

新北市中和區中和國小資優班 114 級獨立研究



蔬菜電力的科學密碼

—探討「打汁過濾」與「葉片蒸散」實驗法的發電效果分析

作者：呂翊寧、張沛熙

學校：新北市中和國小

指導老師：王翔暉

目錄

第壹章 緒論	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	1
第三節 研究問題.....	1
第貳章 文獻探討	3
第一節 植物發電的原理與植物電池的應用	3
第二節 過去研究的植物發電案例實驗設計分析	6
第三節 過去研究可發電的植物分析.....	10
第參章 研究內容	12
第一節 研究架構.....	12
第二節 研究設計.....	16
第肆章 研究結果	19
第一節 打汁過濾篩選及濃度變因實驗.....	19
第二節 打汁過濾實驗之實務應用	24
第三節 葉片蒸散實驗——照光組	28
第四節 葉片蒸散實驗——風組	32
第伍章 結論與建議.....	35
第一節 研究結論.....	35
第二節 研究限制.....	37
第三節 未來研究建議.....	39
第四節 個人心得.....	40
參考資料.....	41

摘要

本研究旨在探討植物發電的多元可能性，透過「打汁過濾」與「葉片蒸散」兩種實驗法，系統性分析不同蔬菜種類及環境變因對產生電能的影響。

在「打汁過濾」實驗中，本研究測試了十種蔬菜，發現電壓高低並不同於電流輸出，關鍵在於液體的「內部電阻」。實驗證實，以菠菜搭配 1：2（菜 100g：水 200ml）的濃度調配，因其具備微酸性且離子移動順暢、內部電阻較小，能產出最佳電流（1.48 mA），並能透過串聯成功驅動 LED 燈與小型計時器。

在「葉片蒸散」實驗中，研究發現環境因子對發電效能有顯著影響：

- 一、光照變因：藍光能有效促進青江菜氣孔開啟；而菠菜與花椰菜則在綠光照射下表現最佳，推論與綠光之深層穿透力或熱能效應有關。
- 二、風速變因：實驗顯示「無風環境」的發電穩定度優於「有風環境」。當風速過強時，葉片厚實的花椰菜會啟動防禦機制關閉氣孔，導致電壓下降。

綜合研究結果，若要驅動需高電流之電器，建議使用打汁後的菠菜（1：2）；若需維持長時間穩定電壓，則以花椰菜置於無風且有綠光照射之環境發電效益最高。本研究不僅證實了蔬菜發電的潛力，更釐清了內部電阻與環境變因對生物能源轉化的關鍵作用。

第壹章 緒論

第一節 研究動機

我們本來以為只有水果可以發電，沒想到在看完第三十一集的留言追追追和國外的 Is your Food Electric 和 Nature Water 後，發現了有些蔬菜其實也可以發電。所以我們想利用常吃到的蔬菜，使用打汁過濾及葉片蒸散的方法，製作出酷炫的簡易電池，並比較各植物的發電電力。而現在全球面臨了嚴重的環境汙染問題，如果我們製作出可以發電的蔬菜電池，就可以減少化學電池的用量，為地球的環保盡一份心力，造就永續發展的基礎。

第二節 研究目的

- 一、探討所選蔬菜的電壓和電流排名是否一致
- 二、探討打汁過濾中不同濃度是否會產生不同電流
- 三、探討打汁過濾實驗中，發電效果最好的蔬菜，是否可以應用到日常生活的小電器
- 四、探討葉片蒸散實驗，是否真的可以使蔬菜產生電力
- 五、探討葉片蒸散實驗，不同顏色的光，是否影響蔬菜的電壓
- 六、探討葉片蒸散實驗，有無吹風，是否會影響蔬菜的電壓

第三節 研究問題

- 一、在打汁過濾實驗中，電壓和電流大小排名是否有差異？
- 二、在打汁過濾的實驗中，哪種濃度的發電效果最佳？
- 三、在打汁過濾的實驗中，發電效果最佳的蔬菜，需要串連幾顆蔬菜電池，才能驅動小電器？

四、在葉片蒸散實驗中，不同顏色的光會不會影響蔬菜的發電效果？

五、在葉片蒸散實驗中，有無吹風是否會影響電壓大小？



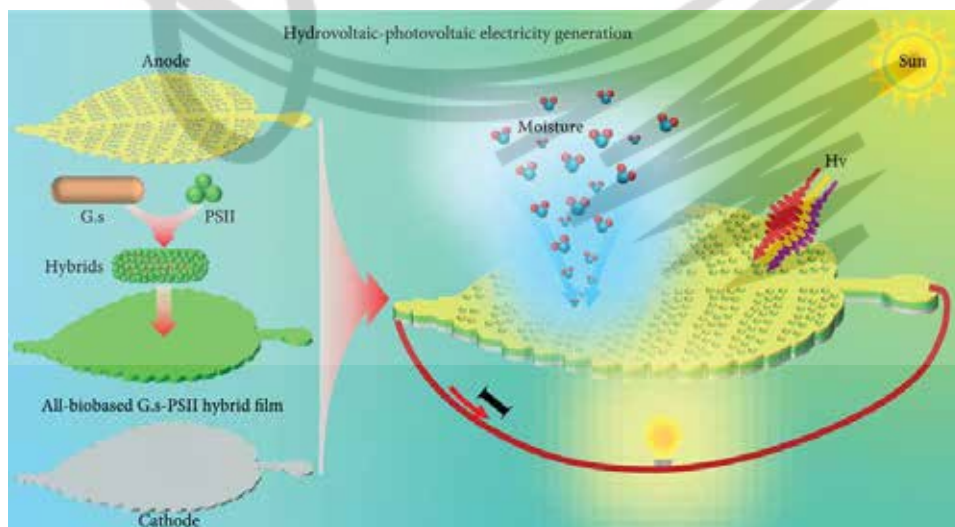
第貳章 文獻探討

第一節 植物發電的原理與植物電池的應用

最適合製作蔬菜電池的蔬菜，通常含有較為豐富的電解質，例如鈉、鉀、鎂、鈣及磷等離子。當銅片(正極)與鋅片(負極)插入蔬菜後，便能形成完整的電路，進而產生電能。然而，不同種類的蔬菜因電解質含量不同，所能產生的電量也會有所差異。一般來說，電解質含量較高的蔬菜能提供較佳的發電效果；相對地，若電解質含量較低，所產生的電量則會較弱。

關於植物發電的應用有：Plant-e 荷蘭公司 有開發一款使用植物發電的產品。所選用的植物會進行光合作用並產生有機物質，而製造出的物質，植物本身會吸收一些作為生長的養分，其餘則會排放到土壤中。排放至土壤中的物質會被細菌分解，分解過程中，電子作為副產品，Plant-e 將釋放出來的電子轉化成為電能，然後這些電子會跑回地面，完成循環。

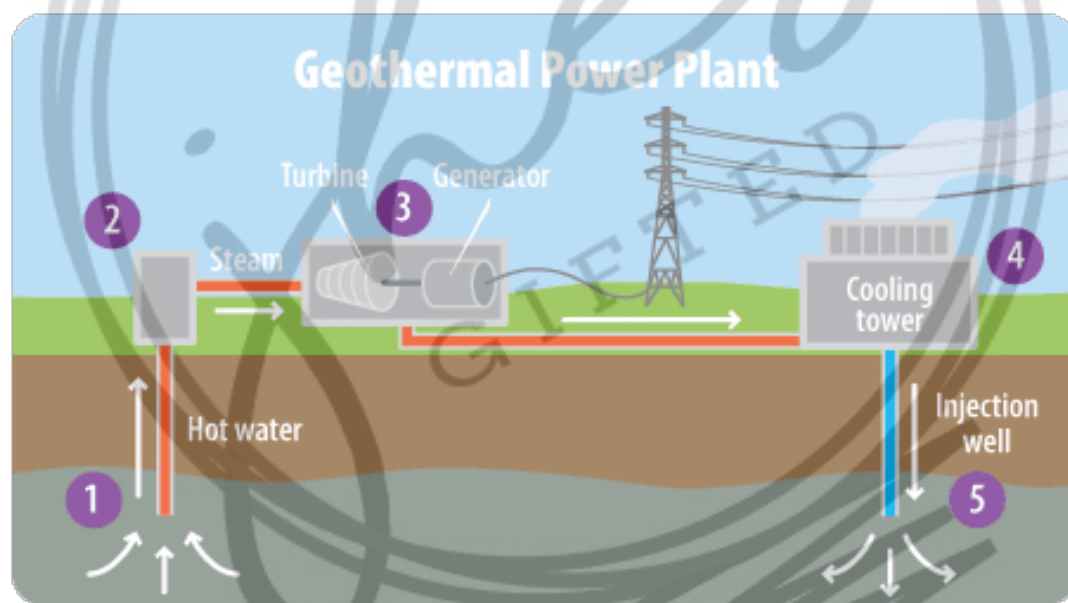
最近的研究發現，植物葉片在蒸散時也能發電。像荷葉釋放水氣時會產生「水伏效應」，只要貼上小小電極就能收集電能。如果全球都利用這種方法，每年大約能產生 67.5 太瓦時的電！另外，科學家還做出「葉片發電器」，利用摩擦和雨滴的力量來發電，甚至能讓 LED 燈閃爍。這些技術都不需要燃料，而是直接利用風、雨和植物本身的作用來產生電，是蠻環保的發電方式。



圖一：水伏效應示意圖（圖片資料：Researchgate）

科學家還發現植物在蒸散時也能產生電力。只要在莖和葉脈上插入金屬電極，就能把水分蒸發帶動的流動轉成電壓，形成「蒸散發電機」，且在太陽下效果更好。還有研究把摩擦式發電器裝在葉片上，風吹或雨滴打下來時就能產生電。像美國的團隊就做出能在模擬風雨中點亮 LED 燈的裝置。這些技術都很新，主要是利用自然界的動力來收集能量。

葉片蒸散和摩擦發電的好處是系統簡單，可以直接裝在植物葉子上，利用蒸發、水滴或風力就能發電，不需要額外土地或燃料。蒸散發電器成本低、環保、體積小，適合分散的小規模發電；摩擦發電則能在雨水或風吹時，瞬間產生高電壓，方便收集多種能量。缺點是發電效率會隨環境改變而波動，單片葉子的電力很小，需要很多葉子並聯才能用；摩擦發電器和葉面電極也可能會老化或不好製作。這些技術還在研究階段，還沒有成熟的商業應用。



圖二：測試發電電力與電壓（圖片來源：Geothermal Energy A Student's Guide to Global Climate Change）

研究者想法：

從上述資料中，我們發現只要蔬菜擁有豐富的電解質，可以發電的機率就會變大，因此我們選用的蔬菜，大多數都含有豐富的電解質。另外，我們也有選用電解質含量較少的高麗菜和青江菜，來比較電解質是否真的會對發電效能

產生影響。

我們也發現：原來現在蔬菜電池有許多應用，包括利用植物行光合作用後製造出的有機物質進行發電等。我們覺得以相對環保的方式製造電力供大家使用，是個不錯的方法，如此一來，既可讓大家有足夠的電力使用，也能為地球的永續發展盡一份心力。雖然使用葉片蒸散的方式也可以發電，只是技術還不夠成熟，發電效能還是有限。



第二節 過去研究的植物發電案例實驗設計分析

本研究參考了過去植物發電的相關研究，探討植物發電案例的實驗設計，讓我們可以更加瞭解植物發電的原理，與相關的實驗方法，以下為我們分析的結果：

《雜草也能做電池？》

這篇文獻運用鋁箔紙與碳棒接通雜草的汁液進行測量，發現產生了電流，因此針對不同型態的雜草進一步研究，包含萃取方式、雜草選擇和電極選擇。萃取方式分別嘗試了打汁過濾、加酒精過濾以及加熱過濾；雜草選擇是車前草最佳；電極是鋅銅最佳，最後將它們串連後，發現可驅動 LED 燈。



圖三：葉綠素電池串聯 24 顆（圖片來源：雜草也能做電池？）

《「蔬」出電力》

這篇文獻為了響應環保，以蔬菜作為製作電池的材料。每種蔬菜液的電壓差不多，但是電流差異很大。未過濾的蔬菜液的電壓高於過濾的，但差距不大，而過濾後的蔬菜液的電流高於未過濾的，另外蔬菜液放置天數對電壓影響不大。電流的部分，馬鈴薯液以放置第五天最高，第六天後下降。地瓜葉液則以放置第三天為最高，第四天開始就逐漸下降。



圖四：鋅片和銅片插入水耕 A 菜的蔬菜凍並用三用電表測量電壓和電流

（圖片來源：「蔬」出電力）

《「來電一下」~月桃葉發電之研究》

這篇文獻發現了月桃葉可進行發電，並了解到提高放電效果需要有哪些條件。要讓月桃葉有良好的放電效果，濾液要保持無雜質，電極也不能插入過深，才能降低內阻、提升功率。同時，添加鹽酸或食鹽可讓葉綠素脫鎂，若加熱到七十度以上，則效果會更加明顯。該實驗研發可攜帶的月桃葉電池，包括養樂多月桃葉電池和微型自製電池串聯盒。



圖五：月桃葉電池串聯 7 個（圖片來源：「來電一下」~月桃葉發電之研究）

《來電~「樹」「素」看!》

這篇文獻起初以水果電池做為發想，嘗試將樹葉的濾液取代果肉做成電解質，把鋅與銅作為電極材料。以校園中的五種植物進行測試，包括雜草、發財樹及月桃等，最後月桃葉發電效果最佳，因此，該研究選用月桃葉。鋅銅電極組合與適當電極深度也可以增強放電效果，並成功串聯五個電池。



圖六：月桃葉電池串聯 5 個（圖片來源：來電~「樹」「素」看!）

《遍地雜草變黃金》

這篇文獻利用植物酸鹼性的差異來產生電動勢(電池內供電的東西)，做成植物電池，並採集生活周遭的植物進行測試。並透過串聯與並聯的方法，成功點亮 LED 燈，甚至讓小燈泡發光。



圖七：用三用電錶測量出植物的電壓（圖片來源：遍地雜草變黃金）

《Electricity Production from Vegetative and Fruits》

這篇文獻比較鋅/銅電極下 PKL、蘆薈、番茄及檸檬汁電化學電池的性能。實驗結果顯示，PKL 電池在電壓、電流與功率穩定性方面都勝過其他電池。此研究運用熱處理提升性能的方法，並將相關數據分析與圖表化。



圖八：用鋅片和銅片插入蔬果泥，使用三用電表測量電壓和電流
(圖片來源：Electricity Production from Vegetative and Fruits)

並且針對這些研究的實驗設計，進行以下的統整：

網站	實驗設計分析
雜草也能做電池？	「打汁過濾法」取出葉綠素溶液
「蔬」出電力	把蔬菜打成汁加入洋菜粉測電壓和電流
「來電一下」~月桃葉發電之研究	「打汁過濾法」測量電壓、電流和 PH 值
來電~「樹」「素」看！	「打汁過濾法」，用三用電表測量
遍地雜草變黃金	將植物進行研磨，用三用電表測量
Electricity Production from Vegetative and Fruits	打成泥，用三用電表測量

表一：各研究之實驗設計分析（資料來源：研究者自行整理）

研究者想法：

我們看了好幾篇關於植物電池的研究，有的用蔬菜、有的用雜草，有的用月桃葉。我們發現以上的科展報告都有許多種不一樣的研究設計，較多研究者選用的是「打汁過濾法」，除此之外，我們還想增加葉片蒸散的發電方法，做出一個獨一無二的研究。

第三節 過去研究可發電的植物分析

本研究參考了以前的科展作品——「蔬」出電力，分析了一些發電效果較好的蔬菜，讓我們可瞭解那些蔬菜發電效果較好，以下為我們分析的結果：

蔬菜/植物	電壓(平均)(V)	電流(平均)(ma)	蔬菜介紹
白蘿蔔 	0.71	0.76	白蘿蔔屬於十字花科，喜歡寒冷的氣候，因此其多半是在秋天栽種；冬天收成。白蘿蔔的營養非常豐富，也含有豐富的「鉀」。
莧菜 	0.73	0.85	莧菜屬於莧科，它具有耐熱性且抵抗病蟲的能力強，因此是一種易種植的蔬菜。而莧菜有分成白莧菜和紅莧菜，但不管是哪一種營養價值都很高。
A 菜 	0.70	1.02	A 菜屬於不結球萵苣，幾乎一年四季都可收成。其鉀離子含量非常多，因此對人體非常好。
地瓜葉 	0.84	1.05	地瓜葉屬於旋花科，其熱量非常低，卻有豐富的營養素，且它的品種很多，有心葉、圓葉、三角葉、裂葉等。它是一種生命力強的蔬菜，幾乎一年四季都可收成。

馬 鈴 薯 	0.94	2.23	馬鈴薯屬於茄科，而我們平常食用的部分是它的地下塊莖。可是當馬鈴薯本身冒出綠色的芽時，就會產生具有毒性的龍葵鹼，所以在吃馬鈴薯時要特別的注意。
空心菜 	0.73	1.06	空心菜屬於旋花科，它的莖之所以是空心的，是因為空心菜是一種半水生植物，根在水中不易呼吸，莖部是中空的可供儲存空氣。

表二：發電效果較好的蔬菜之介紹（資料來源：研究者自行整理）

研究者想法：

從以上資料中，我們發現馬鈴薯的電壓與電流最高；其次是地瓜葉；然後是空心菜；接著是莧菜。與前幾者相比，白蘿蔔和 A 菜的電壓與電流較低，但仍然可以產生穩定的電力。因此我們發現不同的蔬菜產生的電壓和電流都會有所差異。

第參章 研究內容

第一節 研究架構

《蔬菜電力的科學密碼》：探討「打汁過濾與葉片蒸散」兩種實驗法的發電效果



1. 文獻整理

在暑假時，我們和沛熙媽媽討論主題，因為沛熙媽媽是化學老師，所以她提供了我們研究方向。我們透過兩次線上會議討論，老師建議我們可以查詢其他科展資料，並參考他們的做法。開始進行文獻探討，我們查了許多的相關資料，包含：蔬菜發電的原理、蔬菜發電的應用、蔬菜發電的科展作品……等。

2. 擬定實驗方法及蔬菜

我們在搜尋實驗方法時，看到 2023 年的研究期刊，發現還可以用葉片蒸散的方式來發電，而我們為了創新本研究，新增葉片蒸散的方法，試試看小學生是否也可以做出來？完成實驗後，我們會一一分析各種蔬菜在兩種實驗的電流及電壓，選出最高者，比較打汁過濾還是葉片蒸散的方式可以產生更多電力。經由文獻的整理，發現發電效果較好的蔬菜都含有大量的電解質，我們推測電解質的含量可能會影響發電，所以選用的蔬菜多半都含有豐富的電解質。

3. 設計葉片蒸散實驗

我們討論該如何進行本次的實驗，因為蒸散實驗需要有充足的陽光才能順利進行，所以我們在事前查詢好天氣預報，找出有太陽的日子。確定日期後，我們準備做實驗所需的器材，並確定實驗地點要在何處進行。

4. 設計打汁過濾實驗

討論此實驗該如何進行，並整理做實驗需要的器材、確定實驗的地點及時間。

5. 進行打汁過濾實驗並分析結果

完成打汁過濾實驗，並分析實驗結果，比較何種蔬菜發電效果最佳。

6. 進行葉片蒸散實驗並分析結果

蒸散實驗完成後，我們會分析各種蔬菜的發電效果，比較何種蔬菜發電效果最佳，並探討各種蔬菜在哪種實驗方法中發電效果較好。

7. 撰寫研究報告

記錄完實驗結果後，我們會把整篇研究潤飾一遍，找出資訊不齊全，或有不通順的地方加以修正。最後運用 ChatGPT 和 Gemini 進行更精細的局部微調，讓整篇研究報告看起來更具體更通順。

8. 準備獨立研究發表會

完成研究報告後，我們開始模擬發表現場，練習口頭報告，思考當天可能會遇到的問題，並想解決的辦法，好讓我們在發表現場不會過於緊張，可以順利的完成發表。



2025 年 7、8 月

- 確定研究主題、蒐集相關資料並整理、線上與老師及同學討論

在想研究主題時，我們有和沛熙媽媽進行討論，因為媽媽是化學老師，所以她提供了我們研究的方向。後來與老師線上討論時，老師也建議我們可以找尋科展資料，參考別的學校之學長姊的做法，讓我們對本研究有些想法。

9 月

- 進行文獻探討，完成前兩節

接著我們開始撰寫文獻探討，第一節我們找尋植物發電的原理和植物電池的應用，第二節我們整理了一些過去的實驗報告，並在第三節分析一些於報告中看到發電效果較好的蔬菜，我們從中看到發電效果好的蔬菜都具有極多的電解質，因此我們認為電解質的含量可能會影響發電效果。而我們在找資料時，還有看到以葉片蒸散的方法進行發電，我們遂增加此方法，較不會與以前研究的實驗方法-----「打汁過濾」，過於雷同。

10 月

- 完成文獻探討、進行研究架構圖設計、規劃研究期程表

我們在月初時把文獻探討潤飾完成後，便開始進行研究架構圖設計，我們一起討論列出 8 大研究進行的方向，並一一撰寫內容。接著我們開始規劃研究期程表。

11 月

- 開始撰寫研究動機、目的、問題、開始思考實驗設計流程

完成期程表後，我們開始規畫研究動機、目的和問題，並開始思考實驗設計流程、方法，及研究進行的方法、器材、查詢有太陽的日子，以便做葉片蒸散的實驗。接著，先設計好葉片蒸散實驗，如此一來才能在有太陽時，快速進行，然後再思考打汁過濾實驗，因為此實驗不需要任何自然環境的種種因素，所以可以較晚做設計。

12 月

- 完成實驗設計流程和研究進行方法、開始進行實驗

我們在十二月確定好流程表，準備好器材和蔬菜後，開始依照流程的規劃近，並一邊做觀察一邊紀錄實驗結果。

2026 年 1 月

- 準備前三章審查會議、完成實驗

我們練習報告方式，並模擬發表現場，思考當日可能會發生的問題和解決辦法。準備齊全後，把實驗做完。

2 月

- 紀錄實驗結果，並分析

把實驗結果整理在電腦的表格中，然後一一分析它們的發電效果，並比較何種蔬菜發電效果最佳。

3 月

- 思考研究結論及建議，並開始撰寫

我們把整份研究整理好，撰寫結果，接著在思考此實驗較不周全之處，並寫出該如何改進。

4 月

- 潤飾整份研究報告、並開始準備發表會

我們把整篇研究潤飾一遍，找出資訊不齊全，或有不通順的地方加以修正。最後運用 ChatGPT 和 Gemini 進行更精細的局部微調，讓整篇研究報告看起來更具體更通順。完成後，開始準備獨立研究發表會。

5 月

- 進行發表

開始在課堂中模擬發表現場、練習發表。

第二節 研究設計

本研究預計進行兩種蔬菜發電的實驗歷程，分別為「打汁過濾實驗」和「葉片蒸散實驗」，以下為研究的器材和實驗流程規劃。

預計研究蔬菜	實驗器具	其他器材
高麗菜 青江菜 菠菜 白花椰菜 小白菜 大白菜 地瓜葉 芥菜 茼蒿 空心菜	濾網 量杯 鋅片 銅片	果汁機 三用電表 電子秤 有塑膠皮的導電線 馬達風扇 小型計時器 LED 二極體 小燈泡

一、打汁過濾實驗

(一)探討打汁過濾實驗的因素：

1. 發電效果最好的蔬菜及濃度為何
2. 電壓最高的蔬菜，電流是否也最高
3. 不同濃度是否會對發電的效果產生影響
4. 發電效果最好的蔬菜是否可以驅動日常生活中的小電器

(二)實驗材料準備：購買十種研究用蔬菜。

(三)標準量篩選：將這些蔬菜以「蔬菜 100 公克，水 200 毫升」比例打汁過濾，接著用三用電表測量這些蔬菜，比較出何種蔬菜發電效果最佳，並繼續下面的實驗。

(四)濃度變因實驗：把篩選通過的蔬菜分別調製成三種濃度的蔬菜汁後，進行實驗測量：

- 實驗組：蔬菜 100 公克，水 200 毫升
- 對照組：
 1. 高濃度：蔬菜 100 公克，水 150 毫升
 2. 低濃度：蔬菜 100 公克，水 250 毫升

(五)數據分析：比較發電效果最佳的蔬菜及濃度。

(六)生活應用：將電流最高的蔬菜，打汁過濾後分裝成 100 毫升，並運用「串聯」的方式，實際應用在以下三種物品，並記錄各個物品，分別需要串聯幾顆蔬菜電池才可驅動。

- LED 發光二極體----白、紅、綠、黃、紫

(七)生活應用(二)：考量到以下兩種物品所需的電流電壓較高，為了減少體積和製作步驟，我們選擇製作成「伏打電堆」，看是否可以驅動它們。

- 小燈泡
- 馬達驅動型電風扇

二、葉片蒸散實驗—照光

蔬菜苗：青江菜苗、白花椰菜苗、菠菜苗

(一)探討葉片蒸散實驗的因素

1. 分析不同顏色的燈光，是否會讓葉片蒸散產生不同的電壓。
2. 分析哪一種顏色的燈光能對葉片蒸散產生較好的發電效果。

(二)實驗材料：選擇在打汁過濾實驗中，發電效果最好的前兩名，及效果最差的，分別是白花椰菜苗、菠菜苗和青江菜苗，接著準備數個遮光/密封箱以控制光源環境。

(三)光源設定：

1. 對照組：白光
2. 實驗組：紅、藍、綠光，使用手電筒包三種顏色的玻璃紙調整燈光的色彩。
3. 自然組：陽光

(四)照光時間：因植物在照光後，約要 5 分鐘以上才能進行蒸散作用，所以我們決定先讓它照光 10 分鐘後，測量第一次，之後每 30 分鐘測量

一次。

(五)電極架設：將銅片與鋅片分別插入在葉片的主葉脈和莖，確保電極與植物組織能緊密接觸。

(六)分析數據：記錄數據，比較哪種燈光可以讓蔬菜產生較多電量。

三、葉片蒸散實驗—風力

(一)風力實驗因素：

1. 分析是否有風，會不會讓葉片產生不同的電壓
2. 分析有風還是無風能對葉片蒸騰產生較好的發電效果

(二)實驗材料：選擇在打汁過濾實驗中，發電效果最好的前兩名及效果最差的，分別是白花椰菜苗、菠菜苗和青江菜苗，準備數個密封箱及手持型電風扇，避免互相干擾。

(三)風力設定：

- 對照組：無風
- 實驗組：有風

(四)吹風時間：為了避免植物因長時間近距離吹風而枯萎，我們選擇每 15 分鐘測量一次。

(五)電極架設：將銅片與鋅片分別固定在葉片的主葉脈和莖，確保電極與植物組織能緊密接觸。

(六)分析數據：記錄數據，比較有風還是無風可以讓蔬菜產生較多電量。