

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告格式

題目名稱：布袋蓮對錳離子吸附速率之研究與應用

一、摘要

本研究探討水生植物布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*) 對水體中錳離子 (Mn^{2+}) 的吸附能力與速率，並以 PAN 顯色法結合分光光度計進行定量分析。實驗設計模擬自然水體環境，透過不同濃度與 pH 條件下的錳溶液培養布袋蓮，並分析其根部與葉部之錳累積量與去除效率。結果顯示，布袋蓮在中性至微鹼性條件下具良好去除能力，日吸收速率可達 0.0265 mg/g/day。此結果顯示布袋蓮可應用於簡易水體重金屬污染淨化。

二、探究題目與動機

水源遭受重金屬污染為現代環境問題之一，尤其是錳離子 (Mn^{2+}) 在某些工業排水或天然沉積水中濃度偏高，影響水質與生物健康。由於布袋蓮生長快速、根系發達，先前研究指出其對多種金屬具有吸附能力，因此本研究動機為：探討布袋蓮在模擬天然環境下對錳離子的吸收能力。評估其吸附速率與不同 pH 或濃度條件下的表現。探索是否能作為環保教學或實際應用之綠色淨水植物。

三、探究目的與假設

目的：分析布袋蓮在不同錳離子濃度與 pH 下的吸收速率，並觀察吸附位置 (根 / 葉) 。

假設： H1：布袋蓮可有效吸收水中 Mn^{2+} ，並主要累積於根部。

H2：吸收速率會隨錳濃度升高而提高。

H3：中性或弱鹼性 (pH 7-9) 環境有助於提高吸附效率。

四、探究方法與驗證步驟

(一)材料準備：

布袋蓮、 Mn^{2+} 溶液 (不同的 ppm 濃度)、PAN 顯色劑、緩衝液、分光光度計、精秤電子天平、食物烘乾機、研磨機、硝酸、燒杯、pH 計、濾紙、漏斗

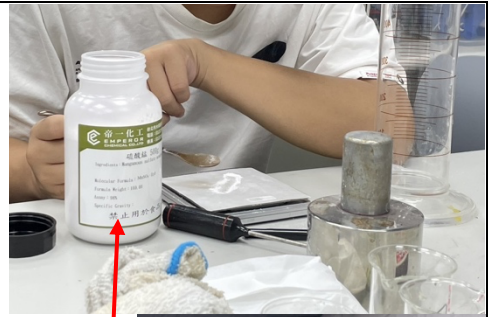
(二)培養方式：準備好所需的各種不同 ppm 濃度的硫酸錳溶液。1000ml 燒杯中放入錳離子水溶液 500ml 與布袋蓮，置於戶外自然環境五天並取樣。



(三)顯色與測量：

1.比爾定律

- (1)先準備好各種 ppm 濃度的硫酸錳溶液封存
- (2)調製 PAN 顯色劑，並以等比例加入硫酸錳溶液中
- (3)將溶液均勻攪拌並倒入光析管，再準備純水光析管
- (4)使用 Vernier GoDirect 光譜儀進行比爾定律(530nm)
- (5)得到吸光度與濃度之間的線性關係趨勢方程式，可用來測量未知的錳離子濃度



硫酸錳



PAN 顯色劑

Vernier GoDirect 光譜儀



2.測水中錳離子濃度

取水樣本 5 mL，進行比爾定律可得知水樣本中未知的錳離子濃度。

3.測布袋蓮錳離子含量

- (1)布袋蓮水洗，烘乾 6 小時並打碎，秤重取 5 克，加 20 mL 硝酸攪拌並過濾。

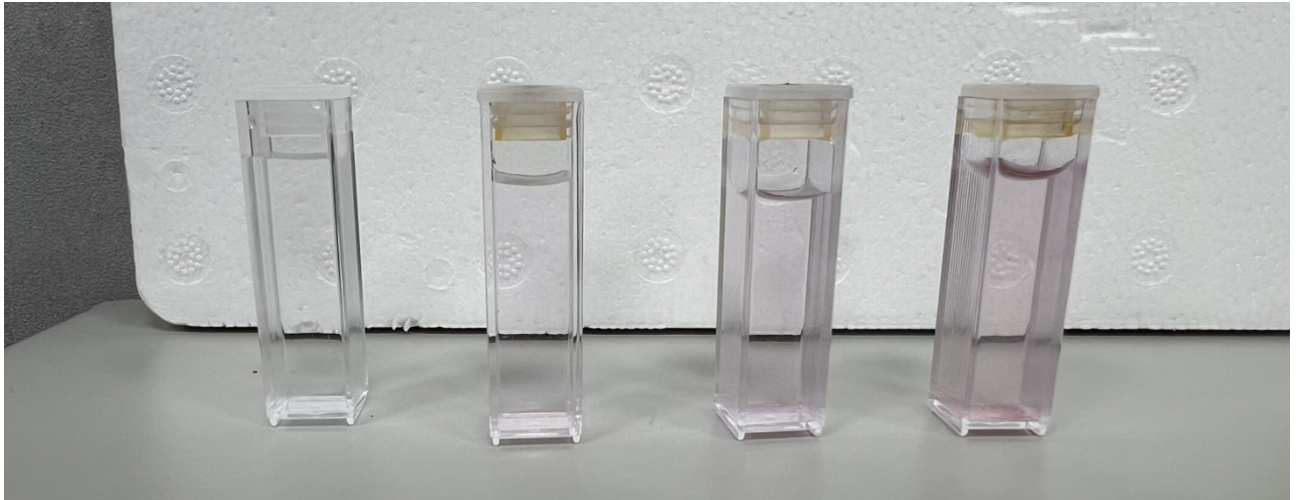


- (2)過濾後，需紀錄濾液體積。
- (3)接著調製緩衝液。
- (4)調整所需 pH 值，紀錄濾液體積。
- (5)用光譜儀進行比爾定律。
- (6)得到濃度後逆推真正濃度。

pH 計



4.分析：建立標準曲線後計算各組樣品 Mn 濃度，並換算單日吸收量 (mg/g/day)。



純水光析管

1ppm

2ppm

10ppm

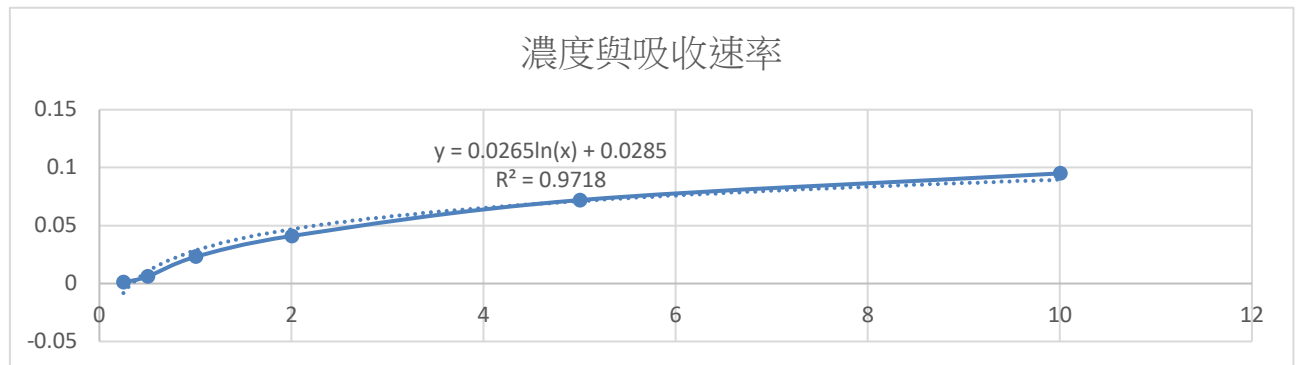
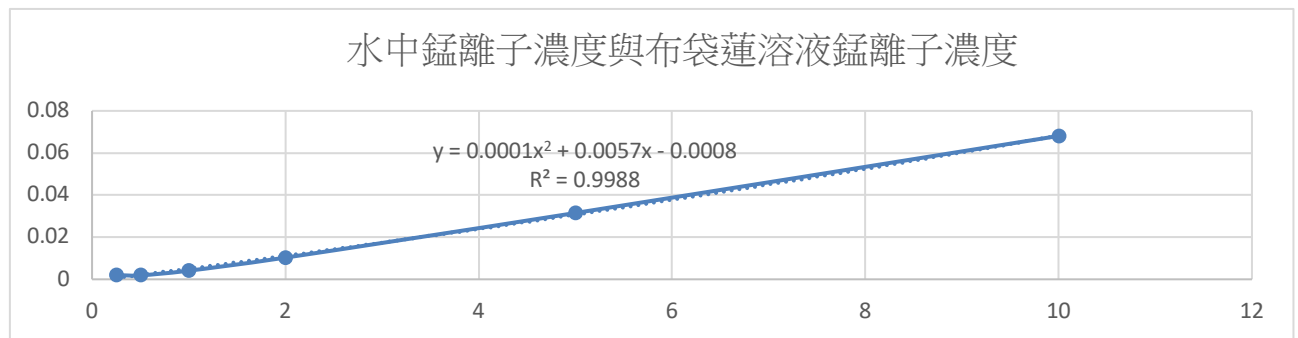
(四)實驗一：水中錳離子濃度與吸收速率

操縱變因：錳離子濃度 (ppm)

控制變因：pH 7、120 小時、植株乾重 5 g

數據表格與圖表：

水中 初始濃度 (ppm)	布袋蓮溶液 Mn ²⁺ 濃度 (ppm)	布袋蓮溶液含 Mn ²⁺ (mg)	吸收速率 (mg/g/day)
0.25	0.0020	0.005	0.001
0.5	0.0019	0.03	0.006
1.0	0.0041	0.115	0.023
2.0	0.0103	0.205	0.041
5	0.0315	0.360	0.072
10	0.0681	0.475	0.095



討論：

低濃度區 (<1 ppm)：吸收速率快速上升

錳離子濃度低時，布袋蓮根部的吸附位點 (binding sites) 空位很多，幾乎所有進入水中的 Mn^{2+} 都會被「抓走」。吸收速率隨著濃度幾乎很像線性增加。

中濃度區 (1–5 ppm)：吸收速率趨緩

吸附位點開始「佔滿」，雖然水中 Mn^{2+} 多，但植物能吸收的「速度」有限 (生理瓶頸) 曲線會進入平台期或 S 型趨勢。

高濃度區 (>5 ppm)：吸收接近飽和或反而下降

根系吸附位點幾乎被佔滿，開始無法再吸收更多，如果太高 (如 20 ppm)，甚至會抑制植物生理活動 (重金屬毒性)，吸收速率進入「飽和區或毒性抑制區」。

(五)實驗二：pH 值與吸收速率

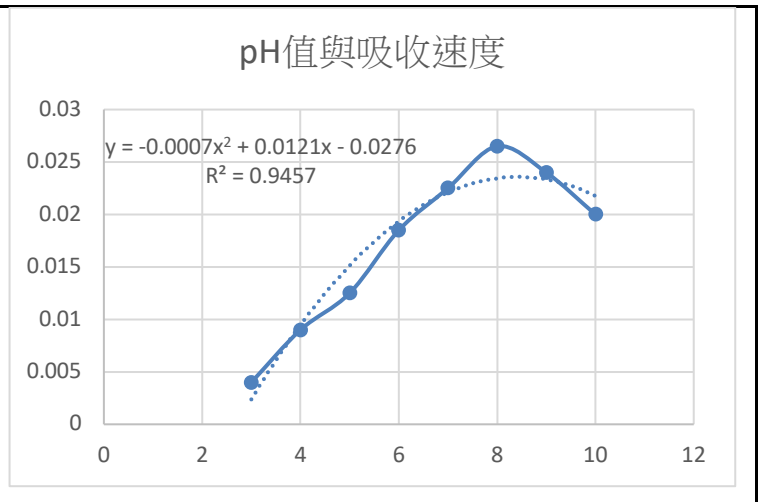
操縱變因：pH 值

控制變因： Mn^{2+} 初始濃度 1 ppm、120 小時、植株乾重 5g

說明：此實驗在於測試環境對於布袋蓮吸收錳離子的影響，布袋蓮是喜歡含有較多氮、磷的水，這種環境常見於農業排水或污水處理系統。最適合的 pH 值約在 6.5~7.5，也就是中性到微鹼性的水。實驗結果就可以預測布袋蓮是否可以投放到酸鹼極端的環境中。

數據表格與圖表：

pH 值	水中剩餘濃度 (ppm)	吸收速率 (mg/g/day)
3	0.92	0.004
4	0.84	0.009
5	0.75	0.0125
6	0.63	0.0185
7	0.55	0.0225
8	0.47	0.0265
9	0.52	0.024



討論：

pH < 4 (偏酸性)

吸收效率低，雖然 Mn^{2+} 在水中穩定存在，但植物會因酸性傷害根部，吸收能力下降。有研究顯示，在 pH 3–4 吸收速率只有中性的一半甚至更少。

pH 5–6 (弱酸性)

吸收效果開始變好， Mn^{2+} 離子穩定，植物也較能忍受此酸度，屬於「過渡區」，吸收效率逐漸上升。

pH 6.5–7.5 (中性 ~ 微鹼性) ← 最佳範圍

是布袋蓮吸收 Mn^{2+} 的黃金區間，根部吸收活性高， Mn^{2+} 存在型態穩定，不易沉澱。

pH 8–9 (偏鹼性)

吸收速率開始下降，因為部分 Mn^{2+} 開始轉變為 $Mn(OH)_2$ 沉澱，植物抓不到。若加上過多氨水或 NaOH，會產生混濁、吸光度干擾。

pH > 9.5 (高鹼性)

大量 Mn^{2+} 形成 不溶性氫氧化物，錳變成沉澱或膠體 → 無法被布袋蓮吸收，吸收速率可能趨近於 0。

(六)實驗三：植物部位與 Mn^{2+} 累積

操縱變因：組織部位 (根 vs 葉)

控制變因： Mn^{2+} 初始濃度 2 ppm、pH 7、120 小時、取植株乾重為根與葉各 2 g

說明：植物水份運輸是由根往上運輸，如果可以找出根葉之間的錳離子濃度差異，就算只能取到植物的部份營養器官，也可以用來預測錳離子在水中的濃度。

數據表格與圖表：

討論：根的錳離子累積量大於葉，對於累積與吸收錳，根起到了很大的作用。

部位	布袋蓮 Mn^{2+} (mg)	吸收速率 (mg/g/day)
根	0.65	0.065
葉	0.14	0.014

五、結論與生活應用

- 1.布袋蓮對水中錳離子的吸收速率會隨著**初始濃度增加而上升**，但當濃度高於 10 ppm 時，吸收速率趨於平緩，出現**吸附飽和現象**。
- 2.在中低濃度（1 – 5 ppm）區間時吸收最穩定，也最符合自然環境中的污染情境。此實驗說明布袋蓮對錳有高效率的吸附潛力，但過高濃度可能導致植物吸收能力下降。
- 3.布袋蓮對錳離子的吸收效果與水體 pH 值密切相關。當 pH 為 6.5 – 8.0 時，吸收速率達到最佳，因為此範圍內錳離子穩定存在，且植物生理最適。
- 4.在偏酸（pH 3 – 5）或偏鹼（pH > 9）環境下吸收效率顯著下降，可能因根部損傷或金屬離子沉澱所致。
- 5.實驗結果顯示，**錳離子大部分累積在布袋蓮的根部**，葉部僅有少量累積。根部吸收量平均約為葉部的 4 – 5 倍，證實布袋蓮是「**根系主吸附型植物**」。葉部可作為監測輔助指標，但主要吸附功能仍仰賴發達的根系。

生活應用：

- 1.可應用於簡易家庭式水質淨化裝置（如陽台盆栽水耕池），減少含錳廢水進入排水系統。
- 2.在農業灌溉回收水或工地排水中，可利用布袋蓮協助去除重金屬雜質。
- 3.可作為社區或學校的人工溼地設計植物，提供低成本綠色解方。
- 4.布袋蓮易取得、成長快速，是設計學生科學探究實驗的理想材料。
- 5.可搭配分光光度法、滴定法等工具，實作重金屬檢測與水質變化分析。
- 6.能融入自然科、環境教育、永續發展議題課程，提升學生跨領域實作能力。

參考資料

- 1.Kularatne et al. (2009). Phytoextraction in Constructed Wetlands. Bioresource Technology.
- 2.Huang et al. (2020). Accumulation of Mn in Water Hyacinth. Environmental Research.
- 3.Jiménez-Moleón et al. (2010). Influence of pH and Mn concentration on uptake by Eichhornia. Water Science & Technology.
- 4.Guayjarernpanishk & Sampanpanish (2024). Heavy Metal Uptake by Aquatic Plants. International Journal of Environmental Studies.