

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

■國中組 □普高組 □技高組 成果報告

題目名稱： 水質好不好它知道~水質監測自動化探究

一、摘要

本研究以氨氮的檢測方法探討自動化水質監測的可行性，針對社區公園水質檢測。研究目的包括使用市售比色計檢測氯化銨濃度、設計比色計 App 以及開發自動化水質監測器。首先，通過觀察不同濃度氯化銨水溶液與氨氮試劑的反應，發現 RGB 三色總亮度與氨氮濃度呈線性關係，證實市售比色計能有效檢測未知氯化銨水溶液的濃度。其次，利用 App Inventor 2 設計的比色計 App，將 RGB 值轉換為 HSL 值，提高了檢測的準確性。實驗中，氨氮試劑的顏色變化從黃至綠，反應水中氨氮濃度的變化，並成功研發出拍照取色模組以讀取試管顏色推算氨氮濃度。最後，結合 Arduino 與 RGB 顏色感測器，開發自動化水質監測器，實現水樣汲取及試劑注入的自動化，提升檢測效率。研究結果顯示，透過自動化系統可有效監測水質，並可將數據存儲至雲端，確保水源安全。整體而言，本研究展示水質監測自動化確實可行，更希望大家了解社區環境中維護水質的重要性。

二、探究題目與動機

社區公園中的水池呈現類似優養化現象令人擔憂，我們能否提早檢測出水質惡化呢？水質檢測藥水是用來測試水中的各種化學成分和污染物，運用不同試劑組可以幫助檢測水中的氨氮、硝酸鹽、磷酸鹽等。需要根據使用說明滴入正確劑量，並依顏色變化指標來判斷水質情況。**氨氮試劑**可檢測水中氨氮(NH_3 或 NH_4^+)的濃度，對於評估水質的污染程度非常重要。**硝酸鹽試劑**是用來測量水中硝酸鹽(NO_3^-)的含量，這對於農業和水產養殖有重要意義。**磷酸鹽試劑**則檢測水中磷酸鹽(PO_4^{3-})的濃度，過高的磷酸鹽會導致水體優養化。

水質檢測藥水的顏色變化通常是由於化學反應的結果，這些反應涉及水樣中的特定化學物質和檢測藥水中的試劑。常見的水質檢測藥水產生顏色變化的原理如：氨氮試劑中的某些成分在與氨反應後會形成有色化合物。檢測藥水會與水樣中的氧化劑或還原劑反應，改變其化學結構，因而導致顏色變化。另外，當檢測水樣中的金屬離子（如銅、鐵等）與試劑中的配體結合時，會形成有顏色的配位化合物，顏色的深淺與金屬離子的濃度成正比。最終再使用比色計等方式測量顏色變化的強度，這可以量化水中待檢測成分的濃度。顏色的變化通常與濃度成正比，因此可以通過標準曲線來推算水樣中物質的濃度。顏色變化的機制使得水質檢測藥水成為有效的工具，可用於監測水質並確保水源的安全性。因此我們展開了探究的旅程。

三、探究目的與假設

由於我們想探討是否可以自動化水質監測，利用觀察分析水質氨氮檢測試劑顏色細微變化的方式來達到定量的檢定。以下是探究假設與研究目的：

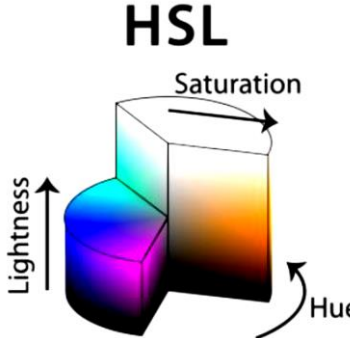
1. 探討是否可以運用市售比色計檢測出未知氯化銨水溶液的濃度
 - 1-a. 不同濃度氯化銨水溶液與氨氮試劑呈色反應觀察與記錄
 - 1-b. 運用手機付費下載比色計 App 檢測並記錄分析
2. 探討是否可以用 App Inventor 2 設計比色計 App
 - 2-a. 研發拍照取色模組，讀取試管顏色 RGB 值並轉換成 HSL 值
 - 2-b. 分析建立氯化銨水溶液與氨氮試劑呈色反應轉換檢量線之可行性
3. 探討是否可以用 Arduino 與 RGB 顏色感測器設計自動化的水質監測器
 - 3-a. 研發待測水樣汲取及水質檢測試劑注入自動化裝置
 - 3-b 研發 RGB 顏色感測器取色裝置，讀取試管 RGB 值轉換成 HSL 值，並自動化整合

四、探究方法與驗證步驟

(一) 相關原理：

氨氮試劑的顏色變化：氨氮試劑通常包含某些化學成分，如納氏試劑(Nessler's reagent)，這些成分能夠與水中的氨氮反應。顏色從黃至綠來指示水中氨氮濃度的變化。當氨氮(NH_3 或 NH_4^+) 存在於水中時，試劑中的成分會與氨氮發生反應，生成有色的配合物。這些配合物的顏色依賴於氨氮的濃度。當氨氮濃度較低時，反應生成的顏色通常是淡黃色。隨著氨氮濃度的增加，顏色會變為更深的黃色。當氨氮濃度進一步增加時，顏色會開始轉變為綠色，這表示水中氨氮已達到較高的濃度。

HSL 色彩模型：即色相(Hue)、飽和度(Saturation)、亮度(Lightness)。HSL 是一種將 RGB 色彩模型中的替代表示法，比 RGB 更加直觀。色相 (H) 就是平常所說的顏色名稱，如彩虹的紅色到紫色等；飽和度 (S) 是指色彩的純度，越高色彩越純，低則逐漸變灰；亮度 (L) 就是明暗程度。HSL 把顏色描述成圓柱模型內的點，點繞著中心軸的角度對應於「色相」，取 0-360 度的數值；點到軸的距離對應於「飽和度」，取 0-100% 的數值；點沿著中心軸的高度對應於「亮度」，取 0-100%。RGB 對 HSL 的換算公式(圖 1)，其中 $R' = R/255$ ， $G' = G/255$ ， $B' = B/255$ ， $C_{max} = \max(R', G', B')$ ， $C_{min} = \min(R', G', B')$ ， $\Delta = C_{max} - C_{min}$ 。



The diagram illustrates the HSL color model as a cylinder. The vertical axis is labeled 'Lightness', the horizontal axis is 'Hue', and the depth axis is 'Saturation'. A color gradient is shown along the circumference of the cylinder, ranging from red to purple. Below the diagram, the formulas for converting RGB to HSL are provided.

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right) & C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right) & C_{max} = B' \end{cases}$$
$$S = \begin{cases} 0 & \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{1 - |2L - 1|} & \Delta > 0 \end{cases}$$
$$L = (C_{max} + C_{min}) / 2$$

圖 1 HSL 色彩模型轉換公式

(二)探究方法：

常見的氨氮試劑可以檢測水中氨氮(NH₄)的濃度，並產生顏色由淡黃色到深綠色的顏色變化。經由氯化銨調配的水溶液便含有不同濃度的銨離子 NH₄。

實驗 1、探討是否可以運用市售比色計檢測出未知氯化銨水溶液的濃度

1-a. 不同濃度氯化銨溶液與氨氮試劑呈色反應觀察與記錄

首先進行氯化銨水溶液製備

- (1). 以電子秤稱取 8 mg 的氯化銨粉末加入少量的純水，以磁力攪拌器攪拌，直到氯化銨完全溶解，再加入純水直至 1000mL，混合成濃度 8ppm 的氯化銨水溶液。
- (2). 使用連續稀釋法，依序配製 8ppm、4ppm、2ppm、1ppm、0.5ppm、0.25ppm 氯化銨水溶液靜置備用。

接著以氨氮試劑對氯化銨水溶液進行檢定，並觀察與記錄

- (3).將各個不同濃度外加 0ppm 純水各取 5 mL 置於試管中，分別滴入 8 滴試劑 1，及 8 滴試劑 2，搖晃試管使試劑與待測水樣均勻混合。
- (4) 等待 5 分鐘讓藥劑呈色反應，再依色卡檢核對應讀值並記錄。

1-b. 運用付費下載手機比色計 App 檢測並記錄分析

ppm \ 分色	0.00	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00
R (1~255)	216	173	140	79	20	6	2
G (1~255)	202	199	186	150	126	104	66
B (1~255)	57	69	82	71	67	61	47
R+G+B	475	441	408	300	213	171	115
顏色							

圖 1-1 市售 APP 比色計 RGB 讀值

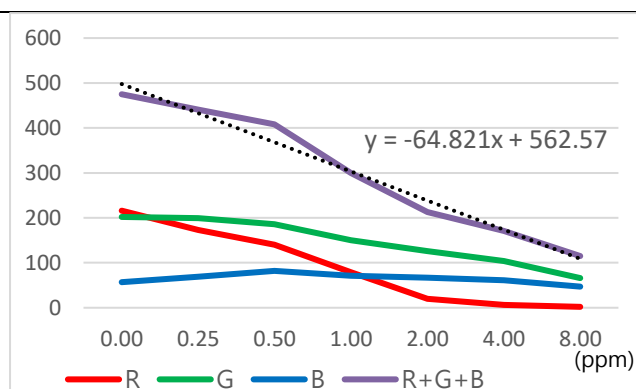


圖1-2 RGB值 折線圖 及 趨勢線

討論：RGB 三色總亮度與氨氮濃度呈線性的對應關係，確實可運用市售比色計檢測出未知氯化銨水溶液的濃度。

實驗 2、探討是否可以用 App Inventor 2 設計比色計 App 測量未知氯化銨水溶液的濃度

2-a. 研發比色計 App 拍照取色模組，讀取試管顏色 RGB 值並轉換成 HSL 值

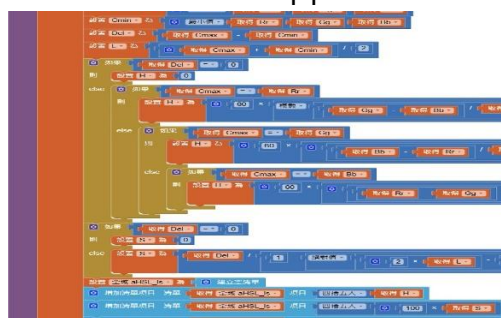


圖 2-1 App 程式碼片段

透過亮度 L 值更精確對應顏色變化得出濃度值。



圖 2-2 可透過 App 偵測顏色 HSL 計算判斷濃度

2-b. 分析建立氯化銨水溶液與氨氮試劑呈色反應轉換檢量線之可行性

ppm	0.00	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00
H	55	72	89	114	147	150	161
S	67	54	41	36	73	96	83
L	54	53	52	43	29	21	14
顏色							

圖 2-3 市售 APP 比色計 HSL 讀值

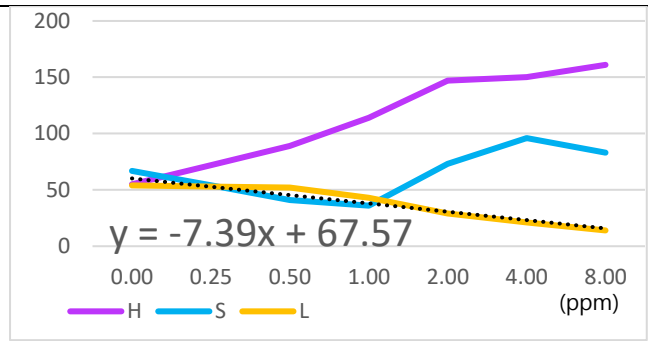


圖 2-4 HSL 值 折線圖 及 趨勢線

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{C' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right) & C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right) & C_{max} = B' \end{cases} \quad S = \begin{cases} 0 & \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{1 - |2L - 1|} & \Delta < > 0 \end{cases} \quad L = (C_{max} + C_{min}) / 2$$

討論：將 RGB 轉換成 HSL，亮度 L 與氨氮濃度接近線性的對應關係，做為檢測依據更準確。確實可以用 App Inventor 2 設計比色計 App 測量未知氯化銨水溶液的濃度。

實驗 3、探討是否可以用 Arduino 與 RGB 顏色感測器設計自動化的水質監測器

3-a. 研發待測水樣汲取及檢測試劑注入自動化裝置

第一代：以樂高機器人 LEGO EVO 模組推動推桿 組建自動化裝置(圖 3-1)

1. 首先由 EV3 微電腦將右上方中型馬達 D 逆轉拉回推桿將 10cc 待檢測水樣吸入針筒(圖 3-2)。
2. 接著將左側大馬達 B 逆轉推推桿注入試劑 1、右側大馬達 C 正轉推推桿注入試劑 2(圖 3-3)。
3. 等待 5 分鐘讓藥劑呈色反應，再依色卡檢核對應讀值並記錄。

第一代初步驗證可將水樣與檢測藥水依比例混合並產生呈色變化，再經由自製比色計 App 精準比色判定氨氮濃度。但體積過於龐大，希望改以 Arduino 做控制並結合 RGB 顏色感測器。

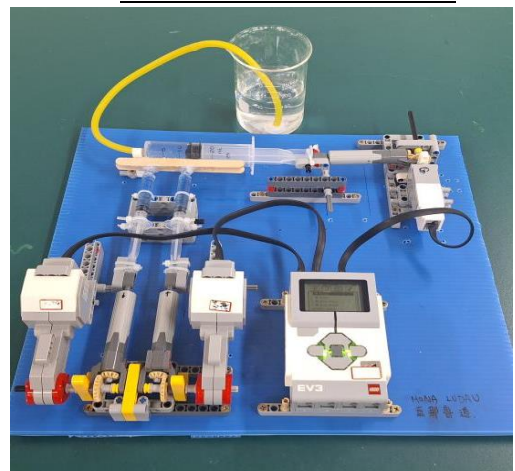


圖 3-1 樂高機器人模組加推桿推動試劑

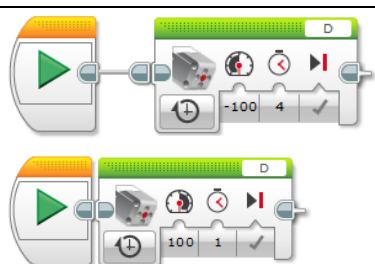


圖 3-2 馬達 D (待檢測水樣) 程式積木

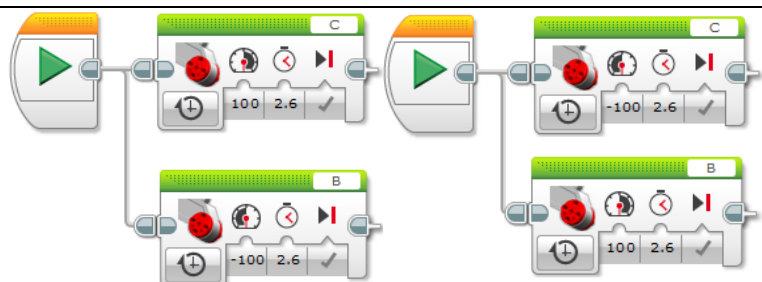


圖 3-3 大馬達 B (試劑 1)、大馬達 C (試劑 2) 程式積木

第二代：以 **Arduino** 控制步進馬達推動試劑噴瓶組建自動化裝置(圖 3-4)。首先由 **Arduino** 控制水泵將 10cc 待測水樣抽入注射筒，並控制步進馬達推動試劑噴瓶將定量的試劑 1、試劑 2 各 1.6cc 打入注射筒(圖 3-4)，等待 5 分鐘讓藥劑呈色反應，再依色卡檢核對應讀值並記錄。第一代初步驗證可將水樣與檢測藥水依比例混合並產生呈色變化，再經由自製比色計 App 精準比色判定氨氮濃度。

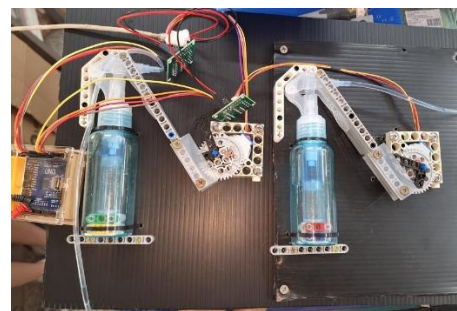


圖 3-4 步進馬達推動試劑噴瓶

改以 **Arduino** 縮小體積精準控制噴瓶推送試劑，降低成本。若再結合 RGB 顏色感測器便可全面自動化偵測水質的氨氮濃度。

3-b 研發 RGB 顏色感測器取色裝置，讀取試管 RGB 值轉換成 HSL 值，並自動化整合結合 **Arduino** 開發板、TCS34725 RGB 顏色感測器讀取檢測藥水顏色檢測自動化。首先要準備所需材料，有 **Arduino Uno** 開發板，5V 電源，TCS34725 RGB 顏色感測器具有高靈敏度動態範圍寬，並包括一個紅外線 IR 阻擋濾波器，還包括四個超亮 LED，使傳感器無需外部光源即可工作。水質檢測藥水，透明容器（用於放置水樣和檢測藥水）。按照顏色傳感器的數據手冊，將 RGB 顏色傳感器的引腳（如 s0,s1, s2, s3 和 out）連接到 **Arduino** 的數位引腳上。在透明容器中加入待測水樣，然後根據需要加入水質檢測藥水，並確保均勻混合。使用 **Arduino IDE** 編寫程式來讀取顏色傳感器的數據，亦可用 **Python** 的編寫環境。以下是 C 語言程式碼片段：

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"

Adafruit TCS34725 tcs = Adafruit TCS34725(TCS34725 INTEGRATIONTIME 50MS,
TCS34725 GAIN 1X);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (tcs.begin()) {
    Serial.println("TCS34725 found");
  } else {
    Serial.println("No TCS34725 found");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  uint16_t r, g, b, c;
  tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c); //以 Adafruit_TCS34725.h 內建函式讀取顏色值
  Serial.print(" R: "); Serial.print(r);
  Serial.print(" G: "); Serial.print(g);
  Serial.print(" B: "); Serial.print(b);
  Serial.print(" C: "); Serial.println(c);
  delay(1000);
}
```

將程式上傳到 Arduino 開發板。打開串列傳輸監控視窗，觀察 RGB 顏色傳感器讀取的紅色(R)、綠色(G)、藍色(B)和清晰度(Clear)數據。這些數據會隨著水質檢測藥水的顏色變化而變化。根據不同顏色的 RGB 值，依照設置的閾值來判斷水質，可以判斷水中的某些化學成分的濃度。以本次氨氮檢測試劑更適合將 RGB 值轉換為 HSL 值，再以亮度 L 來判斷濃度更為正確。使用時應確保顏色傳感器的光源和水樣之間沒有干擾，並保持傳感器的清潔，根據需要進行多次測試，以獲得穩定的讀數。進行數據記錄和分析時，可考慮將數據存儲到 Micro SD 卡或通過 Wi-Fi 發送到雲端。確實可以用 Arduino 和 RGB 顏色傳感器來檢測水質檢測藥水的顏色變化，實現自動化的水質監測器。

五、結論與生活應用

1. 實驗一確實可運用市售比色計檢測出未知氯化銨水溶液的濃度。我們發現使用 RGB 三色總亮度與氨氮濃度呈線性的對應關係，還可運用在生活上觀察各種顏色變化的場合。
2. 實驗二確實可以用 App Inventor 2 設計比色計 App 測量未知氯化銨水溶液的濃度。我們將 RGB 轉換成 HSL，亮度 L 與氨氮濃度接近線性的對應關係，做為檢測依據更準確。
3. 實驗三確實可以用 Arduino 和 RGB 顏色傳感器來檢測水質檢測藥水的顏色變化，實現自動化的水質監測器。本次氨氮檢測試劑更適合將 RGB 值轉換為 HSL 值，再以亮度 L 來判斷濃度更為正確。
4. 運用 Arduino 和 RGB 顏色傳感器來檢測水質檢測藥水的顏色變化，配合氨氮試劑可檢測水中氨氮(NH_3 或 NH_4^+)的濃度。配合硝酸鹽試劑是用來測量水中硝酸鹽(NO_3^-)的含量。配合磷酸鹽試劑則檢測水中磷酸鹽(PO_4^{3-})的濃度，過高的磷酸鹽會導致水體優養化。確實能實現自動化的水質監測器。
5. 未來進行數據記錄和分析時，可考慮將數據存儲到 Micro SD 卡或通過 Wi-Fi 發送到雲端，便可透過手機即時聯網取得最新資訊。

參考資料

1. 珊瑚王國館海獸池(白鯨池)水質檢測資料
https://www.nmmba.gov.tw/News_Content.aspx?n=55382BEB67C6459&sms=392109D83173EFBF&s=FAB7F3E9845EED49
2. 國立海洋生物博物館附近海域 水質調查監測
<http://ws.nmmba.gov.tw/001/Upload/217/relfile/6761/4657/8c61aea2-4238-4d34-b2d7-5af85e1847f1.pdf>
3. 海科館-水精靈健檢體驗工作坊. <https://www.nmmst.gov.tw/chhtml/newsdetail/556/7248/0>
4. 2023 年科學探究/「是多是少」照「我說的算」~ 探討手機色度計在變色實驗中的應用」
<https://sciexplore2023.colife.org.tw/work.php?t=B0637>