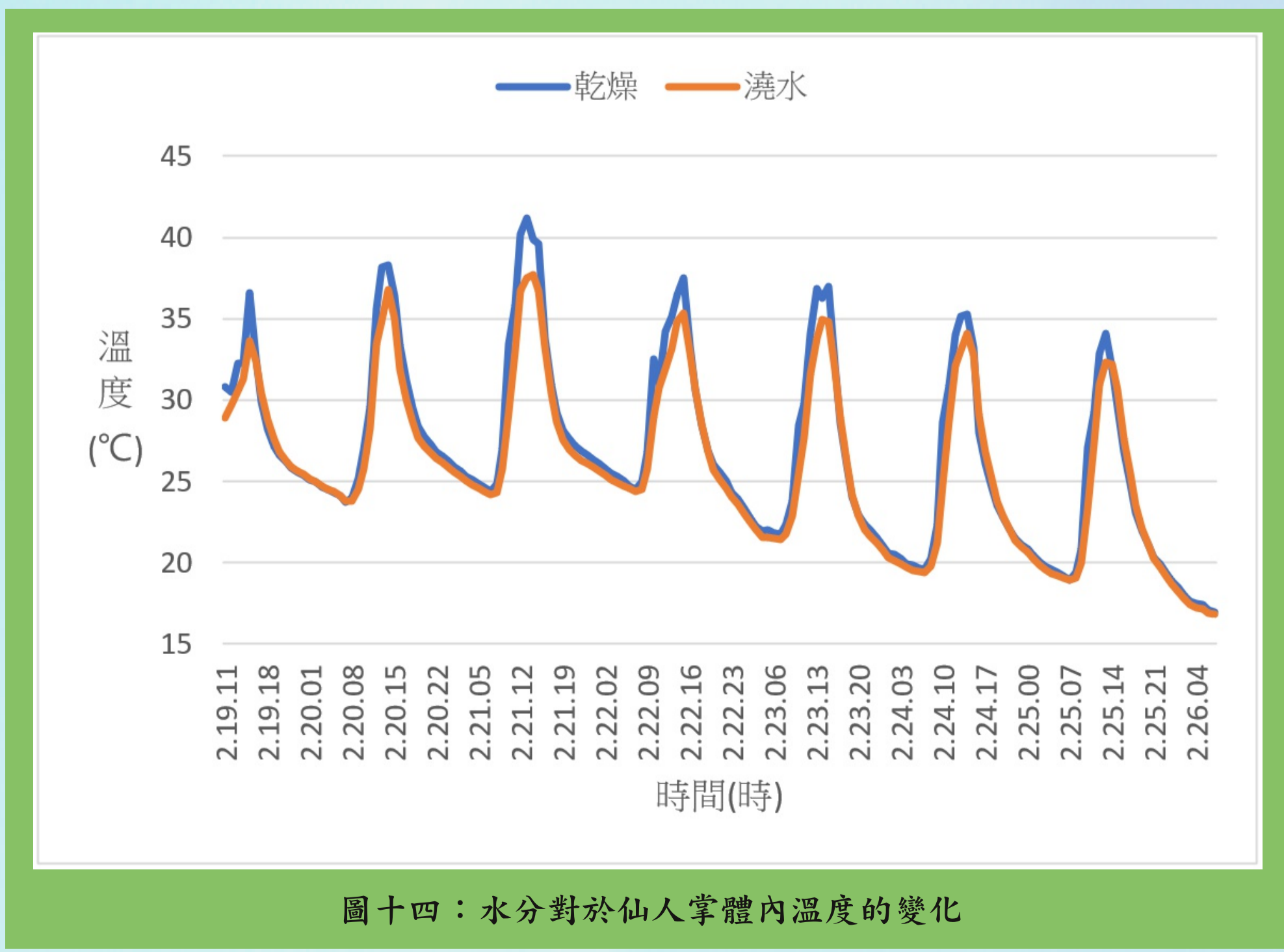
結果：如圖十四

發現：

在溫度較高時，乾燥的仙人掌較有澆水的仙人掌溫度來得高。

- 討論：
- 我們知道水分是植物體內調節溫度的重要元素，再加上之前的實驗說明仙人掌體內溫度會隨環境溫度改變，我們猜測乾燥的仙人掌因為體內的水分較少，所以在高溫時，仙人掌或許會為了維持體內水分而降低蒸散作用，因此體內的熱量無法靠著蒸散作用散熱，而使體內溫度上升，為此我們將三株仙人掌各切部分植物體做含水率的測試，結果如下表四，發現乾燥的仙人掌平均含水率約為 83.5% 較澆水的仙人掌平均含水率 95% 來得低，因此我們猜測乾燥的仙人掌體內溫度容易上升或許與該仙人掌的水分含量有關。

| 表四：乾燥仙人掌與澆水仙人掌的含水率 | | | | | | |
|--------------------|-------|------|-----|-------|------|------|
| | 乾燥仙人掌 | | | 澆水仙人掌 | | |
| 烘乾前重量(g) | 1.8 | 1.9 | 3 | 3.6 | 2.2 | 4 |
| 烘乾後重量(g) | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.3 |
| 含水率(%) | 88.8 | 78.9 | 83 | 97.2 | 95.5 | 92.5 |
| 平均含水率(%) | 83.5 | | | 95 | | |



圖十四：水分對於仙人掌體內溫度的變化

由 4-6 作者共同繪製

四、探究影響仙人掌體內溫度變化的可能機制

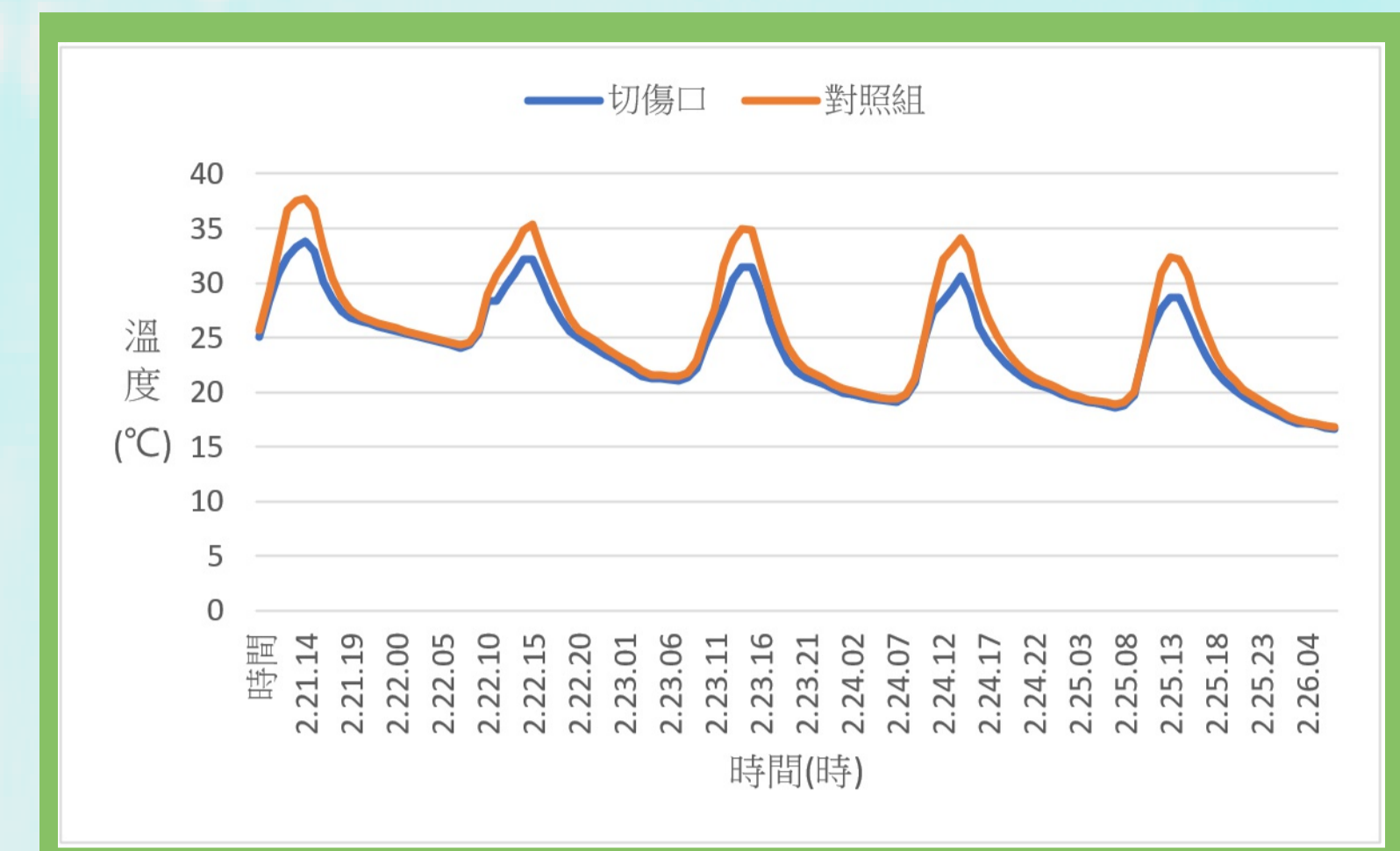
(一) 植物體修復

探究九：仙人掌表面切傷口對於仙人掌體內溫度的影響

- 方法：
1. 將三株仙人掌以刀片各削去突出的莖一片，使仙人掌表面產生傷口
 2. 將上述的仙人掌分別安裝好溫度探針
 3. 將正常的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
 4. 將上述仙人掌放在太陽可照射的地方
 5. 每個一小時記錄一次數據。
 6. 依據實驗數據繪成圖表並加以分析

結果：圖十五

發現：
有傷口的仙人掌在白天溫度較高時，體內溫度較沒有傷口的對照組來得低。



圖十五：仙人掌表面切傷口對於仙人掌體內溫度的記錄

由 4-6 作者共同繪製

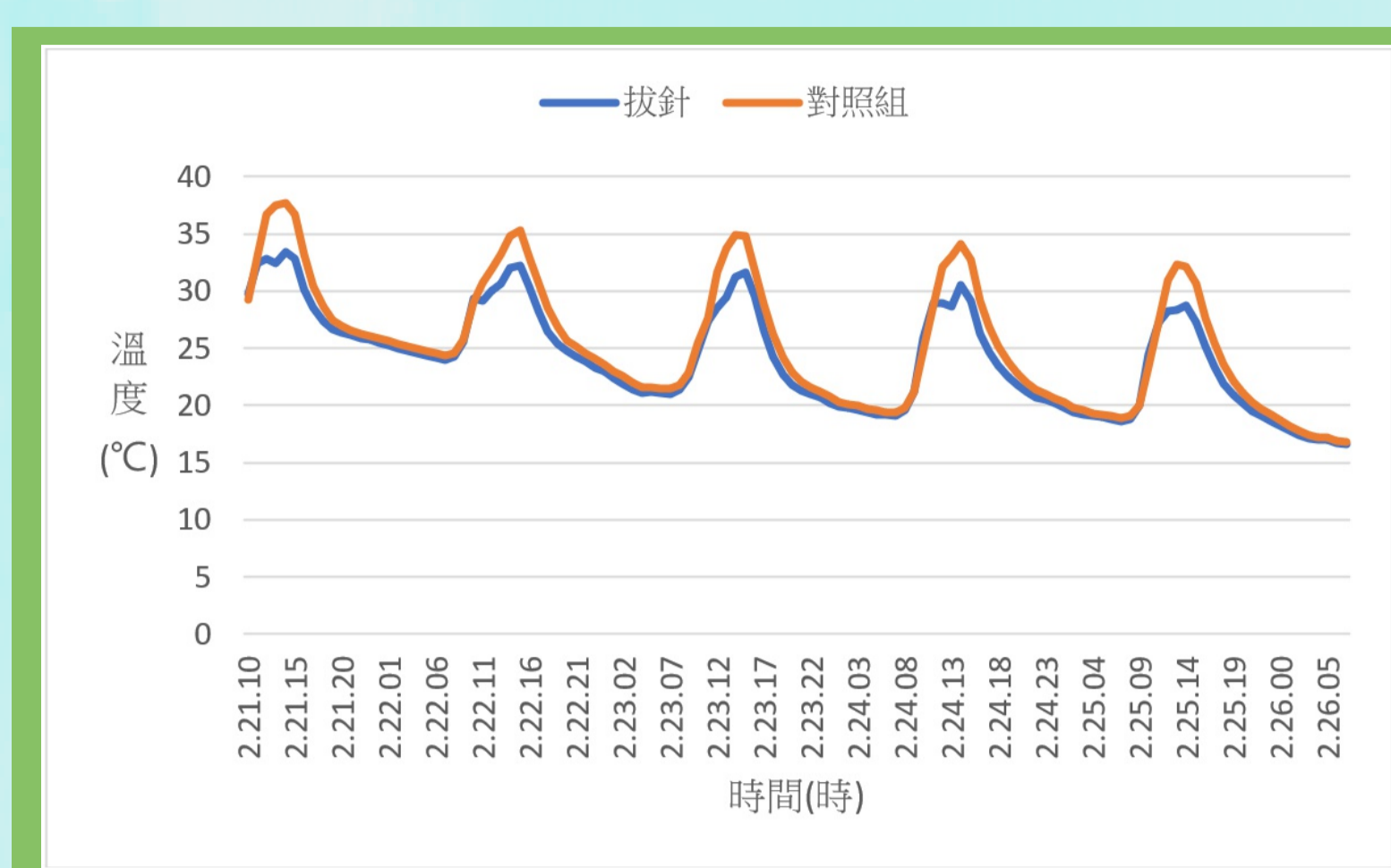
(二) 蒸散作用

探究十：移除仙人掌的針狀葉對於仙人掌體內溫度的影響

- 方法：
1. 將三株仙人掌分別以鑷子移除仙人掌表面的針狀葉
 2. 將上述的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
 3. 將正常的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
 4. 將上述植物置於太陽可照射的地方，每隔一小時記錄一次數據。
 5. 依據實驗數據繪成圖表並加以分析

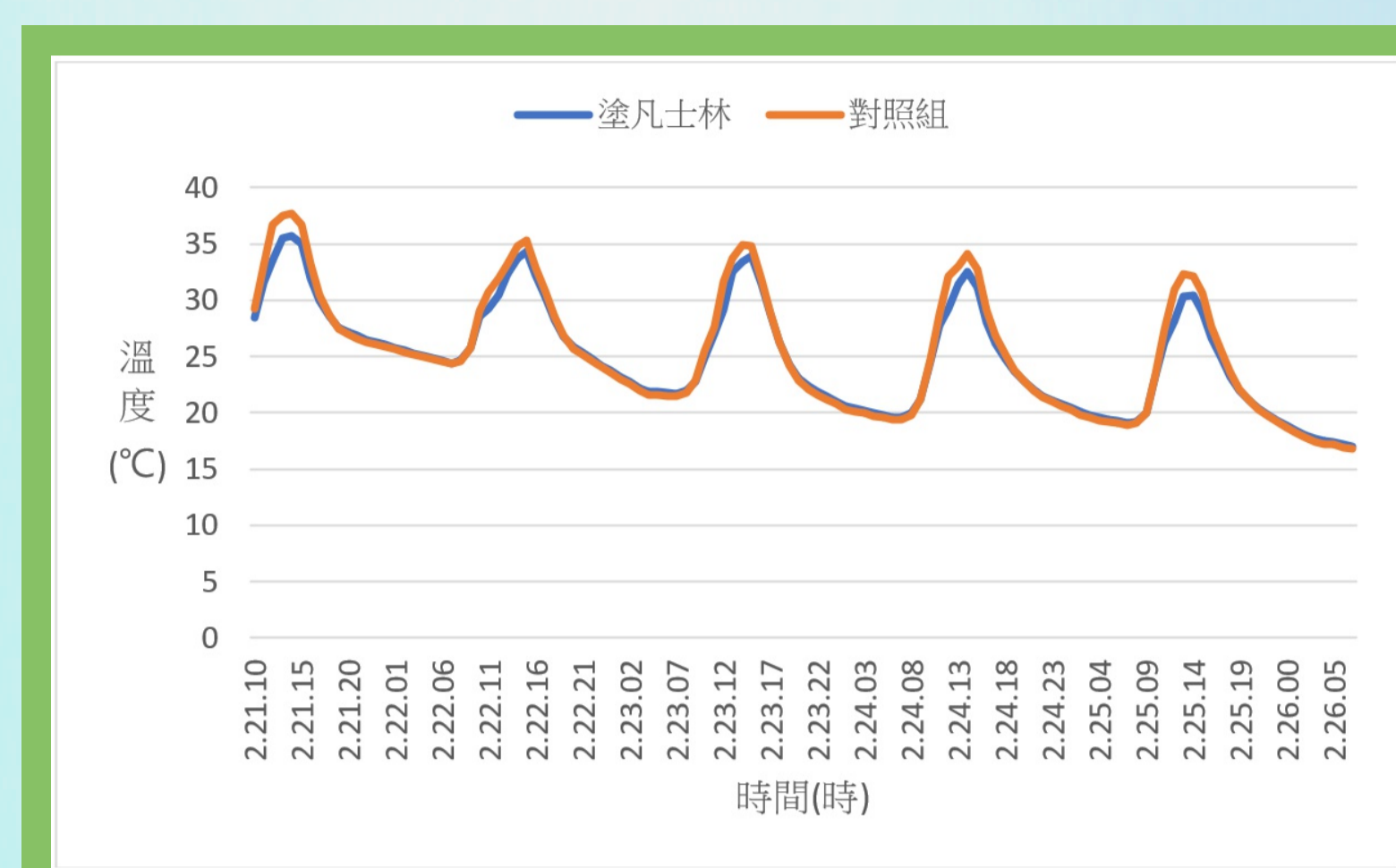
結果：如圖十六

發現：
移除針狀葉的仙人掌在白天溫度較高時，體內溫度較沒有拔針的對照組來得低。



圖十六：移除仙人掌針狀葉對於仙人掌體內溫度的記錄

由 4-6 作者共同繪製



圖十七：仙人掌表面塗凡士林對於仙人掌體內溫度的記錄

由 4-6 作者共同繪製

探究十一：仙人掌表面塗凡士林對於仙人掌體內溫度的影響

- 方法：
1. 將三株仙人掌分別在莖與針狀葉的表面塗上凡士林
 2. 將上述的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
 3. 將正常的三株仙人掌分別安裝好溫度探針
 4. 將上述植物置於太陽可照射的地方，每隔一小時記錄一次數據。
 5. 依據實驗數據繪成圖表並加以分析

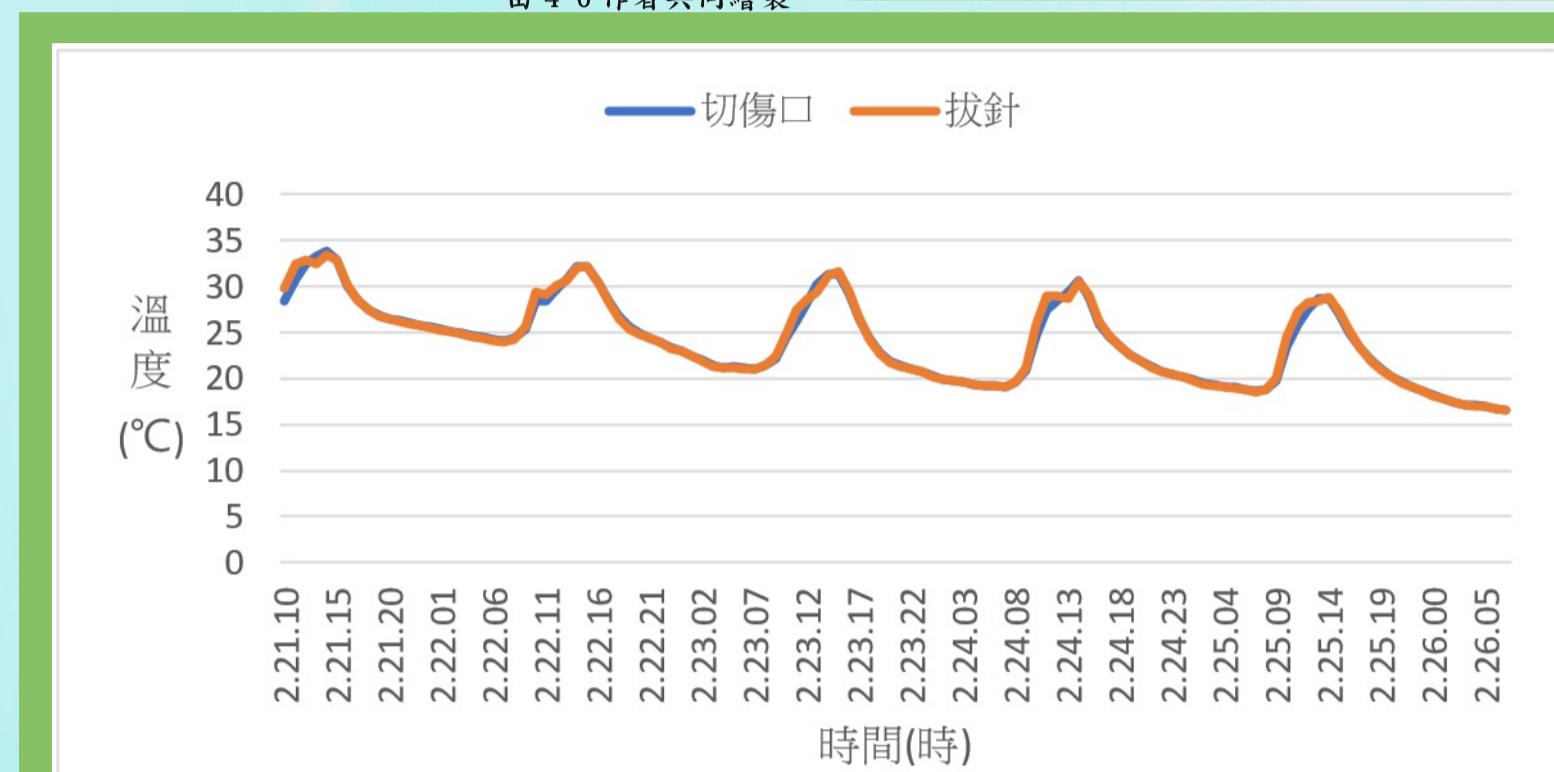
結果：如圖十七

發現：
表面塗凡士林的仙人掌在白天溫度較高時，體內溫度與對照組的仙人掌溫度差不多，而在達到最高溫的部分會比對照組略低一些。

討論：

由於上述實驗的結果與我們實驗預想的結果恰好相反，我們起初認為拔針、塗凡士林的仙人掌會因為蒸散作用的減少而使體內的溫度升高，然而實驗的結果卻推翻了這個想法，在多次的討論後，我們認為仙人掌為了適應長期缺水的情況，在已經特化的莖和葉中蒸散作用已經降到很低了，而由之前的多個探究發現影響仙人掌體內溫度變化的主要因素，還是透過太陽輻射及熱傳導的機制來升溫或降溫。

另外，我們切傷口與拔針的資料比對如圖十八，意外發現兩者幾乎重疊，我們猜測對仙人掌拔針與切傷口具有同樣的影響，因此結果大致上相同，或許拔針這動作對仙人掌而言可看成是對仙人掌產生傷口也說不定。



圖十八：移除仙人掌針狀葉與切傷口對於仙人掌體內溫度的記錄比較

由 4-6 作者共同繪製

(三) 植物體的比熱

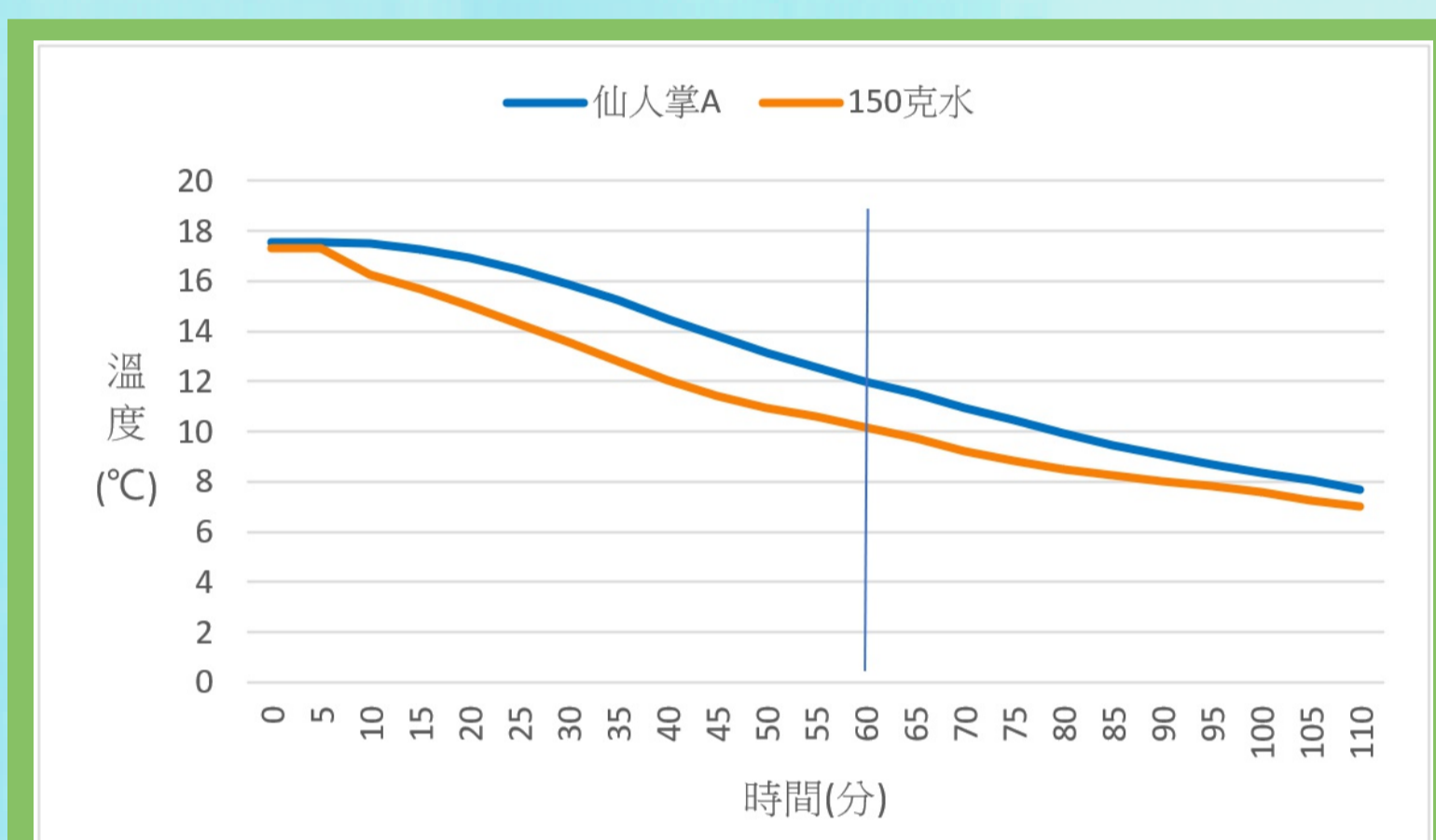
探究十二：探究仙人掌的比熱大小

(1) 整株植物的比熱大小

- 方法：
1. 先將三株仙人掌分別安裝好溫度探針
 2. 取三杯 150 克水分別放入溫度探針
 3. 將上述實驗的仙人掌及水杯放入 5°C 的冰箱冷藏中
 4. 每 5 分鐘記錄一次溫度變化
 5. 依據實驗記錄分析計算出整株仙人掌可能的比熱大小

結果：如圖十九

討論：
我們取一個小時後的資料，由 150g 水的平均溫差 7.125°C 可以計算出相同時間內冰箱帶走的热量為 150X7.125=1068.75 卡，透過比熱 = 热量 / (質量 x 溫差) 的公式換算，以仙人掌 A 為例，仙人掌整株重量為 107.7g，60 分鐘時溫差為 5.6°C，因此從公式可以計算出比熱 = 1068.75 / (107.7X5.6) = 1.772... 四捨五入取小數第一位可得比熱為 1.8 (卡 / 克 °C)，我們相對於水比熱為 1 (卡 / 克 °C) 時，三株仙人掌全株平均比熱為 2.3 (卡 / 克 °C)。



圖十九：仙人掌（以仙人掌 A 為例）與 150 克水在 5°C 的冰箱冷藏中的溫度變化

由 1-3 作者共同繪製

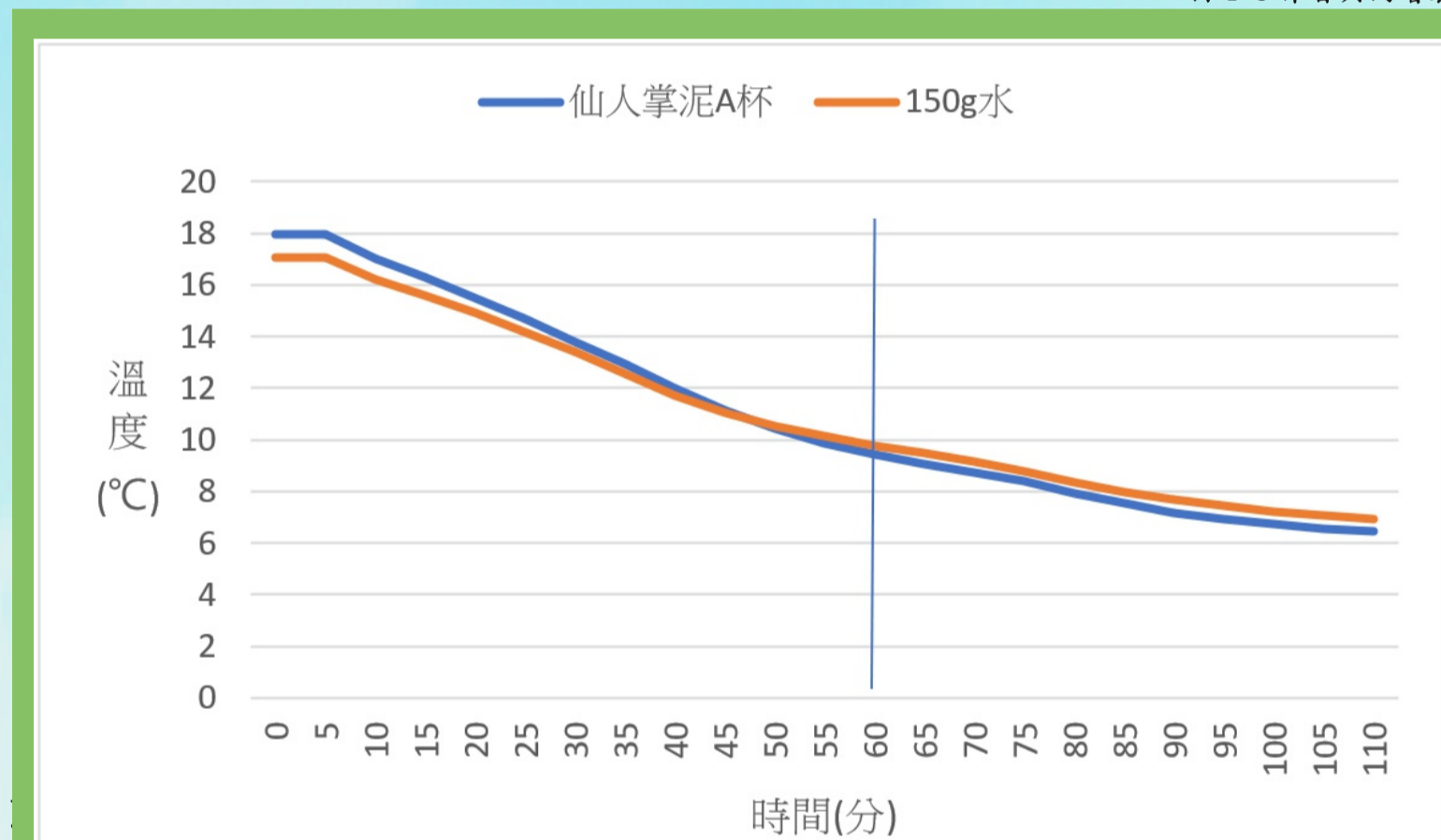
| 植物 | A | B | C |
|--------------|-------|------|------|
| 重量(g) | 107.7 | 64.3 | 67.1 |
| 溫差(°C) | 5.6 | 6.6 | 6.4 |
| 比熱(卡/克·°C) | 1.8 | 2.5 | 2.5 |
| 平均比熱(卡/克·°C) | 2.3 | | |

(2) 仙人掌體液的比熱大小

- 方法：
1. 分別將三株整株仙人掌以攪拌棒打成泥狀。
 2. 先將三株仙人掌的泥秤重並分別安裝好溫度探針
 3. 取三杯 150 克水分別放入溫度探針
 4. 將冰箱預先調整溫度到 5°C。
 5. 將上述實驗的仙人掌泥及水杯放入 5°C 的冰箱冷藏中
 6. 每隔 5 分鐘記錄一次數據。
 7. 依據實驗記錄分析計算出仙人掌泥可能的比熱大小

結果：如圖二十

討論：
1. 與前面相同方法，由 150 公克水溫差為 7.272°C，算出冰箱帶走热量為 1090.625 卡，進而求出仙人掌泥 A 杯的比熱為 1090.625 / (68.5X8.5) = 1.873...，三杯仙人掌泥平均比熱為 1.6 (卡 / 克 °C)。
2. 我們比較全株仙人掌與仙人掌泥的比熱可以發現都比水的比熱來得大，再思考仙人掌中的含水量，我們猜想仙人掌因為有水和仙人掌中的特殊構造，所以植物體的溫度較水來得難升溫與難降溫。



圖二十：仙人掌泥（以 A 杯為例）與 150 克水在 5°C 的冰箱冷藏中的溫度變化

由 1-3 作者共同繪製

| 植物 | A | B | C |
|--------------|------|------|------|
| 重量(g) | 68.5 | 89.7 | 74.1 |
| 溫差(°C) | 8.5 | 10.4 | 8.9 |
| 比熱(卡/克·°C) | 1.9 | 1.2 | 1.6 |
| 平均比熱(卡/克·°C) | 1.6 | | |

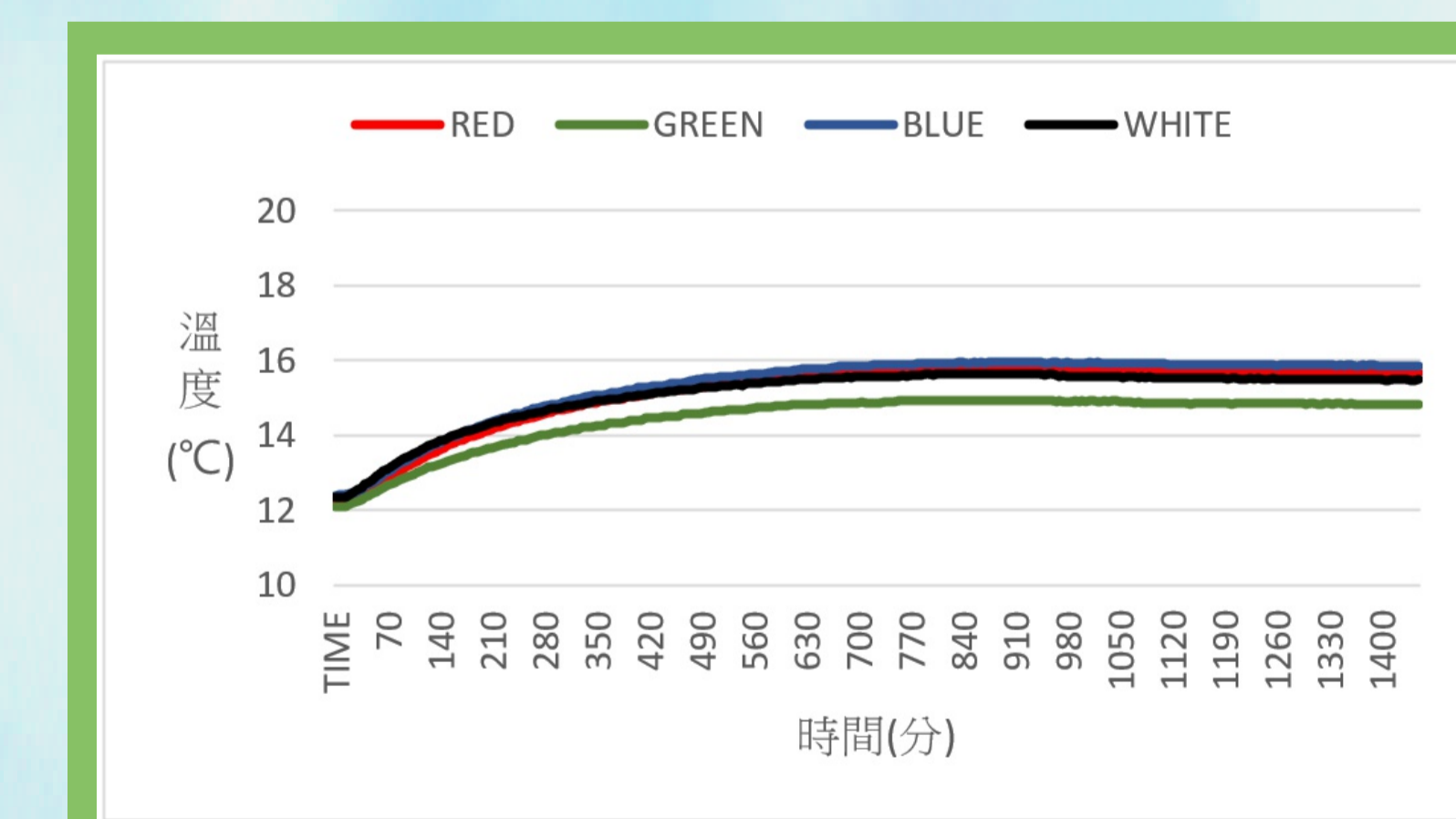
(四) 不同的色光

探究十三：不同的色光對於仙人掌體內溫度的影響

- 方法：
1. 安裝好探針的十二株仙人掌。
 2. 以三株為一組分別置入已經套好紅色、綠色、藍色玻璃紙的 T5 燈管密閉紙箱中。
 3. 將燈源打開每 5 分鐘測量一次，共測量 24 小時。
 4. 將資料製圖並加以分析。

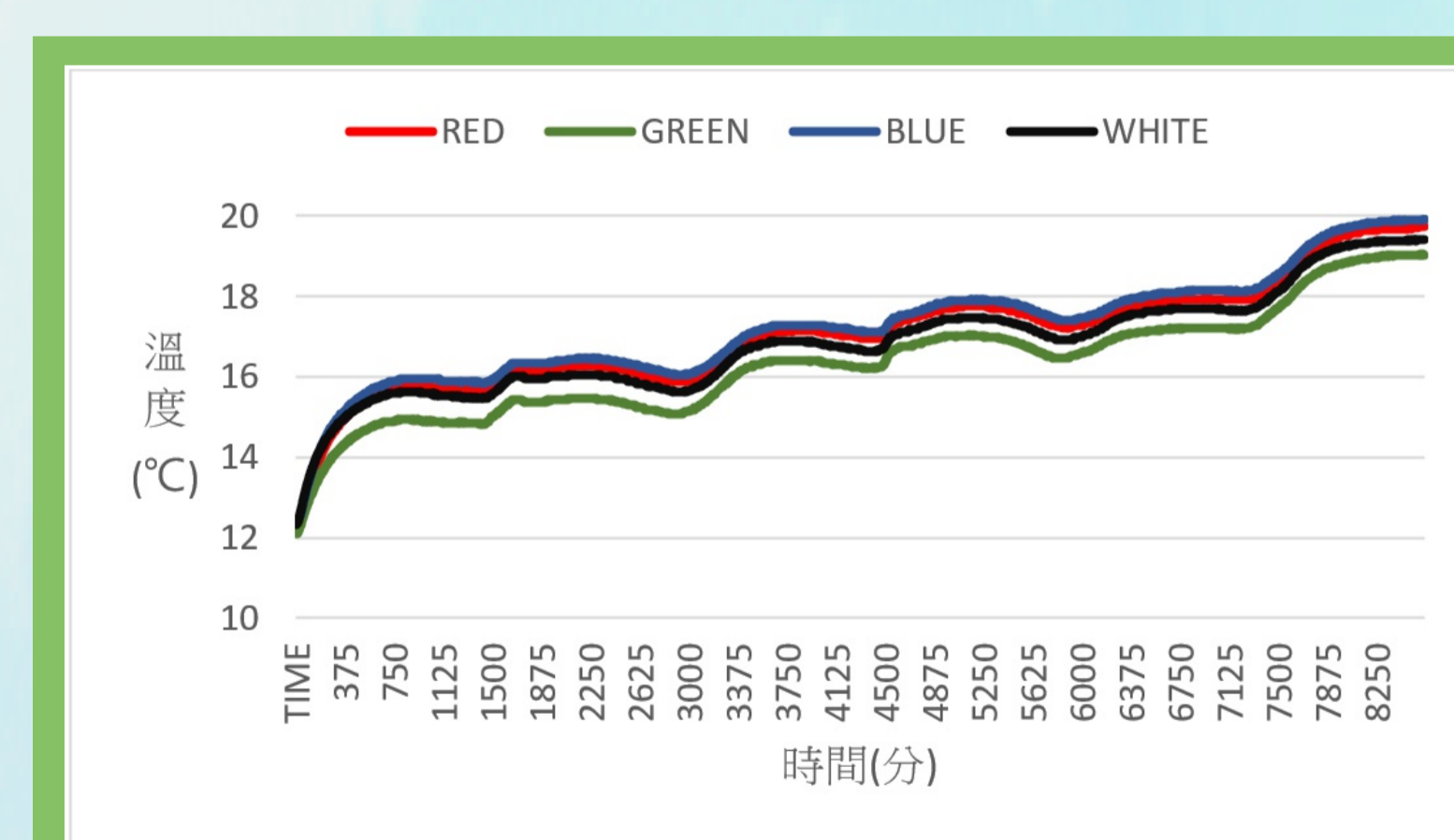
結果：如下圖二十一

發現：
從圖形中可以發現照綠色光的仙人掌平均溫度比起照白光、藍光、紅光的仙人掌的平均溫度低。



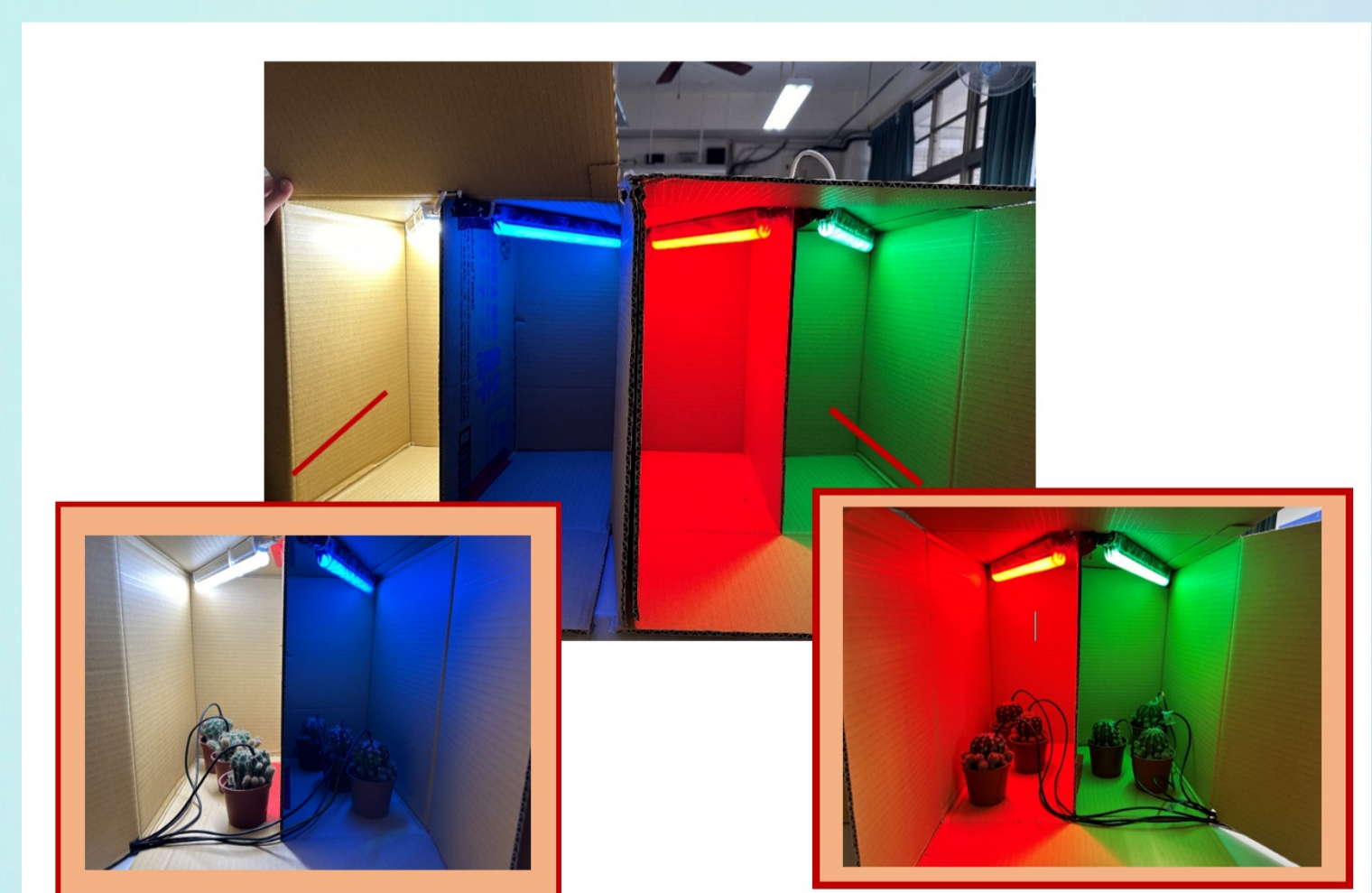
圖二十一：不同色光對於仙人掌體內溫度的記錄

由 1-3 作者共同繪製



圖二十二：不同色光對於仙人掌體內溫度的六天記錄

由 1-3 作者共同繪製



上圖為指導老師協助拍攝

肆、結論

- 一、仙人掌體內溫度的變化與環境溫度的變化趨勢一致，且溫度升降的變化的時間略落後於環境溫度的變化的時間，是屬於會隨著外界環境溫度改變的變溫植物。
- 二、仙人掌的體內溫度每日最高溫約莫出現在下午三點，而最低溫出現在每天的早上六、七點左右。
- 三、改變外在環境的探究中：
(一) 照光的仙人掌在白天溫度較高，但是在晚上溫度大致差異不大。
(二) 吹風會使植物體的體內溫度降低，當電風扇停止時溫度又會趨於一致。

- (三) 在極端低溫的環境下，仙人掌體內的溫度還是受外界環境溫度的影響。而在極端高溫時，仙人掌的溫度會維持在 52°C 左右，不會隨著外界溫度升高而改變仙人掌的體內溫度，呈現了恆溫的現象。
- (四) 當環境溫度較高時，乾燥的仙人掌較有澆水的仙人掌的體內溫度來得高。
- 四、有傷口的、移除針狀葉以及表面塗凡士林的仙人掌在白天溫度較高時，體內溫度會較對照組來得低，所以影響仙人掌體內溫度以太陽輻射與熱傳導為主，自身的蒸散作用調節有限。
- 五、仙人掌的比熱 2.3 (卡 / 克 °C) 與仙人掌泥的比熱 1.6 (卡 / 克 °C) 可以發現都比水的比熱大。
- 六、照綠色光的仙人掌比起照白光、藍光、紅光的仙人掌的體內溫度都要低

伍、參考資料及其他

1. 周光裕 (1990[民 79])。生態學簡明教程。臺北市：地景。
2. 柯勇 (2016[民 105])。植物生理學。新北市新店區：藝軒圖書文具。
3. 林德勳，鍾國基著 (2008[民 97])。植物解說圖鑑：野外植物觀賞與解說入門。臺中市：晨星出版。
4. 那根有何用 — 仙人掌體溫恆定之研究。全國科展 35 屆高中組生物科。
5. 植物有體溫嗎? <https://kknews.cc/zh-tw/science/mk36k22.html>
6. 植物體溫。 <https://www.zgbk.com/ecph/words?SiteID=1&ID=90564&SubID=69108>