

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第二名

052605

一「鉬」瞭「藍」-傳統磷鉬藍方法之改良應用  
於定量水中 ppm 級磷酸鹽

學校名稱： 國立竹東高級中學

作者：	指導老師：
高二 詹子葶	黃勤展
高二 李元睿	

關鍵詞： 鉬藍干擾、光譜分析、昂貴錫離子

## 摘要

本研究針對新竹地區水源受潛在污染影響且磷檢測昂貴的問題，改良傳統磷鉬藍法（PMB），以發展低成本、高靈敏度且環保的磷酸鹽檢測方法。

主要針對三項缺點進行改良：（1）高試劑用量、（2）使用有害錫離子、（3）鑑別度受限。透過九宮格實驗設計，調控鉬酸銨與維生素 C 濃度，並進一步控制反應系統，透過吸收光譜分析，成功篩選出能避免鉬藍干擾且反應時間短的最佳條件，成功建立良好的檢量線。應用於新竹地區自來水檢測，總磷濃度為 0.045–0.101 ppm 之間具有顏色鑑別能力，證實其半定量的可行性。

與傳統法相比，本法化學污染減少至 1/45，操作簡便，且有機會發展成「磷酸檢測球」，本研究所開發方法兼具環保性與普及性，適合用於水質監測與環境教育推廣。

## 壹、研究動機

新竹地區，所使用的自來水多取自地表水而非水庫水，因此水質常受到上游環境變化的影響而不穩定，尤其是在竹東地區，上游附近掩埋場更可能對水質造成污染而民眾不自覺(因為淨水廠不會特別對上游的水進行除磷處理，自來水公司也不會提供清水的總磷數據)。

水體優養化是全球水資源管理的重要課題，其中磷酸鹽 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 是導致藻類過度生長的主要營養來源之一。家庭廢水中的清潔用品，特別是洗髮精、洗碗精與洗衣精，含有大量磷化合物，經日常排放後進入河川，可能引發水體生態失衡，進而影響飲用水水源與水生生態系統。有效監測水中磷酸鹽濃度，對於評估污染程度與制定環保政策至關重要。

磷鉬藍法 (Phosphomolybdenum Blue Method, PMB) 是目前廣泛應用於水質檢測的標準方法，透過磷酸鹽與鉬酸銨在酸性環境反應生成磷鉬酸，再經還原劑轉化為具有顏色變化的磷鉬藍，最終以分光光度計測定吸光度，以定量水中磷酸鹽的濃度。然而，傳統磷鉬藍法在實際應用上仍存在以下技術瓶頸：

1. 試劑消耗量大，不利於大規模水質監測，且試劑殘留可能對環境造成二次污染。
2. 測量靈敏度受限，受到鉬藍的干擾，而無法測到更低 ppm 之準確數值。
3. 錫離子較昂貴。

基於上述挑戰，本研究擬改良傳統磷鉬藍法，以降低試劑使用量、提高檢測靈敏度，並優化方法的穩定性。我們透過九宮格實驗設計，系統性調整還原劑 (維生素 C) 與鉬酸銨濃度，評估不同條件下的顏色變化，進而選擇適當的測量條件。此外，本研究利用分光光度計測量波長範圍 600~1000 nm，分析自來水與蒸餾水在不同變因下的光譜變化，建立更精準的檢量線。

本研究不僅致力於提升水質檢測技術的準確性與可行性，亦將其應用於新竹地區自來水的磷濃度監測，以及市售洗髮精的磷含量分析，以探討日常生活排放對水體環境的潛在影響。本研究期望能提供更具成本效益且環保的磷酸鹽檢測方法，以利推廣，為未來水質管理與污染防治提供技術參考。

## 貳、研究目的

1. 建立磷鉬藍與鉬藍的吸收光譜
2. 探討生成磷鉬藍最佳酸化反應條件
3. 探討鉬酸濃度對鉬藍及磷鉬藍生成的影響
4. 探討維他命 C 濃度對鉬藍及磷鉬藍生成的影響
5. 探討鉬酸濃度對磷鉬藍生成速率的影響
6. 尋找磷鉬藍生成的最佳反應時間
7. 尋找鉬酸銨及維他命 C 的最佳試劑濃度
8. 繪製改良後磷鉬藍法的檢量線
9. 監控日常自來水中磷酸根濃度含量
10. 檢測日常生活中的洗髮精磷濃度含量
11. 探討開發磷酸檢測球的可行性
12. 計算本研究檢測法的檢測成本

## 參、研究設備及器材

### 一、藥品

名稱	學名	化學式	來源
蒸餾水	Water	$H_2O$	東亞
鉬酸銨	Ammonium phosphomolybdate	$(NH_4)_3[PMo_{12}O_{40}]$	立統
維他命 C	L-Ascorbic acid	$C_6H_8O_6$	立統
酒石酸銻鉀	Potassium Sodium Tartrate	$K_2Sb_2(C_4H_2O_6)_2$	立統
磺胺酸	Sulfanilic acid	$C_6H_7NO_3S$	蝦皮
磷鉬酸	Phosphomolybdcic acid	$H_3[PMo_{12}O_{40}] \cdot xH_2O$	蝦皮
蒸餾水	Disdilled water	$H_2O$	蝦皮

### 二、設備或器材

名稱	學名	名稱	學名
燒杯	Beaker	洗滌瓶	Wash bottle
漏斗	Funnel	定量瓶	Graduated flask
濾紙	Filter paper	微量吸量管	Pipette
秤量紙	Weight paper	量筒	Graduated cylinder
電子秤	Electronic scale	光度計樣品槽	Test cell
分光光度計	Spectrophotometer	離心機	Centrifuge tube
離心管	Centrifuge	酸鹼計	pH meter

圖示				
說明	光度計	電子秤	離心機	酸鹼計
圖示				
說明	定量瓶	微量吸管	分光槽	蒸餾水
作者自行拍攝				

## 肆、實驗原理(取自 ChatGPT 改寫再經老師修改)

### 一、濃度計算

#### (一) 體積莫耳濃度 $C_M$

1. 定義：每公升的溶液中含有溶質的莫耳數。

例如 0.1 M 的氫氧化鈉水溶液代表每 1 公升的水溶液中含有 0.1 莫耳的 NaOH。

2. 公式： $C_M = \frac{\text{溶質莫耳數(mole)}}{\text{溶液公升數(L)}}$ 。單位：莫耳/公升(簡單記為 M)，念作 Molar。

#### (二) 百萬分點濃度 ppm

1. 定義：每公斤的溶液中含有溶質的毫克數。

例如 10 ppm 的銅離子水溶液代表每 1 公斤的水溶液中含有 10 毫克的銅離子。

2. 公式： $C_{ppm} = \frac{\text{溶質毫克數(mg)}}{\text{溶液公斤數(kg)}} \approx \frac{\text{溶質毫克數(mg)}}{\text{溶液公升數(L)}}$ 。單位：ppm = parts per million。

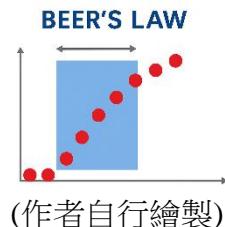
### 二、比爾定律

#### (一) 穿透率

$$T = I/I_0$$

經過數學轉換，定義吸收度  $A = -\log T$

※例如  $A=1$  與  $A=2$  表示兩個不同濃度的溶液其吸光程度差 10 倍。



(作者自行繪製)

#### (二) 吸收度(Absorbance)

1. 公式  $A = \epsilon b [c]$ ：吸收度在特定濃度範圍與物質濃度成正比

$\epsilon$  稱為吸光係數：與物質種類有關

$b$  稱為光徑：通常為 1 cm

$[c]$  是物質的濃度：單位通常為體積莫耳濃度 M

2. 當吸收度與物質濃度呈現正比關係稱為比爾定律(Beer's law)

✓ 當物質濃度過高會使物質吸收度偏離正比關係

✓ 物質的吸收度低於儀器的偵測極限時會導致實驗誤差

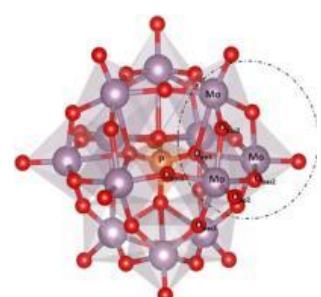
✓ 遵守比爾定律者才適合做為檢驗物質濃度的光度檢量線

### 三、「聚鉬多酸」以及「含中心磷之聚鉬多酸」的 Keggin 結構

#### (一) 聚鉬多酸 (Polyoxomolybdate, POM) 是一類由鉬氧陰離子

$(MoO_4^{2-})$  在酸性條件下縮合

形成的多金屬氧簇化合物，其中最具代表性的結構為 Keggin 結構。Keggin 結構是一種對稱性高、穩定性強的多金屬氧簇，其基本單元由十二個 Mo(VI) 原子透過氧橋鍵形成，以達到穩定的聚合態。這種結構廣泛應用於催化、分析化學及環境科學領域。



(取自參考資料 7)

#### (二) 含中心磷之聚鉬多酸 (磷鉬酸, Phosphomolybdc Acid)

當磷酸根 ( $PO_4^{3-}$ ) 進入酸性環境時，它可作為模板誘導鉬氧簇的自組裝，形成一種特殊的含磷 Keggin 結構的聚鉬多酸 ( $H_3[PMo_{12}O_{40}]$ )，即磷鉬酸。

#### (三) Keggin 結構的穩定性與應用

Keggin 結構的穩定性受酸度、還原劑濃度、金屬離子環境影響。由於 Keggin 結構具有明確的光學性質與可逆氧化還原特性，其應用於水質檢測時，可作為磷酸鹽濃度的比色指標。此外，不同條件下形成的 Keggin 結構變體（如部分還原的磷鉬藍）會影響吸收光譜，這也是本研究探討的核心內容之一。

## 四、「聚鉑多酸還原態(鉑藍)」及「含中心磷之聚鉑多酸還原態(磷鉑藍)」光譜

### (一) 鉑藍 (Molybdenum Blue, MB) 光譜特性

鉑藍是一種由聚鉑多酸經還原形成的藍色產物，主要來自  $\text{Mo(VI)} \rightarrow \text{Mo(V)}$  的部分還原，其特徵吸收峰可用來判定其存在與濃度。鉑藍吸收光譜主要表現在近紅外與可見光區，典型特徵波長如下：

主吸收峰 ( $\lambda_{\text{max}}$ )：約 700~800 nm

次要吸收峰：約 900~1000 nm

鉑藍的顏色深淺與還原程度有關，當  $\text{Mo(VI)}$  被部分還原為  $\text{Mo(V)}$ ，形成混合價態的氧化物簇時，會導致其吸收光譜的改變，使溶液呈現深藍色。

### (二) 磷鉑藍 (Phosphomolybdenum Blue, PMB) 光譜特性

磷鉑藍 (PMB) 是含中心磷的聚鉑多酸 ( $\text{H}_3[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}]$ ) 經還原後形成的藍色產物，其吸收特性與一般鉑藍類似，但因磷酸鹽的存在影響其電子結構，使得其吸收光譜與純鉑藍略有差異：

主吸收峰 ( $\lambda_{\text{max}}$ )：約 880 nm

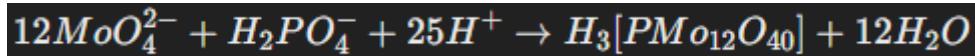
次要吸收峰：約 700 nm

相較於鉑藍，磷鉑藍的主吸收峰向長波長方向偏移，這是因為磷酸根 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 的存在改變了聚鉑多酸的電子結構，使其還原產物具有不同的光學行為。

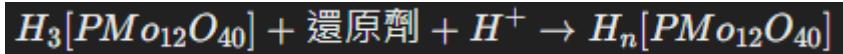
## 五、傳統磷鉑藍方法

### (一) 磷鉑藍法是一種經典的比色分析技術

應用於水中磷酸鹽的定量測定。此方法基於磷酸鹽與鉑酸銨在酸性條件下形成磷鉑酸，再經還原劑作用後轉化為磷鉑藍，最終透過分光光度計測量吸度，以定量水中磷酸鹽的濃度。在酸性條件 (通常  $\text{pH} < 2$ ) 下，水樣中的磷酸根與鉑酸銨反應，生成黃色的磷鉑酸：



該產物為黃色的十二鉑(VI)磷酸，其生成受酸度與鉑酸濃度影響。磷鉑酸在還原劑作用下，部分  $\text{Mo(VI)}$  被還原為  $\text{Mo(V)}$ ，形成藍色的磷鉑藍：



其中，還原劑的選擇與濃度對磷鉑藍的形成速度、穩定性及測定靈敏度有關。

### (二) 影響磷鉑藍法測定的關鍵因素

#### (1) 錫離子的使用

傳統磷鉑藍法可選擇性地加入錫離子 ( $\text{Sb}^{5+}$ ) 來促進磷鉑酸的形成，使磷酸鹽反應更加靈敏。其主要增強磷鉑酸的穩定性，提升靈敏度。但本研究並未加入錫進行實驗，因為在實驗的過程中發現加入錫後的顏色過深導致分光度計量測並不準確。

#### (2) 酸度效應

磷鉑酸的形成依賴於  $\text{H}^+$  濃度，因此酸度過高或過低都可能影響結果。其主要影響磷鉑酸聚合的生成效率，酸度過低可能導致磷酸根不利與鉑酸根進行縮合，降低顯色反應靈敏度；酸度太高可能導致磷鉑酸濃度太高顏色太黃。

#### (3) 鉑酸濃度

鉑酸銨的濃度決定了磷鉑酸的生成量，若濃度不足，則磷酸根無法完全轉化為磷鉑酸；若濃度過高，則可能造成磷鉑酸太黃而干擾，因此控制鉑酸濃度是本研究重點。

#### (4) 維生素 C (還原劑) 濃度

維生素 C 是磷鉑藍法常用的還原劑，但其水溶液容易氧化變質，可能導致反應失敗或靈敏降低。本研究巧妙控制還原劑濃度使其能為我們「半定量用途」所用。

## 伍、研究構想與困難

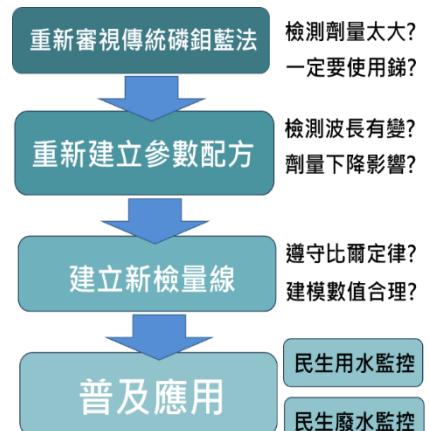
在我們新竹地區，所使用的自來水多取自地表水而非水庫水，因此水質常受到上游環境變化的影響而不穩定，尤其是在竹東地區，上游附近掩埋場更可能對水質造成污染而民眾不自覺(因為淨水廠不會特別對上游的水進行除磷處理，自來水公司也不會提供清水的總磷數據)。

目前常用的磷酸鹽檢測方法主要為**磷鉬藍法**，但傳統方法存在幾項明顯缺點：

1. 試劑用量大；
2. 需使用含有錫離子的試劑，對環境造成潛在負擔；
3. 成本相對較高，不利於普及。

因此，我們的目標是改良傳統磷鉬藍法，使其能夠同時達到以下條件：

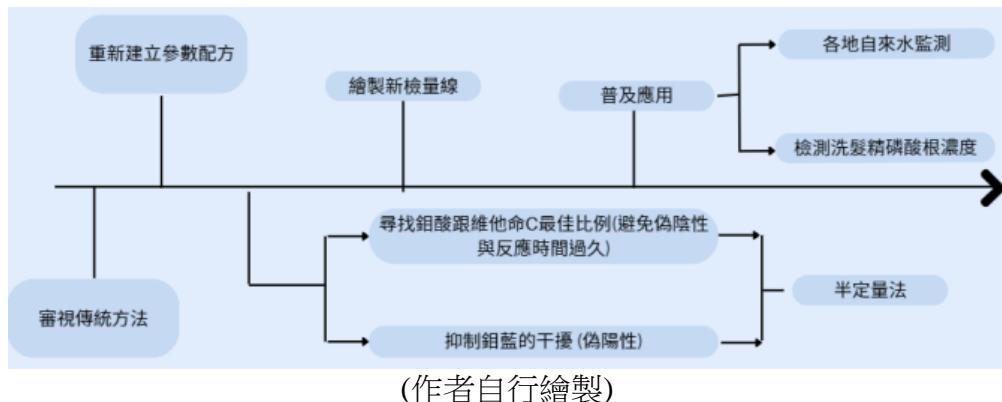
- 低試劑用量(儘可能減少鉬的使用)
- 低環境污染(不要使用錫)
- 低檢測成本



(作者自行繪製)

在實驗設計上，我們首先重新檢視傳統磷鉬藍法的配方與操作流程，特別關注其使用的試劑量與對環境有害的錫離子成分。我們嘗試建立新的檢測配方，並使用親民的還原劑——例如使用維他命 C 來取代傳統還原劑如  $\text{NaHSO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 。

透過這樣的改良，我們成功研發出一種**污染僅為傳統方法 1/45 的替代方案**，同時維持良好的檢量線與測定準確度。最終，我們希望此方法能廣泛推廣至一般大眾，讓民眾以低成本、低污染的方式自主檢測生活用水與廢水中的磷酸鹽含量，提升全民對水質安全的關注與環保意識。



(作者自行繪製)

本研究基於磷鉬藍法進行水中磷酸鹽 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 的定量分析，此方法的變因相當複雜，酸性環境下磷酸鹽與鉬酸銨 ( $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ ) 的反應，生成磷鉬酸 ( $\text{H}_3[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}]$ )，並在還原劑作用下轉化為磷鉬藍化合物，該產物的顏色變化可用於比色分析。

為提高測定的靈敏度與準確性，本研究利用分光光度法，測量磷鉬藍產物在 600~1000 nm 波長範圍的吸光度，建立磷酸鹽濃度與吸光度的線性關係，以提供更穩定的檢量線。本研究透過九宮格實驗設計，調整還原劑維生素 C 與鉬酸銨濃度 ( $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ M}$ )，篩選出顏色變化最顯著的條件，以優化測定方法，並應用於環境水體的監測。本方法期望能在降低試劑使用量的同時，提升低濃度磷酸鹽檢測的靈敏度，為水質污染監測提供更具成本效益與環保性的分析技術。

## 陸、研究過程與方法

### 一、實驗一、配製不同濃度的鉑酸、維他命 C

#### (一)步驟

步驟 1-1 秤取指定克數的鉑酸銨、礦胺酸、維他命 C

步驟 1-2 分別加入至定量瓶中

步驟 1-3 加蒸餾水至 100 mL

步驟 1-4 貼上標籤



圖示說明(作者自行拍攝)

### 二、實驗二、利用九宮格法配置自來水中的磷鉑藍

#### (一)步驟

步驟 2-1 使用微量吸管將配置好的鉑依照不同濃度加入至瓶子，每瓶子各 1mL

步驟 2-2 使用微量吸管將配置好的維他命 C 依照不同濃度加入至瓶子，每瓶子各 1mL

步驟 2-3 使用微量吸管將自來水加入至個瓶子，每瓶 1mL

步驟 2-5 計時 20 分鐘等待反應

步驟 2-6 將反應後的結果利用分光度計檢測吸收波長

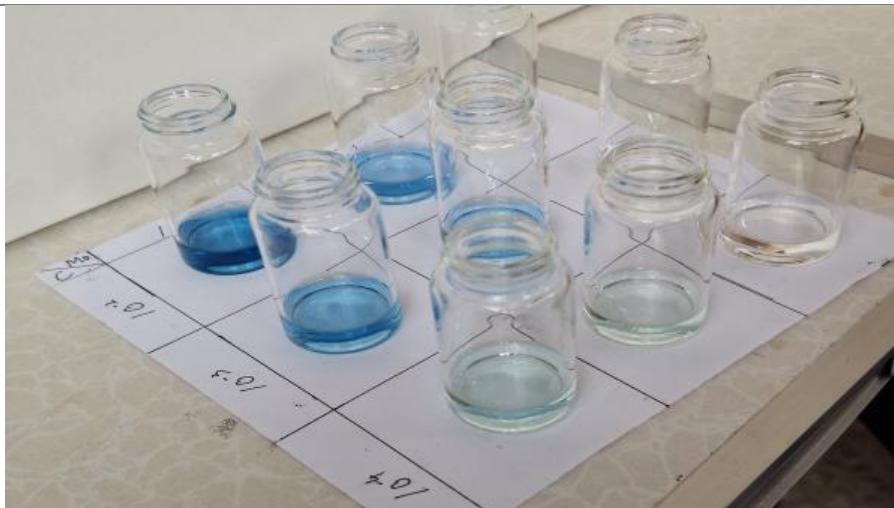


圖示說明(作者自行拍攝)

### 三、實驗三、利用九宮格法配置蒸餾水中的磷鉑藍

#### (一)步驟

- 步驟 3-2 使用微量吸管將配置好的鉑依照不同濃度加入至瓶子，每瓶子各 1 mL  
步驟 3-3 使用微量吸管將配置好的維他命 C 依照不同濃度加入至瓶子，每瓶子各 1 mL  
步驟 3-4 使用微量吸管將蒸餾水加入至個瓶子，每瓶 1 mL  
步驟 3-5 計時 20 分鐘等待反應時間  
步驟 3-6 將反應後的結果利用分光度計檢測吸收波長



圖示說明(作者自行拍攝)

### 四、實驗四、磷酸根檢量線的製作

#### (一)步驟

- 步驟 4-1 將自來水和蒸餾水顏色差異最大者最為檢量線樣本  
步驟 4-2 配置不同濃度的磷  
步驟 4-3 等待 20 分鐘反應後利用分光度計檢測檢量線吸收波長



圖示說明(作者自行拍攝)

## 五、實驗五、將檢量線應用於監控新竹各區一週的自來水總磷濃度變化

### (一)步驟

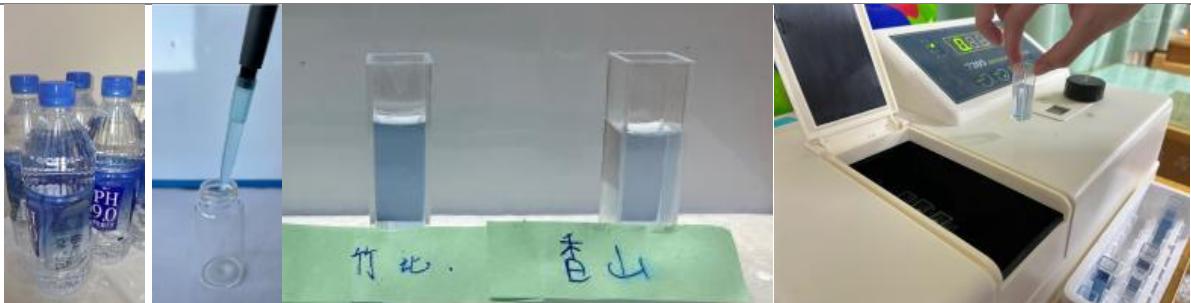
步驟 5-1 收集竹北、香山、新竹、芎林等地每日自來水樣本，持續五天

步驟 5-2 將收集到的自來水樣本分別加入檢量線測試濃度劑量

步驟 5-3 計時 20 分鐘等待反應時間

步驟 5-5 使用分光度計檢測反應後的實驗樣本

步驟 5-6 依照數據帶入檢量線並回推磷鉬藍的濃度



圖示說明(作者自行拍攝)

## 六、實驗六、將檢量線應用於檢驗洗髮精中之磷酸鹽

### (一)步驟

步驟 6-1 收集市面上的洗髮精作為樣本使用

步驟 6-2 提取 1mL 洗髮精和飽和食鹽水形成水溶液

步驟 6-3 將各洗髮精水溶液放進離心機裡離心

步驟 6-4 檢測離心後含磷的水溶液



圖示說明(作者自行拍攝)

## 七、實驗七、以海藻酸鈉製作磷酸檢測球

### (一)步驟

步驟 7-1 配製 1% 的海藻酸鈉水溶液 100 mL

步驟 7-2 加入 1.235 g 鉻酸銨加入海藻酸鈉水溶液

步驟 7-3 配製鈣離子水溶液

步驟 7-4 以滴定管將海藻酸鈉水溶液緩慢滴定於鈣離子水溶液中

步驟 7-5 靜置數分鐘後取出以蒸餾水清洗乾淨



圖示說明(作者自行拍攝)

## 八、實驗八、以本研究開發之磷酸檢測球檢驗河水的磷

### (一)步驟

步驟 8-1 取樣目標河水樣本

步驟 8-2 取 0.0008 g 維他命 C/10 mL 水和 0.097 g 磺胺酸/10 mL 水分別配到眼滴瓶中

步驟 8-3 將磷酸檢驗球取數顆放入樣本溶液中並注入維他命 C 和磺胺酸各 1 mL(約 20 滴)

步驟 8-4 等待 20 分鐘後變色效果



圖示說明(作者自行拍攝)

## 柒、實驗結果與討論

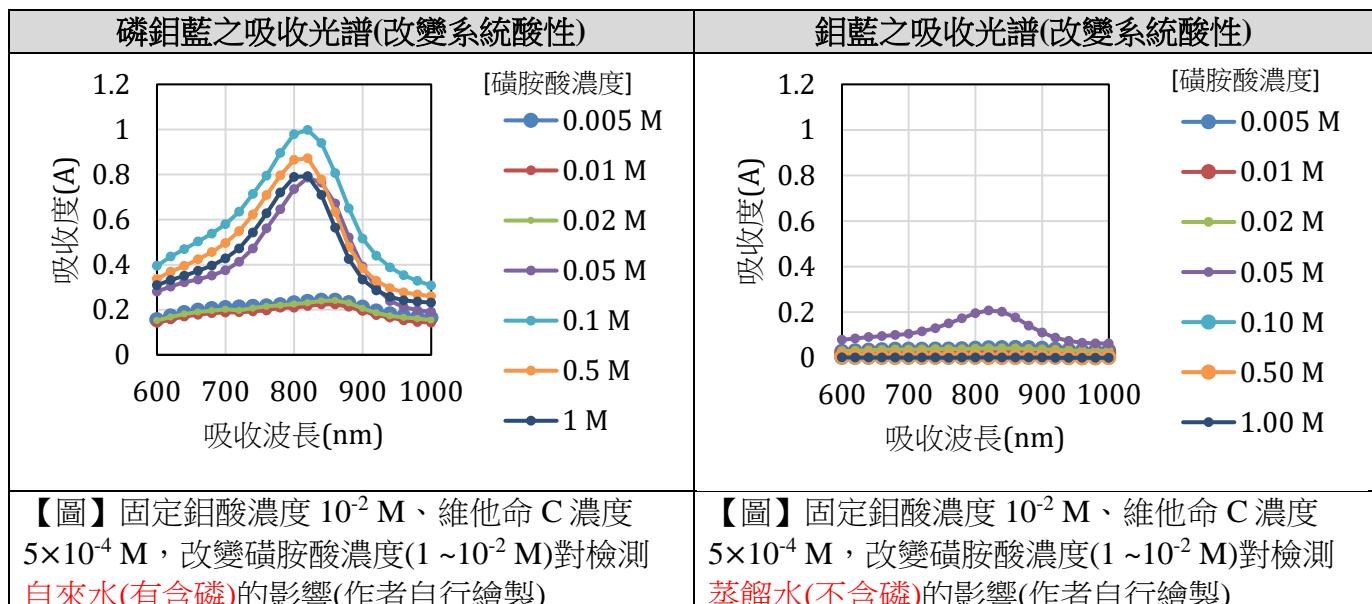
### 討論一、探討「系統酸性」對磷鉑藍以及鉬藍吸收光譜的影響(市賽後研究)

研究假設：磷鉑藍的形成有賴於鉬酸在酸性下聚合，應該有一個最合適的酸度。

實驗結果：使用 0.1 M 磺胺酸的系統酸性在生成磷鉑藍最有效率、同時還具有抑制鉬藍效果。

本研究選擇「磺胺酸」來取代傳統方法使用”硫酸”作為酸化系統的試劑有很多原因：

1. 溶質是固態，不像鹽酸容易揮發影響到研究者。
2. 磺胺酸是中強酸，對民眾危險性較低。
3. 容易取得。從蝦皮等網購即可買到。
4. 價格低廉。
5. 雖然磺胺酸是一種非常弱的還原劑，但其無法還原磷鉑酸或聚鉬酸。(空白組測試)



#### 1. 系統酸性對生成物質的影響

從圖可以得知，在有磷的自來水中即使鉬酸與維他命 C 濃度固定，不同酸性系統下所產生的藍色物種，測得的光譜會有所不同，表示不同酸性下對應到的產物也有可能不同。

推測原因是不同酸性時，鉬酸聚合度會改變，進而影響其是否能夠順利成為 Keggin 結構，再經維他命 C 還原後得到 810 nm 的訊號特徵峰。例如磷鉑藍光譜中，在[磺胺酸的濃度] < 0.05 M 時，810 nm 訊號消失而變成平坦的

#### 2. 系統酸性對生成磷鉑藍強度的影響

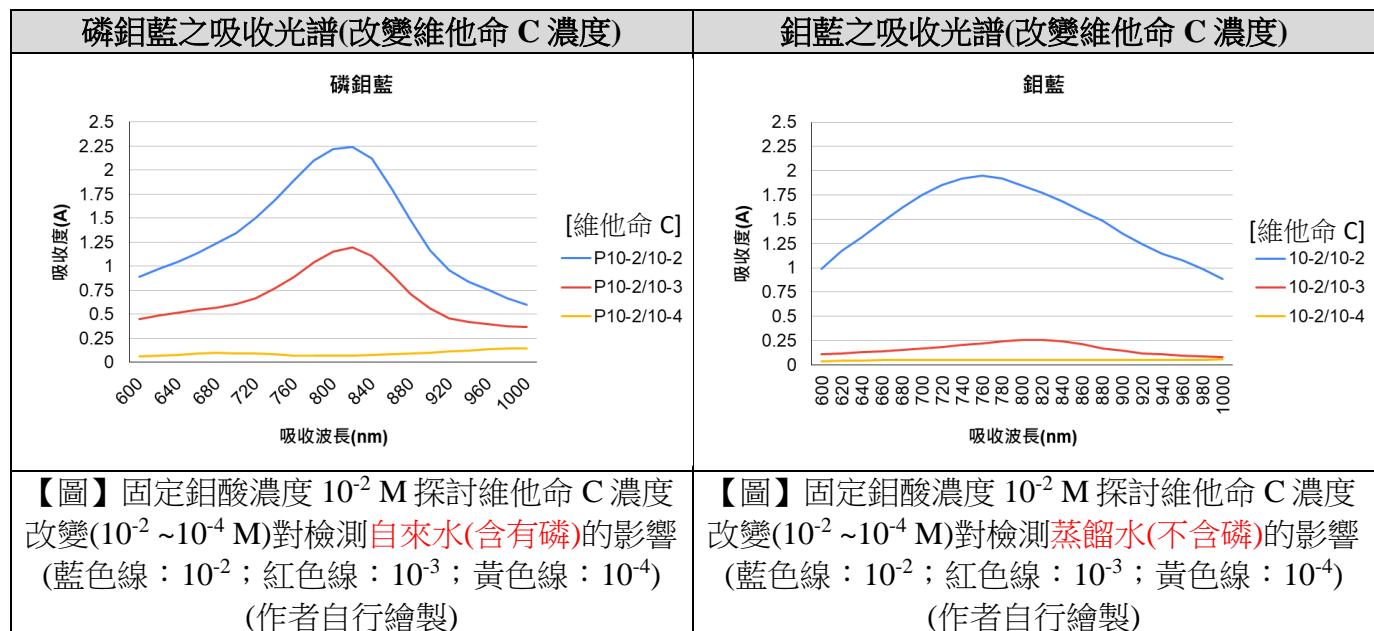
當磺胺酸在 0.05 M 時，蒸餾水組中鉬藍的生成特別嚴重，這意味著這個條件下偽陽性會存在，不過，相較於含有磷的自來水組，含磷陽性反應的強度要大很多。另外實驗也發現太酸的系統，磷鉑藍的形成也會受到限制，必須是一個適當的酸性。

#### 3.此部分結論

本研究在能力範圍內，儘可能去控制取水樣以及配製樣本的 pH。

## 討論二、探討「維他命 C」濃度對磷鉑藍以及鉑藍吸收光譜的影響

研究假設：減少配方中還原劑濃度”不會影響”檢測自來水的陽性結果、檢測蒸餾水的陰性結果。  
實驗結果：當還原劑(維他命 C)濃度太低時( $10^{-4}$  M 附近)會造成偽陰性(自來水不變色)；濃度太高時( $10^{-2} \sim 10^{-3}$  M)會造成偽陽性(蒸餾水變色)。



### 1.還原劑(維他命 C)濃度對「磷鉑藍」生成的影響

還原劑濃度較高( $10^{-2}$  M)時，吸光度顯著增加，且吸收峰出現在800 nm附近，而還原劑濃度降低( $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$  M)時，吸光度顯著降低，顏色發展較弱。在800 nm附近，還原劑濃度最高的條件( $10^{-2}$  M)產生最明顯的吸收峰，表明較高的還原劑濃度能夠更有效地還原，進而增強磷鉑藍的顏色反應。

磷鉑藍的生成還原過程，還原劑濃度越高，還原反應進行得越完全，使磷鉑藍形成更多且吸收強度提高，但當還原劑(維他命 C)濃度過低  $10^{-4}$  M 時，磷鉑酸的還原不完全，導致吸收峰消失，導致「偽陰性」，甚至可能影響測量靈敏度與偵測極限。結果顯示，適量的維生素 C 能夠有效提升磷鉑藍反應的靈敏度。

### 2.還原劑(維他命 C)濃度對「鉑藍」生成的影響

還原劑濃度較高( $10^{-2}$  M)時，試劑在蒸餾水中會變藍，導致「偽陽性」。當還原劑濃度降低至( $10^{-3}$  M)時，鉑藍的強度明顯驟降，顯示鉑藍的形成受到還原劑濃度有顯著的影響(相較於磷鉑藍形成)。當還原劑濃度降到( $10^{-4}$  M)時，吸光度接近0，說明鉑藍幾乎沒有形成。

與磷鉑藍類似，鉑藍的生成同樣仰賴還原反應，但由於其結構不含磷作為 Keggin 中心模板，因此還原過程的效率與磷鉑藍略有不同。

### 3.此部分結論

為了抑制鉑藍的生成以及確保磷鉑藍生成，應該調整維他命 C 濃度至  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  M。但是  $10^{-3}$  M 時則有輕微的偽陽性，故未來這邊在檢測數據含磷量的作法是將鉑藍吸收度視為背景值扣除。

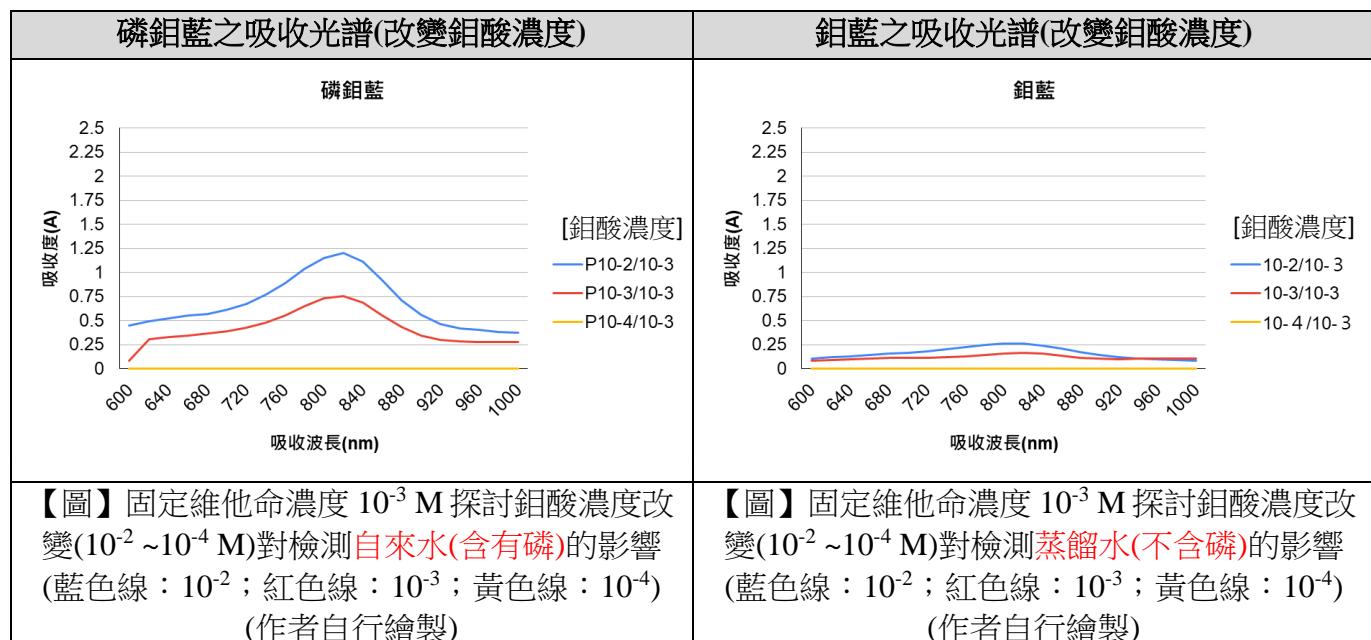
### 討論三、探討「鉑酸」濃度對磷鉑藍以及鉑藍吸收光譜的影響

研究假設：減少配方中鉑酸濃度”不會影響”檢測自來水的陽性結果、檢測蒸餾水的陰性結果。

實驗結果：鉑酸濃度影響的是檢測磷的靈敏度，當鉑酸濃度較高時會使磷鉑藍訊號有顯著提升。

反應系統：1 mL 鉑酸+1 mL 維他命 C+1 mL 樣本  
 控制變因：維他命 C 濃度=10<sup>-3</sup> M (由討論一結果得到)  
 操縱變因 1：鉑酸濃度= 10<sup>-2</sup>、10<sup>-3</sup>、10<sup>-4</sup> M  
 操縱變因 2：自來水(含磷樣本)、蒸餾水(不含磷樣本)  
 應變變因：溶液吸收度(A)

備註：鉑酸濃度高於 10<sup>-2</sup> M 時(例如 10<sup>-1</sup> M)時會導致磷鉑酸變成很深的黃色，這個黃色後來會與生成的藍色混色變成「綠色」，影響肉眼對半定量結果判定的干擾，因此本實驗不討論鉑酸濃度>10<sup>-2</sup> M 的情況。



#### 1.鉑酸濃度對磷鉑藍、鉑藍生成的影響

無論是自來水系統或是蒸餾水系統，當鉑酸濃度較高 (10<sup>-2</sup> M) 時，吸光度在 800 nm 附近達到最大值，顯示出該系統顏色最明顯的藍色。隨著實驗下降鉑酸的反應劑量，鉑酸濃度降低至 (10<sup>-3</sup>、10<sup>-4</sup> M) 時，吸收強度顯著下降，說明鉑酸濃度也會影響磷鉑藍、鉑藍生成的程度，也就是鉑酸濃度越高，越有利於磷鉑藍、鉑藍產物增加。

#### 2.鉑酸濃度對藍色產物形成的意義

鉑酸 → POMs → 藍色產物  
 POMs=純聚鉑酸(無中心的類 Keggin 結構)、磷聚鉑酸(Keggin 結構)

常理，鉑酸濃度雖然不影響還原反應，但其角色是提供足夠的原料形成聚鉑酸(POMs)，鉑酸濃度越高，平衡趨於形成更多 POMs。當加入還原劑進行還原的時候形成藍色產物效率較高。

#### 3.此部分結論

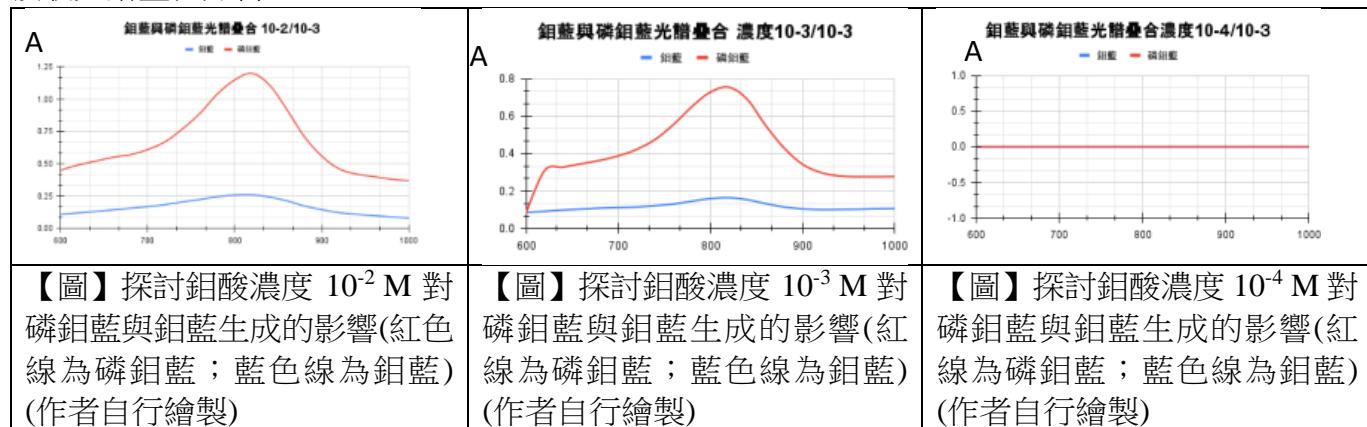
相同鉑酸濃度條件下，磷鉑藍的吸收強度普遍高於鉑藍，顯示磷酸根的存在有助於穩定產物及提升還原效率。當鉑酸濃度過低時，不僅影響顏色發展，也可能降低檢測靈敏度(例如 10<sup>-4</sup> M 時造成偽陰性)，影響定量分析的準確性。鉑酸濃度條件 (10<sup>-2</sup> M) 磷鉑藍(訊號)與鉑藍(雜訊)的差異最大，除此之外，10<sup>-2</sup> M 的條件下形成磷鉑藍的反應速率也較快，適合磷快篩。

#### 討論四、以光譜疊圖探討改變”鉬酸濃度”對磷鉬藍與鉬藍(干擾)之選擇性生成(市賽後研究)

研究假設：維他命 C 濃度固定但透過調控配方中鉬酸濃度可以降低所生成鉬藍干擾。

實驗結果：牽一髮而動全身，當鉬酸濃度下降時，連帶磷鉬藍與鉬藍(干擾)的訊號均下降。

本實驗鉬藍生成過程中濃度對其吸光能力之影響，本研究在維持還原劑維生素 C 濃度為  $10^{-3}$  M 的條件下，改變鉬酸濃度（分別為  $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$  及  $10^{-4}$  M），並與相同環境情況下生成之磷鉬藍進行吸收光譜疊合分析。

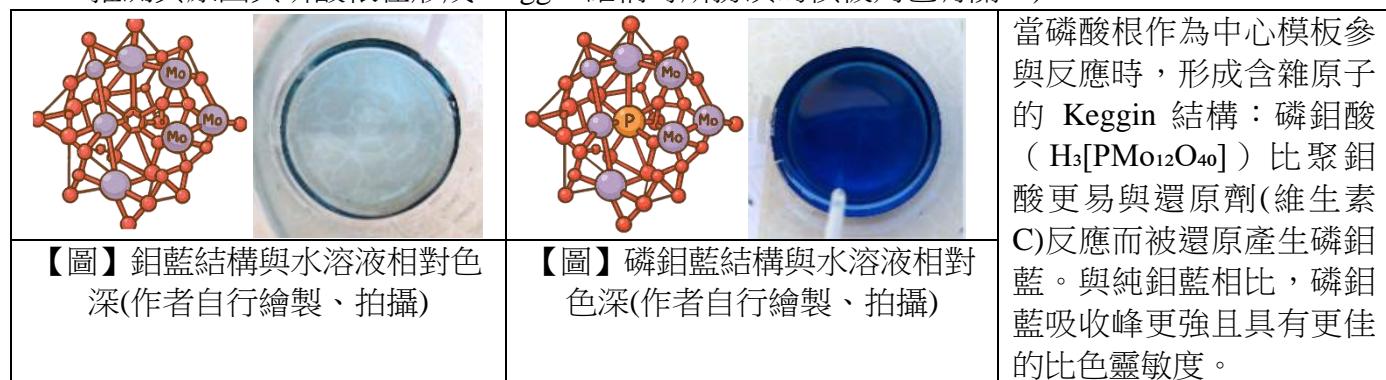


備註：固定維他命 C 濃度適中在  $10^{-3}$  M

#### 實驗發現

結果 1		結果 2		結果 3	
當鉬酸濃度為 $10^{-2}$ M 時		當鉬酸濃度下降至 $10^{-3}$ M 時		當鉬酸濃度下降為 $10^{-4}$ M 時	
訊號	吸收度(A)	訊號	吸收度(A)	訊號	吸收度(A)
磷鉬藍	1.20	磷鉬藍	0.75	磷鉬藍	0.00
鉬藍	0.25	鉬藍	0.10	鉬藍	0.00
兩訊號差值	0.95	兩訊號差值	0.65	兩訊號差值	0.00
磷鉬藍峰位落在 810 nm 附近，且吸收峰強，顯示鉬酸濃度較高時有助於 Keggin 結構成形，促進藍色物種的生成。  同時，無法避免的，也有鉬藍生成，但訊號差異明顯。		磷鉬藍峰位不變，訊號稍微變弱，顯示在此濃度仍可形成具色團性質之藍色物種，只是生成量與反應效率受到限制。  同時，無法避免的，也有鉬藍生成，鉬藍的訊號較弱。		其吸光度幾乎為零，顯示在該條件下無法有效生成具吸光能力之藍色聚合體。推測可能原因： 包括聚合物單元不足或過度稀釋導致聚合反應受限。  鉬藍也無法生成。	

- 可以判斷鉬酸濃度在  $10^{-3}$ ~ $10^{-4}$  M 之間，才開始出現吸收波峰趨於平緩而寬廣的現象，因此從此實驗部分之後不再討論鉬酸  $10^{-4}$  M 之情況。
- 在鉬酸濃度在  $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$  M 之間，可以利用磷鉬藍其吸光度顯著高於鉬藍(干擾)，此時兩者的吸光度差值能反映水中磷的量。(磷鉬藍於相同條件下具有更高的反應效率與結構穩定性，推測其原因與磷酸根在形成 Keggin 結構時所扮演的模板角色有關。)

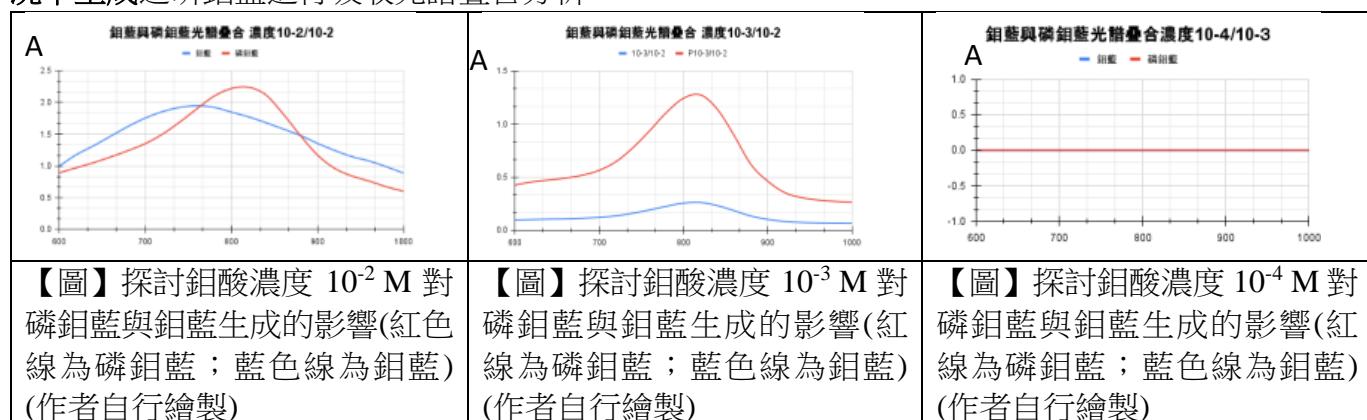


## 討論五、以光譜疊圖探討改變”維他命 C 濃度”對磷鉑藍與鉑藍(干擾)之選擇性生成

研究假設：透過調控配方中維他命 C 濃度可以降低所生成鉑藍干擾。

實驗結果：牽一髮而動全身，當維他命 C 濃度下降時，連帶磷鉑藍與鉑藍(干擾)的訊號均下降。

為進一步探討鉑藍與磷鉑藍在高還原劑濃度下之生成行為與光譜差異，本實驗固定維生素 C 濃度為  $10^{-2}$  M，並調控鉑酸濃度 ( $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$  M)，觀察兩者吸收光譜之變化。並與相同環境情況下生成之磷鉑藍進行吸收光譜疊合分析。



備註：固定維他命 C 濃度  $10^{-2}$  M

結果 4		結果 5		結果 6	
當鉑酸濃度為 $10^{-2}$ M 時		當鉑酸濃度下降至 $10^{-3}$ M 時		當鉑酸濃度下降為 $10^{-4}$ M 時	
訊號	吸收度(A)	訊號	吸收度(A)	訊號	吸收度(A)
磷鉑藍	2.20		磷鉑藍		磷鉑藍
鉑藍	1.70		鉑藍		鉑藍
兩訊號差值	0.50		兩訊號差值		兩訊號差值
維他命 C 濃度很高( $10^{-2}$ M)時，若鉑酸濃度也很高( $10^{-2}$ M)時，會造成鉑藍嚴重生成，且這類的鉑藍與維他命濃度適中( $10^{-3}$ M)的訊號峰位 810 nm 不同，其峰位落在 750 nm 附近。		在維他命 C 濃度較高( $10^{-2}$ M)時，「鉑酸的濃度」成為控制鉑藍生成的關鍵。將鉑酸濃度降至 $10^{-3}$ M，能有效抑制鉑藍產生。		呈現偽陰性，故不討論。	

實驗進一步探討結果 2、4 與結果 1 比較可推測出：

中心含磷的鉑多酸 Keggin 型態比中心不含磷，較容易被還原。

	鉑酸= $10^{-2}$ M	鉑酸= $10^{-3}$ M
	維他命 C= $10^{-2}$ M	維他命 C= $10^{-3}$ M
磷鉑藍	2.20	1.20
鉑藍	1.70	0.25
	兩者都被還原 (無選擇性)	大部分磷鉑藍被還原 (有選擇性)

實驗進一步探討結果 2、4 與結果 5 比較可推測出：

維他命 C 濃度高時可能生成鉑藍干擾很嚴重，仍可透過下降鉑酸濃度來降低鉑藍干擾

	維他命 C= $10^{-2}$ M	維他命 C= $10^{-3}$ M
	鉑酸= $10^{-2}$ M	鉑酸= $10^{-3}$ M
磷鉑藍	2.20	1.30
鉑藍	1.70	0.25
	(無選擇性)	(有選擇性)

結論：因為維他命 C 比鉑酸還要便宜，且以檢測廢棄汙染來看，鉑當然越少越好。因此維他命 C、鉑酸= $10^{-2}$  M、 $10^{-3}$  M 也可以是將來研究的目標。但由於考慮到反應時間，鉑酸  $10^{-2}$  M 反應比  $10^{-3}$  M 快太多了，因此之後實驗仍以維他命 C、鉑酸= $10^{-3}$  M、 $10^{-2}$  M 為研究目標。

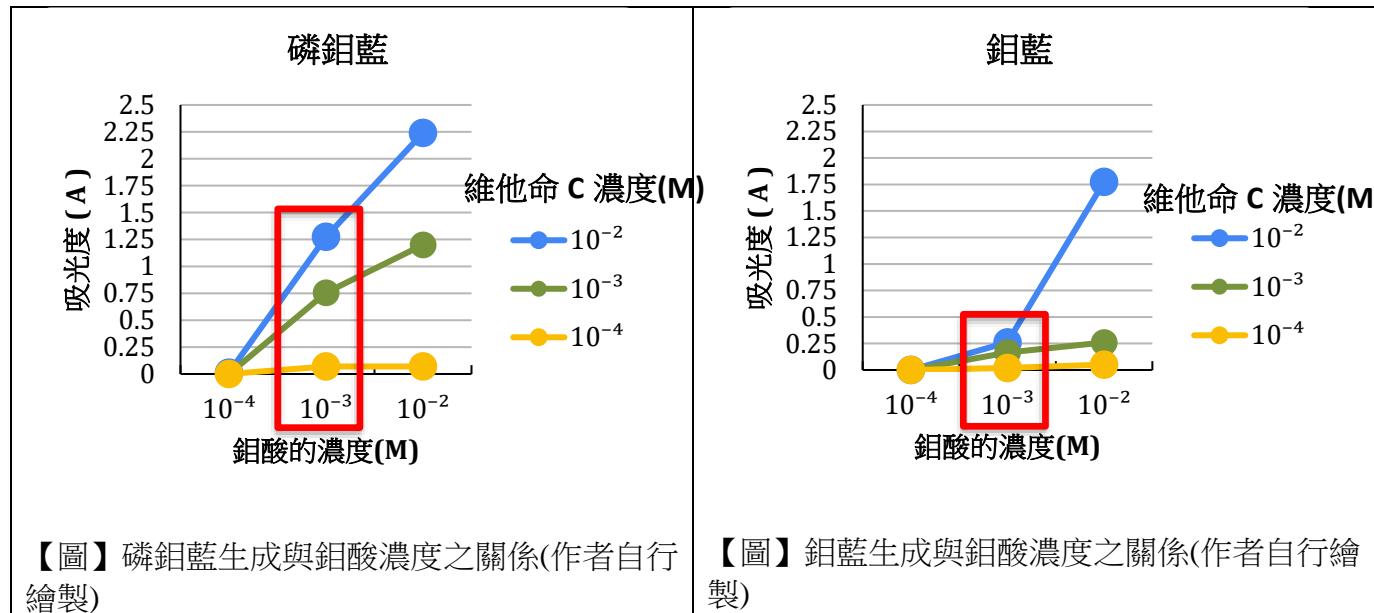
## 討論六、磷鉬藍與鉬藍光譜疊合分析總結

本實驗透過系統性控制「鉬酸濃度」與「還原劑（維生素 C）濃度」，探討鉬藍與磷鉬藍於不同反應條件下之生成與吸收光譜特徵。當鉬酸濃度較高 ( $10^{-2}$  M)，且還原劑（維他命 C）濃度亦充足 ( $\geq 10^{-3}$  M) 時，兩者皆能形成具代表性之色團結構，於近紅外波段（約 770–810 nm）出現明顯吸收峰。磷鉬藍的吸收光譜多表現為集中對稱單峰，反映其較穩定且規則的 Keggin 結構；而鉬藍則常呈現較寬廣、平緩的波形。

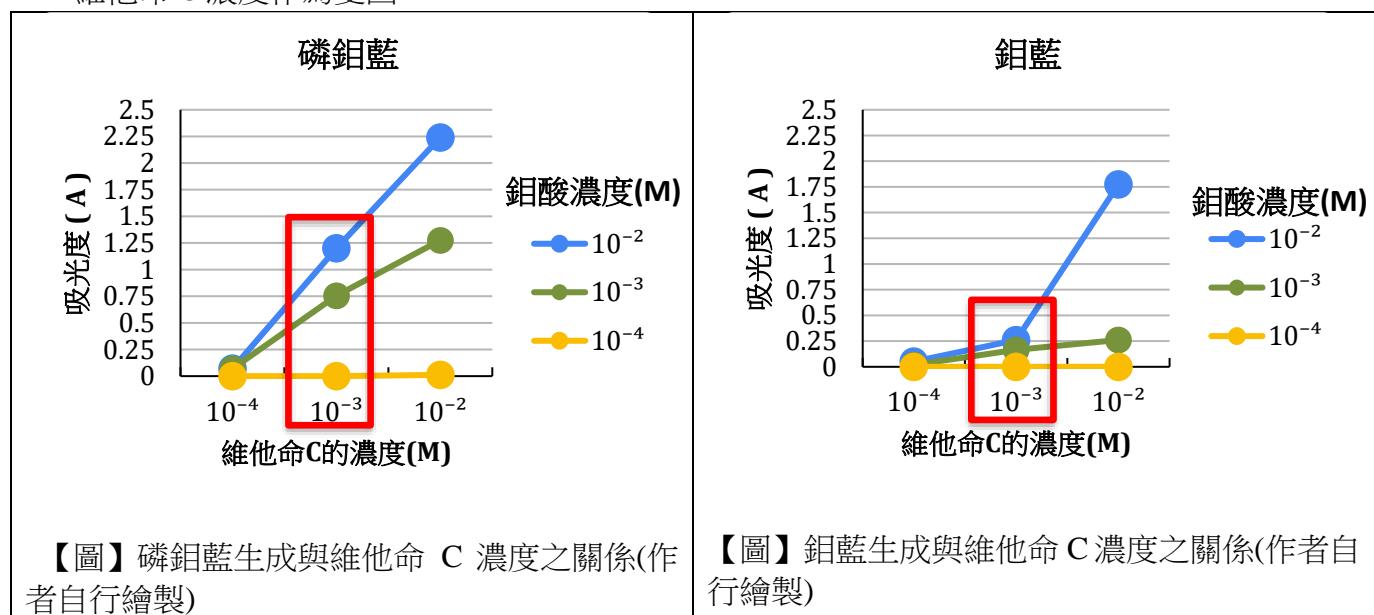
以上吸收 ChatGPT 提供之原理並改寫後關於光譜分析的解釋。

以下是針對 810 nm 波長之吸收度做九宮格的數據整理：

一、鉬酸濃度作為變因：



二、維他命 C 濃度作為變因：



濃度實驗中亦觀察到磷鉬藍生成的臨界條件：當鉬酸濃度接近於  $10^{-4}$  M 時，無論是否含磷，均無法生成明顯色團，吸收峰趨近於消失，表示聚合反應難以進行，此結果說明「鉬酸濃度足夠」為反應進行與色團形成的關鍵。另一方面，當維他命 C 濃度不夠亦無法將 Mo(VI) 還原為 Mo(V)。進一步比較同濃度下鉬藍與磷鉬藍之光譜可發現，磷鉬藍於「鉬酸相對低濃度條件下  $10^{-3}$  M」仍能穩定生成，吸收峰清晰可辨，顯示其生成效率與結構穩定性優於鉬藍。另外看似只要將鉬酸濃度調到  $10^{-3}$  M 就能抑制鉬藍，但這件事不能做的原因會在下一個討論說明。

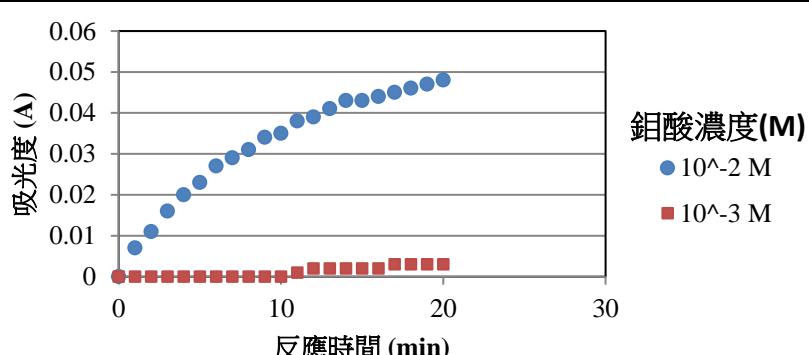
## 討論七、探討鉬酸濃度對於磷鉬藍方法中的檢測意義(市賽後研究)

實驗以”錄影”的方式來動態了解反應速率之類的過程。實驗發現：

維他命 C 影響的層面最大，影響了磷鉬藍變色速率、磷鉬藍最後色深，最重要的是影響鉬藍生成(偽陽性)，因此若要尋找到最佳的檢測試劑比例，相較於鉬酸而言，維他命 C 必須是要先被限制的物種。為了降低鉬藍的干擾，實驗可以犧牲維他命 C 在高濃度時的一切優勢例如變色速率快、磷鉬藍最後色深夠深等。

	鉬藍(蒸餾水)	磷鉬藍(自來水)
	【圖】反應 3 分鐘後(橫向為鉬酸銨濃度 $10^{-4}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-2}$ M，縱向為維他命 C 濃度 $10^{-4}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-2}$ M，右上角條件為 $10^{-2}/10^{-2}$ ，依此類推)(作者自行拍攝)	
將鉬藍干擾降到最低所需維他命 C 濃度= $10^{-4}$ ~ $10^{-3}$		
	【圖】反應 6 分鐘後(作者自行拍攝)	

決定了維他命 C 濃度之後，最後就要決定鉬酸的濃度，考慮到檢測方法的研發除了重視準確以外，另一方面反應速率夠快也很重要，因為如果反應太久的話，民眾會沒有耐心，因此最後決定鉬酸的濃度定在  $10^{-2}$  M，結果如下圖。



【圖】以維他命 C= $5 \times 10^{-4}$ ，鉬酸= $10^{-2}$  或  $10^{-3}$  M 為試劑測量自來水的結果(作者自行繪製)

此部分的另一個結論是考慮到磷鉬藍的變色並不快，因為它牽涉到聚合、氧化還原等過程。實驗透過曲線變化趨於平緩的位置大約落在 20 分鐘左右，因此往後的實驗參數設定成以上。

控制好周圍條件的情況下，鉬藍與磷鉬藍之生成將高度依賴磷酸濃度。

因此接下來實驗假設：本研究之簡易方法測得水樣磷酸濃度與吸光能力正相關的趨勢。

反應系統：**1000 uL 鉬酸( $10^{-2}$  M)+1000 uL 維他命 C( $5 \times 10^{-4}$  M)+1000 uL 樣本**

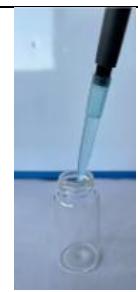
控制變因 1：均沒有添加錫離子

控制變因 2：pH 相同

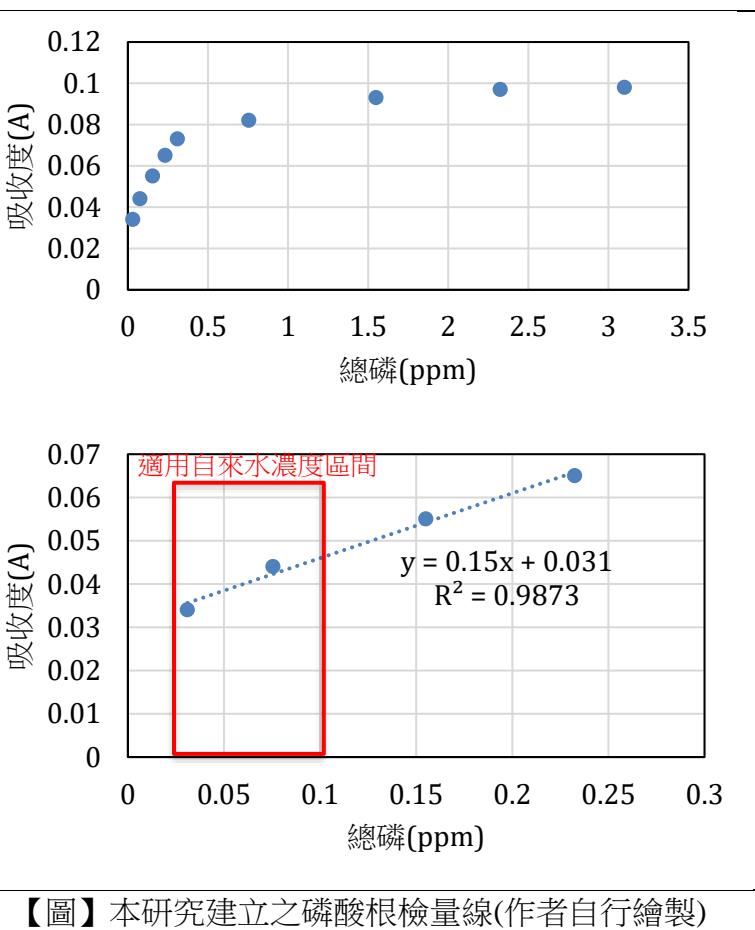
控制變因 3：測量吸收度的時間點

操縱變因：不同磷酸濃度  $10^{-6} \sim 10^{-5}$  M 之檢量溶液

應變變因：溶液在 810 nm 的吸收度(A)

		
<p>【圖】為了精準會同時使用三支不同微量吸管來操作，以避免互相汙染。並且會等待 20 分鐘後才進行測量(作者自行拍攝)</p>		<p>【圖】由左至右分別為 <math>10^{-6} \sim 10^{-5}</math> M 之磷酸根(作者自行拍攝)</p>

為將來進行水中含磷濃度檢測，本實驗使用顏色及吸收波長相差最大的鉬酸濃度=  $10^{-2}$  M、維他命 C= $5 \times 10^{-4}$  M，調製不同濃度系列進行吸光度量測，並建立檢量線進行迴歸分析。採用一次函數進行擬合，並獲得以下結果：擬合曲線之  $R^2$  值為 0.9873，代表模型具有極佳的解釋力。

<p>1. 低濃度區段反應穩定： 在濃度區間約 <math>4 \times 10^{-5}</math> M 內，吸光度隨濃度增加而穩定上升，呈現良好的可定量性。</p> <p>2. 高濃度區段趨於飽和： 當濃度超過 <math>8 \times 10^{-5}</math> M (約 0.75 ppm) 時，吸光度變化趨緩，擬合曲線頂部趨平，顯示此條件下反應系統已接近吸收上限。</p> <p>3. 高濃度非線性原因推測： 由於此研究的反應均為平衡系，因此當磷酸莫耳數升高時，鉬酸雖然莫耳數足夠與磷酸形成磷鉬酸，但不一定能夠完全反應。</p> <p>4. 應用性： 雖然本研究的吸光係數不高，但其顏色已經足以用肉眼辨識顏色深淺，符合民眾「半定量」用途。</p>	
---	--

【圖】本研究建立之磷酸根檢量線(作者自行繪製)

## 討論九、將本研究應用於新竹地區自來水總磷濃度監測

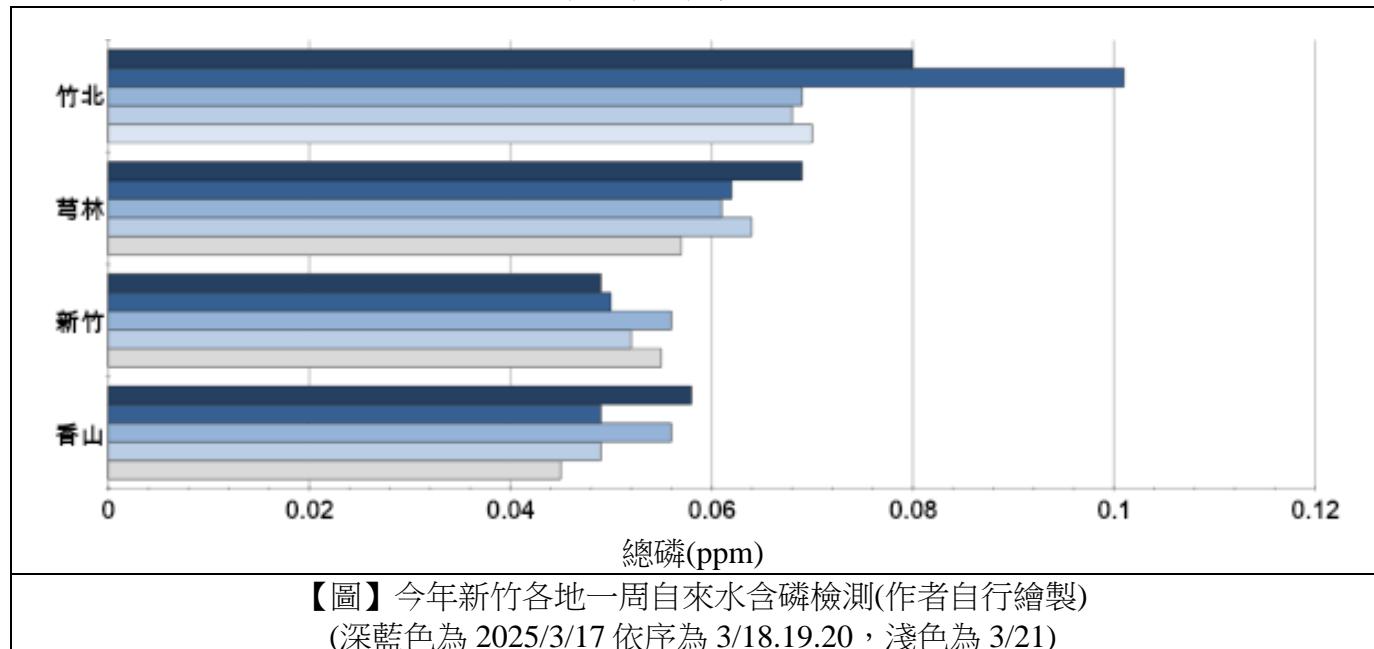
### (一)、研究背景

一般來說，自來水都是來自水庫水，但是在新竹地區，自來水多取自上游地表水，由於部分水源流經掩埋場(設在山區)等潛在污染區域，使得上游水質波動較大，淨水廠又通常不會針對磷特別處理。因此淨水廠出來的自來水，很有可能一開始就有含量比較高的磷。

### (二)、實際研究

為了瞭解這個在地背景潛在的實際情況，引入本研究建立之檢量線以及檢測法

本研究透過不同管道獲取不同地區之自來水來學校檢測：



這張圖顯示的是 3/17-3/21 一週內新竹地區各區（香山、新竹、芎林、竹北）自來水中的總磷濃度變化。橫軸是總磷濃度（單位應該是 mg/L），縱軸是地區名稱。不同顏色的橫條應該代表不同日期或不同的時間點測量的值。以下是針對各區的初步分析：

#### 竹北

- 在 3/20 或 3/21 出現異常高值（約 0.10 mg/L）。
- 其餘幾天也相對偏高（大約 0.06–0.07 mg/L）。
- 有可能是短期污染事件或排放異常，建議進一步追查原因。

#### 芎林

- 變化範圍介於約 0.05–0.07 mg/L。
- 雖然沒有像竹北那樣的異常高點，但 3/19~3/21 數值偏高。

#### 新竹

- 整體穩定在約 0.045–0.055 mg/L 之間。
- 各天的變化幅度不大，是變異最小的一區。

#### 香山

- 和新竹類似，總磷濃度保持穩定，大致在 0.045–0.055 mg/L。（截取自中華郵政全球資訊網）
- 表現平穩，沒有異常波動。

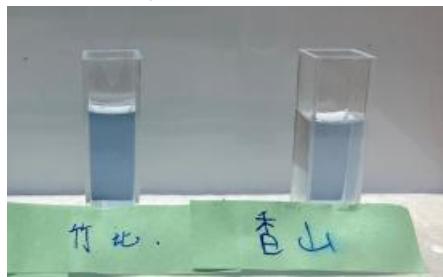


#### 建議(ChatGPT)：

- 竹北地區需特別留意，總磷濃度在 3/17-3/21 週內異常偏高，可能上游有局部污染源。
- 新竹與香山地區的水質最穩定，總磷濃度維持在低值。

(三)、針對以上的結果，可以給出幾個重要的結論

1. 雖然竹北以及香山的自來水，磷平均含量只有相差約 0.03 ppm，經過本研究的方法改良之後，能夠以肉眼來辨識，這表示此法具有「半定量」的用途。



(作者自行拍攝)

2. 將本研究的自來水含磷數值與來源、淨水廠對比，發現香山與新竹的自來水數值相當，而且變動幅度很小，恰好他們的來源與淨水廠相同。另一方面，針對竹北的自來水變動較大，實驗認為這與該水源：頭前溪的源頭有關係。(因為新竹廠二廠不會特別處理頭前溪上游的水)

	芎林	竹北	香山、新竹
自來水源(地表水)	上坪溪	頭前溪	頭前溪及寶山水庫
淨水廠	芎林淨水廠	新竹廠二場	新竹廠一場

## 討論十、將本研究應用於新竹地區實體河川分析(市賽後研究)

本研究不僅於實驗室中建立磷鉑藍檢測條件，亦嘗試將此法實地應用於新竹地區主要河川進行現場採樣分析，驗證其在自然水體中對總磷濃度的偵測能力與穩定性。

### 採樣背景與目的

新竹地區河川如頭前溪、上坪溪、新豐溪等，流經都市、農田及工業區，極可能受到不同污染源（如生活污水、農業施肥與工業排放）影響。



(作者自行拍攝)

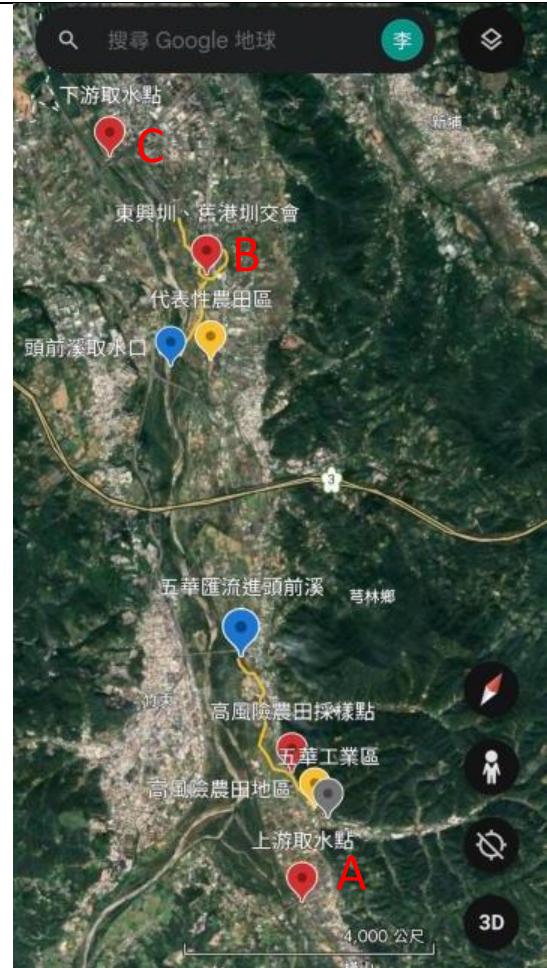
A 點數據(上游取水點)=3.2 ppm

B 點數據(東興圳、舊港圳交會)=3.02 ppm

C 點數據(下游取水點)=2.02 ppm

### 此部分結論

1. 表示上游取水點已經含有高量的磷。
2. 從上游到下游的磷含量是下降的趨勢，這表示水文稀釋效應主導(經圳交會處到下游時因有很多支流匯集，故溪流體量變大濃度降低)。
3. 五華工業之間增加的磷效應<水文稀釋效應。
4. 本研究檢量線用於河川(先稀釋再測)也有很好的靈敏度。



【圖】新竹五華工業區前中後三段取水點  
(作者截取自 google map)

## 討論十一、市售洗髮精中磷酸鹽含量分析

在本實驗中，我們嘗試應用改良後的磷鉬藍法進行洗髮精樣品中磷含量之定量偵測，並採用飽和食鹽水進行樣品前處理與離心，以剔除乳化劑、香料與高分子聚合物等潛在干擾。然而實驗中發現，在添加檢量線配置溶液後，樣品液體呈現明顯混濁，導致吸收光譜測量無法進行，推測此混濁現象可能源自洗髮精配方中界面活性劑遇鹽析作用後產生膠體顆粒凝聚，進而散射光線並影響光譜讀值。

【圖】本研究使用水浸出方式提取洗髮精中磷酸(作者自行拍攝)	【圖】洗髮精經過沉澱處理(作者自行拍攝)	【圖】鈣離子與清潔劑、磷酸根發生沉澱(作者自行拍攝)

洗髮精中常見成分如十二烷基硫酸鈉與聚氧乙烯硫酸酯等，皆為含有長碳鏈的陰離子界面活性劑。在水溶液中，此類物質通常以膠束形式穩定存在，但當加入高濃度鹽類（如飽和 NaCl）時，會導致膠束間排斥力降低、聚集能力增強，進而發生鹽析現象。此過程可能導致界面活性劑脫穩定化、形成不均勻膠狀懸浮物，進一步與磷鉬藍反應系統產生物理干擾。

此外，鹽析過程中形成之非均質乳狀膠體顆粒可能包覆檢測溶質或造成反應物質分佈不均，進一步影響磷鉬藍的反應進行與光譜穩定性。此混濁狀態使得樣品吸光度讀值不準確，進而無法套用原有之檢量線模型進行濃度估算。

## 討論十二、探討本研究之改良後的磷鉬藍方法的檢測成本(市賽後研究)

【表】成本比較表(作者自行製作)

鉬酸銨	礦胺酸	維他命 C
取 1.235 g 配製 100 mL 鉬酸水溶液，測一次(需 1 mL)消耗 0.01235 g 。	取 0.97 g 配製 100 mL 矿胺酸水溶液，測一次(需 1 mL)消耗 0.0097 g 。	取 0.008 g 配製 100 mL 維他命 C 水溶液，測一次(需 1 mL)消耗 0.00008 g 。
藥劑一瓶 500 g (專業藥劑 2250 元)共可以 40485 次	藥劑一瓶 500 g (專業藥劑 120 元)共可以測 51546 次	藥劑一 500 g (專業藥劑一瓶 1200 元)共可以測 6,250,000 次
檢測一次約 0.0558 元	檢測一次約為 0.0023 元	檢測一次約為 0.0002 元

計算出檢測一次磷酸根 ppm 的成本為：  
 $0.0558 + 0.0023 + 0.0002 = 0.0583$  (元)



反觀市售磷檢測試劑 240 元，約可以檢測 15 次，檢測一次需花 16 元。(作者截取自 LOHAND)

### 一、設計背景-

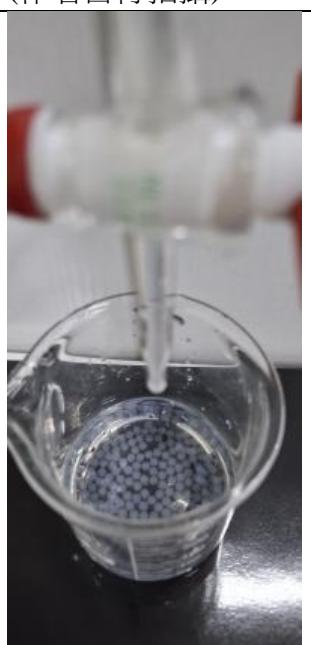
有鑑於每次檢測都會產生很多藍色的溶液，這也意味著試劑中未被反應的「鉬酸」會跟著檢後廢液被排放進入河川。雖然鉬酸並沒有像錫那樣對環境有比較大的影響，但是若此研究方法成功推廣至全民運動時，就有可能造成環境負擔，因此希望反應後殘餘的鉬酸可以被保留在檢測球中形成固態垃圾。



【圖】檢測的廢液  
(作者自行拍攝)

### 二、實驗步驟

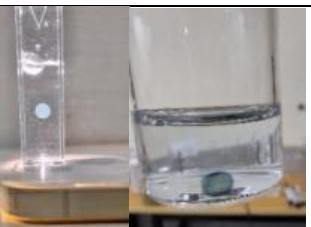
1. 配置 1% 的海藻酸鈉水溶液 100 mL。
2. 加入 1.235 克鉬酸銨加入海藻酸鈉水溶液。
3. 配製鈣離子水溶液。
4. 以滴定管將海藻酸鈉水溶液緩慢滴定於鈣離子水溶液中。
5. 靜置數分鐘後取出以蒸餾水清洗乾淨。
6. 檢測試劑(封裝入眼滴瓶)滴入水樣後。
7. 加入本研究檢測球觀察變化。



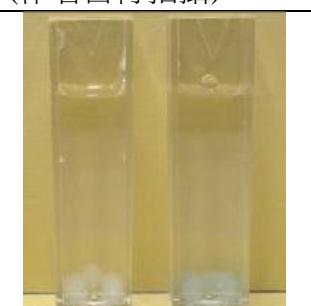
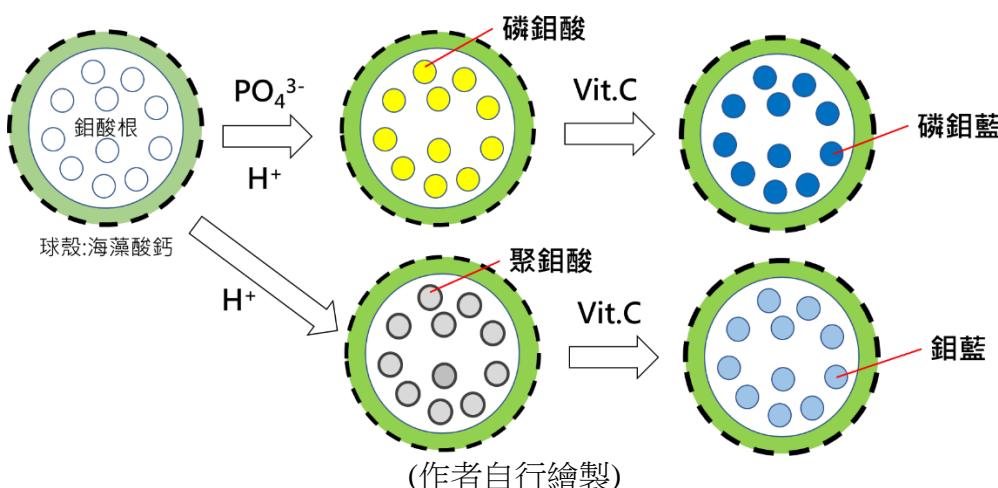
【圖】含鉬水晶寶寶  
(作者自行拍攝)

### 三、設計理念與原理

磷酸檢測球主要成分是鉬酸被海藻酸鈣半透膜包覆。由於透膜特性，外界的磷酸根、氫離子會滲入球內，並在球內進行化學反應形成磷鉬酸，而磷鉬酸的聚合型態的體積龐大，不容易離開海藻酸鈣的網狀構造，因此之後的磷鉬藍就會被鎖在檢測球內，顏色不會擴散至外。

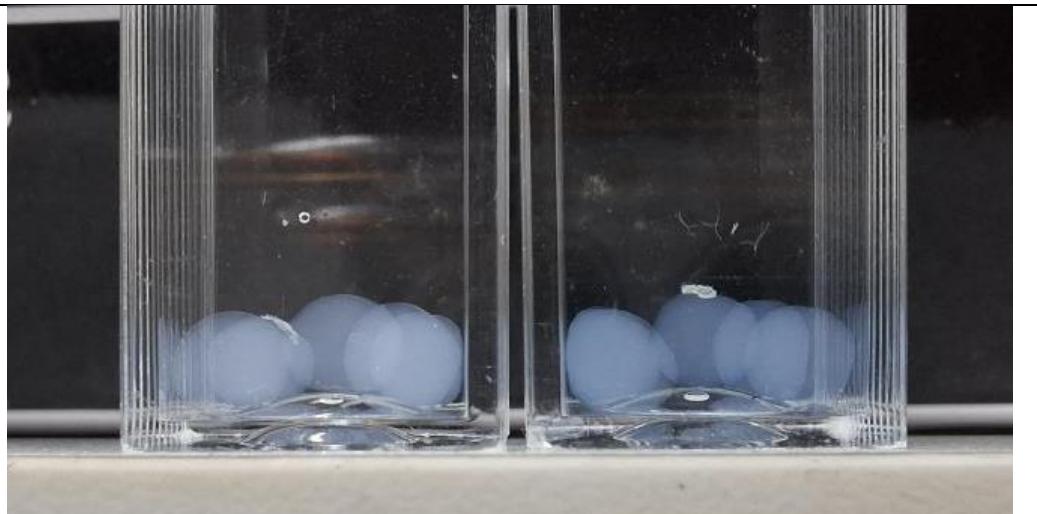


(作者自行拍攝)



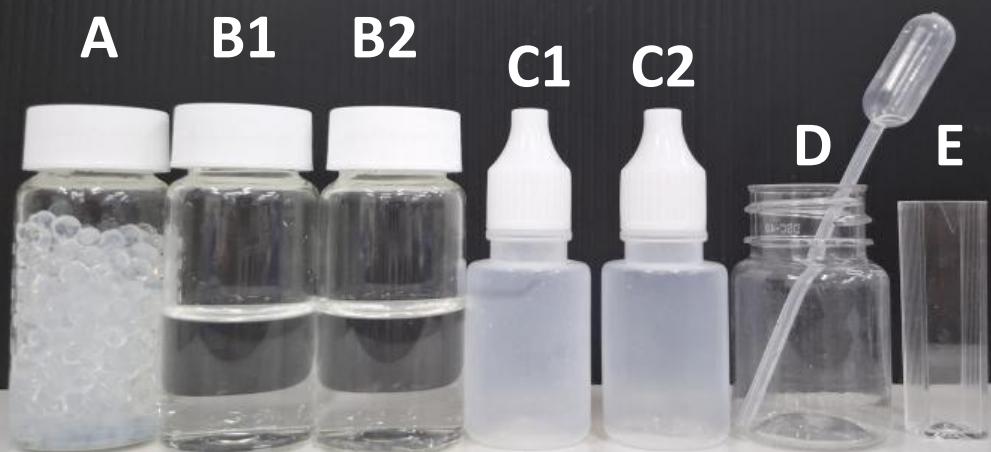
【圖】檢測球的工作情況，左為蒸餾水；右為自來水(作者自行拍攝)

備註：透過控制鉬酸、維他命 C 的濃度，可以抑制鉬藍的形成，因此檢測 20 分鐘後，蒸餾水中的檢測球仍為白色，而自來水或是帶檢測的含磷水樣中的檢測球會呈藍色，而且只有球會是藍色而外部溶液沒有顏色。



【圖】本研究之磷酸檢測球在不同來源水中的變色情況，左為蒸餾水；右為自來水。(作者自行拍攝)

以下為本研究設計之套件



【圖】本研究之磷酸檢測球在不同來源水中的變色情況，左為蒸餾水；右為自來水。(作者自行拍攝)

【表】各部分功能

	名稱	功能	操作
<b>A</b>	檢測球	檢測河川中，磷含量是否超標	取 5-10 顆檢測球放入 E 中
<b>B1、B2</b>	蒸餾水	配置藥劑	個別加入 C1、C2 中形成試劑
<b>C1、C2</b>	檢測藥劑	協助反應式向右，使反應球變色	依序加入 E 瓶當中，個別滴 20 滴。
<b>D</b>	取樣瓶、微量滴管	提供民眾採取樣本	以微量滴管，吸一次加入 E 當中
<b>E</b>	反應容器	反應容器	

## 捌、結論

本研究成功改良傳統磷鉬藍法，透過系統性調整鉬酸與維他命 C 濃度，建立反應條件與產物吸光特性之間的關聯。實驗結果顯示：

1. 磷鉬藍之吸收強度優於鉬藍，其主吸收峰清晰集中於 800~810 nm 並非文獻所提之波長。
2. 當鉬酸與還原劑(維他命 C)濃度分別於  $10^{-4}$  M 時，反應無法順利進行，顯示需達一定濃度才能形成穩定色團。
3. 鉬藍的生成會干擾磷鉬藍的呈色，因此必須控制好鉬酸與還原劑(維他命 C)的反應濃度。鉬酸濃度主要決定變色的速率，因此實驗以  $10^{-2}$  M 為主，維他命 C 濃度不宜過高會導致偽陽性發生。
4. 系統的酸性也會影響色團的顏色，因此必須控制其落在適當的範圍。
5. 只要控制好周圍條件的情況下，將磷鉬藍之數值扣去鉬藍之數值結果將能對應磷酸濃度。
6. 成功建立磷酸鹽檢量線，其在低濃度區間擬合曲線為一次函數，具有高  $R^2$  值 (0.98)，代表模型具良好定量能力。
7. 實地應用結果顯示，新竹地區四地自來水樣中皆含有可量測之磷濃度，濃度介於 0.045~0.101 ppm，顯示本研究方法雖然非常簡約，但仍具應用於常見水樣監測之潛力，且形成的檢測溶液顏色能夠利用肉眼來辨別，即使是 ppm 等級的差異。
8. 用於實體河川監控(頭前溪)，當磷濃度較高時，可以先稀釋再代入本研究檢量線，再回乘得到檢測數據，能夠維持良好的靈敏度。
9. 嘗試應用於洗髮精品質分析時，因界面活性劑在飽和鹽水中產生膠體顆粒導致樣品混濁，影響光譜穩定性與結果判讀，顯示該方法應搭配適當前處理技術以去除干擾。
10. 成功測試磷酸檢測球的可行性，未來可望對其改良。

綜合而言，本研究提出之改良方法不僅降低試劑用量、提升反應靈敏度與穩定性，亦驗證其於實際樣品（自來水與清潔用品）中具備初步應用潛力，未來可作為水質監測與教學實驗之有效工具，亦可進一步結合萃取技術擴展至更複雜樣品之環境分析。

## 玖、未來展望

本研究雖成功改良磷鉬藍法並應用於水中磷酸鹽的定量分析，但在實驗過程中仍發現部分可改進之處。首先，對於含有大量界面活性劑的樣品（如洗髮精），仍容易因鹽析造成混濁，未來可嘗試加入濾膜過濾或改變萃取方式，提升測量穩定性與準確度。此外，本方法雖已可應用於自來水中總磷濃度檢測，但尚未區分有機磷與無機磷，未來可延伸研究不同形態磷的專一性偵測。亦可進一步嘗試應用於其他日常用品（如洗碗精、洗衣精）或環境樣品（如池水、農業灌溉水）中之磷分析，擴展本方法在環境監測上的應用價值。也期望本方法未來能更貼近實際應用場景，為日常生活中的水質監測提供便利工具。

## 拾、參考資料

1. **ChatGPT 協助分析與整理資料（OpenAI GPT-4）**，用於解釋磷鉬藍反應與比色原理（由研究者內化後使用於報告內容中）。
2. 「看磷老鉬」-傳統磷鉬藍方法之改良應用於定量水中 ppm 級磷酸鹽，C0120，2025 科學探究競賽。
3. Improvement of the Traditional Phosphomolybdenum Blue Method for Quantitative Determination of Phosphate in Water at ppm Levels，SA24-617，第 24 屆旺宏科學獎。
4. 每日頭條 (2018 年 2 月 7 日)，磷肥的功效和作用？  
<https://kknews.cc/zh-tw/agriculture/v29kryq.html>
5. 曾承俊等(2005)，水池營養中的 SPY--磷，科學教育月刊 第385期，苗栗縣立興華高級中學。  
<https://reurl.cc/lvQ5W6>
6. 技術士技能檢定化學職類乙級術科測試應檢參考資料，第57頁。<https://reurl.cc/rQbyp1>
7. SA22-028，自製光度計進行肥料含磷濃度探討。第22屆旺宏科學獎。
8. 宋祥歲 (2003)，利用鉬藍法測定土壤萃取液中磷之可能誤差探討，國立台灣大學。  
<https://hdl.handle.net/11296/z48uv6>
9. Susan Aspera, Vanadium doped polyoxometalate: Induced active sites and increased hydrogen adsorption, *Journal of Physics: Condensed Matter*, **2020**, 32(19)  
<https://reurl.cc/j90Eeq>
10. Toshihiro Yamase, Photo- and Electrochromism of Polyoxometalates and Related Materials, *Chem. Rev.* **1998**, 98, 307-325.
11. Laia Vil\_a-Nadal, Combined Theoretical and Mass Spectrometry Study of the Formation-Fragmentation of Small Polyoxomolybdates, *Inorg. Chem.* **2011**, 50, 7811–7819.
12. Xavier Lo' pez, Structure, properties and reactivity of polyoxometalates: A theoretical perspective, *Chem. Soc. Rev.*, **2012**, 41, 7537–7571.
13. G. N. Doku, PHOSPHOMOLYBDENUM BLUE DETECTION – A REVIEW OF CHARACTERISTICS, ACHIEVEMENTS, CHALLENGES AND FUTURE PROSPECTS, *J. Sci.* 61 (1), **2020**, 43 - 59

## 附錄 (原始數據)

### 1、不同酸性條件下磷鉑藍、鉬藍的吸收光譜

	0.005 M	0.01 M	0.02 M	0.05 M	0.1 M	0.5 M	1 M	0.03 M	0.04M	2M	1.5M
600	0.156	0.142	0.152	0.281	0.395	0.337	0.309	0.119	0.133	0.155	0.19
620	0.172	0.157	0.168	0.303	0.436	0.369	0.332	0.131	-	-	0.215
640	0.187	0.17	0.181	0.322	0.469	0.395	0.351	0.147	-	-	0.237
660	0.198	0.178	0.19	0.334	0.503	0.424	0.373	0.157	-	-	0.253
680	0.205	0.185	0.196	0.352	0.538	0.456	0.396	0.165	-	-	0.263
700	0.209	0.188	0.202	0.375	0.58	0.496	0.428	0.168	-	-	0.271
720	0.212	0.189	0.197	0.413	0.635	0.549	0.472	0.165	-	-	0.272
740	0.215	0.193	0.207	0.472	0.714	0.623	0.543	0.162	0.145	0.214	0.277
760	0.217	0.20	0.215	0.561	0.795	0.709	0.628	0.159	-	-	0.298
780	0.222	0.21	0.22	0.646	0.896	0.796	0.72	0.156	-	-	0.33
800	0.23	0.209	0.225	0.735	0.979	0.865	0.789	0.158	0.136	0.255	0.36
820	0.237	0.217	0.231	0.786	0.998	0.872	0.793	0.164	0.13	0.23	0.372
840	0.242	0.224	0.239	0.764	0.94	0.778	0.71	0.168	-	-	0.356
860	0.242	0.224	0.241	0.671	0.806	0.634	0.564	0.168	-	-	0.311
880	0.231	0.213	0.23	0.521	0.65	0.479	0.425	0.163	0.172	0.218	0.28
900	0.211	0.195	0.206	0.392	0.516	0.384	0.334	0.16	-	-	0.265
920	0.194	0.176	0.186	0.297	0.44	0.328	0.286	0.162	-	-	0.264
940	0.181	0.166	0.173	0.239	0.388	0.296	0.257	0.166	-	-	0.272
960	0.172	0.153	0.166	0.212	0.353	0.277	0.242	0.17	-	-	0.283
980	0.166	0.146	0.161	0.198	0.328	0.268	0.236	0.172	0.254	0.172	0.291
1000	0.164	0.143	0.154	0.191	0.308	0.26	0.232	0.174	-	-	0.293

### 2、「磷鉑藍」的吸收光譜(不同鉬酸濃度、不同維他命 C 濃度)

	P10-2/10-2	P10-3/10-2	P10-4/10-2	P10-2/10-3	P10-3/10-3	P10-4/10-3	P10-2/10-2	P10-3/10-4	P10-4/10-4
600	0.89	0.425	0.007	0.45	0.083	0	0.06	0.066	0
620	0.97	0.455	0.011	0.49	0.31	0	0.07	0.077	0
640	1.05	0.472	0.013	0.52	0.328	0	0.08	0.087	0
660	1.141	0.491	0.012	0.55	0.346	0	0.09	0.096	0
680	1.24	0.518	0.01	0.57	0.364	0	0.1	0.1	0
700	1.35	0.564	0.012	0.61	0.388	0	0.09	0.098	0
720	1.5	0.646	0.012	0.67	0.423	0	0.09	0.091	0
740	1.69	0.777	0.012	0.77	0.476	0	0.082	0.081	0
760	1.9	0.938	0.012	0.89	0.556	0	0.074	0.073	0
780	2.1	1.111	0.012	1.04	0.652	0	0.069	0.069	0
800	2.22	1.243	0.009	1.15	0.729	0	0.068	0.068	0

820	2.24	1.275	0.012	1.2	0.755	0	0.07	0.07	0
840	2.12	1.141	0.012	1.11	0.69	0	0.075	0.074	0
860	1.82	0.893	0.012	0.92	0.55	0	0.083	0.082	0
880	1.48	0.619	0.012	0.71	0.43	0	0.092	0.091	0
900	1.17	0.461	0.011	0.56	0.343	0	0.103	0.101	0
920	0.96	0.354	0.009	0.46	0.299	0	0.114	0.111	0
940	0.84	0.307	0.011	0.42	0.281	0	0.125	0.122	0
960	0.76	0.284	0.011	0.4	0.277	0	0.135	0.131	0
980	0.67	0.271	0.011	0.38	0.277	0	0.142	0.138	0
1000	0.6	0.264	0.011	0.37	0.278	0	0.146	0.143	0

### 3.不同濃度鉑酸根時所形成磷鉑藍的顏色變化過程

分鐘	$10^{-2}$ M	$10^{-3}$ M
0	0	0
1	0.007	0
2	0.011	0
3	0.016	0
4	0.02	0
5	0.023	0
6	0.027	0
7	0.029	0
8	0.031	0
9	0.034	0
10	0.035	0
11	0.038	0.001
12	0.039	0.002
13	0.041	0.002
14	0.043	0.002
15	0.043	0.002
16	0.044	0.002
17	0.045	0.003
18	0.046	0.003
19	0.047	0.003
20	0.048	0.003

#### 4、「鉑藍」的吸收光譜(不同鉑酸濃度、不同維他命 C 濃度)

	10-2/10-2	10-3/10-2	10-4/10-2	10-2/10-3	10-3/10-3	10-4/10-3	10-2/10-2	10-3/10-4	10-4/10-4
600	0.992	0.097	0	0.107	0.086	0	0.037	0.018	0
620	1.175	0.1	0	0.119	0.092	0	0.042	0.02	0
640	1.316	0.104	0	0.13	0.099	0	0.046	0.021	0
660	1.468	0.107	0	0.142	0.104	0	0.05	0.023	0
680	1.621	0.112	0	0.155	0.109	0	0.053	0.024	0
700	1.754	0.121	0	0.168	0.112	0	0.054	0.023	0
720	1.855	0.135	0	0.183	0.115	0	0.053	0.022	0
740	1.922	0.16	0	0.204	0.122	0	0.052	0.02	0
760	1.948	0.191	0	0.223	0.131	0	0.051	0.019	0
780	1.923	0.226	0	0.244	0.146	0	0.051	0.018	0
800	1.848	0.255	0	0.258	0.16	0	0.051	0.019	0
820	1.774	0.261	0	0.26	0.165	0	0.051	0.019	0
840	1.682	0.232	0	0.242	0.154	0	0.051	0.02	0
860	1.583	0.184	0	0.213	0.133	0	0.051	0.022	0
880	1.481	0.133	0	0.173	0.115	0	0.05	0.024	0
900	1.355	0.102	0	0.144	0.105	0	0.05	0.026	0
920	1.243	0.082	0	0.121	0.101	0	0.051	0.027	0
940	1.145	0.073	0	0.108	0.102	0	0.052	0.03	0
960	1.077	0.068	0	0.098	0.103	0	0.053	0.032	0
980	0.986	0.066	0	0.088	0.106	0	0.054	0.034	0
1000	0.885	0.065	0	0.079	0.107	0	0.055	0.035	0

#### 5、建立「無錫之磷鉑藍法」-正磷酸根檢量線

磷濃度 ppm	吸光度(A)
0.031	0.034
0.0755	0.044
0.155	0.055
0.2325	0.065
0.31	0.073
0.755	0.082
1.55	0.093
2.325	0.097
3.1	0.098

#### 6、本研究應用於新竹地區自來水總磷濃度監測各地五天水質狀況

磷濃度(ppm)	竹北	芎林	新竹	香山
3/17	0.07	0.057	0.055	0.045
3/18	0.068	0.064	0.052	0.049
3/19	0.069	0.061	0.056	0.056
3/20	0.101	0.062	0.05	0.049
3/21	0.08	0.069	0.049	0.058

## 【評語】052605

本作品研究改良傳統磷鉬藍法(PMB)對磷酸鹽之檢測，經調控鉬酸銨與維生素C濃度控制反應系統，成功篩選出能避免鉬藍干擾且反應時間短的最佳條件，並建立檢量線。且後續將水溶液系統改良成以海藻酸鈣為主體的檢測晶球，以利於後續以半定量方法檢測水體中磷酸濃度，並降低水處理的負荷。實驗設計循序漸進，逐一探討各因子的影響，邏輯清晰！其他建議與相關問題如下：

1. 如何定量出污染僅為傳統方法 1/45 的替代方案？
2. 為何不用黃色的磷鉬酸作為比色定量依據，要將磷鉬酸再還原成磷鉬藍？
3. 解釋中""推測原因是不同酸性時，鉬酸聚合度會改變，進而影響其是否能夠順利成為 Keggin 結構""，此說法可尋找參考資料驗證。此外，可直接量測水體在不同礦胺酸濃度下的 pH 值，以瞭解礦胺酸濃度對 pH 的影響。
4. 為何礦胺酸濃度大於 0.1M 時，磷鉬藍的吸光度降低？
5. 鉬酸還原程度與其在與磷鉬酸混合時不同，難以將 DI 水中還原的鉬酸吸收度為基線，進而去校正混合物中鉬酸在吸收度上的貢獻。

6. 環境水體中的基質是否會影響分析結果，例如有機質消耗維他命 C，而碳酸根與磷酸根競爭鉬酸，而造成低估或高估磷酸量的情形？
7. 實驗的準確性需再以標準方法進行確認。
8. 在計算檢測成本時，僅考慮化學品價格似乎過於簡單？

作品海報



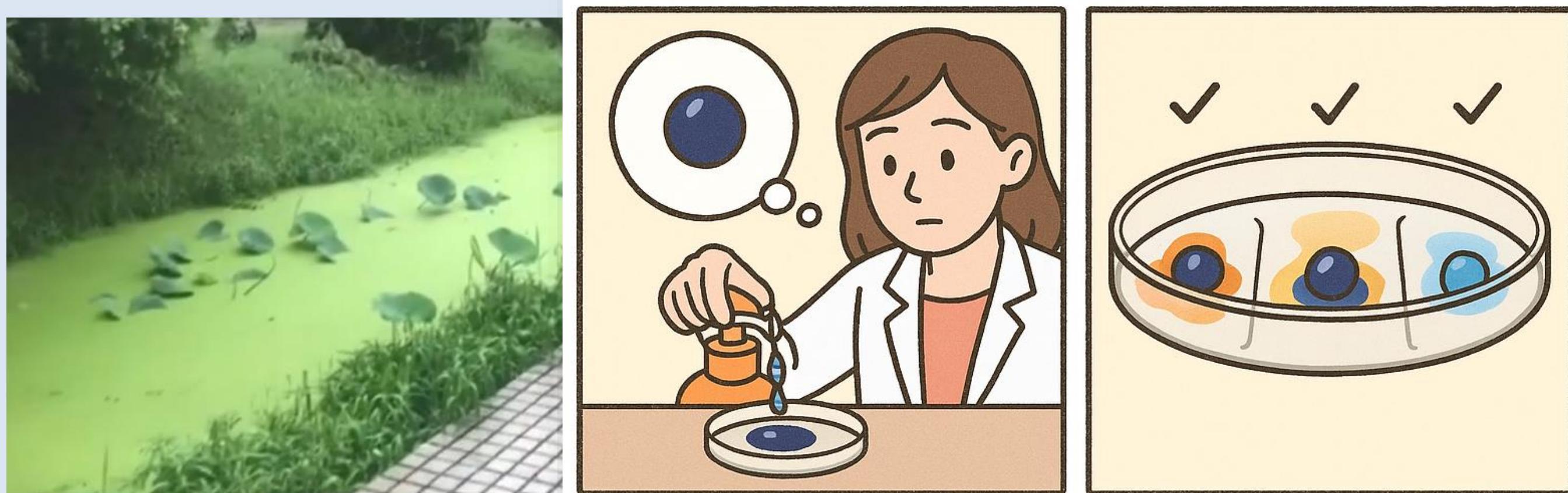
—「鉛」  
—「藍」  
-傳統磷鉛藍方法之改良應用於定量水中 ppm 級磷酸鹽

# 摘要

含磷清潔用品的廢水使得河川出現優養化問題，急需依賴意識形態來解決。有鑑於市售總磷檢測組相當昂貴，為了提升民眾對於檢測的意願，本研究旨在改良傳統磷鉬藍法，使其朝向更低成本，又不失其信、效、鑑別度。另一方面未來若能推動擴大檢測，同時也必須克服試劑汙染的問題，故本研究也建立在Sb-free的前提下。

本實驗透過九宮格實驗法，有系統地探討：降低不同試劑反應濃度的比色情況，篩選出最合適的組合，同時必須考量反應時間太長、偽陽性等問題，最後成功改良傳統方法並建立新的檢量配方，即使每次檢測劑量減少為原來的1/45，但結果仍能夠維持其半定量的檢測水準。

應用的層面，一來我們利用改良的方法監測新竹地區四地一週內的自來水總磷濃度變化，鑑別度達0.1 ppm等級，範圍介於0.045~0.101 ppm，確認此法在環境水樣分析的可行性。最後，我們利用本研究建立之配方與海藻酸鈣結合製作出磷檢測球，有望克服市售洗髮精界面活性劑對比色的干擾，希望未來能成功用於快速檢測其含磷量，並推廣給大眾來響應。



## 壹、研究動機

近年來，水體優養化問題日益嚴重，造成藻類暴增、水中溶氧量下降，進而導致水質惡化與生態失衡。家庭排放的含磷廢水被認為是主要污染來源之一，尤其來自清潔用品中的磷化合物，易隨生活污水進入水體，成為環境負擔。

現行檢測水中磷含量多以磷鉬藍法為主，但傳統方法需大量化學試劑，且操作成本與環境風險較高，不利於民眾自行監控自己周遭每一天的生活。

因此期望發展出一套兼具環保、經濟的水質監測方法。另一方面，此法亦希望開發成洗髮精含磷監測，讓民眾了解市售洗髮精的含磷標示是否合理，並邀請民眾謹慎選擇洗髮精。



## 貳、研究目的

- (一) 尋找改良試劑的最佳比例
- (二) 尋找比色的試劑極限濃度
- (三) 防止鉬藍副產物對吸光度的干擾
- (四) 繪製改良後磷鉬藍法的檢量線
- (五) 監控一周自來水中磷酸根濃度含量
- (六) 將本研究方法用於了解實際河流的磷量
- (七) 檢測市售洗髮精磷濃度含量遇到的問題
- (八) 磷檢測球的開發與克服問題

# 參、研究原理

## 一、實驗架構

### 1. 檢視傳統PMB方法之成分意義

鉬酸根

酸性條件

維他命C

峰值位置

吸光係數  
反應速率

### 2. 重新建立參數配方SOP

比色卡 半定量

檢量線 定量

偽陰性  
偽陽性

### 3. 實際應用於水質監控

(1) 民生用水 自來水檢測

(2) 民生廢水 河川檢測

### 4. 磷檢測球開發

(3) 市售洗髮精監督

## 二、藍色磷鉬酸變色原理與聚鉬多酸結構

聚鉬多酸是 $\text{MoO}_4^{2-}$ 在酸性條件下聚合形成的多金屬氧簇，形成POM結構(Polyoxometalate)：聚鉬酸 $\text{H}_8[\text{Mo}_{12}\text{O}_{40}]$ ，由12個 $\text{Mo}^{6+}$ 原子組成，遇到還原劑會局部變成 $\text{Mo}^{5+}$ 產生純鉬藍。

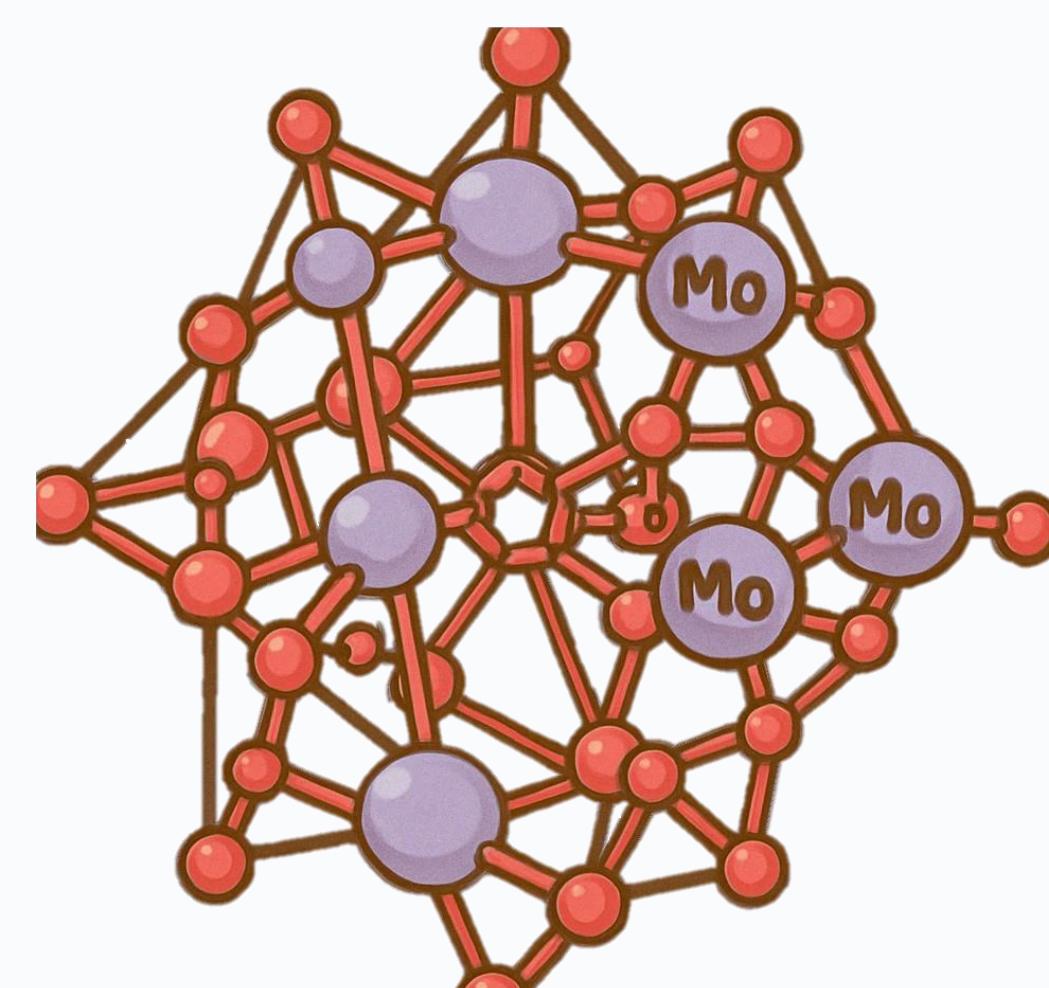
聚合反應



(抗壞血酸)  
還原反應



純鉬藍

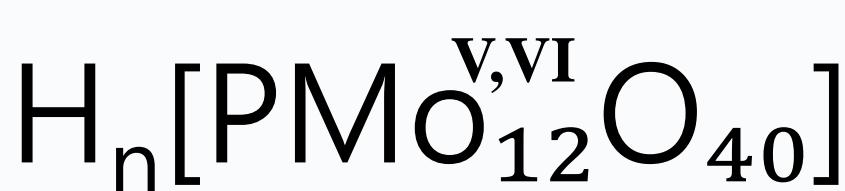


當磷酸根作為中心模板，且適當pH下， $\text{MoO}_4^{2-}$ 優先與 $\text{PO}_4^{3-}$ 縮合聚合形成含雜原子的Keggin結構後，再遇到還原劑會局部變成 $\text{Mo}^{5+}$ 產生磷鉬藍。

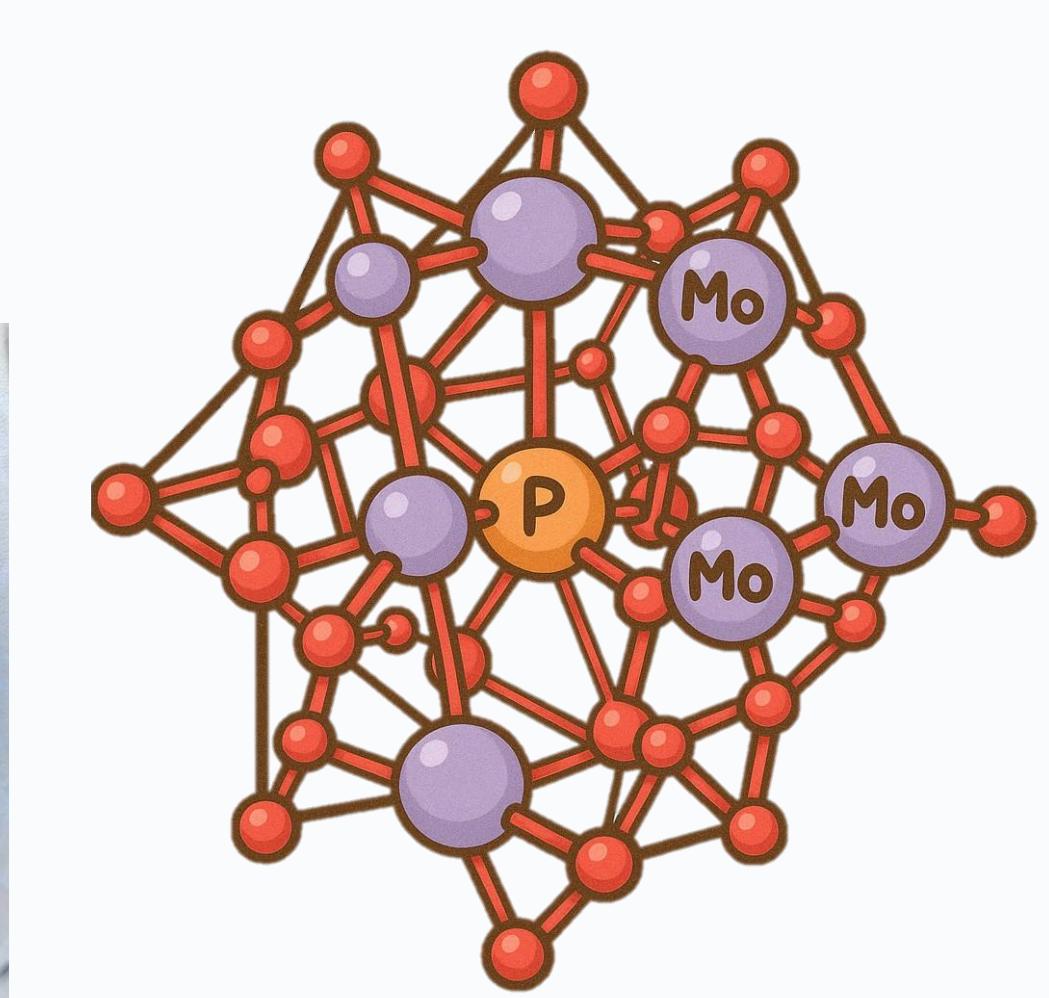
聚合反應



(抗壞血酸)  
還原反應



磷鉬藍

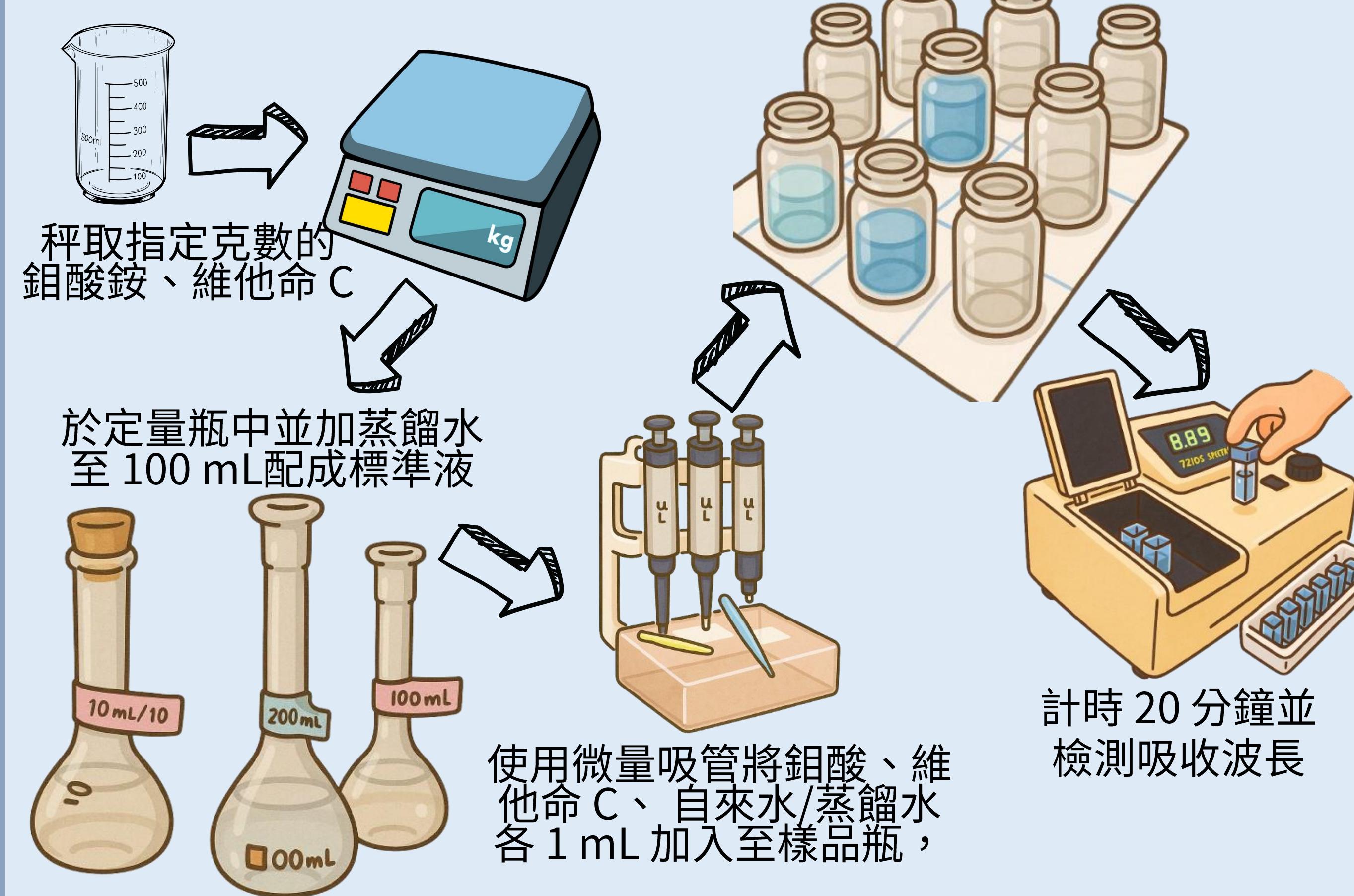


實驗發現：雖難以完全避免兩者生成，可利用磷鉬酸比聚鉬酸更易被還原產生磷鉬藍的性質。與純鉬藍相比，磷鉬藍在短時間內顏色更深、且會跟磷酸根濃度成正相關。但要留意吸收峰值位置與係數也會受到聚合度影響。

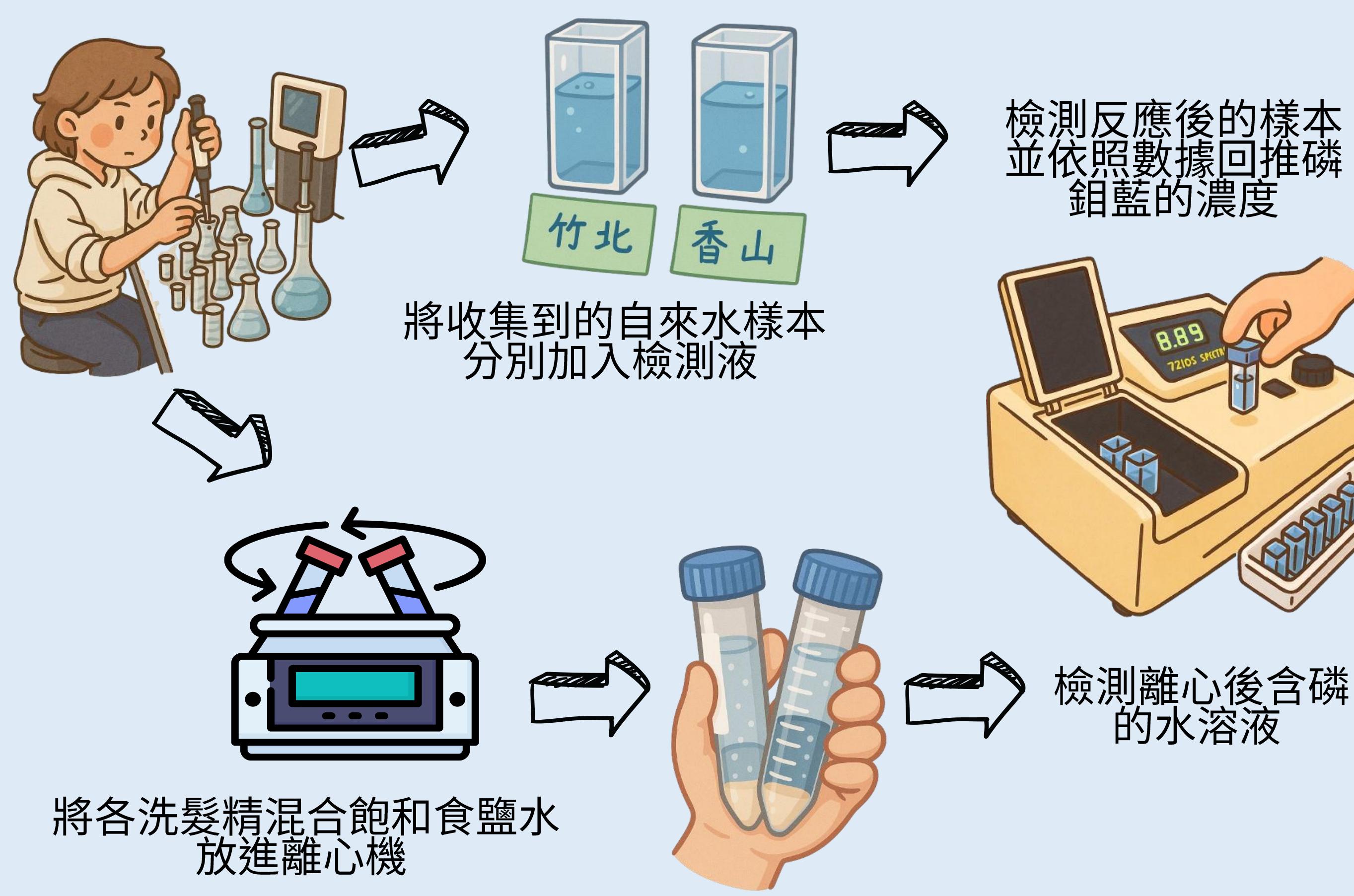
藉由調控鉬酸根與還原劑濃度，可改變兩種藍的生成比例，提高比值 $R = (\text{磷鉬藍} - \text{純鉬藍}) / \text{純鉬藍}$

# 肆、研究過程與步驟

## 第一部分、樣本設置SOP



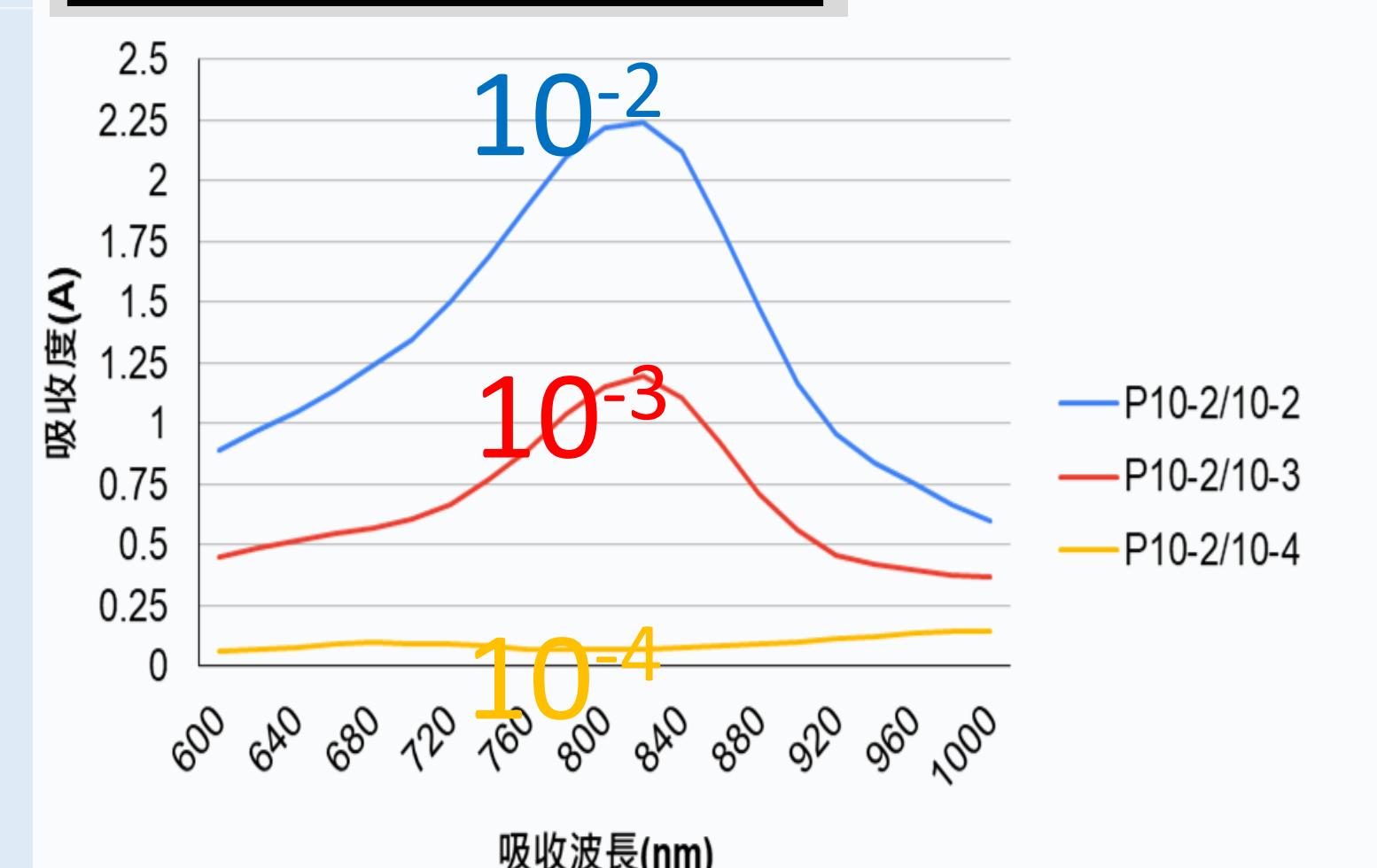
## 第二部分、鑑定分析SOP



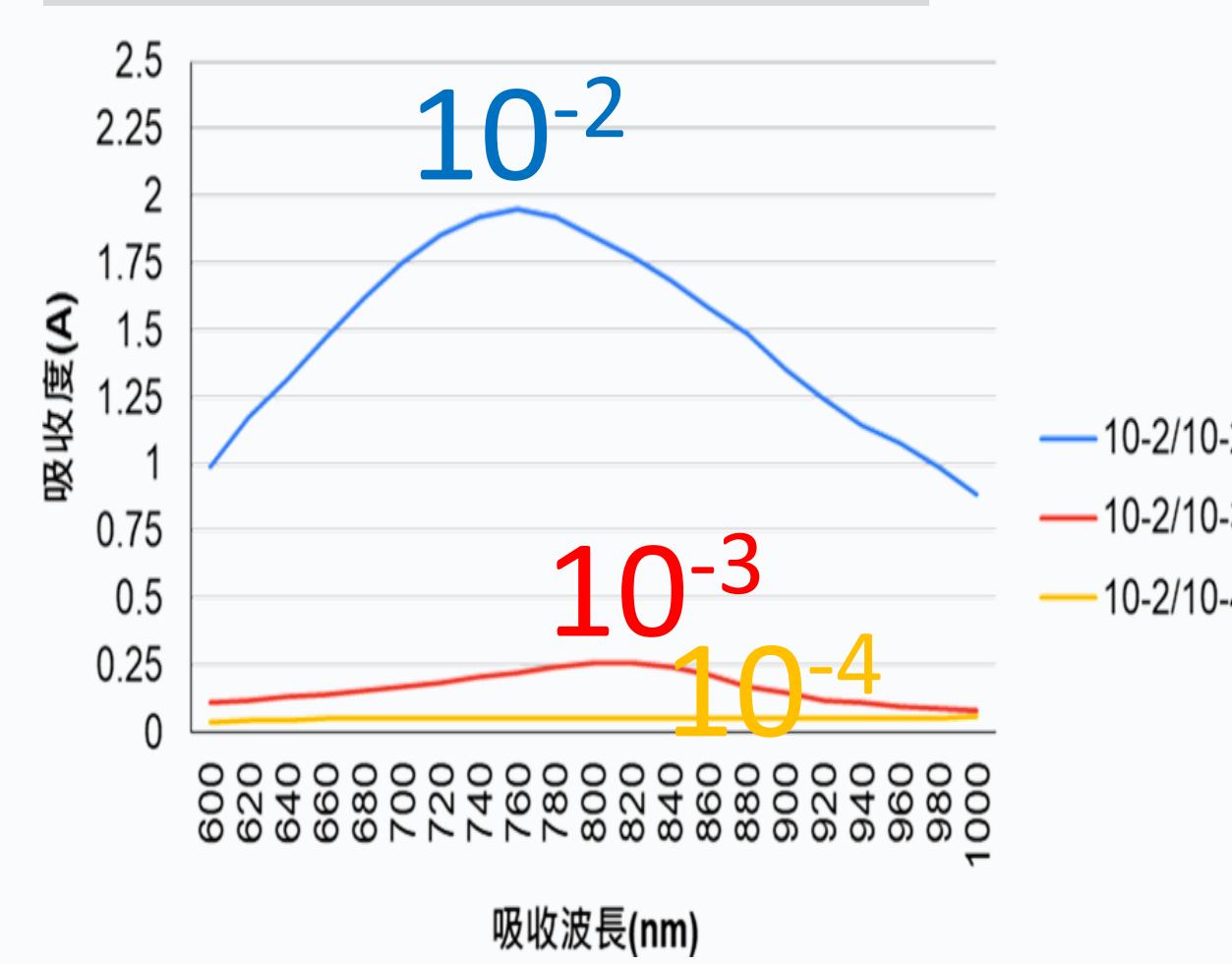
## 伍、實驗討論與結果

### 討論一、探討維他命 C 濃度對吸收光譜的影響

#### 含磷水樣



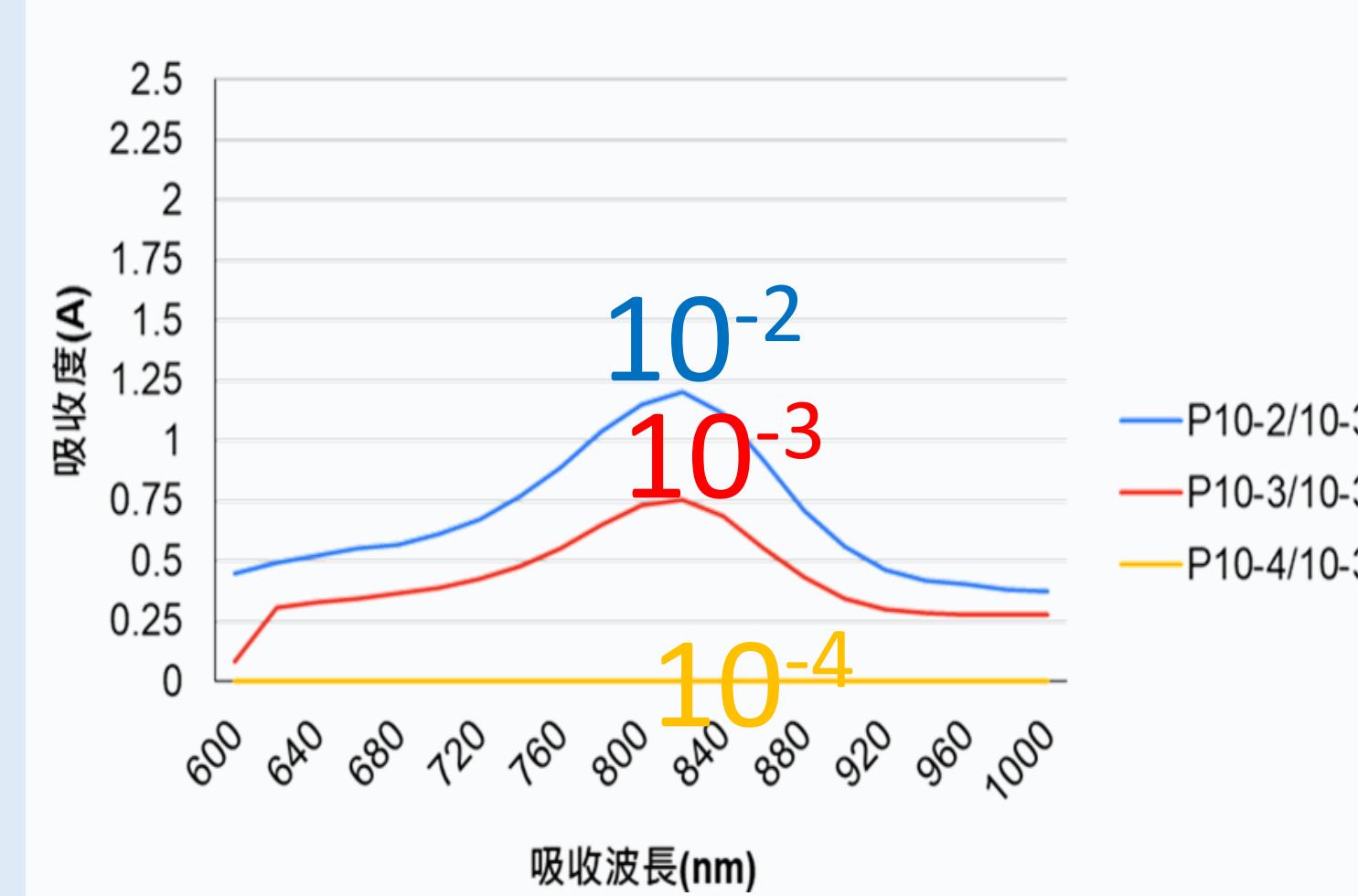
#### 空白水樣



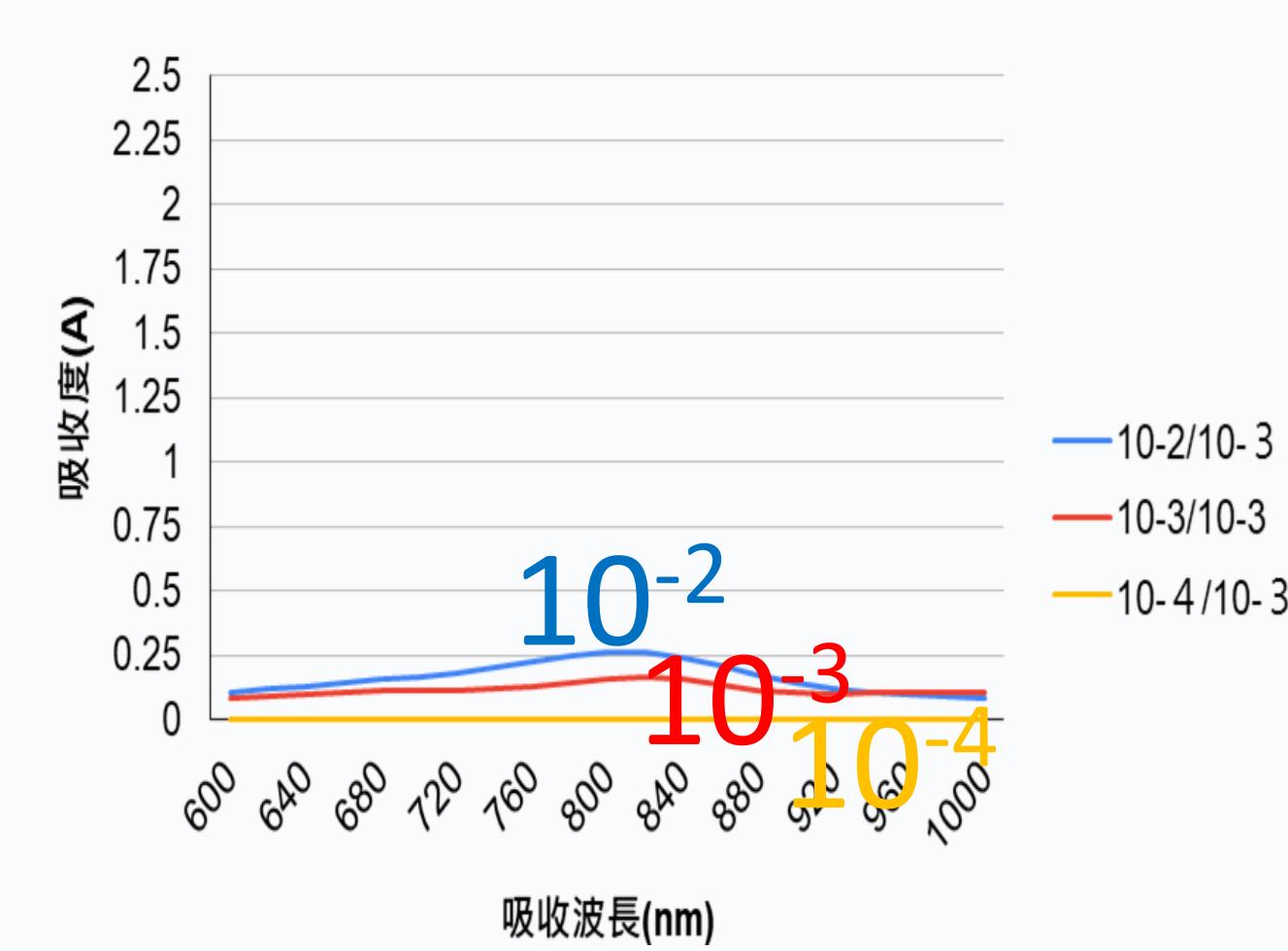
為了抑制純鉑藍的生成干擾，維他命 C 濃度應在  $10^{-3}$ ~ $10^{-4}$  M

### 討論二、探討鉑酸根濃度對吸收光譜的影響

#### 含磷水樣



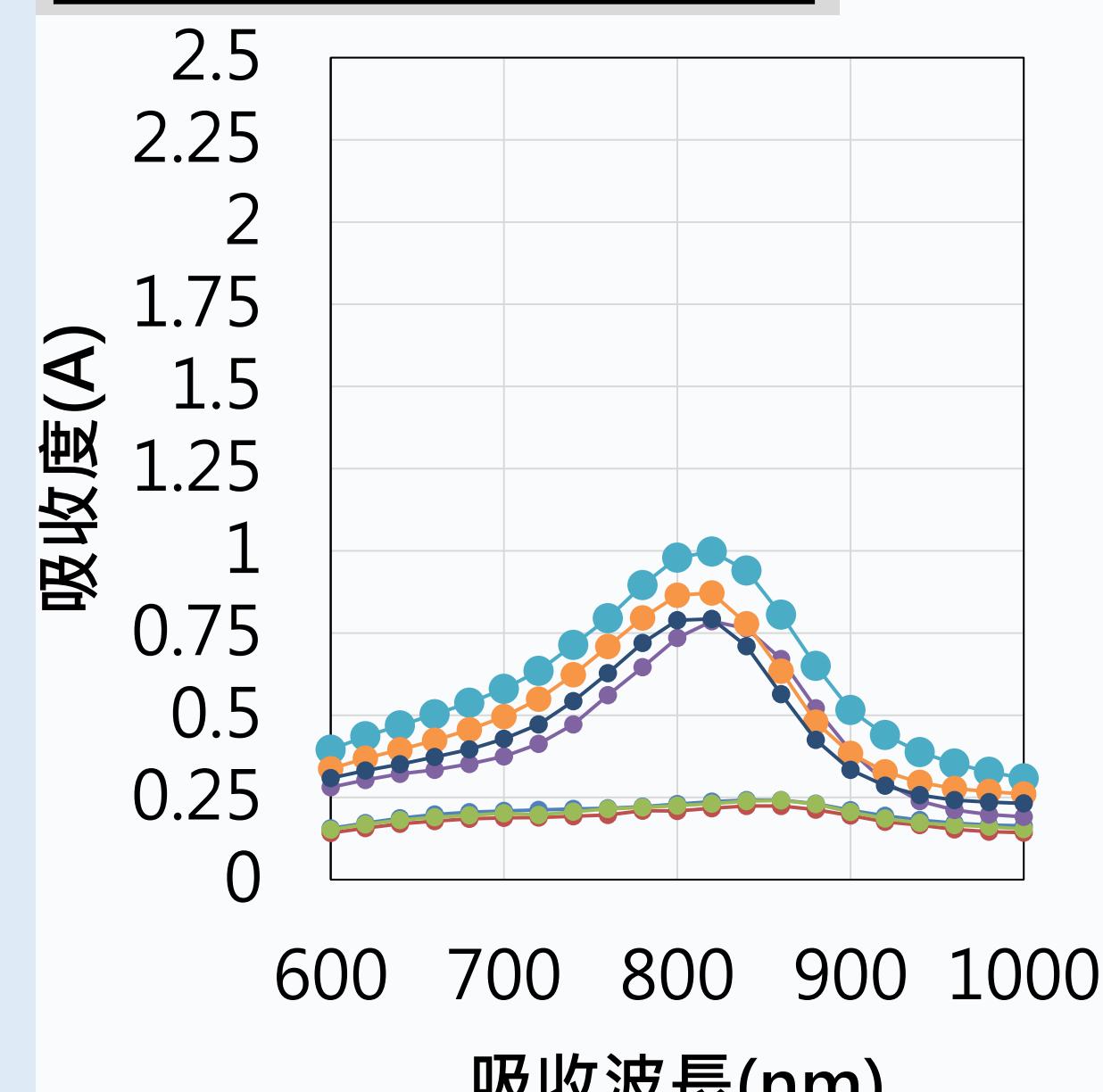
#### 空白水樣



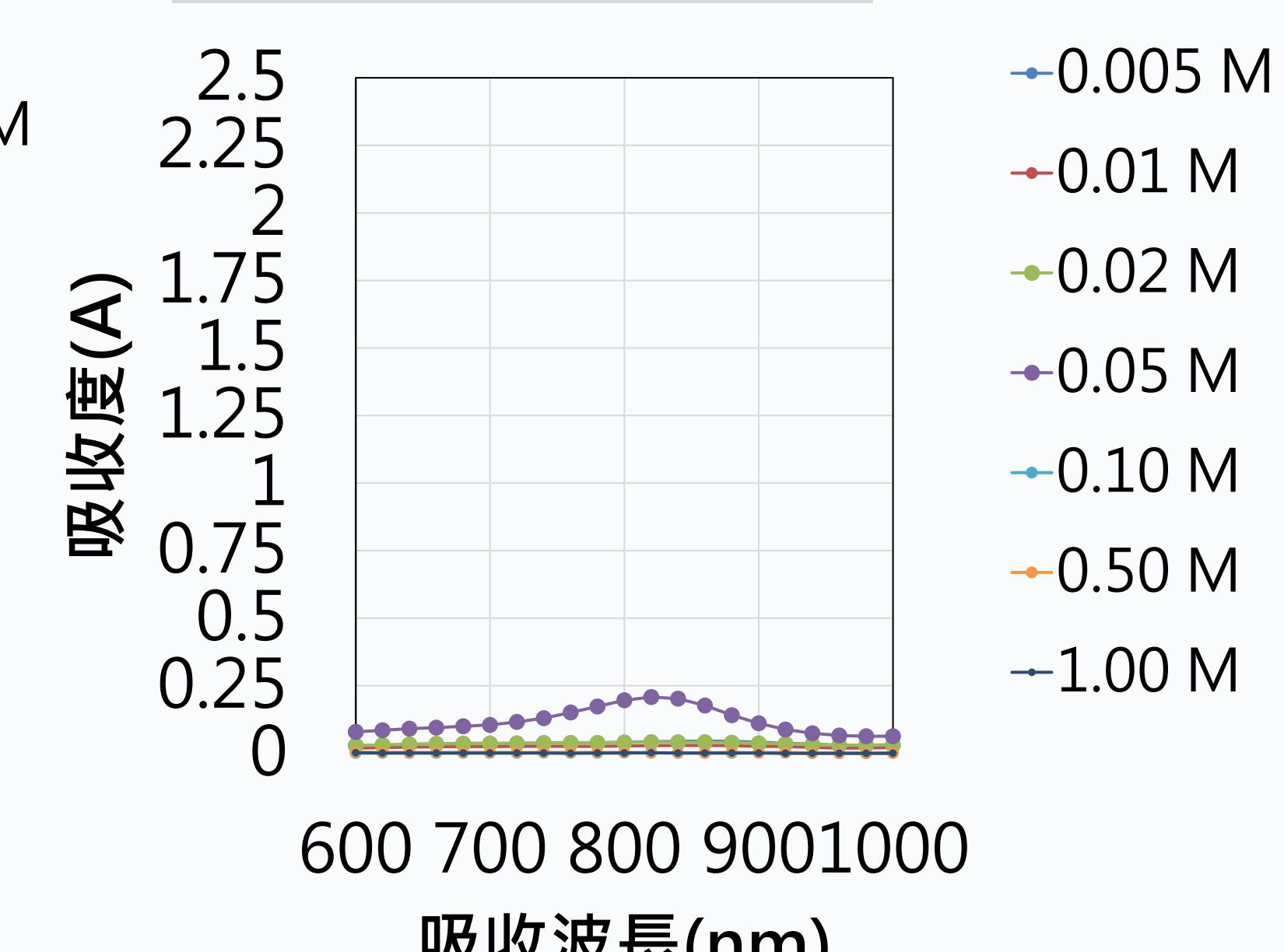
為了提升磷鉑藍的生成效益，不應該使用鉑酸根濃度  $10^{-4}$  M

### 討論三、探討酸性條件對吸收光譜的影響

#### 含磷水樣



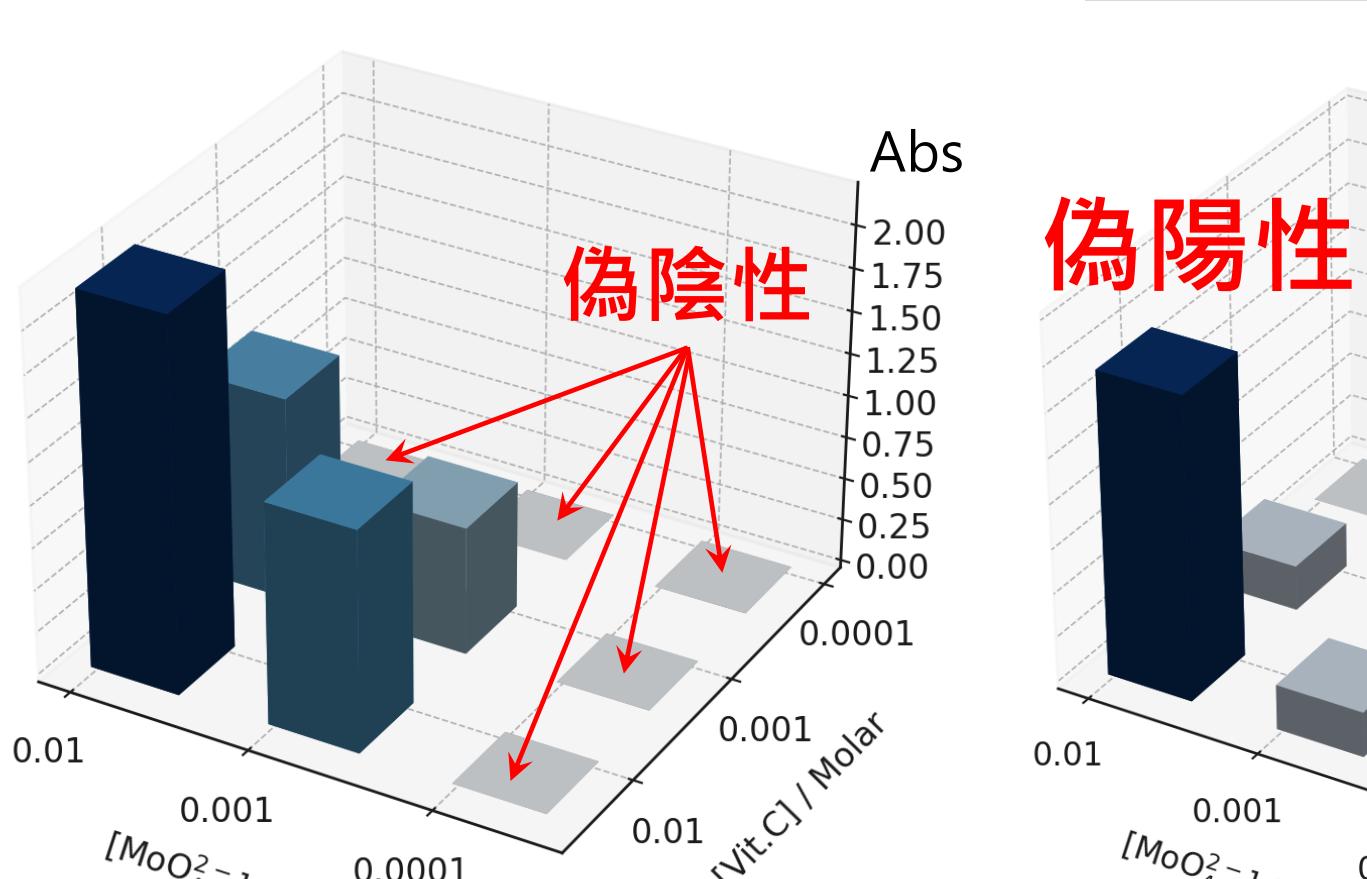
#### 空白水樣



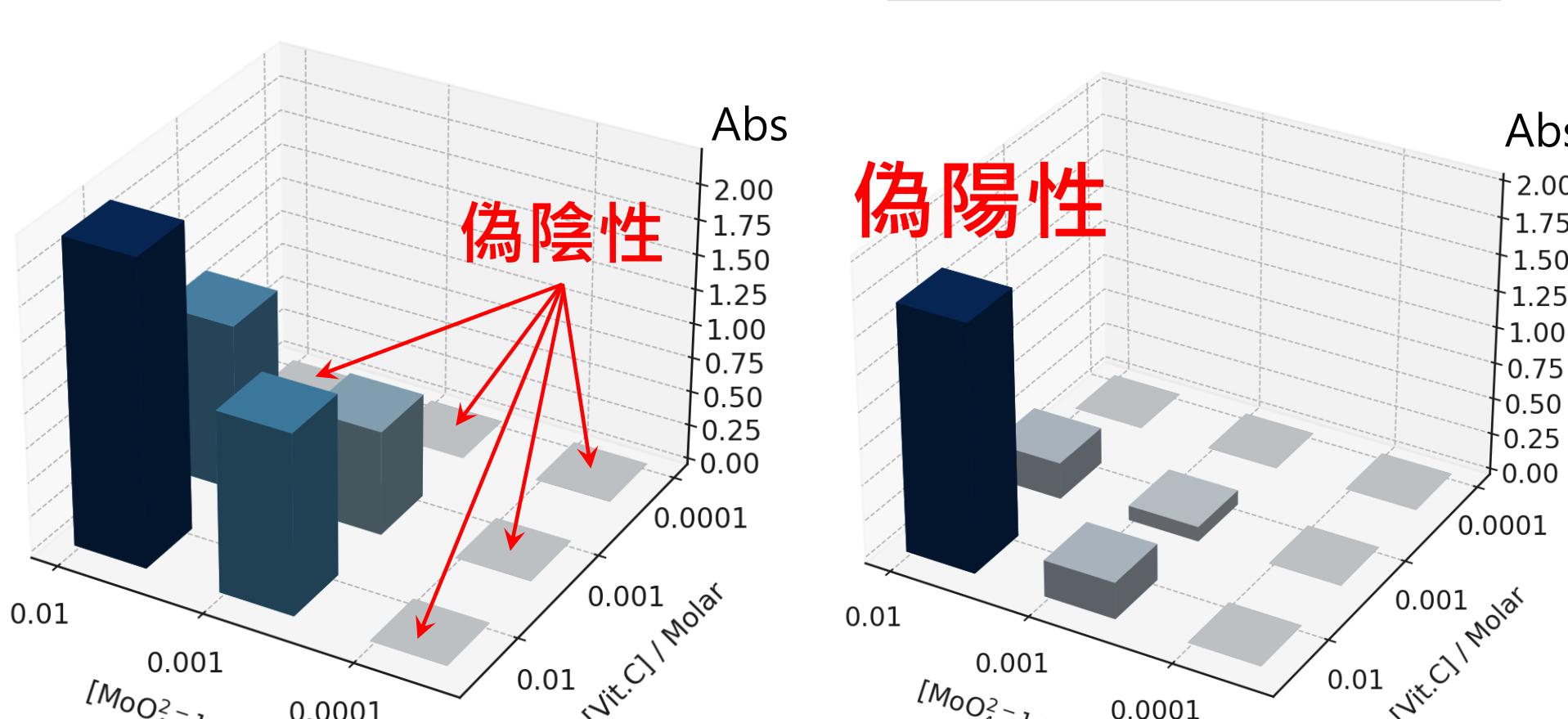
避免影響所生成磷鉑藍的顏色，故必須儘量確保 pH 在合適的範圍

### 九宮格相對色深

#### 含磷水樣



#### 空白水樣

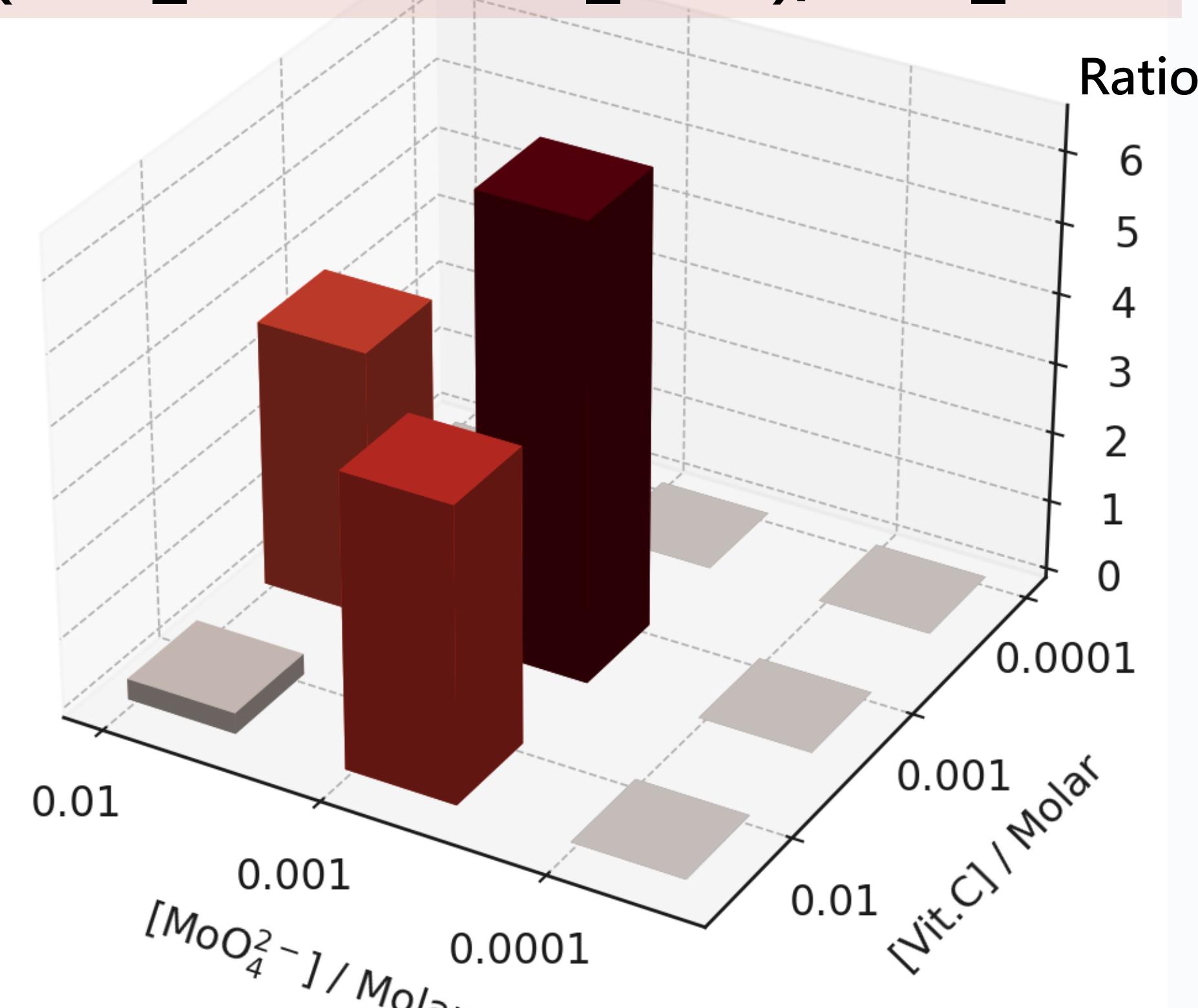


### 數據處理

#### 定義 Ratio

= (含磷訊號)/鉑藍干擾

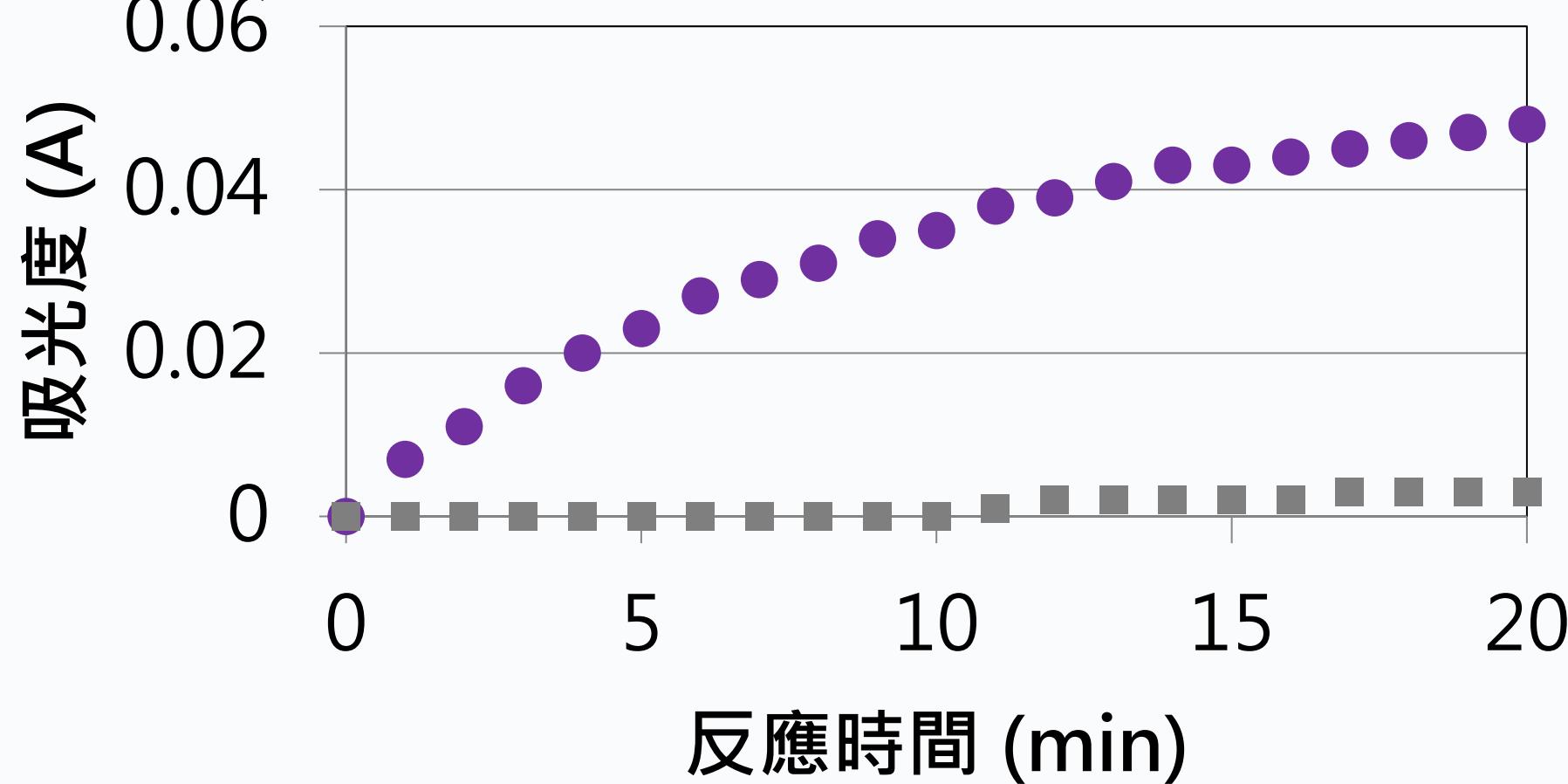
= (Abs\_磷鉑藍 - Abs\_鉑藍) / Abs\_鉑藍



【圖】不同試劑反應20分鐘後，將含磷數據扣除空白數據並計算類訊雜比之結果比較

### 反應速率與最佳 $[MoO_4^{2-}]$

●  $10^{-2}$  M ■  $10^{-3}$  M



選擇鉑酸根 =  $10^{-2}$  M 來進行後續實驗

## 伍、實驗討論與結果

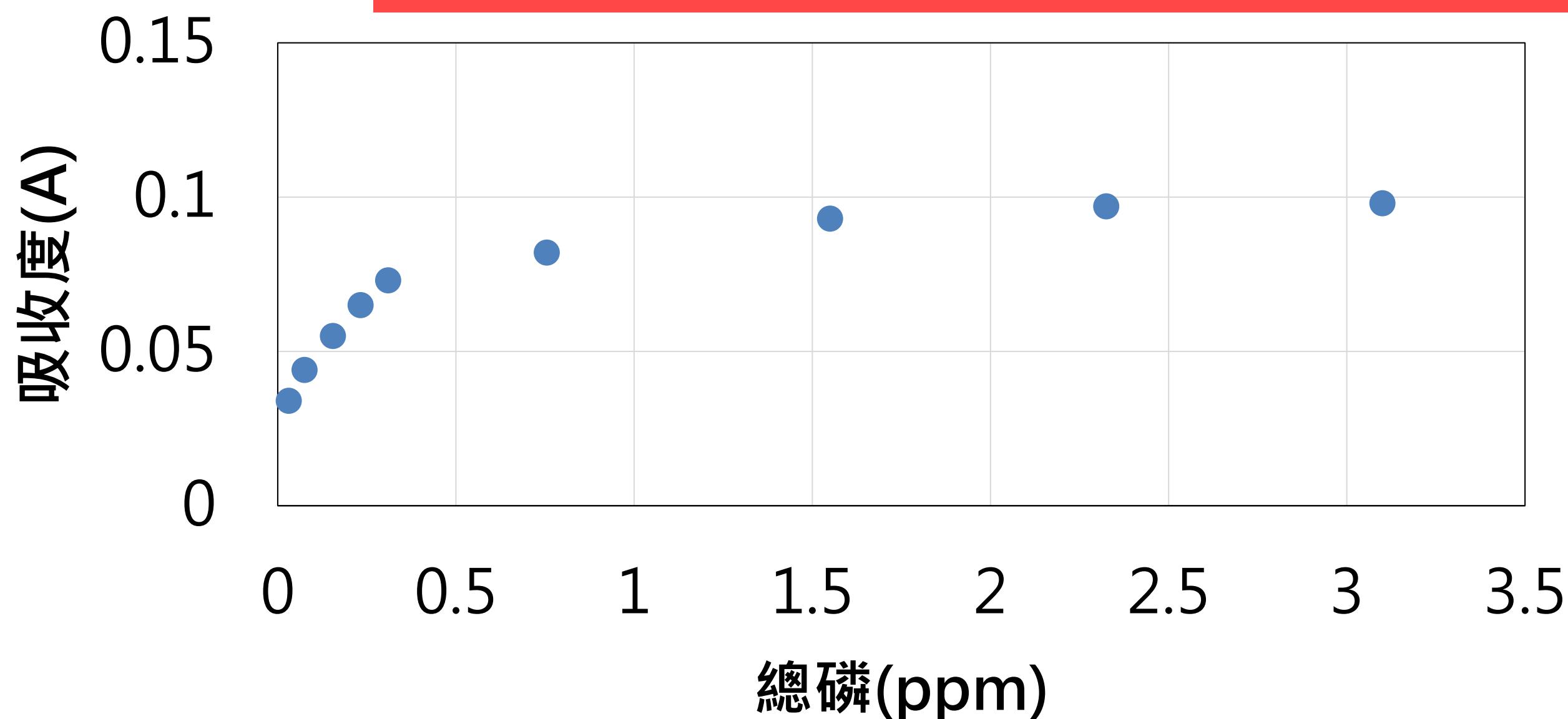
### 討論四、建立本研究之Sb-free檢量方法



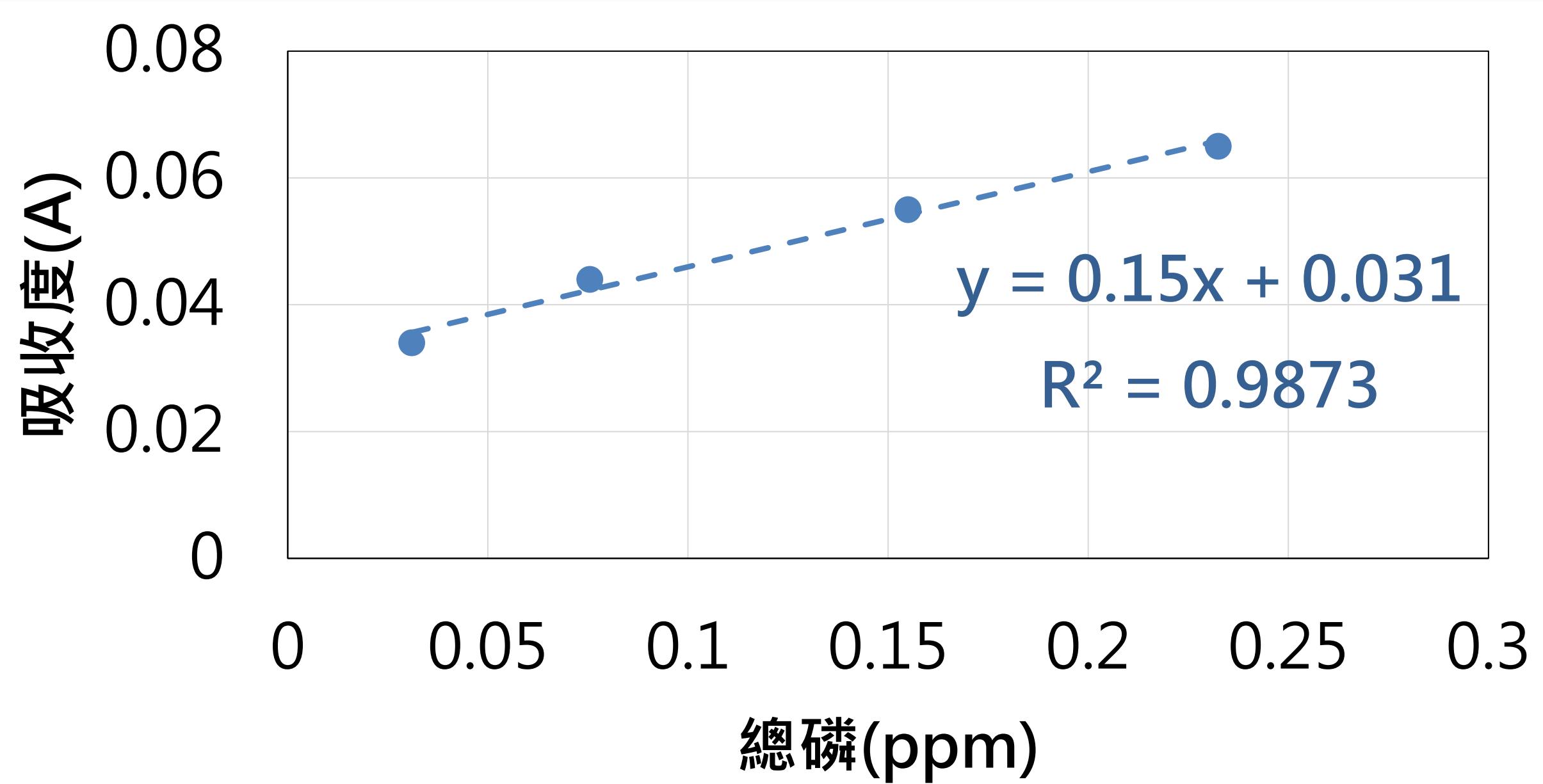
【圖】由左至右分別為  $10^{-6} \sim 10^{-5}$  M 之標準磷酸根水樣；檢測配方(鉬酸根：維他命C =  $10^{-2} : 5 \times 10^{-4}$  M)

### 考量變色時間、肉眼能分辨等，決定檢測液配方

由於此研究的反應均為平衡系，因此當磷莫耳數升高時，鉬酸根雖然莫耳數足夠與磷酸形成磷鉬酸，但不一定能夠完全反應。



【圖】本研究建立之比色結果與磷酸根濃度關係

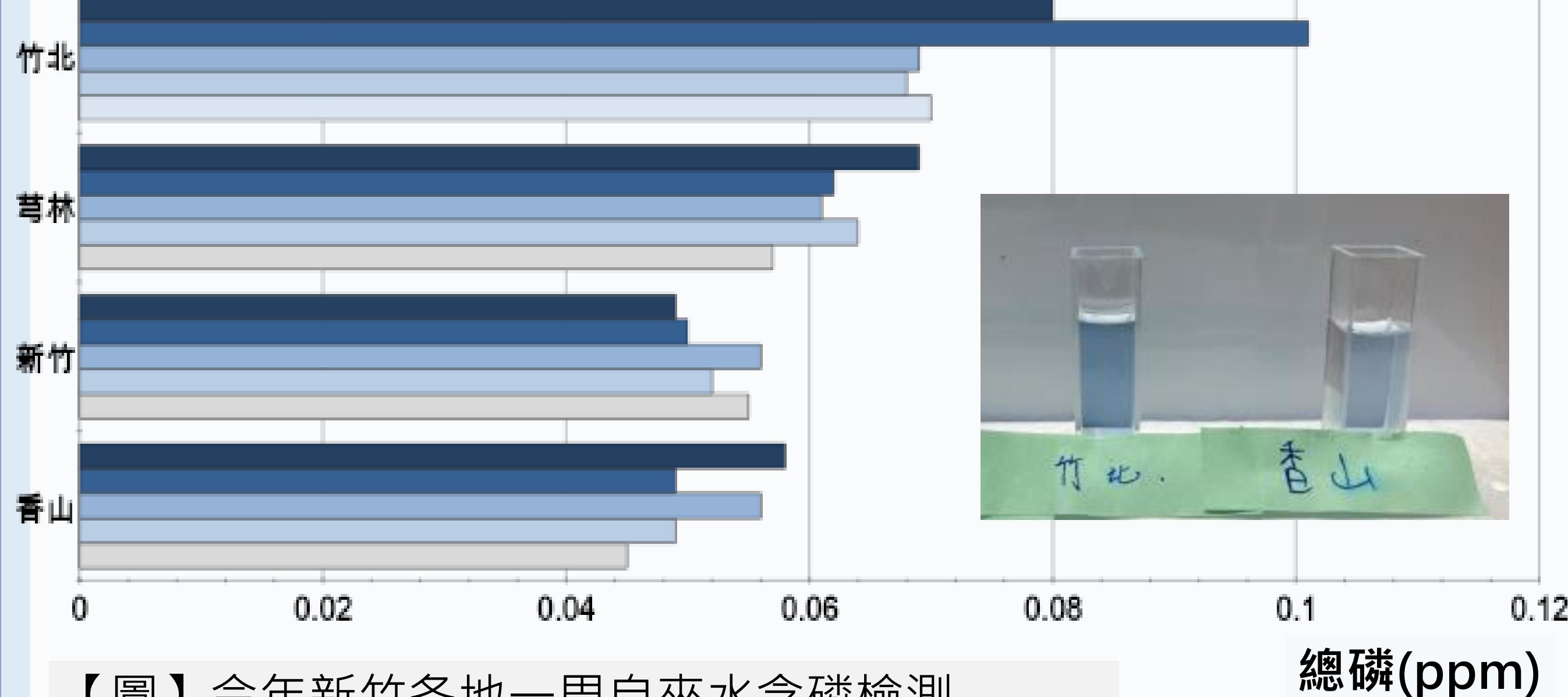


【圖】本研究建立之磷檢量線(線性)

### 考量變色時間、肉眼能分辨等，決定檢測液配方

### 討論五、應用於新竹「自來水」總磷濃度監測

竹北地區於 3/20 或 3/21 出現明顯偏高值



【圖】今年新竹各地一周自來水含磷檢測  
(淺色為 3/17 依序為 3/18.19.20，深色為 3/21)

新竹地區，所使用的自來水多取自地表水而非水庫水，因此水質常受到上游環境變化的影響而不穩定。

	自來水源 (地表水)	淨水廠
Yilan	Upper Pingxi River	Yilan Water Treatment Plant
Xinbei	Headstream	Xinbei Water Treatment Plant II
Xiangshan, Hsinchu	Headstream and Baihe Reservoir	Xinbei Water Treatment Plant I



### 討論六、應用於新竹地區「河水」總磷濃度監測

A點數據(上游取水點)=3.2 ppm

B 點數據(東興圳、舊港圳交會)=3.02 ppm

C 點數據(下游取水點)=2.02 ppm

1. 上游取水點已經含有高濃度的磷。
2. 五華工業區段的磷增加效應小於水文稀釋效應。
3. 本研究檢量線用於河川(先稀釋再測)有很好靈敏度

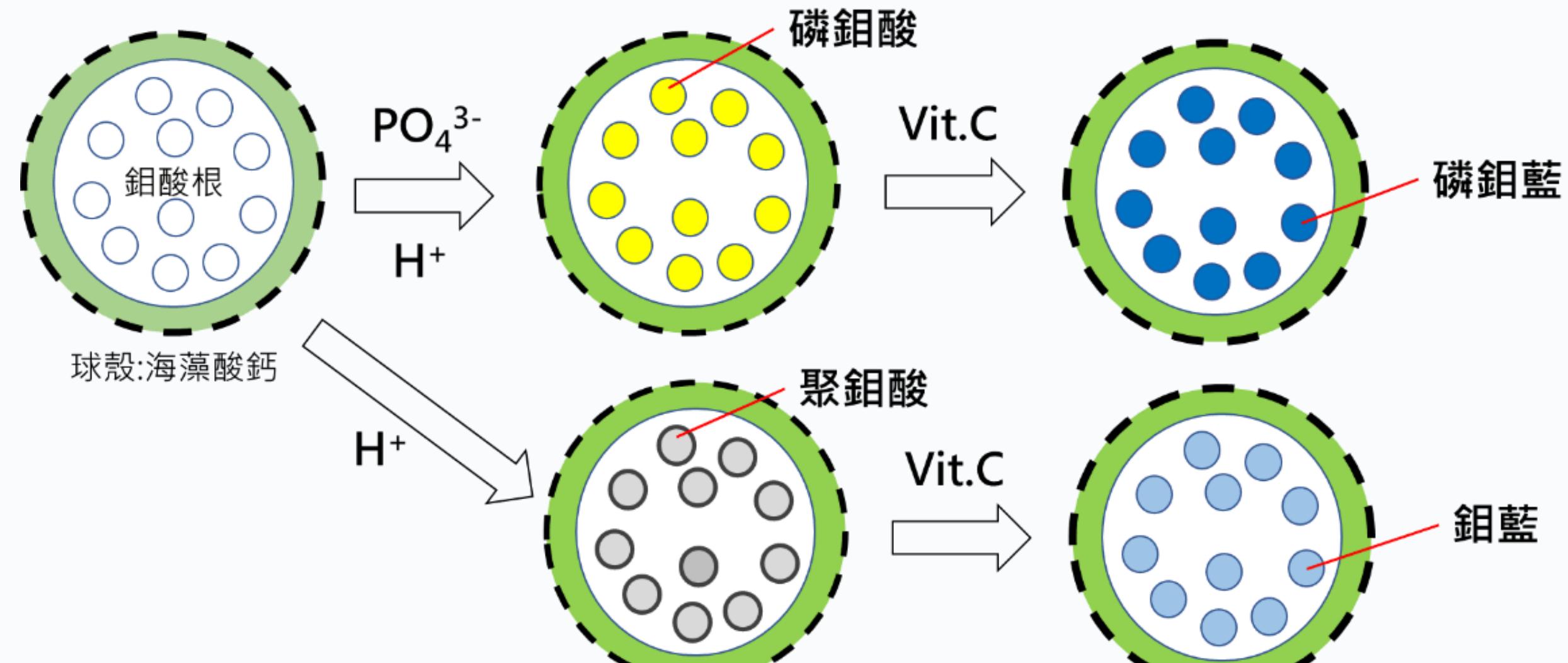


【圖】在五華工業區段採水了解頭前溪水質

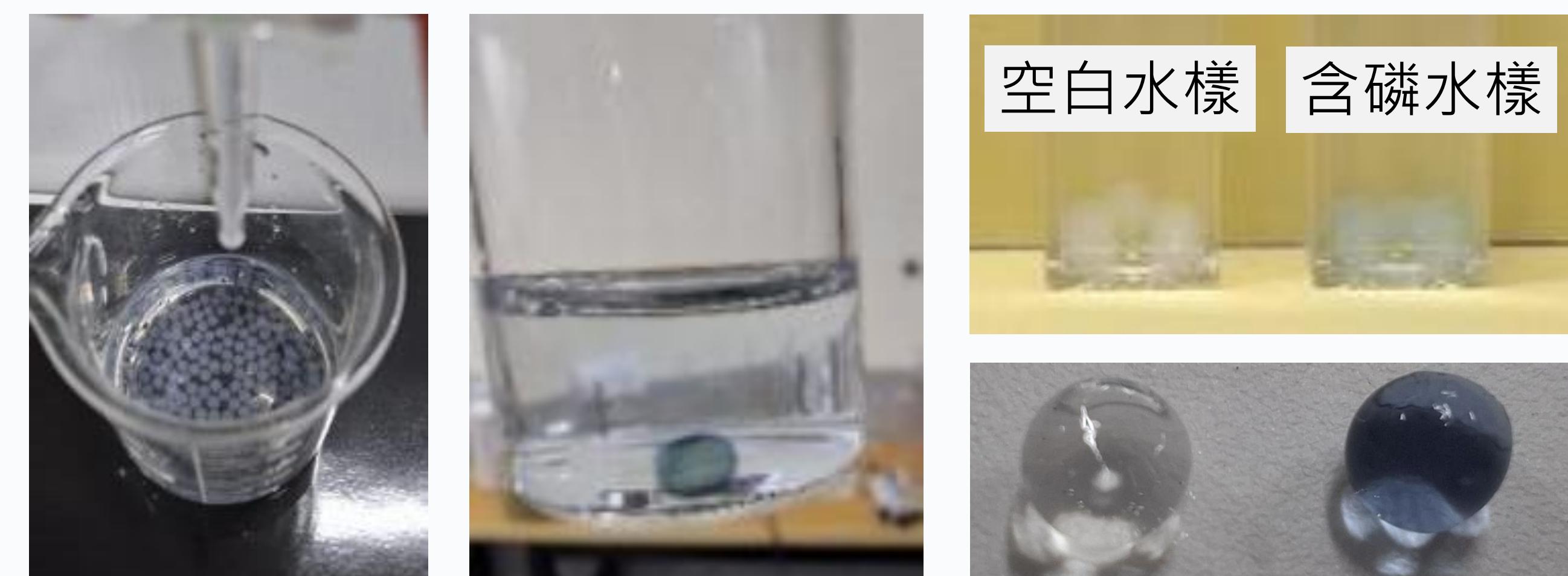
### 討論七、磷檢測球應用含磷市售洗髮精

遇到的問題：1.水相鉬鹽排放  
2.界面活性劑干擾

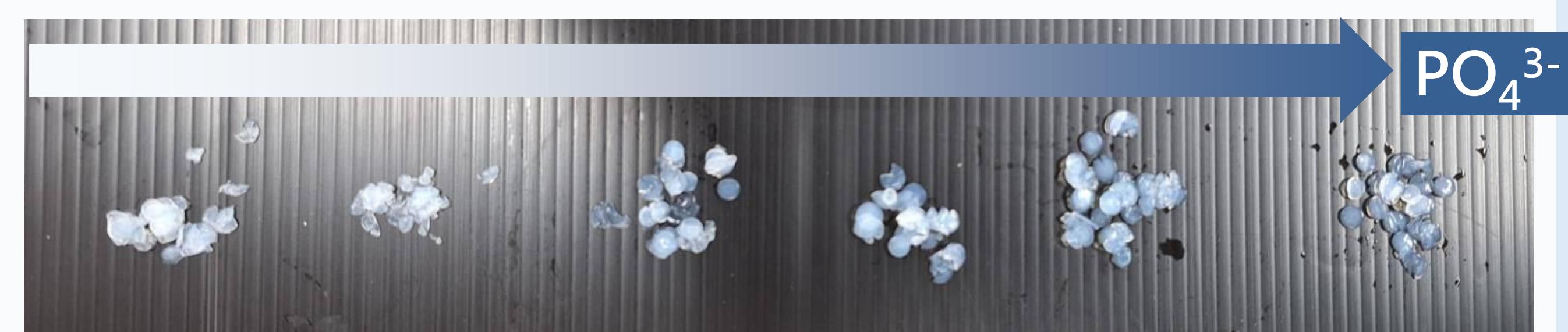
解決的方式：轉成固態檢測球



【圖】磷鉬藍形成與海藻酸鈣機制的結合



適當反應時間只有球會變藍，水不會變色



【圖】不同濃度磷水樣與檢測球作用後的顏色(被壓扁)



【圖】磷檢測球套裝構想與成本

鉬酸鉛	礦胺酸	維他命C
取1.235 g配製100 mL鉬酸水溶液，測一次需1 mL消耗0.01235 g。藥劑一瓶500 g(專業藥劑2250元)共可以測40485次。	取0.97 g配製100 mL礦胺酸水溶液，測一次需1 mL消耗0.0097 g。藥劑一瓶500 g(專業藥劑120元)共可以測51546次。	取0.008 g配製100 mL維他命C水溶液，測一次需1 mL消耗0.00008 g。藥劑一瓶500 g(專業藥劑一瓶1200元)共可以測6,250,000次。
0.0558元	0.0023元	0.0002元
計算出檢測一次磷酸根ppm的成本為： $0.0558 + 0.0023 + 0.0002 = 0.0583$ (元)		
反觀市售磷檢測試劑 240 元，約可以檢測15次，檢測一次居然需花16元。		

步驟更簡化、成本低廉

## 陸、結論

1. 本研究中之磷鉬藍及純鉬藍吸收位置，吸收峰集中於 810 nm，與文獻所提 880 nm 不同，可能是鉬酸聚合度不同。
2. 反應需臨界濃度：鉬酸與維他命 C 濃度需高於  $10^{-4}$  M 才能順利生成穩定顏色。
3. 反應需臨界濃度：鉬酸與維他命 C 濃度不可高於  $10^{-2}$  M。建立  $R^2 = 0.987$  的一次檢量線，於低濃度範圍內具有應用性。例如分析新竹地區自來水分析總磷或是河川總磷。
4. 此法價格低廉、也能夠用於半定量，可推廣至更多環境應用場域，並推廣教育民眾於日常水質監測。
5. 未來可望做成磷檢測球，用於檢測市售洗髮精的含磷量。