

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	030011
參展科別	化學
作品名稱	製備藻類衍生物碳點與 Mxene複合材料並應用 高效超級電容

就讀學校	臺北市立第一女子高級中學
指導教師	姚月雲 張煥宗
作者姓名	簡妤安

關鍵詞	<u>碳點、MXene 複合材料、超級電容</u>
-----	---------------------------

作者簡介



我是北一女中數理資優班的簡好安，因為對於化學有興趣，所以選擇以化學作為研究領域。很高興有機會能在高一時就到長庚做實驗，感謝教授給我許多實驗上的建議，感謝學長們教導我進行實驗，跟我討論實驗結果，也感謝一直支持我的專研老師、同學、家人，讓我在專研的路上得以持續前進。

2025年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區 別：北 區

科 別：化學科

作品名稱： 製備藻類衍生物碳點與 Mxene 複合材料並應用高效
超級電容

關鍵詞：碳點、MXene 複合材料、超級電容

編號：

摘要

本研究運用綠藻、螺旋藻、卡拉膠 (k, i, λ) 進行製備碳點並應用高效超級電容。本實驗已完成綠藻、螺旋藻、卡拉膠 (k, i, λ) 在不同的 pH 值中的溶解度測試，並找出綠藻、螺旋藻、卡拉膠 (k, i, λ) 各自適合溶解的溫度及溶液。此外，中途也已透過文獻中的實驗證實我們實驗中所運用的電化學實驗設計及裝置可以成功製備出碳點。而在電化學製備碳點的部分，目前完成單獨藻類、藻類加 histidine 的電擊實驗以及測其吸收光譜，也運用先前製備出較穩定的碳點加入 MXene 進行電化學分析，透過碳點擴大 MXene 分層，以達到增加 MXene 電化學效能的效果。最後，預計之後將進行更多的電化學分析，進一步地確認碳點結合 MXene 能在超級電容的應用。

Abstract

This study utilizes green algae, spirulina, and carrageenan (k, i, λ) to prepare carbon dots and apply them in high-performance supercapacitors. The solubility tests of green algae, spirulina, and carrageenan (k, i, λ) at different pH levels have been completed, and the suitable temperatures and solutions for dissolving each of them have been determined. In addition, experiments from the literature have confirmed that the electrochemical experiment design and apparatus used in our study can successfully produce carbon dots.

Regarding the electrochemical preparation of carbon dots, the electrode experiments using algae alone, as well as algae combined with histidine, have been completed, and their absorption spectra have been measured. The previously prepared, more stable carbon dots have also been incorporated with MXene for electrochemical analysis, where the carbon dots help expand the MXene layers, enhancing MXene's electrochemical performance. Finally, more electrochemical analyses are planned to further confirm that the combination of carbon dots and MXene can be effectively applied in supercapacitors.

壹、前言

一、研究動機

最近的能源問題愈來愈嚴重，想藉由用不同藻類置備碳點，找出能永續環保的能源來源。碳點具有高表面積與體積比，也有類似石磨烯結構，有利於電子傳遞過程，碳點之製備簡易、快速，且易於改質和修飾，碳點之水溶性佳、化學穩定性高、生物相容性高，其製備和應用皆符合現今綠色化學趨勢。想要利用電化學方式製備碳點則是因為文獻中提及電化學方式也可以成功製備出碳點，而且時間可以比燃燒法快產出，所以就想要將電化學方式運用在藻類上，希望可以增加製備碳點的效率。而在試過單純電擊藻類沒有成效後，經由教授及學長的建議後，在藻類中加入易生成碳點的 histidine，希望可以影響 histidine 碳點的生成效率或產率。

隨著能源問題日益嚴重，開發可持續和環保的能源材料變得尤為重要。我們選擇藻類作為 CQDs 的前驅物，主要基於以下幾點考慮：

1. 藻類為自然界豐富存在之物，容易取得
2. 藻類製成的碳點符合現今綠色化學趨勢

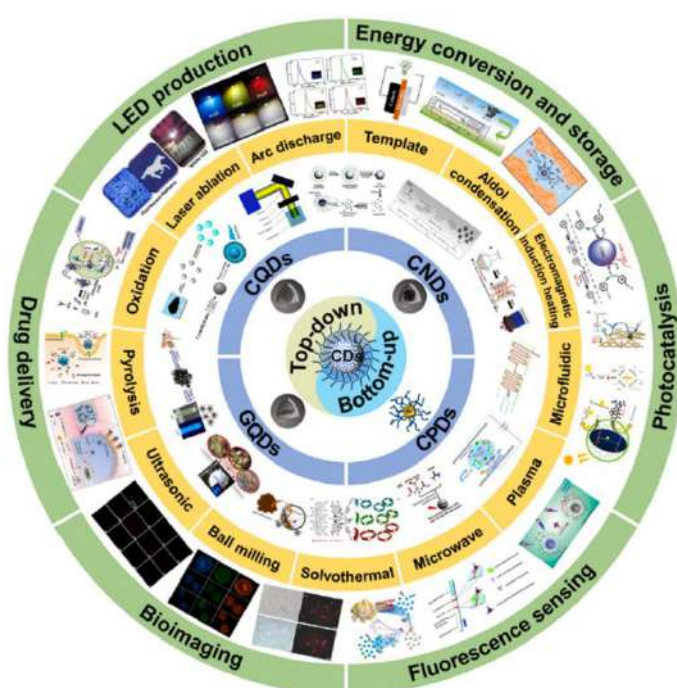
二、研究目的

- (一) 探討綠藻、螺旋藻及三種卡拉膠 (k, i, λ) 的溶解狀況
- (二) 探討文獻中電化學實驗的可行性
- (三) 運用綠藻、螺旋藻、三種卡拉膠進行電化學實驗及測其吸收光譜
- (四) 分析電化學實驗的吸收光譜並進行產物探討
- (五) 將綠藻、螺旋藻、三種卡拉膠加入 Histidine (0.126M、0.063M) 及其對照組進行電化學實驗及測其吸收光譜
- (六) 測藻類+ histidine+ MXene 及其對照組的電化學分析 (CV, GCD)
- (七) 將電化學實驗成果運用在電化學儲能運用上

三、文獻回顧

(一) 碳點與電化學儲能

從圖(一)中可以了解到碳點不同的製備方式、不同種類的碳點以及碳點可能的運用，碳點製備大致分為兩個方向，由上到下以及由下到上，其中的方式則包括電弧放電法、雷射銷蝕法、電化學合成法、化學氧化法、燃燒法、水熱合成法、微波合成法、模板法等。而碳點種類可以分為碳量子點、石墨烯量子點、碳化聚合物點、碳奈米點。碳點的應用也有很多，包含電化學儲能、LED 產品、藥物運送、生物相關應用等等。

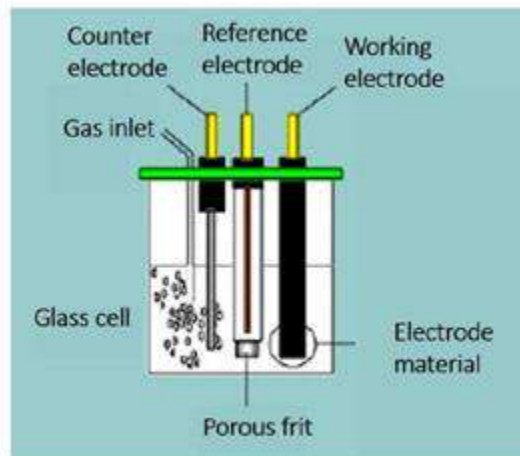


圖一、各類碳點及其應用(資料來源：Huaxin Liu，2004)

(二) 電化學系統介紹

電化學是一門研究化學變化與電能之間關係的學問，電化學分析法是在一個電化學反應系統中，藉由偵測具電性物質產生氧化還原電流值作為訊號的來源進而推算分析物的含量及性質，達到定量及定性的結果。

電化學反應系統主要由陰陽極及電解質溶液三者間電荷傳遞所構成，電化學系統包括電解槽系統、電解液系統、電極材料及外環電路系統。三電極系統(three-electrode system)為目前最使用的電化學系統。三電極分別為工作電極(working electrode)、參考電極(reference electrode)、輔助電極(counter electrode)所組成，如圖(二)，工作電極為要測量的材料，參考電極被用作其他電位的參考點，而此實驗使用的參考電極是汞電極，對電極的作用是讓整個電路得以作用。輔助電極則扮演與工作電極相對應的角色，當工作電極進行氧化反應時，輔助電極則進行還原反應，反之亦然，輔助電極不參與電化學反應僅提供電荷平衡功能。一般而言，輔助電極材料選用白金，其特性是具有高穩定性與高導電性進而完成電子迴路。



圖二、三極裝置圖(資料來源：許乃月，2016)

(三) 循環伏安法 (Cyclic Voltammetry, CV)

循環伏安法 (Cyclic Voltammetry, CV) 是一種重要的電化學分析技術，主要用於研究電極表面的氧化還原反應。這種方法的核心是通過控制電極電位的變化來觀察電化學反應。

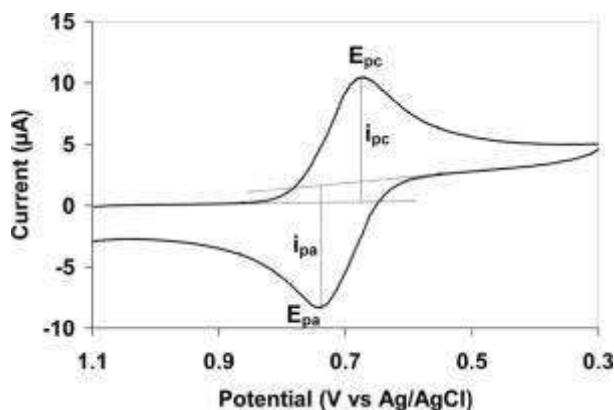
CV 實驗的基本過程如下：

1. 從預設的起始電位開始
2. 以固定速率 (mV/s) 向目標電位掃描
3. 到達轉折電位後反向掃描回起始點
4. 形成一個完整的電位循環

在掃描過程中，當電位達到能引發氧化還原反應的區域時，會出現明顯的電流響應。例如，在可逆體系中，從低電位向高電位掃描時會出現氧化峰 (anodic peak)，反向掃描時會出現還原峰 (cathodic peak)。CV 圖譜 (電流-電位曲線)，如圖(三)，提供了豐富的信息：

1. 峰電位 (E_p)：反應發生的電位區間
2. 峰電流 (i_p)：與電活性物種濃度和電子轉移動力學有關
3. 峰形狀和峰間距 (ΔE_p)：用於判斷反應的可逆性

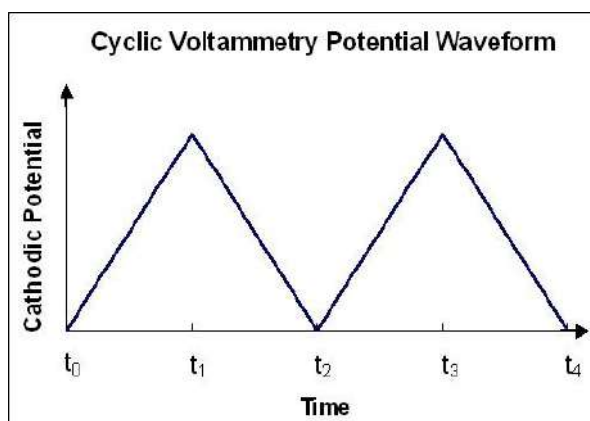
循環伏安法可用於(1)定性分析：確定氧化還原反應的電位(2)定量分析：通過峰電流大小(3)動力學研究：通過改變掃描速率。CV 是電化學研究中的重要工具，廣泛應用於電極過程研究、新型電催化劑開發和電化學傳感器設計等領域。



圖三、典型循環伏安圖 (資料來源：參考文獻十二)

(四) 恒流通放電(Galvanostatic Charge-Discharge, GCD)

GCD 測試的基本原理是在恆定電流下對電化學裝置進行充電和放電，同時記錄電壓隨時間的變化，見圖(四)。這種方法能夠提供豐富的信息，包括電容量、庫倫效率、能量密度和功率密度等關鍵參數。



圖四、循環伏安法中外加電位曲線(資料來源：參考文獻十二)

GCD 曲線的特點：

1. 縱軸代表電壓 (V)，橫軸代表時間 (s)。
2. 理想的電容器會呈現近似三角形的線性充放電曲線。
3. 實際系統中，曲線可能會出現一定程度的彎曲，這反映了電極材料的電容性質和內部電阻。

GCD 分析的重要性：

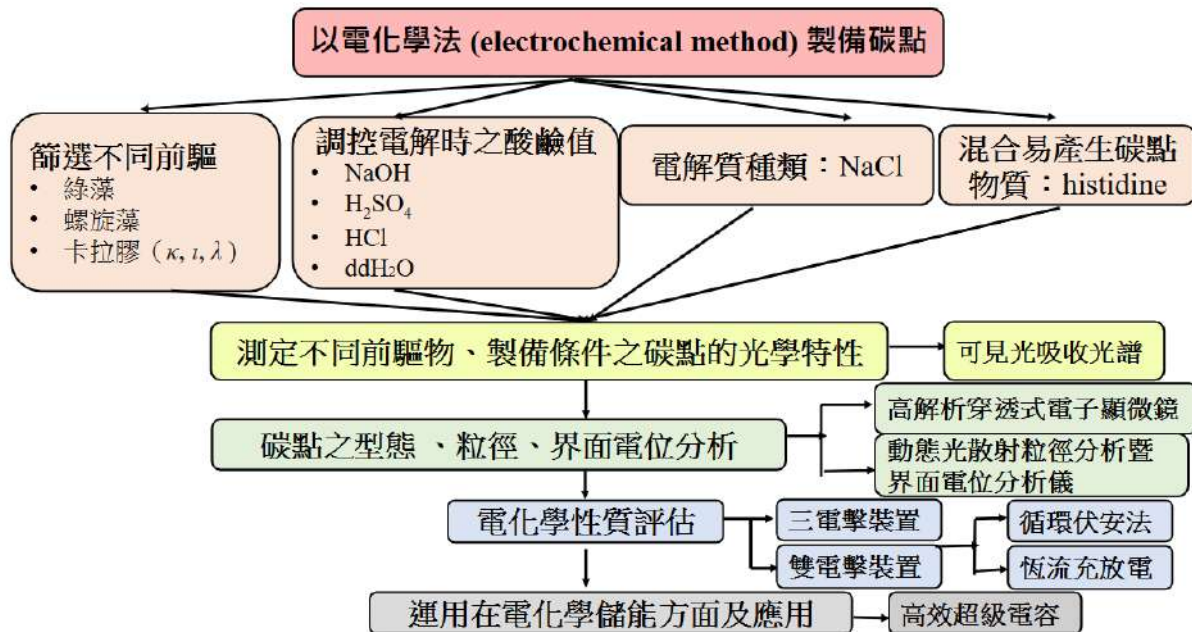
1. 容量評估：通過計算充放電曲線下的面積，可以準確估算電化學裝置的容量。
 2. 循環穩定性：重複進行 GCD 測試可以評估電極材料在多次充放電過程中的性能衰減情況。
 3. 庫倫效率：比較充電和放電過程中轉移的電荷量，可以計算出裝置的庫倫效率。
 4. 能量和功率密度：GCD 數據可用於計算實際應用中的能量和功率輸出
- GCD 數據的解釋可能受到多種因素的影響。例如，電荷重分佈效應可能導致 GCD 曲線出現彎曲，從而影響容量、能量和功率密度的計算。因此，在分析 GCD 數據時，我們必須考慮這些潛在的影響因素，以確保結果的準確性和可靠性。

(五) MXene

MXene 是一類新興的二維(2D) 過渡金屬碳化物、碳氮化物和氮化物，於 2011 年由 Drexel 大學的 Yury Gogotsi 和 Michel Barsoum 團隊首次報導。這類材料的通式為 $M_{n+1}X_nT_x$ ($n = 1, 2, 3$)，其中 M 代表過渡金屬（如 Ti、V、Nb 等），X 代表 C 和/或 N， T_x 代表表面終端基團（如 -OH、-O、-F 等）。它們具有多種不同的特性，高電導率、大比表面積、優秀的機械性能、可調控的表面化學性質、這些特性使 Mxene 在多個領域展現出應用潛力：能源儲存、電磁干擾屏蔽、水淨化、電催化和醫學等。由於這一前景，對 MXene 的研究量不斷增加，合成和加工方法也迅速擴展。與其他 2D 材料（如石墨烯）相比，MXene 提供了金屬導電性，這是許多 2D 材料所缺乏的特性。MXene 的導電性和可調控表面化學的結合使其在能量儲存和電催化領域表現出色。隨著研究的深入，MXene 有望在未來的能源、環和生物醫學等領域發揮重要作用。

貳、研究方法或過程

一、實驗流程圖

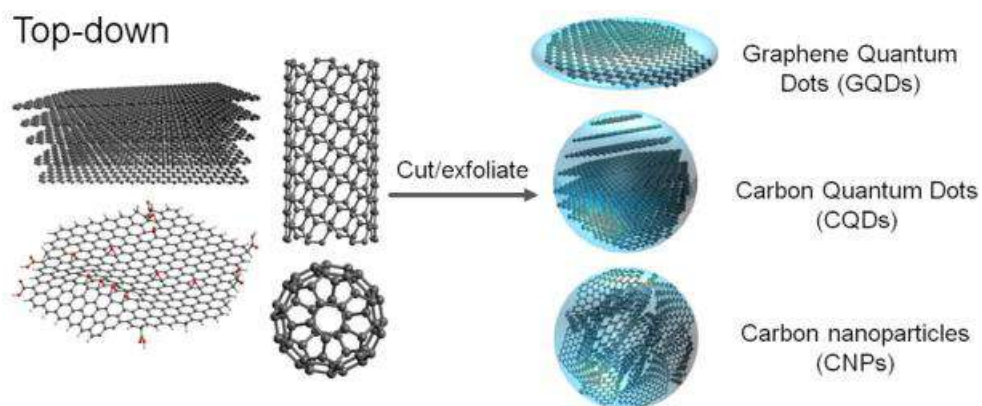


(研究者自行繪製)

二、研究原理

(一) 電化學法製備碳點

利用電化學製備碳點屬於由上而下的製備方法，而在自上而下方法的優點包括了可以擴大碳點生產的可能性以及可以生成明確的碳點結構。另一方面，由下而上的方法比較難調節，因為會形成需要進一步純化的副產物。



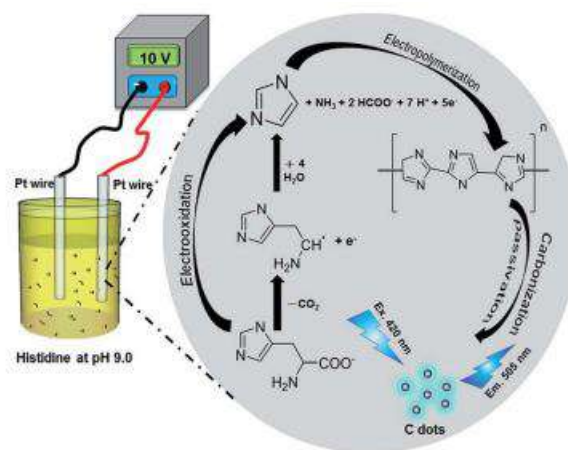
圖五、碳點的其中一類製備方式，此為 top-down 的示意圖(資料來源：D. Ozyurt,2023)

(一) 電化學

電化學法製備碳點的核心機制之一是自由基的生成。在高電場和電解液的作用下，碳材料的分子鍵被打破，生成不穩定的碳自由基。這些碳自由基會隨後與電解質中的水分子或溶解氧發生反應，形成新的碳簇，逐漸縮小至納米尺度。碳點的表面化學性質在電化學過程中受到嚴重影響，特別是官能團的修飾。這些官能團（如羧基、羥基等）在電場的作用下通過化學吸附、共價鍵或氫鍵與碳點表面結合，影響其光學和電子性質。

隨著碳材料分解成納米尺寸的碳點，量子尺寸效應開始顯現。碳點的電子能隙會隨著尺寸的減小而增大，從而改變其光學、電子性質。在電化學過程中，這種尺寸效應受到電場強度和反應時間的強烈影響，最終決定了碳點的發光性質及其在超級電容器等應用中的性能。

電化學法通過利用電化學反應來製備碳點，將較大的碳基材料分解為碳點，可以藉由調整電擊過程中不同的參數來取得符合預期的產物，並且具有相對簡單、可控性高和環境友好的特點，製備過程符合現今綠色化學趨勢。

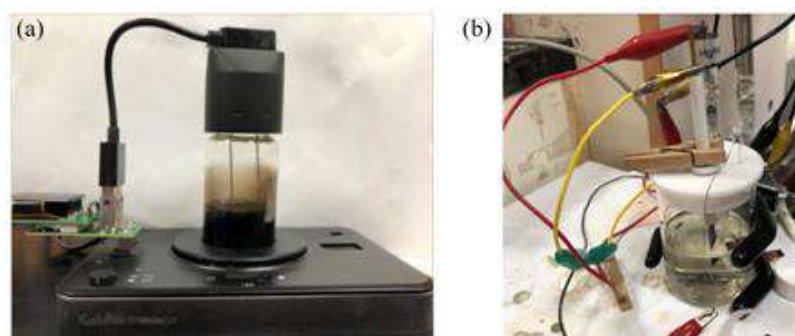


圖六、電化學法在製備碳點時過程中的化學反應(資料來源：Yu-Syuan Lin,2019)

三、研究設備與藥品

(一) 實驗設備及儀器

吸收光譜儀、螢光光譜儀、離心管架、電化學裝置、離心機、離心管、移液器、加熱器、天秤、pH 計、電化學分析裝置



圖七、(a)電化學裝置示意圖 (研究者自行拍攝)(b)電化學分析裝置示意圖(研究者自行拍攝)

(二) 藥品

綠藻、螺旋藻、氫氧化鈉、卡拉膠(K、i、 λ)、氯化氫、去離子水、氯化鈉、硫酸、Histidine、Mxene

四、實驗步驟 (或是研究方法與步驟)

(一) 探討綠藻、螺旋藻及三種卡拉膠 (k, i, λ) 的溶解狀況

1. 將綠藻從冰箱中取出，等候回到室溫狀態
2. 將氫氧化鈉、氯化氫、硫酸配製成相同濃度(0.2 M， 4.5 mL)
3. 測量四份綠藻的質量裝入離心管
4. 分別將綠藻加入去離子水、0.2 M 氫氧化鈉、0.2 M 氯化氫、0.2 M 硫酸，搖晃均勻，讓綠藻與溶液形成 20mg/mL
5. 四管分別取兩份 1000 μ l 裝入兩個離心管，將其中一管加熱 (85 °C)，另一管維持室溫，之後分別拿去離心機中離心 (30min, 4°C, 500rcf)
6. 將步驟五的溶液取離心後的上清液用背景溶液稀釋 10 倍及 100 倍，並測其吸收光譜(原液 1X、稀釋 10 倍 0.1X、稀釋 100 倍 0.01X)
7. 分別將螺旋藻及三種卡拉膠 (k, i, λ) 取出，重覆上述步驟 1.~6，進而觀察其溶解狀況

(二) 探討文獻中 Histidine 電化學實驗的可行性

1. 算 0.63 M Histidine、10 mL，裝入離心管中
2. 配製 4M 氯化鈉及 4M 氫氧化鈉
3. 在離心管中先後加入 Histidine、氯化鈉、氫氧化鈉，確認 Histidine 沒有沉澱
4. 將混合後的溶液放入 pH 計中，用濃度 12.1 M 硫酸將 pH 值調整到 pH7
5. 先清洗電擊瓶及電極，再取 10 ml 混合溶液放入電化學電擊瓶中
6. 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30、60 min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
7. 將電擊後的溶液用背景溶液稀釋 10 倍及稀釋 20 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 100 倍 0.01 X、稀釋 20 倍 0.05 X)

(三) 運用綠藻、螺旋藻、三種卡拉膠進行電化學實驗及產物探討

1. 綠藻+ 氫氧化鈉

- (1) 從冰箱中拿出綠藻，等候綠藻回到室溫
- (2) 配製 1 M 氯化鈉及 0.2 M 氫氧化鈉
- (3) 在離心管中加入綠藻及氫氧化鈉，讓綠藻與溶液形成 1mg/mL 混合溶液
- (4) 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
- (5) 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30、60 min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
- (6) 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 10 倍、稀釋 20 倍、稀釋 40 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 10 倍 0.1X、稀釋 20 倍 0.05X、稀釋 40 倍 0.025X)

2. 螺旋藻+ 水

- (1) 從冰箱中拿出螺旋藻，等候螺旋藻回到室溫
- (2) 配製 1 M 氯化鈉
- (3) 在離心管中加入螺旋藻及 1M 氯化鈉，讓螺旋藻與溶液形成 1 mg/mL 溶液

- (4) 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 20ml 混合溶液放入電擊瓶中
- (5) 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30、60 min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
- (6) 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 5 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 5 倍 0.2X)

3. K - 卡拉膠+ 氯化氫

- (1) 從冰箱中拿出 K - 卡拉膠，等候 K - 卡拉膠回到室溫
- (2) 配製 1 M 氯化鈉及 0.2 M 氯化氫
- (3) 在離心管中加入 K - 卡拉膠及氯化氫，讓 K - 卡拉膠與溶液形成 1mg/mL 混合溶液
- (4) 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
- (5) 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30、60 min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ L 至離心管中
- (6) 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 100 倍，並測其吸收光譜(稀釋 100 倍 0.01X)

(四) 將綠藻、螺旋藻、三種卡拉膠分別加入不同濃度 Histidine 進行電化學實驗

1. 從冰箱中拿出分別取出綠藻、螺旋藻、三種卡拉膠，等候溫度回到室溫
2. 配製 4M 氯化鈉及 4M 氫氧化鈉，共需 10ml，分別再加入 20mg 綠藻、螺旋藻或三種卡拉膠
3. 在另一管加入 10ml 水及不同濃度的 Histidine (0.126M、0.063M)
4. 取步驟 2 的 5ml 及 步驟 3 各 5ml 均勻混合
5. 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
6. 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
7. 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 200 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 200 倍 0.005X)

(五) 將綠藻、螺旋藻、三種卡拉膠分別不同酸鹼中進行電化學實驗

1. 綠藻+氫氧化鈉

- (1) 從冰箱中拿出綠藻，等候綠藻回到室溫
- (2) 配製 4M 氯化鈉及 4M 氫氧化鈉，共需 10ml，再加入 20mg 綠藻
- (3) 在另一管加入 10ml 水
- (4) 取(2) 5ml 及 (3) 5ml 均勻混合
- (5) 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
- (6) 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
- (7) 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 200 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 200 倍 0.005X)

2. 螺旋藻+氫氧化鈉

- (1) 從冰箱中拿出螺旋藻，等候螺旋藻回到室溫
- (2) 配製 4M 氯化鈉及 4M 氫氧化鈉，共需 10ml，再加入 20mg 螺旋藻
- (3) 在另一管加入 10ml 水
- (4) 取(2) 5ml 及 (3) 5ml 均勻混合
- (5) 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
- (6) 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
- (7) 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 400 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 400 倍 0.0025X)

3. 螺旋藻+水

- (1) 從冰箱中拿出螺旋藻，等候螺旋藻回到室溫
- (2) 配製 4M 氯化鈉，共需 5 ml，先加 5 ml 水，再加入 20mg 螺旋藻
- (3) 在另一管加入 10ml 水
- (4) 取(2) 5ml 及 (3) 5ml 均勻混合

- (5) 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
- (6) 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
- (7) 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 400 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 400 倍 0.0025X)

4. λ -卡拉膠+ 鹽酸

- (1) 從冰箱中拿出 λ -卡拉膠，等候 λ -卡拉膠回到室溫
- (2) 配製 4M 氯化鈉及 4M 鹽酸，共需 10ml，再加入 20mg λ -卡拉膠
- (3) 在另一管加入 10ml 水
- (4) 取(2) 5ml 及 (3) 5ml 均勻混合
- (5) 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
- (6) 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
- (7) 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 400 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 400 倍 0.0025X)

(六) 不同濃度的 Histidine 在酸鹼中的進行電化學實驗及產物探討

1. 配置配製 4M 氯化鈉及 4M 氫氧化鈉，共需 10ml
2. 配置配製 4M 氯化鈉 5ml 及水 5ml，共需 10ml
3. 配置配製 4M 氯化鈉及 4M 鹽酸，共需 10ml
4. 在另一管加入 10ml 水及不同濃度的 Histidine (0.063M、0.126M)
5. 分別取 5ml 步驟 1 +5ml 步驟 4、5ml 步驟 2+5ml 步驟 4、5ml 步驟 3+5ml 步驟 4 均勻混合
6. 先清洗電化學電擊瓶及電極，再取 10 mL 混合溶液放入電擊瓶中
7. 記錄電擊時間 0、1、3、5、8、10、30min 的顏色變化(拍照)及在各個時間中取 100 μ l 至離心管中
8. 將電擊後的溶液用水溶液稀釋 400 倍後，並測其吸收光譜(稀釋 400 倍 0.0025X)

(七) 進行螺旋藻+histidine+Mxene 的電化學分析

表一 (研究者自己繪製)

樣本	內容
Sample 1 (S1)	螺旋藻+ 氫氧化鈉+ histidine (0.126M) 電擊 30min 的溶液
Sample 2 (S2)	histidine (0.126M) 電擊 30min 的溶液

1. 分別取 S1 與 S2 與 MXene (2.3mg/ml) ，等候回到室溫。
2. 分別在 15ml 離心管中先加入 4.35ml Mxene ，再加入 5.05ml 水及 100 μ l 氨水
3. 分別加入 S1 與 S2 溶液。
4. 將溶液超音波震盪 3min 後，旋轉 30min 等待沉降，去除上方液體
5. 將剩餘溶液均勻分在兩管 1ml 離心管中，離心 5min, 5200 Rcf
6. 去除上清液，在兩管中各加入 1ml NMP
7. 將兩管的混合溶液都加入另一小管，加入磁石，旋轉直到溶液完全均勻分散
8. 取兩個 1*3 cm 的碳片，滴 50 μ l 混合溶液至 1*1 cm 的範圍內，以 60 °C 烘乾
9. 全乾燥之後，再滴 50 μ l，以 60 °C 烘乾
10. 烘乾後，滴 15 μ l NaFion，再拿去烘乾
11. 測其電化學分析 (CV、GCD)

(八) 進行對照組的電化學分析

表二 (研究者自行繪製)

樣本	內容
Sample 3 (S3)	MXene
Sample 4 (S4)	螺旋藻+ 氫氧化鈉+ histidine (0.126M) 電擊 30min 的溶液
Sample 5 (S5)	histidine (0.126M) 電擊 30min 的溶液

1. 從冰箱中拿出分別取出 S3、S4 及 S5 溶液，等候回到室溫
2. 取兩個 1*3 cm 的碳片，滴 50 μ l 至 1*1 cm 的範圍內，以 60 °C 烘乾
3. 完全乾燥之後，再滴 50 μ l，以 60 °C 烘乾
4. 烘乾後，滴 15 μ l NaFion，再拿去烘乾，測其電化學分析 (CV、GCD)

(九) 進行添加不同比例碳點溶液的電化學分析

表三 (研究者自行繪製)

樣本	內容
Sample 6 (S6)	螺旋藻+ 氫氧化鈉+ histidine (0.126M) 電擊 30min 的溶液

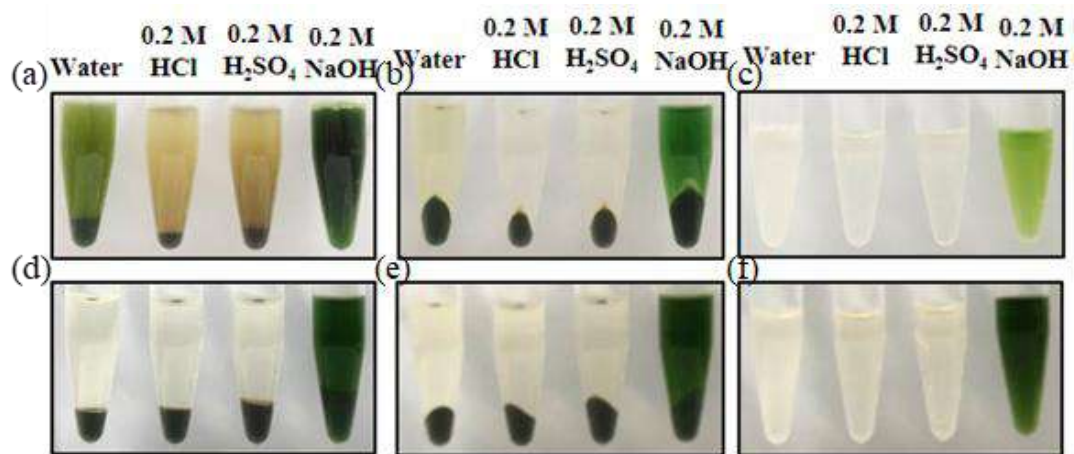
1. 分別取 S6 與 MXene (6.2 mg/ml) ，等候回到室溫。
2. 在三管 15 ml 離心管中先加入 1.65 ml Mxene，分別在一、二、三管中加入 8.2 ml 、8.05 ml 、7.3 ml 水，再統一加入 100 μ l 氨水
3. 分別在一、二、三管中加入 100 μ l 、250 μ l 、1000 μ l S6 溶液。
4. 將三管溶液超音波震盪 3min 後，旋轉 30min 等待沉降，去除上方液體
5. 分別將剩餘溶液均勻分在兩管 1ml 離心管中，離心 5min, 5200 Rcf
6. 去除上清液，在兩管中各加入 1ml NMP
7. 將兩管的混合溶液都加入另一小管，加入磁石，旋轉直到溶液完全均勻分散
8. 取兩個 1*3 cm 的碳片，滴 50 μ l 混合溶液至 1*1 cm 的範圍內，以 60 °C 烘乾
9. 全乾燥之後，再滴 50 μ l，以 60 °C 烘乾
10. 烘乾後，滴 15 μ l NaFion，再拿去烘乾
11. 測其電化學分析 (CV)

參、研究結果與討論

一、探討綠藻、螺旋藻及三種卡拉膠 (k, i, λ) 的溶解狀況

(一) 綠藻

本實驗在探討綠藻在不同 pH 環境下的溶解行為，為後續電化學實驗提供最佳溶液條件。我們選擇了四種溶液進行測試：去離子水（中性）、0.2 M 氯化氫（強酸性）、0.2 M 硫酸（強酸性）和 0.2 M 氫氧化鈉（強鹼性）。實驗分別在室溫和加熱條件下進行，以全面了解溫度對溶解性的影響。實驗過程與觀察：室溫條件下：原液狀態（圖八 a），在去離子水、氯化氫和硫酸中，綠藻均出現沉澱。在氫氧化鈉溶液中，綠藻完全溶解。離心處理（30 分鐘，4°C，500 rcf）後（圖八 b），展示了各溶液中綠藻的沉澱情況。上清液分析（圖八 c），僅氫氧化鈉溶液呈現明顯的綠色表明綠藻完全溶解。加熱條件下，溶解行為與室溫條件相似。圖八(f)顯示，離心後只有氫氧化鈉溶液中的綠藻完全溶解，呈現綠色溶液。根據實驗結果，我們發現綠藻在鹼性環境（0.2 M 氫氧化鈉）下表現出最佳的溶解性，無論在室溫還是加熱條件下均如此。相比之下，在酸性（氯化氫和硫酸）和中性（去離子水）環境中，綠藻的溶解度較低。基於這一發現，我們決定在後續的電化學實驗中採用氫氧化鈉作為背景電解質溶液。這一選擇不僅能確保綠藻的完全溶解，還可能有利於電化學反應的進行。

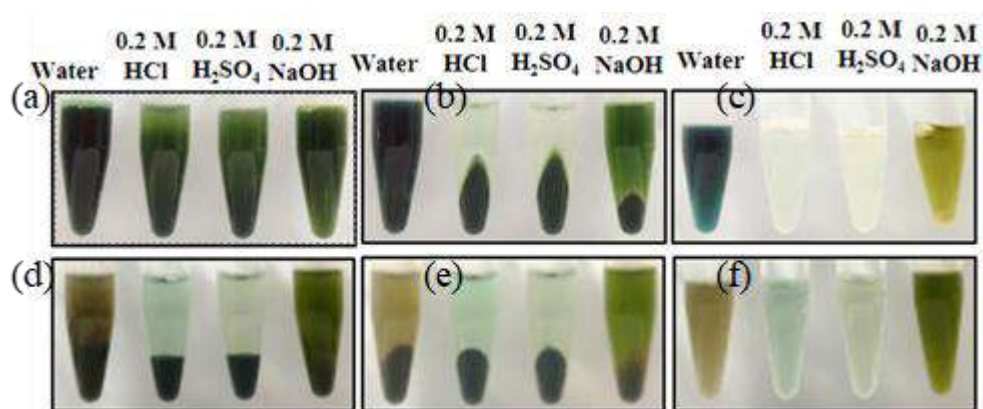


圖八、(a)綠藻分別加去離子水、鹽酸、硫酸、氫氧化鈉；(b)為(a)的離心（30 min, 4°C, 500 rcf）；(c) 離心後的上清液；(d)為(a)加熱後；(e)為(d)的離心；(f)離心後的上清液(研究者自行繪製)

(二) 螺旋藻

螺旋藻分別在去離子水、0.2 M 氯化氫、0.2 M 硫酸、0.2 M 氫氧化鈉中的溶解狀況。圖九皆為螺旋藻加去離子水、0.2 M 氯化氫、0.2 M 硫酸、0.2 M 氫氧化鈉在室溫下及加熱後的溶解狀況。圖九(a) 為原液，可以觀察到在去離子水、0.2 M 氯化氫、0.2 M 硫酸中，螺旋藻的沉澱不太容易觀察。圖九(b) 則為圖九(a) 進行離心 (30 min, 4 °C, 500 rcf) 後的沉澱狀況，便可以清楚的看到僅有去離子水和氫氧化鈉溶液成綠色。圖九(c) 則為圖九(b) 取上清液的顏色狀況，可以從中發現螺旋藻溶解在去離子水、氫氧化鈉中，使溶液成綠色。加熱後的溶解狀況與圖九(a)-(c) 的大致相同，也可以在圖九(f) 觀察到離心後，雖然 0.2M 氯化氫加螺旋藻的溶液有成淡淡的綠色，但溶解比較多的還是去離子水和氫氧化鈉。

由於螺旋藻在酸性、中性、鹼性的環境下，在中性、鹼性環境比較容易完全溶解，因此之後的電化學實驗將會使用去離子水或氫氧化鈉作為背景溶液。



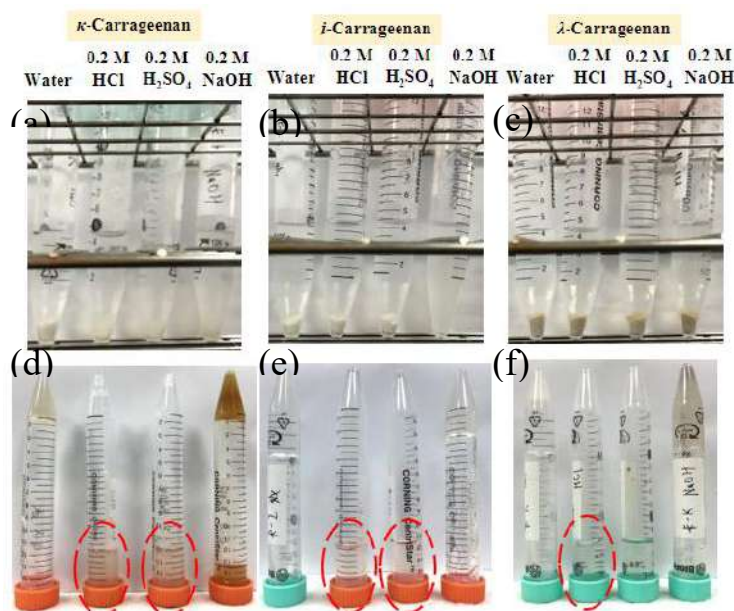
圖九、(a)螺旋藻分別加去離子水、鹽酸、硫酸、氫氧化鈉；(b)為(a)的離心 (30 min, 4 °C, 500 rcf)；(c) 離心後的上清液；(d)為(a)加熱後；(e)為(d)的離心；(f)離心後的上清液(研究者自行繪製)

(三) 卡拉膠(K、i、λ)

卡拉膠(K、i、λ)分別在去離子水、0.2M 氯化氫、0.2M 硫酸、0.2M 氫氧化鈉中的溶解狀況。圖十(a) -(c) 分別為卡拉膠(K、i、λ)加去離子水、0.2M 氯化氫、0.2M 硫酸、0.2M 氫氧化鈉在室溫下的溶解狀況。圖十(a)和圖十(c) 可以觀察到在去離子水、0.2M

氯化氫、0.2M 硫酸、0.2M 氫氧化鈉中，卡拉膠 K、卡拉膠 λ 都有明顯的沉澱。圖十(b) 可以看到卡拉膠 i 在去離子水、0.2M 氯化氫、0.2M 硫酸有明顯沉澱，在 0.2M 氫氧化鈉則可以發現形成膠狀物質。

圖十(d) -(f) 皆為卡拉膠(K、i、 λ)加去離子水、0.2M 氯化氫、0.2M 硫酸、0.2M 氫氧化鈉在 85°C 下的溶解狀況。溶解狀況與圖十(a) -(c) 的相差甚遠，在圖十(e) 和圖十(f) 可以觀察到在 0.2M 氯化氫、0.2M 硫酸中，卡拉膠 i、卡拉膠 λ 都可以溶解，但在 0.2M 氯化氫、0.2M 硫酸中，溶液加熱後形成膠狀物質。圖十(d) 可以看到卡拉膠 K 在 0.2M 氯化氫、0.2M 硫酸可以完全溶解，但在 0.2M 氫氧化鈉只能部分溶解，去離子水溶液則成膠狀物質。由於卡拉膠(K、i、 λ) 在酸性、中性、鹼性的環境下，在酸性環境比較容易完全溶解，因此之後的電化學實驗將會使用鹽酸或硫酸作為背景溶液。



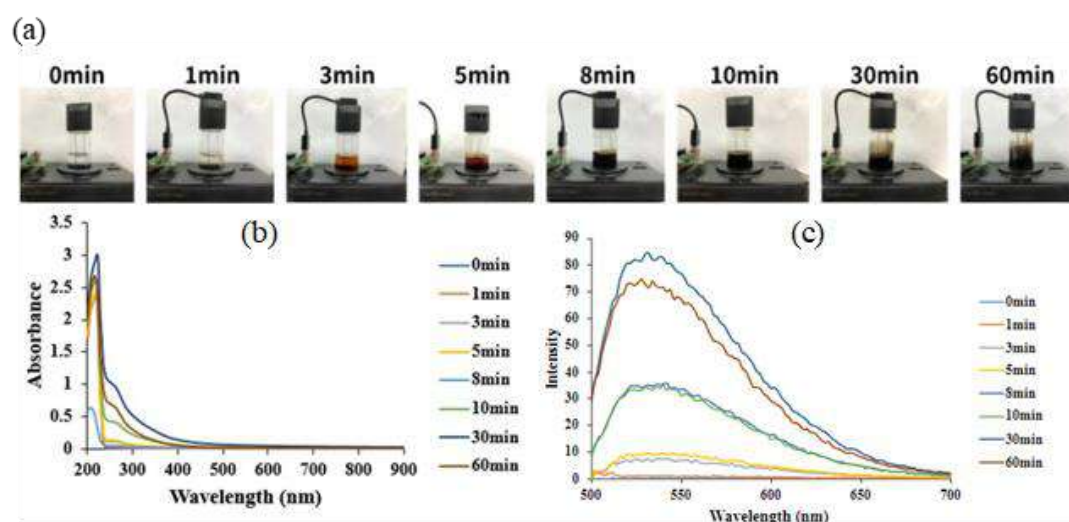
圖十 (a) k-卡拉膠分別加去離子水、鹽酸、硫酸、氫氧化鈉；(b) i-卡拉膠分別加去離子水、鹽酸、硫酸、氫氧化鈉；(c) λ -卡拉膠分別加去離子水、鹽酸、硫酸、氫氧化鈉；(d) 為(a)加熱後；(e)為(b)加熱後；(f) 為(c)加熱後(研究者自行繪製)

二、探討文獻中電化學實驗的可行性

由圖十一(a)可以觀察到 Histidine 在電擊的過程中漸漸變黑，其顏色變化與文獻上的一樣，所以可以推測黑色為碳點的形成。圖十一(b) 為電擊過程取出的溶液，稀釋 100 倍後的

吸收光譜，在此光譜中，由於大部分吸收值超過 1，因此超過一的部分較不準確，但在吸收值在 1 以下的部分，可以觀察到大致上是電擊越久，吸收值會漸漸增加，推測 30 min 及 60 min 的曲線為誤差所造成的。圖十一(c)是為電擊過程取出的溶液，稀釋 100 倍後的螢光光譜。

Histidine 在電擊過程中呈現明顯的顏色變化，由透明變為黑色，這與文獻記載的碳點形成過程相符。吸收光譜分析部分支持了這一推測，但由於高吸收值的不準確性和可能的實驗誤差，需要謹慎解讀。螢光光譜的存在提供了額外的特性信息，但需要進一步分析以得出具體結論。這些觀察結果共同指向了可能的碳點形成，但確認這一推測仍需更多的實驗證據和分析。



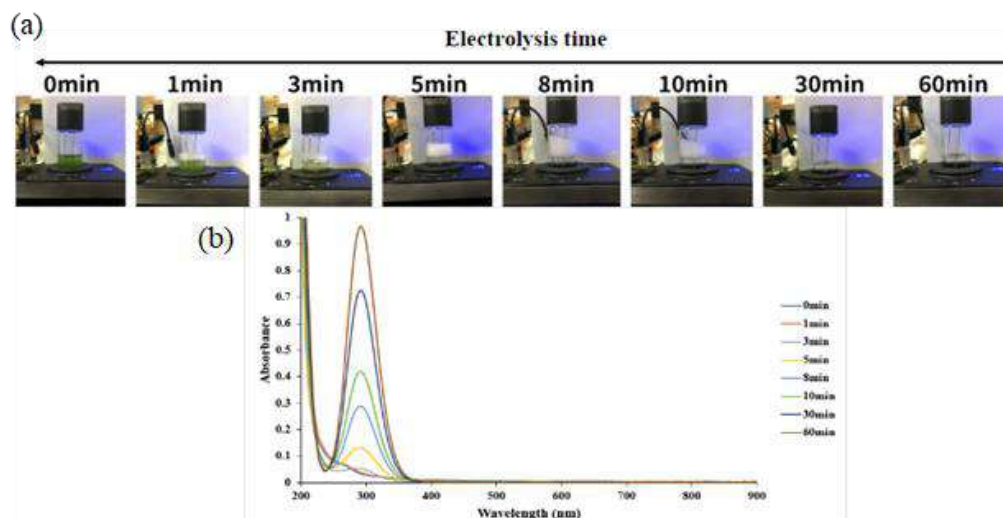
圖十一、 (a)電擊過程的顏色變化；(b)溶液吸收光譜(稀釋 100 倍 0.01X)；(c) 電擊過程的溶液螢光光譜(稀釋 100 倍 0.01X)(研究者自行繪製)

三、運用綠藻、螺旋藻、三種卡拉膠進行電化學實驗及產物探討

(一) 綠藻+ NaOH

從圖十二(a)中可以觀察到綠藻加 NaOH 電擊後顏色變化並沒有出現黑色，在第一分鐘後綠色消失，推測是因為電擊破壞了綠藻中的色素，導致綠色變成透明，但在吸收光譜中(圖十二(b))可以觀察到在接近 300 nm 的波峰，隨著電擊時間越長，波峰越高，

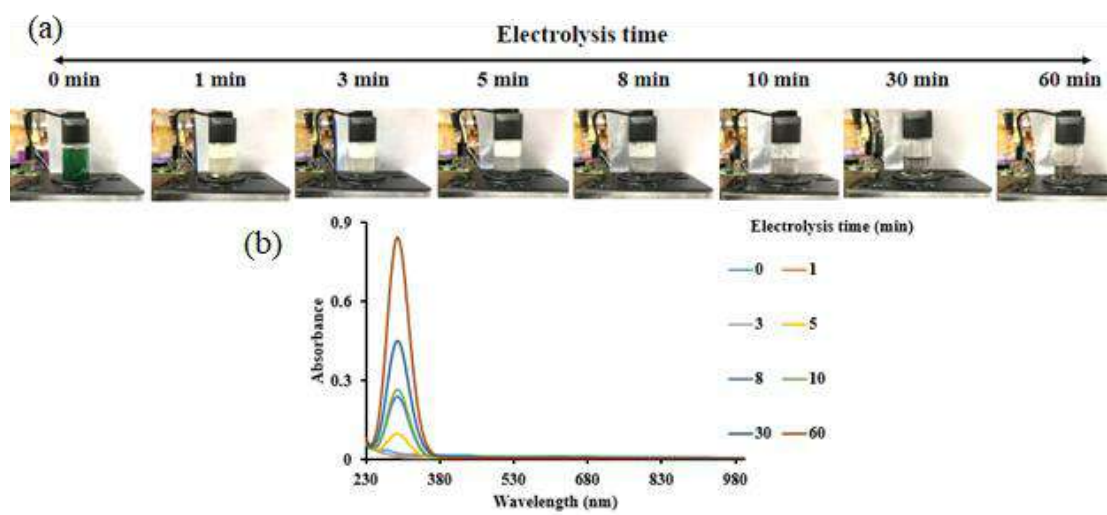
推測是有類似石墨稀的物質產生。圖十二(b)為電擊後各個時間的溶液稀釋 40 倍後的吸收光譜。



圖十二、(a)電擊過程的顏色變化；(b)溶液吸收光譜(稀釋 40 倍 0.025X)(研究者自行繪製)

(二) 螺旋藻+ 水

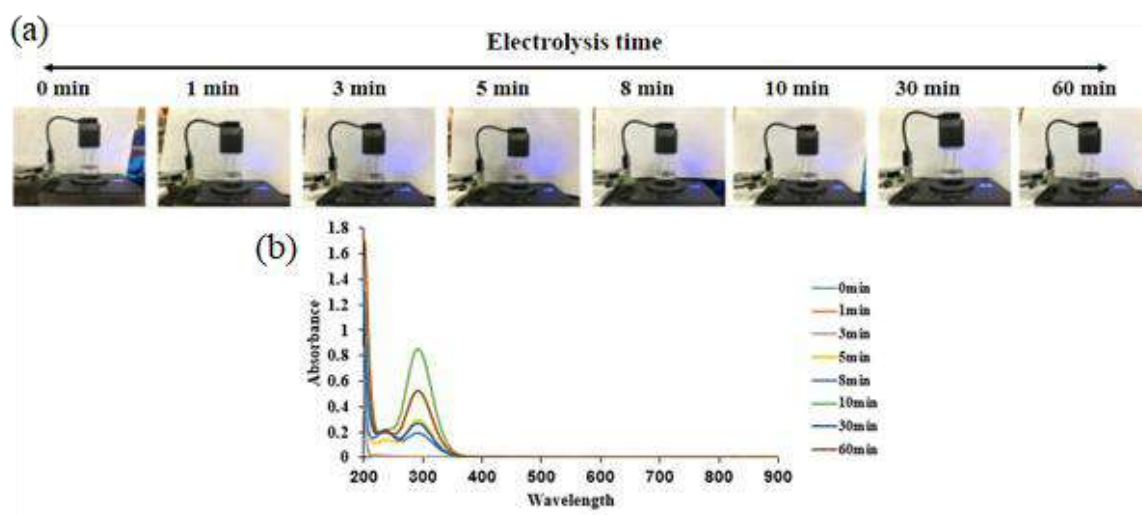
從圖十三(a)可以觀察到螺旋藻加去離子水電擊後顏色明顯有變黑，在第一分鐘後綠色消失，推測是因為電擊破壞了螺旋藻中的色素，導致綠色變成透明，但在吸收光譜中(圖十三(b))可以觀察到在接近 300 nm 的波峰，隨著電擊時間越長，波峰越高，推測是有類似石墨稀的物質產生。圖十三(b)為電擊後各個時間的溶液稀釋 20 倍後的吸收光譜。



圖十三、(a)電擊過程的顏色變化；(b)溶液吸收光譜(稀釋 20 倍 0.05X)(研究者自行繪製)

(三) K - 卡拉膠+ HCl

從圖十四(a)中可以觀察到螺旋藻加去離子水電擊後顏色沒有什麼變化，在吸收光譜中 (圖十四(b))可以觀察到在接近 300nm 的波峰，在電擊 10 分鐘時有最高吸收值。圖十四(b)為電擊後各個時間的溶液稀釋 100 倍後的吸收光譜。



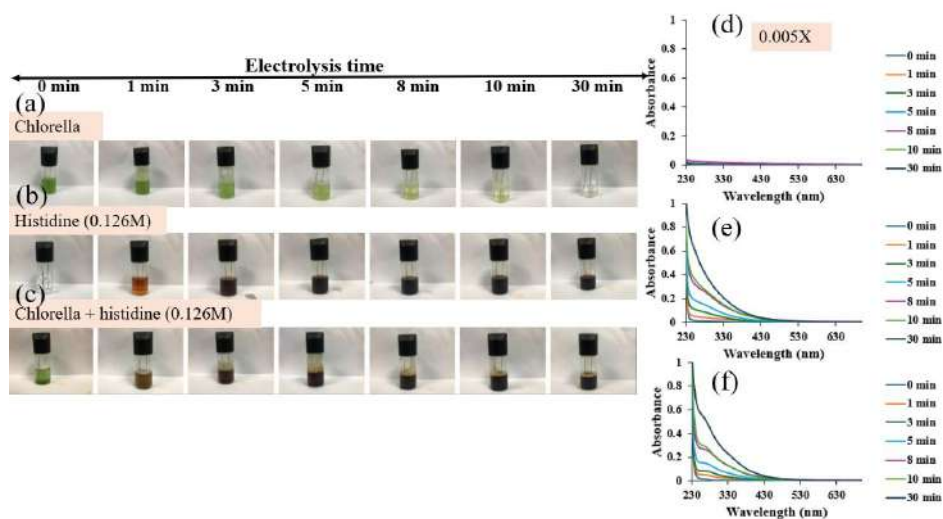
圖十四、(a)電擊過程的顏色變化；(b)溶液吸收光譜(稀釋 100 倍 0.01X)(研究者自行繪製)

四、探討將不同藻類加入不同濃度的 Histidine (0.126M、0.063M) 進行電化學實驗研究

(一) 綠藻+ NaOH+ Histidine

1. 綠藻+ NaOH+ Histidine (0.126 M)

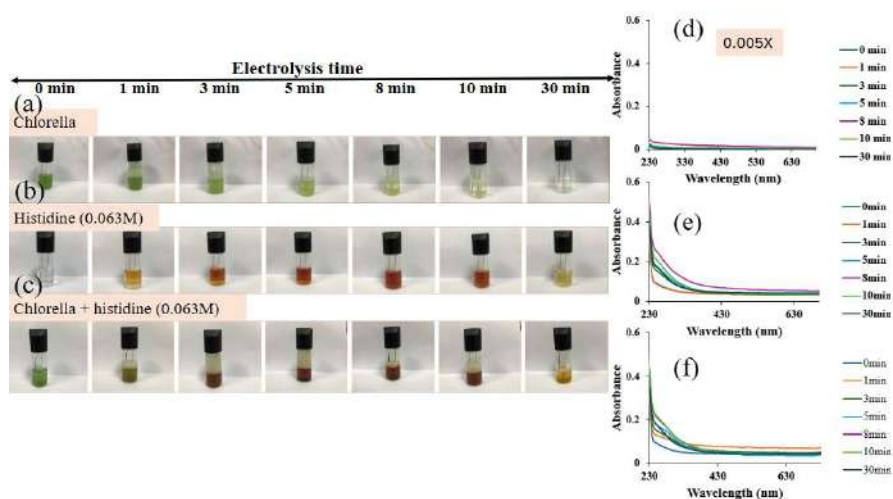
從圖十五(a)中可以看到綠藻在經過 30 min 的電擊之後，顏色從綠色轉為無色，而吸收光譜圖十五(d)中也沒有明顯的波峰。從圖十五(b)中則是可以看到有明顯的顏色變化，而且吸收光譜(e)為較平滑的曲線。圖十五(c)除了一開始的綠色大致上與圖十五(b)變化類似，不過吸收光譜(f)在大約 280nm 多了一個微小的峰，推測有可能是螺旋藻加 histidine 電擊後有新產物產生。



圖十五、(a) 綠藻電擊過程的顏色變化；(b) histidine(0.126M) 電擊過程的顏色變化；(c) 綠藻 + NaOH + histidine(0.126M) 電擊過程的顏色變化；(d)為(a)的吸收光譜；(e)為(b) 的吸收光譜；(f) 為(c) 的吸收光譜 (研究者自行繪製)

2. 綠藻+ NaOH+ Histidine (0.063 M)

因為所添加 histidine 的濃度比較低，從圖十六中可以發現(b)、(c)的顏色變化比較不深，電擊過程中沒有黑色出現，而在電擊 30 min 顏色由橘紅轉為黃色，顯示已過最佳碳點生成條件。在吸收光譜圖中吸收值相較圖十六低，而在圖十六(f)中看到的微小波峰在這組圖十六(f)實驗中沒有表現出來。

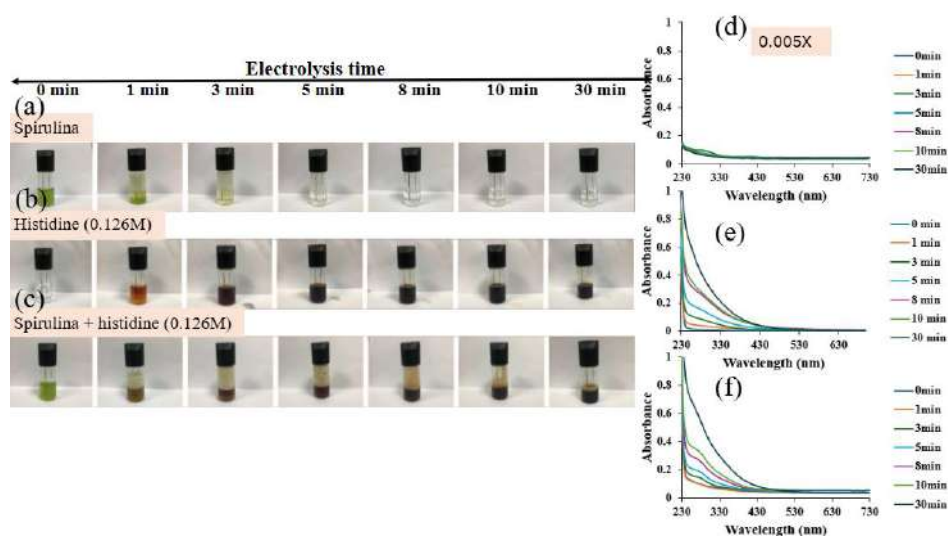


圖十六、(a) 綠藻電擊過程的顏色變化；(b) histidine(0.063M) 電擊過程的顏色變化；(c) 綠藻 + NaOH + histidine(0.063M) 電擊過程的顏色變化；(d)為(a)的吸收光譜；(e)為(b) 的吸收光譜；(f) 為(c) 的吸收光譜(研究者自行繪製)

(二) 螺旋藻+ NaOH+ Histidine

1. 螺旋藻+ NaOH+ Histidine (0.126 M)

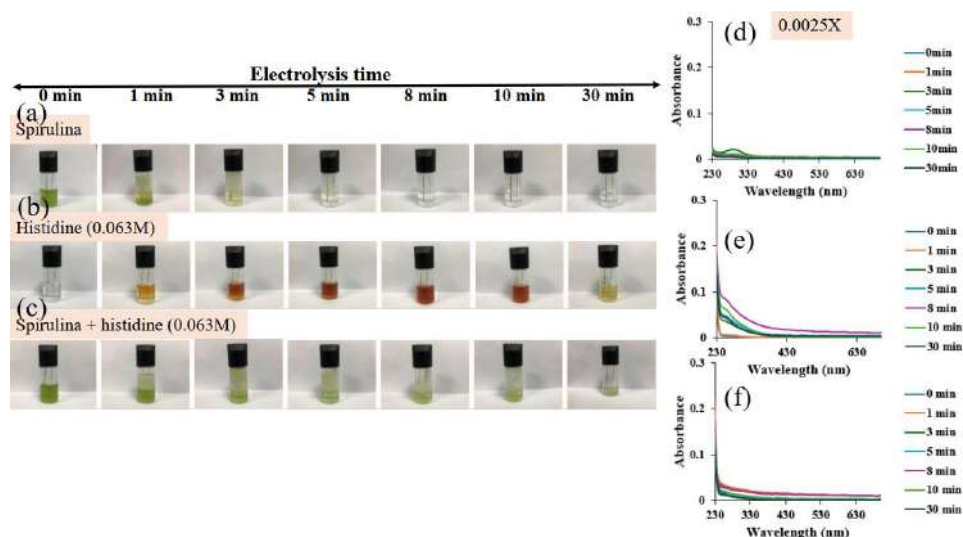
從圖十七(a)中可以看到螺旋藻在經過 30 min 的電擊之後，顏色從綠色轉為無色，而吸收光譜圖十七(d)中有個微小的波峰。從圖十七(b)中則是可以看到有明顯的顏色變化，而且吸收光譜(e)為較平滑的曲線。圖十七(c)了一開始的綠色大致上與圖十七(b)變化類似，不過吸收光譜(f)在大約 280nm 多了一個微小的峰，推測有可能是螺旋藻加 histidine 電擊後有新產物產生。



圖十七、(a) 螺旋藻電擊過程的顏色變化；(b) histidine(0.126M) 電擊過程的顏色變化；(c) 螺旋藻 + NaOH + histidine(0.126M) 電擊過程的顏色變化；(d)為(a)的吸收光譜；(e)為(b) 的吸收光譜；(f) 為(c) 的吸收光譜(研究者自行繪製)

2. 螺旋藻+ NaOH+ Histidine (0.063 M)

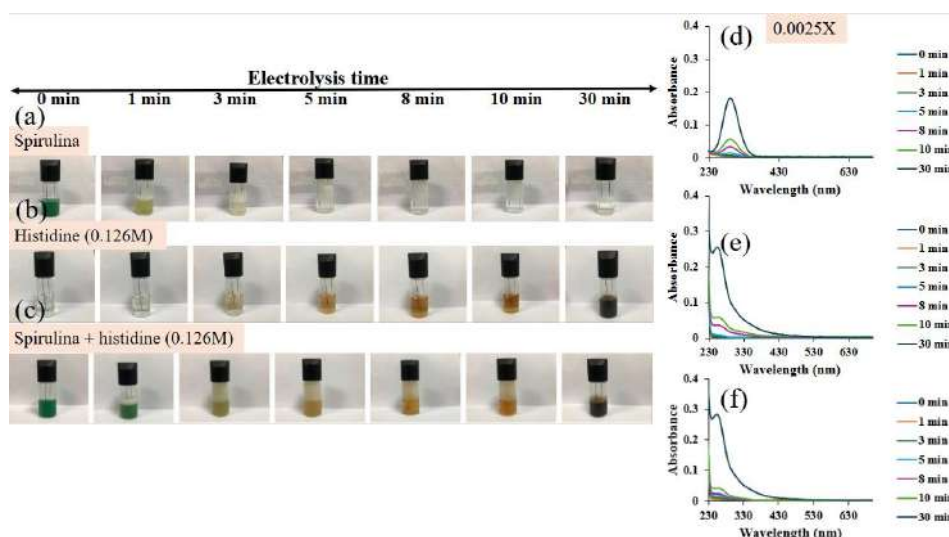
因為所添加 histidine 的濃度比較低，從圖十八中可以發現(b)的顏色變化比較不深，電擊過程中沒有黑色出現，而在電擊 30 min 顏色由橘紅轉為黃色，顯示已過最佳碳點生成條件。在吸收光譜圖中，圖十八(d)吸收值相較圖十八(d)低。在螺旋藻 + NaOH+ Histidine (0.063M)的實驗中，可以看到顏色變化與 histidine(0.063M)相差許多，為綠色轉變為無色，而吸收光譜圖也沒有明顯的下降波，因此推測有可能為此螺旋藻加此濃度 histidine 無法產生新物質。



圖十八、(a) 螺旋藻電擊過程的顏色變化；(b) histidine(0.063M) 電擊過程的顏色變化；(c) 螺旋藻 + NaOH + histidine(0.063M) 電擊過程的顏色變化；(d)為(a)的吸收光譜；(e)為(b) 的吸收光譜；(f) 為(c) 的吸收光譜(研究者自行繪製)

(三) 螺旋藻++ 水+ Histidine(0.126 M)

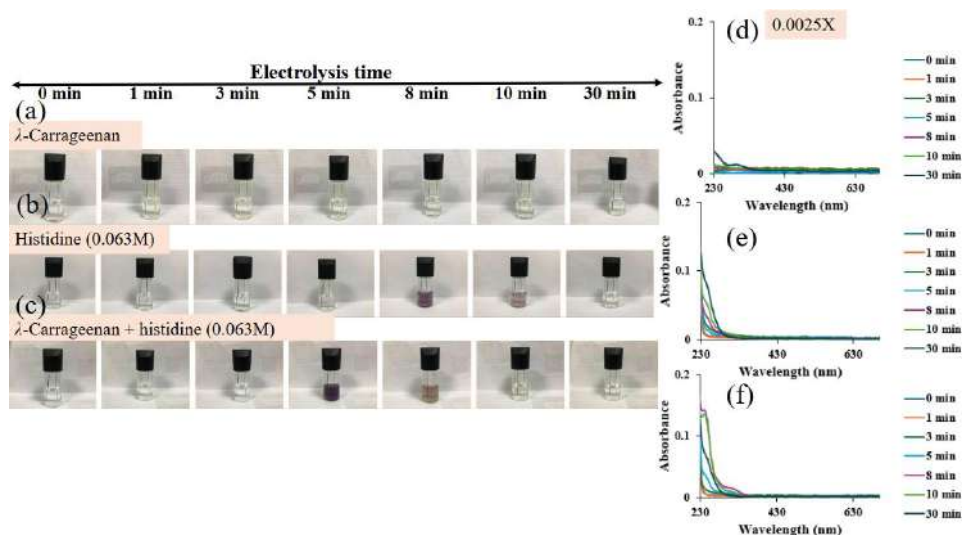
從圖十九((a)中可以看到螺旋藻在經過 30 min 的電擊之後，顏色從綠色轉為無色，而吸收光譜圖十九(d)中在大約 280nm 有個明顯的特徵峰。從圖十九(b)中則是可以看到有明顯的顏色變化，而且吸收光譜(e)與圖十九(e)差別很大，因為加入的背景溶液成分不同，在此條件可以看到有個明顯的突起，但吸收值也明顯比圖十九(e)低，在文獻中有提及 histidine 在水中產生碳點的效率比在氫氧化鈉中差，推測是因為這樣才會呈現吸收值的差距。圖十九(c)除了一開始的綠色大致上與圖十九(b)顏色變化類似，而且吸收光譜(f)在大約 280nm 也有波峰，推測產物可能與單純電擊 histidine 相似。



圖十九、 (a) 螺旋藻電擊過程的顏色變化；(b) histidine(0.126M) 電擊過程的顏色變化；(c) 螺旋藻 ++水 + histidine(0.126M) 電擊過程的顏色變化；(d)為(a)的吸收光譜；(e)為(b) 的吸收光譜；(f) 為(c) 的吸收光譜(研究者自行繪製)

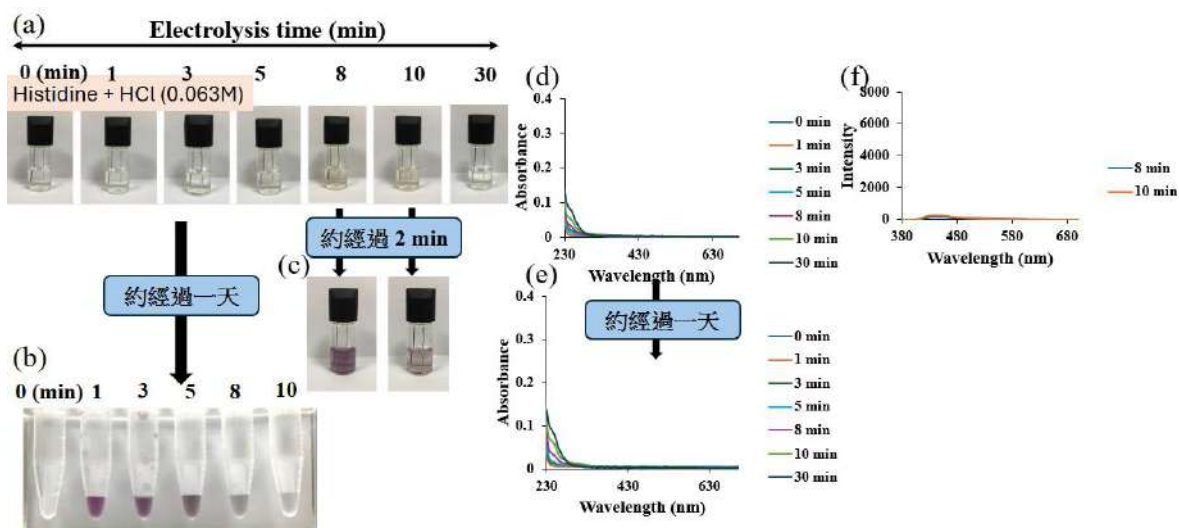
(四) λ -卡拉膠 + Histidine (0.063 M)

從圖二十(a)中可以看到 λ -卡拉膠在經過 30 min 的電擊之後，顏色一直維持無色，而吸收光譜圖二十(d)中在大約 280nm 有個微小的波峰。從圖二十(b)和圖二十(c)中則是可以看到有明顯的紫色出現，因為加入的背景溶液成分不同，在此條件可以看到吸收值比圖二十(e)低很多，在文獻中有提及 histidine 在鹽酸中產生碳點的效率比在氫氧化鈉中差，推測是因為這樣才會呈現吸收值的差距。而吸收光譜(f)在大約 300nm 有個波峰，推測可能是添加 λ -卡拉膠電擊的關係。



圖二十 (a) λ -卡拉膠電擊過程的顏色變化；(b) histidine(0.063M) 電擊過程的顏色變化；(c) λ -卡拉膠 + 鹽酸 + histidine(0.063M) 電擊過程的顏色變化；(d)為(a)的吸收光譜；(e)為(b)的吸收光譜；(f) 為(c) 的吸收光譜(研究者自行繪製)

在圖二十一(a)中可以看到其實剛電擊完的 histidine+ 鹽酸溶液皆是無色，但約經過一天之後溶液顏色很明顯變成紫色，推測有可能是 histidine 在酸性環境下電擊產生了不同的變化。雖然顏色變化很大，但是在吸收值的部分，無色與紫色的吸收光譜吸收值相差不多。而螢光光譜圖二十一(f)則是顯示經過 2 min 變紫色的圖二十一(c)沒有螢光。

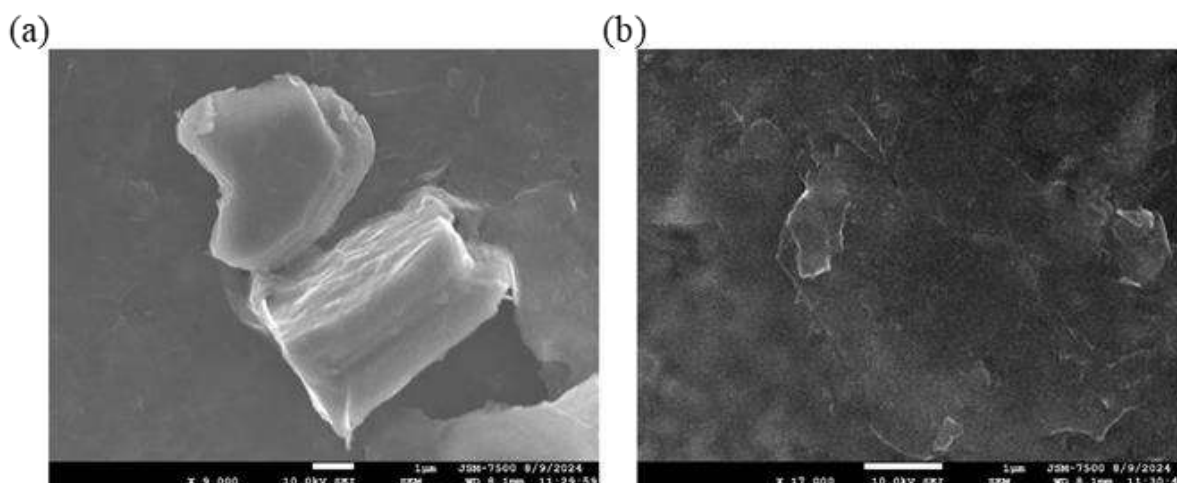


圖二十一 (a) histidine(0.063M) + 水 電擊過程的顏色變化；(b) 為(a)各個時間點取 100 μ l，放置過一天後的顏色狀況；(c)為(a)拍照當下經過 2 分鐘的顏色變化；(d)為(a)的吸收光譜；(e)為(b) 的吸收光譜；(f) 為(c) 的螢光光譜(研究者自行繪製)

五、探討藻類+ histidine+ MXene 及其對照組的電化學分析 (CV, GCD)

(一) SEM 圖

從圖二十二(a) 中可以看到 MXene 明顯呈現多層且塊狀的結構，是 MXene 平常呈現的樣子，而在圖二十二(b)中因為有添加螺旋藻加 histidine 所產生的碳點，所以在 SEM 圖中呈現單層的結構。比較分離的 MXene 對於電化學儲能應用可以有比較好的效果，所以加入碳點後可以優化 MXene 的功用。



圖二十二、 (a) MXene 多層的 SEM 圖；(b) MXene 單層的 SEM 圖(實驗室拍攝)

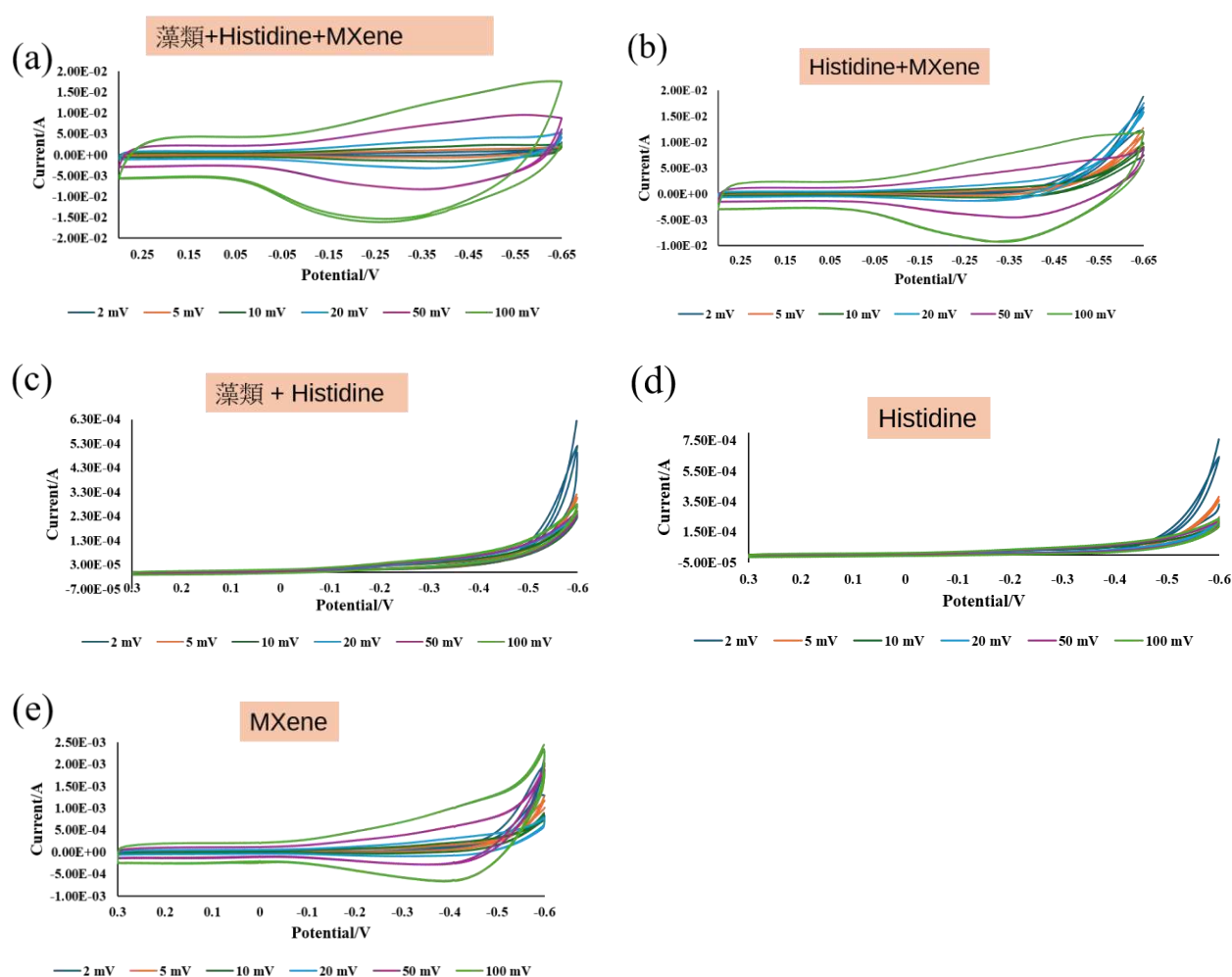
(二) 循環伏安法(Cyclic Voltammetry, CV)

圖二十三(a)和(b)分別展示了無藻類和添加藻類製備的碳點的循環伏安圖。比較兩張圖可以發現，添加藻類製備的碳點的 CV 圖明顯較寬。這一觀察結果表明，添加藻類在碳點製備過程中能夠提升材料的電化學性能。較寬的 CV 圖通常意味著更大的電化學活性面積和更好的電荷儲存能力，因此可以推斷，添加藻類製備的碳點在電化學分析中表現出更優異的效果。

圖二十三(c)和(d)呈現了其他材料在不同掃描速率下的 CV 圖。這些圖中，不同掃描速率下的電流曲線呈現出相似的形態。這種現象可能有兩種解釋：一是材料在電擊過程中可能發生了散逸，導致電化學性能下降；二是這些材料本身可能不適合用於電化學儲能應用。無論是哪種情況，這些結果都表明這些材料在當前條件下不具備理想的電化學儲能特性。

圖二十三(e)展示了 MXene 材料的 CV 圖。值得注意的是，其形狀與碳點樣品（圖二十三 a、b）的 CV 圖相似，這表明 MXene 具有類似的電化學行為。然而，MXene 的電流值遠低於碳點樣品。這一發現暗示了碳點與 MXene 之間可能存在協同作用：將碳點添加到 MXene 中可能有助於 MXene 的分散，從而提高其電化學儲能效果。碳點的加入可能增加了材料的有效表面積或改善了電子傳輸，最終導致更好的電化學性能。

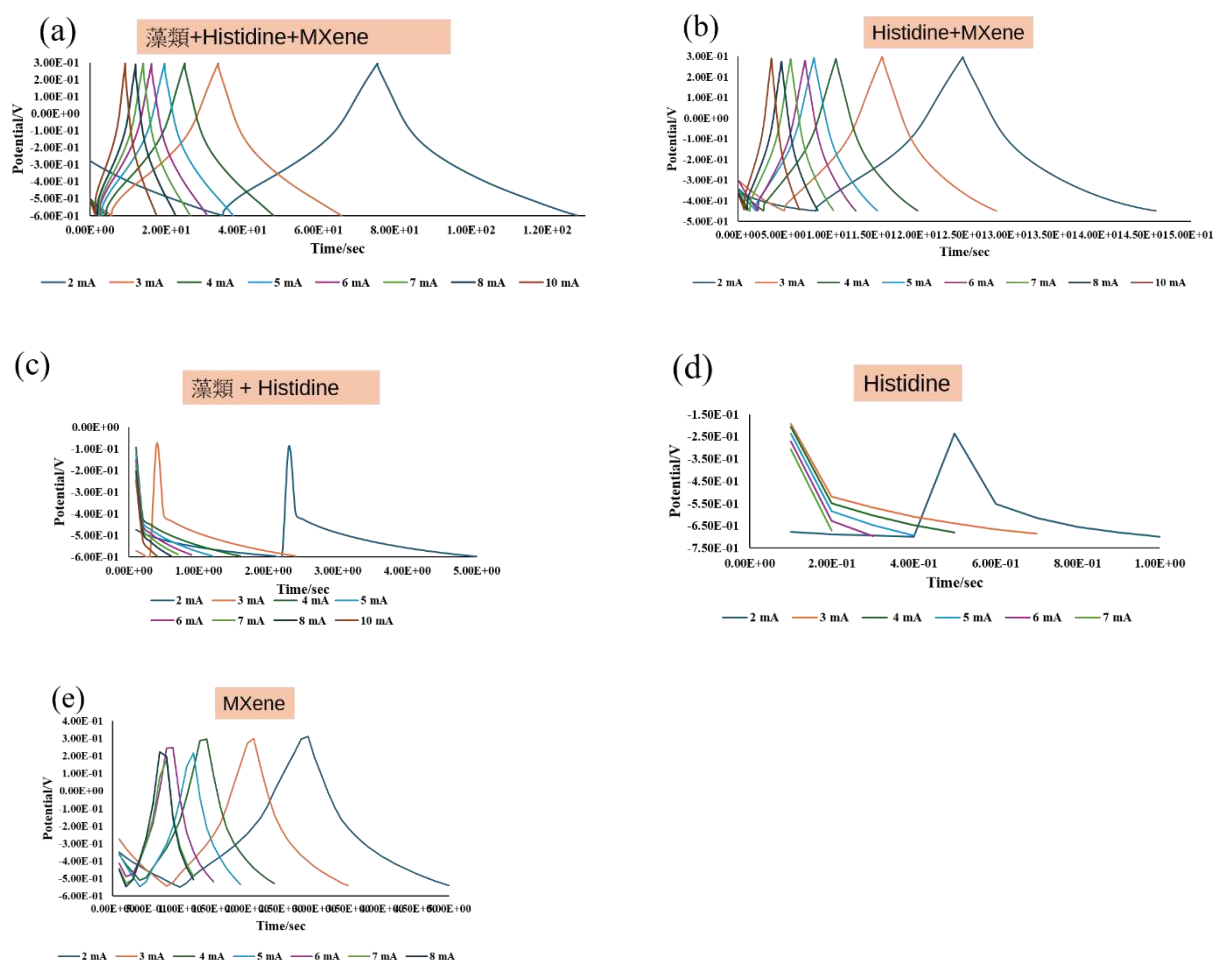
這些觀察結果揭示了藻類在碳點製備中的重要作用，以及碳點與 MXene 結合可能帶來的協同效應。這些發現為開發高性能電化學儲能材料提供了有價值的見解，特別是在利用生物來源材料和複合材料設計方面。



圖二十三、(a) 藻類+ histidine+ MXene 的 CV 圖；(b) histidine+ MXene 的 CV 圖；(c) 藻類+ histidine 的 CV 圖；(d) histidine 的 CV 圖；(e) MXene 的 CV 圖(研究者自行繪製)

(三) 恆流通放電(Galvanostatic Charge-Discharge, GCD)

從各個 GCD 圖中，圖二十四(a)與圖二十四(b)的差別一樣在於碳點製備時有無添加藻類，可以看到有添加時的 GCD 圖掃描的時間比較長，時間長可以讓電流進入測量的東西中，得到比較多的數據，這顯示電化學分析出來的效果是有加藻類的比較好。而在圖二十四(c)、(d)的部分呈現各個不同電流的條件都類似，且到電流加大會只剩一條線，較不符合實驗的期待，有可能是材料在電擊過程中散逸或是本身不適合進行電化學儲能的應用。圖二十四(e)則是有與圖二十四(a)、(b)相似的形狀，只是其測量的時間遠小於圖二十四(a)、(b)，而且最高電壓也不規律。比較長的掃描時間，代表加入碳點後的電化學儲能效果較單獨 MXene 好。

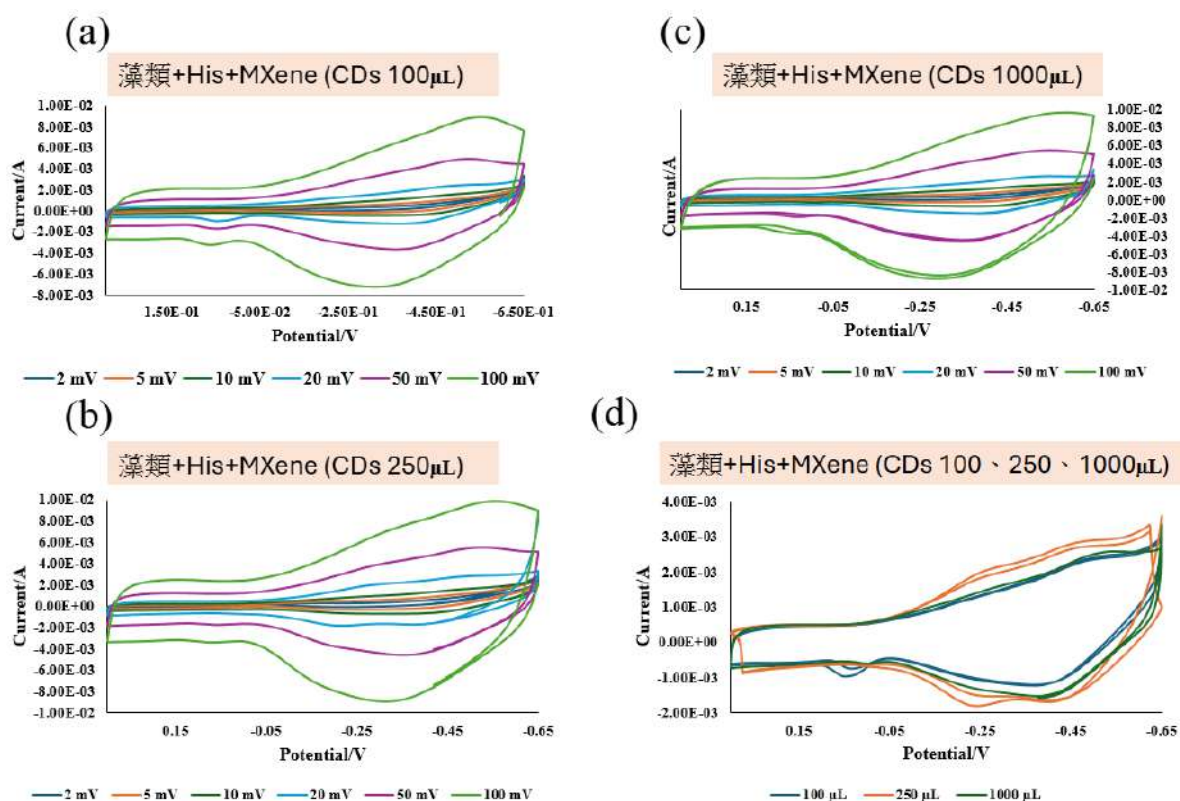


圖二十四 (a) 藻類+ histidine+ MXene 的 GCD 圖；(b) histidine+ MXene 的 GCD 圖；(c) 藻類+ histidine 的 GCD 圖；(d) histidine 的 GCD 圖；(e) MXene 的 GCD 圖(研究者自行繪製)

六、探討添加不同比例碳點 (藻類+ histidine+ MXene) 溶液的電化學分析的電化學分析

(一) 循環伏安法(Cyclic Voltammetry, CV)

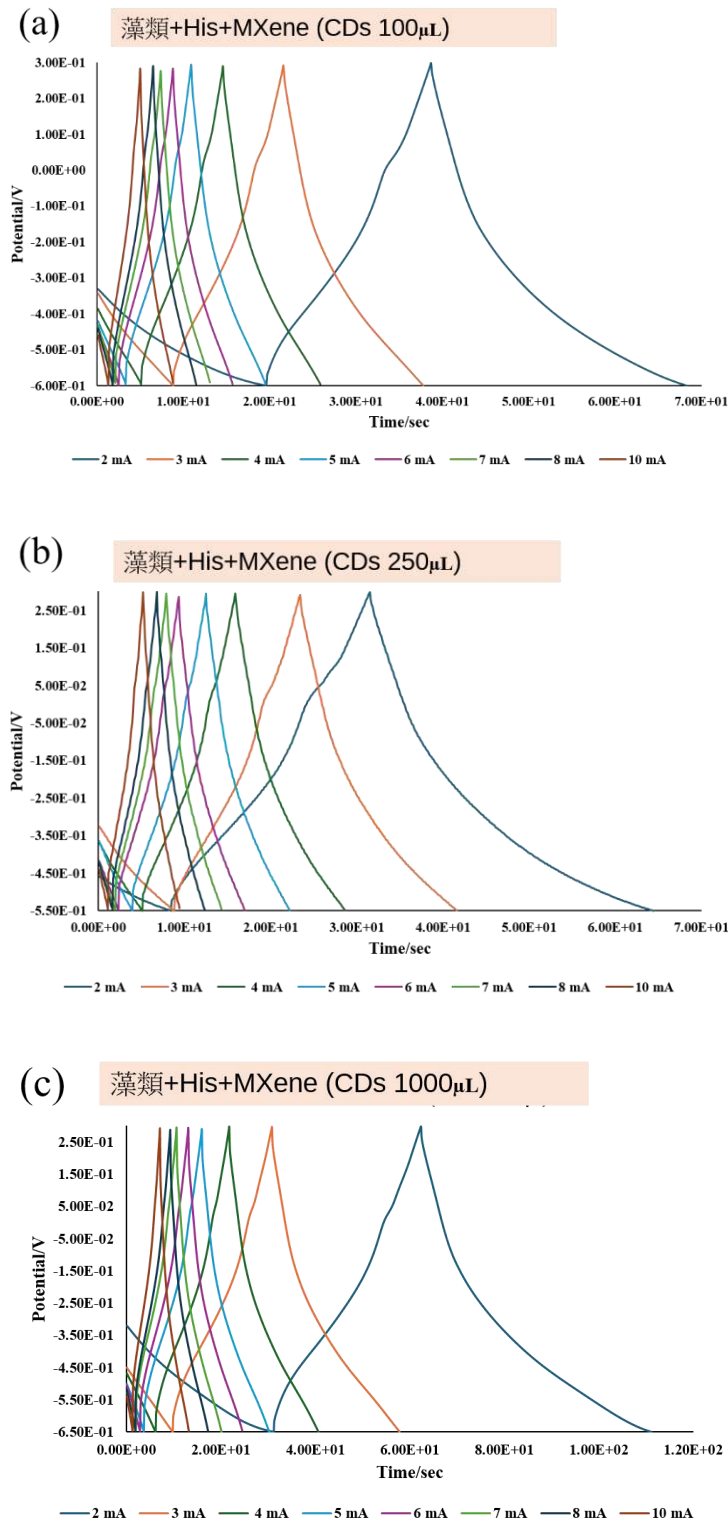
由圖中可以看到 圖二十五(a)、(b)、(c) 的圖形大致上看起來類似，在圖 (d)中也可以看到在同樣掃描速率 (20 mV) 下，添加不同體積的碳點溶液並不會對混合溶液的電化學性質及效能影響太大。



圖二十五 (a) 藻類+ histidine+ MXene (CDs 100 μ l) 的 CV 圖；(b) 藻類+ histidine+ MXene (CDs 250 μ l) 的 CV 圖；(c) 藻類+ histidine+ MXene (CDs 1000 μ l) 的 CV 圖；(d) 以上三種條件在以 20 mV 掃描時的 CV 圖(研究者自行繪製)

(二) 恆流通放電(Galvanostatic Charge-Discharge, GCD)

在運用比電容的公式 $c = I * t / V$ 分別算出三張圖的比電容後，發現圖二十六 (a) 、(b) 的比電容值接近，而圖二十六(c) 的比電容值遠大過於(a) 、(b)，推測是因為加入較多先前製備的碳點影響，所以表現出較好的電化學性質，擁有更高的電荷儲存能力，也可以推測加入 1000 μ l 的碳點可以讓 MXene 更加的分散，使得材料的有效表面積增加。



圖二十六 (a) 藻類+ histidine+ MXene (CDs 100 μ l) 的 GCD 圖；(b) 藻類+ histidine+ MXene (CDs 250 μ l) 的 GCD 圖；(c) 藻類+ histidine+ MXene (CDs 1000 μ l) 的 GCD 圖 (研究者自行繪製)

肆、結論與應用

- 一、綠藻不論是在室溫或 85°C，皆只溶在鹼性溶液中。螺旋藻不論是在室溫或 85 °C，皆只溶在中、鹼性溶液中。卡拉膠(K、i、λ)在室溫時，只有卡拉膠 i 溶於鹼性溶中，在 85 °C 時，卡拉膠 K、卡拉膠 i、卡拉膠 λ 在酸性溶液中皆可完全溶解。
- 二、 histidine 在電擊過程的顏色變化與文獻上的大致相同，可以推測此電化學裝置能夠成功的製備 出碳點，因此之後實驗將使用相同的方式進行。
- 三、只單純電擊藻類皆無法產生碳點，顏色變化大多從綠色到無色，或是一直維持無色，而吸收光譜圖也沒有明顯波峰，將加入易產生碳點的物質測試碳點生成的效果。
- 四、藻類加 histidine 與 histidine 產生的碳點在各個電擊時間點的顏色變化差不多，且 histidine 濃度較高的實驗，顏色也會比較深，但藻類加 histidine 的吸收光譜會在 280nm 附近多一個小波峰，推測因為加入藻類而產生的新物質。
- 五、MXene 與製備的碳點（不論碳點在製備時是否添加藻類）混合的電化學分析圖結果較好，推測是因為碳點的顆粒較大，可以將 MXene 的 2D 分層擴大，讓電化學儲能效果比較優良。
- 六、目前進行檢測的藻類+ histidine+MXene 的電化學分析圖比 Histidine+MXene 優，在 CV 圖中類+ histidine+MXene 的比較寬，在 GCD 圖中同電流的測量時間也比較長，顯示有較好的電化學儲能效果，這可能是因為在製備碳點時有添加藻類的影響。

伍、參考文獻

- 一、Yu-Syuan Lin, Yaling Lin, Arun Prakash Periasamy, Jinshun Cangg and Huan- Tsung Chang.
(2019) Parameters affecting the synthesis of carbon dots for quantitation of copper ions.
Nanoscale Adv.,2019, 1, 2553
- 二、Ross S, Wu RS, Wei SC, Ross GM, Chang HT. (2020) The analytical and biomedical applications of carbon dots and their future theranostic potential: A review. *J Food Drug Anal.* 28(4): 677–695.
- 三、Yun C, Hwang S. Analysis of the Charging Current in Cyclic Voltammetry and Supercapacitor's Galvanostatic Charging Profile Based on a Constant-Phase Element. *ACS Omega.* 2021 Jan;6(1):367-373. DOI: 10.1021/acsomega.0c04702. PMID: 33458488; PMCID: PMC7807758.
- 四、Elgrishi, Noémie & Rountree, Kelley & McCarthy, Brian & Rountree, Eric & Eisenhart, Thomas & Dempsey, Jillian. (2017). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education.* 95. 10.1021/acs.jchemed.7b00361.
- 五、Sharma, Swati & Chand, Prakash. (2023). Supercapacitor and Electrochemical Techniques: A Brief Review. *Results in Chemistry.* 5. 100885. 10.1016/j.rechem.2023.100885.
- 六、Gogotsi, Yury & Huang, Qing. (2021). MXenes: Two-Dimensional Building Blocks for Future Materials and Devices. *ACS Nano.* 15. 5775-5780. 10.1021/acsnano.1c03161.
- 七、Alhabeb, Mohamed & Maleski, Kathleen & Anasori, Babak & Lelyukh, Pavel & Clark, Leah & Sin, Saleesha & Gogotsi, Yury. (2017). Guidelines for Synthesis and Processing of 2D Titanium Carbide (Ti₃C₂T_x MXene). *Chemistry of Materials.* 29. 10.1021/acs.chemmater.7b02847.
- 八、Huaxin Liu, Xue Zhong, Qing Pan, Yi Zhang, Wentao Deng, Guoqiang Zou, Hongshuai Hou, Xiaobo Ji A Review of Carbon Dots in Synthesis Strategy. *Coord. Chem. Rev.* 2024, 498, 215468.

九、A Multifunctional Chemical Toolbox to Engineer Carbon Dots for Biomedical and Energy Applications. *Nat. Nanotechnol.* **2022**, *17*, 112–130

十、D. Ozyurt, M.A. Kobaisi, R.K. Hocking et al. , Bronwyn Fox.(**2024**). Properties, synthesis, and applications of carbon dots: A reviewn .*Carbon Trend* *12* ,100276

十一、許乃月，2016 年，氧化銅/氧化亞銅/聚吡咯複合材料修飾紙電極於葡萄糖與 β -半乳糖苷酶檢測之應用。國立臺灣大學化學系：碩士學位論文

十二、典型循環伏安圖及循環伏安法中外加電位曲線。圖片來源來源：

<https://reurl.cc/E6jagK>

【評語】 030011

本研究運用綠藻、螺旋藻、卡拉膠進行製備碳點並應用於高效超級電容。本實驗在不同的 pH 值中的溶解度找出綠藻、螺旋藻、卡拉膠各自適合溶解的溫度及溶液。透過文獻中的實驗證實我們實驗中所運用的電化學實驗設計及裝置可以成功製備出碳點。運用先前製備出較穩定的碳點加入 MXene 進行電化學分析，透過碳點擴大 MXene 分層，以達到增加 MXene 電化學效能的效果。在 CV 圖中藻類 + histidine+MXene 的比較寬，在 GCD 圖中同電流的測量時間也比較長，顯示有較好的電化學儲能效果。有些有趣的觀點，但是仍有可以精進的空間。