

花蓮縣第 66 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科 別： 應用科學科

組 別： 國中組

作品名稱： 豆苗「挑食」清單：Arduino 監控系統
在光波長影響豆苗生長之應用

關 鍵 詞： LED 波長、光學吸收率、Arduino 自動
化系統、BH1750 感測器

一、研究摘要

本研究聚焦於探討不同波段之單色光源對綠豆（*Vigna radiata*）生長發育之動態影響。鑑於傳統農業光譜實驗常受限於人工給光時間誤差、光源功率不穩定及光譜純度不足等干擾因子，本研究團隊研發了一套以 Arduino Uno 微處理器為核心的「全自動化植物光譜監測與光學特性量測系統」。

本研究分為三大核心階段：

1. **自動化控制系統設計：** 透過 5V/2A 直流穩壓電源驅動總計 80 顆（4 組 $\times$ 20 顆）高亮度 LED 陣列，並經由繼電器達成 14 天精密晝夜節律定時光照（12H ON/OFF）。
2. **生長型態定量分析：** 觀測並記錄不同色光下豆苗的株高生長曲線、葉面積展開率以及莖部組織之型態差異。
3. **三段式光學特性量測：** 創新設計「不透光暗箱量測模型」，利用 BH1750 數位環境光感測器，結合能量守恆定律精確計算葉片對各色光的吸收率 ($A\%$)、反射率 ($R\%$) 與穿透率 ($T\%$)。

研究結果初步顯示，豆苗對紅光與藍光具有極高的光能吸收效率（均 $> 85\%$ ），且其生長斜率與吸收率呈正相關；反之，綠光組因葉片結構產生的高反射特性（反射率經測量 $> 22\%$ ），導致有效光合能量利用不足，植株展現出明顯的「徒長」與「黃化」現象。本研究成功建立了一套低成本、高信度的定量分析模

型，為智慧農業光譜配置提供了具公信力的實證數據。

二、研究動機

1. 驗證生物學理論的量化缺口：

國中生物課本中定性描述了植物主要吸收紅、藍光並反射綠光。然而，這個過程究竟可以「被量化到什麼程度」？具體的能量分配百分比是多少？這促使我們希望透過物理感測器將理論數據化。

2. 解決實驗設備中功率衰減的變因：

在初步測試中，我們發現一般 3V 電池盒在推動大量 LED 時，會因內阻導致嚴重的壓降（Voltage Drop），使光源強度隨時間遞減，破壞實驗控制變因。因此，我們改採 USB 5V 2A 穩壓供電，並搭配精密分壓電阻。

3. 追求時間精確度與環境控制：

植物生長易受晝夜節律影響，人為手動開關燈容易造成幾分鐘至小時不等的誤差。透過 Arduino 自動化系統，我們能達成秒級的精確控制，排除人為干擾。

4. 探討光形態建成（Photomorphogenesis）現象：

除了吸收率，我們更想探討不同波段如何觸發植物不同的生長訊號。例如紅光是否誘發避蔭反應導致徒長，以及藍光如何影響氣孔開合與莖部壯實程度。

三、研究目的

1. 開發 Arduino 自動化監控平台：整合繼電器、Arduino Uno 與 80 顆高功率 LED 陣列，建構一個可長期運作且變因穩定的封閉式植物生長監測環境。
2. 量化葉片物理光學特性：利用 BH1750 數位感測器開發「三段式測量法」，精確計算紅、藍、

綠、白四色 LED 在真實葉片上的吸收、反射與穿透率。

3. **分析光學數據與生長曲線之相關性：** 透過 14 天的連續測量，記錄各組豆苗株高、葉面積變化，並分析吸收率高低如何直觀地反映在植株健康度上。
 4. **驗證植物顏色與能量效率之關係：** 探討高反射率（綠光組）是否為導致豆苗生長弱勢的主因，並藉此驗證「反射即浪費」的農業光譜假設。
-

四、研究設備與器材

1. **Arduino 控制與邏輯核心：**
 - **Arduino Uno R3 開發板：** 負責主程序運行與時間邏輯。
 - **5V 繼電器模組 (Relay)：** 控制 LED 陣列之高電流路徑開關。
 - **杜邦線、麵包板、單芯導線：** 用於訊號傳輸與大電流主迴路架設。

2. 高效光源系統 (80 顆 LED 陣列)：

- 。高亮度 LED：紅 (620nm)、藍 (465nm)、綠 (520nm)、冷白光各 20 顆。
- 。精密小電阻：採用 100Ω 與 220Ω 分壓電阻，確保各波段 LED 均在額定工作範圍內。
- 。改造 USB 線：作為 5V/2A 穩定直流電源來源。

3. 數據量測與分析設備：

- 。BH1750 數位感測器：解析度 1 Lux，具備 I2C 數位輸出。
- 。簡易分光計：用於前置作業中校準各色 LED 波長純度，確保無雜光干擾。
- 。自製黑色不透光量測暗箱：使用高密度紙板與吸光絨布製作。

4. 生物實驗材料：

- 。綠豆種子：選取顆粒飽滿、外觀一致者每組各 20 顆。

- 。盆栽、培養土：提供一致的保水性與肥力背景。
-

五、研究過程或方法

(一) 電路邏輯設計與自動化系統建置

1. 限流電路精算：

依據歐姆定律 $V=IR$ ，計算各色 LED 在並聯狀態下的電壓降分配。針對順向電壓較低的紅光 LED ($V_f \approx 2.0V$)，我們採用 220Ω 電阻；而其餘色光則採用 100Ω 電阻。所有接線均使用單芯導線焊接，避免杜邦線接觸不良造成的電阻變化。

2. Arduino 計時程式開發：

使用 `millis()` 函式撰寫循環計時程式，避免 `delay()` 造成的系統阻塞。程式設定每日光照時數為 12 小時，總實驗時程設定為 14 天。

(二) 實驗分組與變因控制

我們設定了五個受光環境（紅光、藍光、綠光、白光及自然光對照組）。

- **控制變因：** 播種深度、每日澆水量（10ml）、培養土材質、初始光強度（透過 BH1750 調整光源距離使各組 Lux 值一致）。
- **操縱變因：** 光源波長（波段）。

(三) 三段式光學量測模型 (Optical 3-Step Measurement)

這是本研究最具創新性的量化技術：

1. **Step 1 (初始強度 I_{total})：** 測量光源在無遮蔽狀態下直接照射感測器的強度。
2. **Step 2 (穿透強度 I_{trans})：** 將待測葉片完全覆蓋於 BH1750 感測器上方，讀取穿過組織後的光強度。

3. **Step 3 (反射強度 I_{refl})**：將 LED 與感測器對應放置於葉片 45 度角，量測表面彈射光能量。

4. **數據演算**：基於能量守恆 $I_{\text{total}} = I_{\text{absorbed}} + I_{\text{trans}} + I_{\text{refl}}$ 。

求出 **吸收率** $(A\%) = \frac{I_{\text{total}} - (I_{\text{trans}} + I_{\text{refl}})}{I_{\text{total}}} \times 100\%$ 。

六、研究結果

(一) 光學吸收數據分析

透過 100 次讀值取平均值，數據顯現出驚人的趨勢：

- **紅/藍光高效區**：紅光與藍光的吸收率分別高達 82% 與 86%，反射率極低（均低於 10%）。
- **綠光低效區**：反射率測得為 23.5%，吸收率僅約 58%。這定量地證實了綠色植物對綠光的排斥現象。

(二) 豆苗生長形態觀察 (14 天統計)

1. **株高生長斜率：** 紅光組在發芽後第 5 天開始展現最高生長速率，最終平均株高為 18.5cm（徒長）。藍光組株高 12.3cm，但莖部直徑經游標卡尺測量較紅光組粗約 1.5 倍。
 2. **葉片色澤與展開：** 藍光組葉片展開最為平整且葉綠素表現最深；綠光組則出現葉片發育不良與褪綠。
-

七、討論

1. **電子電路的穩定性：**

我們發現使用繼電器配合單芯導線的主迴路，其穩定度遠高於普通的麵包板跳線。這教導我們在大功率 LED 實驗中，電路阻抗對實驗結果（光源強度）有決定性影響。

2. **反射率對光合作用的意義：**

數據顯示綠光反射率高出紅光 3 倍之多。這說明了植物外觀的顏色並非隨機，而是其能量吸收策略的物理表現。

3. 誤差分析與精進：

手動測量反射角易受環境漏光影響。未來建議利用黑色遮光絨布配合 3D 列印固定架，將 45 度測量角規格化，以降低標準差。

八、結論

1. 成功運用 Arduino 與繼電器建構出低誤差的自動化生長實驗平台。
 2. 透過 BH1750 數位量化，證實豆苗對波長具有強烈「挑食」性，其吸收率分布印證了葉綠素的吸收光譜。
 3. 實驗數據顯示，高吸收率（紅、藍光）與豆苗的發育指標呈正相關，證明智慧農業應優先配置該波段光源。
-

九、參考資料

1. 國中生物第二冊（光合作用章節）。
2. Arduino 官方 Library：BH1750 感測器通訊手冊。
3. 科學人雜誌：植物的光學與生理機制。
4. 花蓮縣第 65 屆科展優等作品格式參考。