

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：化學科

組 別：國小組

作品名稱：點「廢」成金—從「廢」電池到農「廢」的華麗轉身

關 鍵 詞：苦茶殼 吸附率 電解

編 號：

最佳吸附組合：3g 苦茶殼粉加熱 100°C
+ 6g 活性碳 + 電解時間 2 小時



摘要

本研究源於新竹地區頭前溪與客雅溪近年發生的重金屬污染問題，凸顯工業廢水（如電池、電子、晶圓製造及電鍍等產業）若未妥善處理，將對生態與人體健康造成長期危害。文獻指出，茶葉渣、玉米芯、甘蔗渣等天然植物材料具備重金屬吸附潛力，故本研究以農業副產品——苦茶殼為研究對象，探討其作為重金屬吸附材料的可行性。

研究目的分為四部分：首先，探討電池拆解前後的電壓變化、內部結構與組成材料；其次，建立不同濃度硫酸銅溶液在不同波長下的吸光度檢量線；第三，針對苦茶殼在不同型態、濃度、加熱溫度、吸附時間、環境溫度及與活性碳混合等條件下，對銅離子吸附率進行最佳化實驗；最後，比較其他農業廢棄物（如花生殼、開心果殼）在最佳化條件下的吸附效果。

本研究期能透過資源再利用，開發低成本、環境友善的重金屬吸附材料，為水污染防治提供可行方案。**由實驗研究重大結論：**

發現一： 電壓主要取決於材料的化學反應，石墨棒+鋅片+電解質重新組合後亦能測量到低電壓，兩極的距離越近，電壓越大。

發現二： 波長 810nm 下，濃度 20 ppm 至 2000 ppm 之硫酸銅水溶液其吸光度與濃度具高度線性相關，其相關係數 $R^2 = 0.999$ ，濃度對應的吸光度連成的斜直線為硫酸銅水溶液檢量線

發現三： 不同時間，相同苦茶殼型態，吸附率：24 小時 < 48 小時 < 72 小時 < 96 小時；
相同時間，不同苦茶殼型態，吸附率：未加熱 < 加熱；塊狀 < 粉末

發現四： 不同加熱溫度，不同苦茶殼型態，吸附率：50°C < 100°C < 150°C，最佳加熱溫度：100°C

發現五： 不同溫度，不同苦茶殼型態，吸附率：25°C < 30°C < 40°C < 50°C < 60°C，最佳溫度：40°C

發現六： 同溫下，不同時間，吸附率：未加熱 < 加熱；塊狀 < 粉末

發現七： 同溫下，不同時間，不同重量活性碳，吸附率：1g < 2g < 3g < 4g < 5g < 6g；最佳重量：6g

發現八： 活性碳與苦茶殼粉加熱 100°C 混合，吸附率有加成效果，

最佳吸附組合： 3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 6g 活性碳

發現九： 不同農業廢棄物型態於最佳化條件下吸附率排名：

開心果殼粉加熱 100°C < 花生殼粉加熱 100°C < 2g 活性碳 < 苦茶殼加熱 100°C < 3g 活性碳 < 4g 活性碳 < 苦茶殼粉加熱 100°C < 5g 活性碳 < 6g 活性碳 < 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉加熱 100°C

壹、前言

一、研究動機

新竹地區的頭前溪與客雅溪近年曾傳出重金屬污染問題，逐漸受到社會關注。許多工業製造過程中，如電池製造、電子產業、晶圓製造產業、電鍍工廠與金屬加工廠等，都可能產生含有銅、鉛、鎘等重金屬的廢水。若這些廢水未經妥善處理即排放至環境中，容易造成水質污染，並對生態系統及人體健康產生長期影響，因此如何有效去除廢水中的重金屬，成為重要的環境議題。

查閱相關文獻後發現，已有研究利用茶葉渣、玉米芯、甘蔗渣等材料進行重金屬吸附實驗，結果顯示天然植物材料可能具有吸附金屬離子的能力。每年 10 月、11 月是苦茶樹採收的季節，老師的朋友分享了一些苦茶籽與苦茶殼，讓我們開始思考：這些原本可能被丟棄的農業副產品，是否也具有吸附重金屬的潛力？

因此，本研究嘗試將苦茶殼研磨成粉末，並搭配活性炭加入含銅離子的硫酸銅水溶液中，探討其吸附效果，並比較不同吸附時間、溫度等條件下的變化，希望了解苦茶殼在重金屬吸附上的應用潛力，同時達到資源再利用與環境保護的目的。

二、文獻回顧

參考文獻「含纖維素之生物吸附劑對重金屬吸附之研究」，文獻提到纖維素含有大量的氫氧基 (-OH)，金屬離子可鍵結在這些官能基上，達到移除重金屬離子之目的。苦茶殼是植物性材料，主要成分為：纖維素、半纖維素、木質素，這類材料天然，具有一些孔隙結構，研磨成粉後，屬於「具有孔隙的材料」。苦茶殼粉末吸附銅離子的機制主要是：孔隙可以「卡住」部分離子，表面有一些官能基團，如：-OH（羥基）與-COOH（羧基）可以和銅離子形成弱鍵結。

參考文獻「殼中生機－廢棄殼粉晶球戰勝重金屬廢液」作品，提及電解質水溶液均可導電，導電的介質主要為正負離子的移動，並將其自製吸光度計改良為「分光光度計」，推算不同條件變化下，不同苦茶殼型態吸附溶液中銅離子之吸附率。

參考文獻「『蔗』麼『C』力－利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子」作品，說明甘蔗渣與碳粉不同重量比例混合，提升吸附重金屬離子的效益，此結果啟發本研究進一步探討苦茶殼在不同條件下對溶液中重金屬離子的吸附表現，並以此作為科展研究主題。

綜合上述文獻與當代對健康與環境保護的重視，本研究聚焦於比較不同條件下，不同型態苦茶殼在重金屬吸附上的應用潛力，期能為農業廢棄物資源化與水污染防治提供可行方向。

貳、研究目的

第一部分：探討廢電池拆解前後之電壓變化，並觀察其內部構造與組成材料

- 1、 探討如何拆解廢電池
- 2、 探討廢電池材料如何能產生電

第二部分：探討同溫下不同濃度之硫酸銅水溶液檢測實驗

- 1、 探討不同濃度硫酸銅水溶液於不同波長之吸光度
- 2、 探討不同濃度硫酸銅水溶液於波長 810nm 下之檢量線

第三部份：探討不同條件下不同苦茶殼型態對銅離子吸附率最佳化實驗

- 1、 探討同溫下，不同苦茶殼型態於不同濃度硫酸銅水溶液之吸附率
- 2、 探討不同加熱溫度，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率
- 3、 探討不同溫度下，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率
- 4、 探討同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率
- 5、 探討同溫下，不同時間，不同重量活性碳對溶液中銅離子吸附率
- 6、 探討同溫下，不同時間，不同重量不同型態苦茶殼粉與活性碳混合對溶液中銅離子吸附率

第四部份：探討其他農業廢棄物對溶液中銅離子吸附率

- 1、 探討不同花生殼型態於最佳化條件下對溶液中銅離子吸附率
- 2、 探討不同開心果殼型態於最佳化條件下對溶液中銅離子吸附率
- 3、 探討不同農業廢棄物型態於最佳化條件下吸附率排名

參、研究設備與器材

一、研究藥品器材

| 名稱 | 名稱 | 名稱 | 名稱 | 名稱 |
|-------|--------|-----|-------|---------|
| 分光光度計 | 熱風循環烘箱 | 恆溫槽 | 微量電子秤 | 附防風罩電子秤 |

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| 名稱 果汁機 | 名稱 1000mL 燒杯 | 名稱 滴管 | 名稱 攪拌棒 | 名稱 瓶裝硫酸銅 |
|  |  |  |  |  |
| 名稱 苦茶籽/殼 | 名稱 活性炭 | 名稱 花生殼 | 名稱 開心果殼 | 名稱 陶瓷鉢和木匙 |
|  |  |  |  |  |
| 名稱 篩網 | 名稱 3 號廢電池 | 名稱 三用電表 | 名稱 電解裝置 | 名稱 石墨棒 |
|  |  |  |  |  |
| 名稱 鉗子 | 名稱 美工刀 | 名稱 尺 | 名稱 小量杯 | 名稱 乳膠手套 |
|  |  |  |  |  |
| 名稱 剪刀 | 名稱 計時器 | 名稱 保鮮膜 | 名稱 密封袋 | 名稱 鋁箔 |
|  |  |  |  |  |

肆、研究方法及結果

一、探討廢電池拆解前後之電壓變化，並觀察其內部構造與組成材料

(一) 探討如何拆解廢電池

1. 實驗方法：

| | |
|------|---------------------------------------|
| 控制變因 | 同溫下，3 號碳鋅回收電池（相同品牌、型號）、三用電表、測量時間、測量方式 |
| 操縱變因 | 回收電池拆解前與拆解後、單獨石墨棒、單獨鋅片、石墨棒+鋅片+電解質組合 |
| 應變變因 | 三用電表測量不同狀態下的電壓與電流值 |

- (1) 取一顆 3 號碳鋅回收電池。
- (2) 用三用電表切至直流電壓檔（DCV），紅色探頭接電池正極，黑棒探頭接電池負極。
- (3) 記錄拆解前電壓值。
- (4) 使用鉗子剝開電池外層包裝，美工刀劃開塑膠膜，再用鉗子剝開金屬殼(鋅片)。
- (5) 取出石墨棒與黑色粉末（電解質：二氧化錳、氯化鋅、氯化銨、糊狀澱粉液等）
- (6) 三用電表之紅色探頭和黑色探頭接觸單一石墨棒兩端；再用紅色探頭和黑色探頭接觸單一鋅片兩端，觀察電壓變化。
- (7) 用小量杯裝入黑色電解質，一邊插入石墨棒，一邊插入鋅片，三用電表之紅色探頭接石墨棒，黑色探頭接鋅片，測量拆解後電壓和電流。

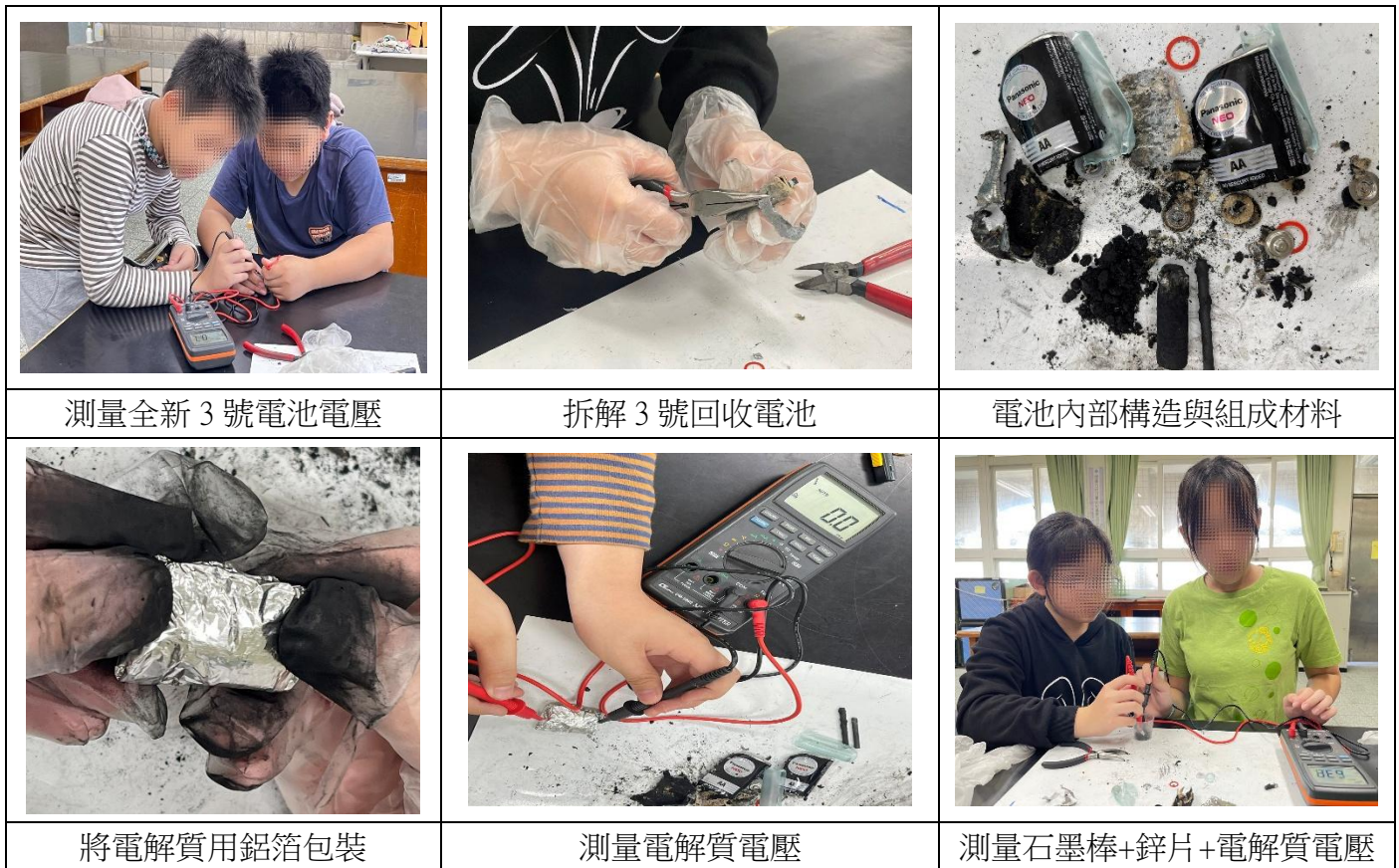
2. 實驗結果：

< 表 1-1：拆解前後電壓與電流比較 >

| 測量次數 \ 拆解時間 | 拆解前 | | 拆解後 | |
|-------------|--------|---------|--------|---------|
| | 電壓 (V) | 電流 (mA) | 電壓 (V) | 電流 (mA) |
| 第一次 | 1.12 | 450 | 1.09 | 0.01 |
| 第二次 | 1.38 | 1800 | 1.25 | 0.08 |
| 第三次 | 1.52 | 3200 | 1.48 | 0.15 |

3. 實驗發現：

- (1) 石墨棒+鋅片+黑色電解質重新組合後，因接觸不良、電解質分佈不均，電流自然很小。
- (2) 若回收電池的電壓與新電池的電壓差不多，原因是電壓主要取決於材料的化學反應，只要還有一些化學物質能反應，就有可能產生 1.5V 的電壓。



測量全新 3 號電池電壓

拆解 3 號回收電池

電池內部構造與組成材料

將電解質用鋁箔包裝

測量電解質電壓

測量石墨棒+鋅片+電解質電壓

< 實驗過程圖 >

(二) 探討廢電池材料如何能產生電

1. 實驗方法：

| | |
|------|---|
| 控制變因 | 同溫下，3 號碳鋅電池（相同品牌、型號）、三用電表、測量時間、測量方式 |
| 操縱變因 | 材料組合方式（單一石墨棒、單一鋅片、石墨棒 + 鋅片、石墨棒 + 電解質、鋅片 + 電解質、石墨棒 + 鋅片 + 電解質）、是否加入電解質、電極距離（1 公分、3 公分與 6 公分） |
| 應變變因 | 用三用電表測量不同組合的電壓值 |

- (1) 用三用電表分別測量單一石墨棒兩端與單一鋅片兩端，記錄電壓值。
- (2) 用三用電表測量石墨棒 + 鋅片（無電解質）之電壓值。
- (3) 用三用電表測量石墨棒 + 電解質（無鋅片）之電壓值。
- (4) 用三用電表測量鋅片 + 電解質（無石墨棒）之電壓值。
- (5) 將石墨棒與鋅片分別插入電解質中，兩者距離 1 公分，用三用電表測量電壓值。
- (6) 重複步驟 5，距離改為 3 公分、6 公分。

2. 實驗結果：

(1)

< 表 1-2：不同材料組合之電壓比較 >

| 材料組合 | 有無電解質 | 電壓 (V) |
|-------|-------|--------|
| 單一石墨棒 | 無 | 0 |

| | | |
|----------------|---|------|
| 單一鋅片 | 無 | 0 |
| 石墨棒 + 鋅片 | 無 | 0 |
| 石墨棒 + 電解質 | 有 | 0.14 |
| 鋅片 + 電解質 | 有 | 0.17 |
| 石墨棒 + 鋅片 + 電解質 | 有 | 0.84 |

< 表 1-3：電極距離對電壓的影響 >

| 電極距離（公分） | 電壓（V） |
|----------|-------|
| 1 | 0.86 |
| 3 | 0.73 |
| 6 | 0.51 |

3. 實驗發現：

- (1) 廢電池拆解後的材料，重新組合仍能產生電壓。
- (2) 石墨棒與鋅片分別插入電解質中，能產生電壓，距離越近，電壓越大。
- (3) 廢電池電壓 < 1.5V，可能是因為部分電解質已消耗或乾涸。

二、探討同溫下不同濃度之硫酸銅水溶液檢測實驗

（一）探討不同濃度硫酸銅水溶液於不同波長之吸光度

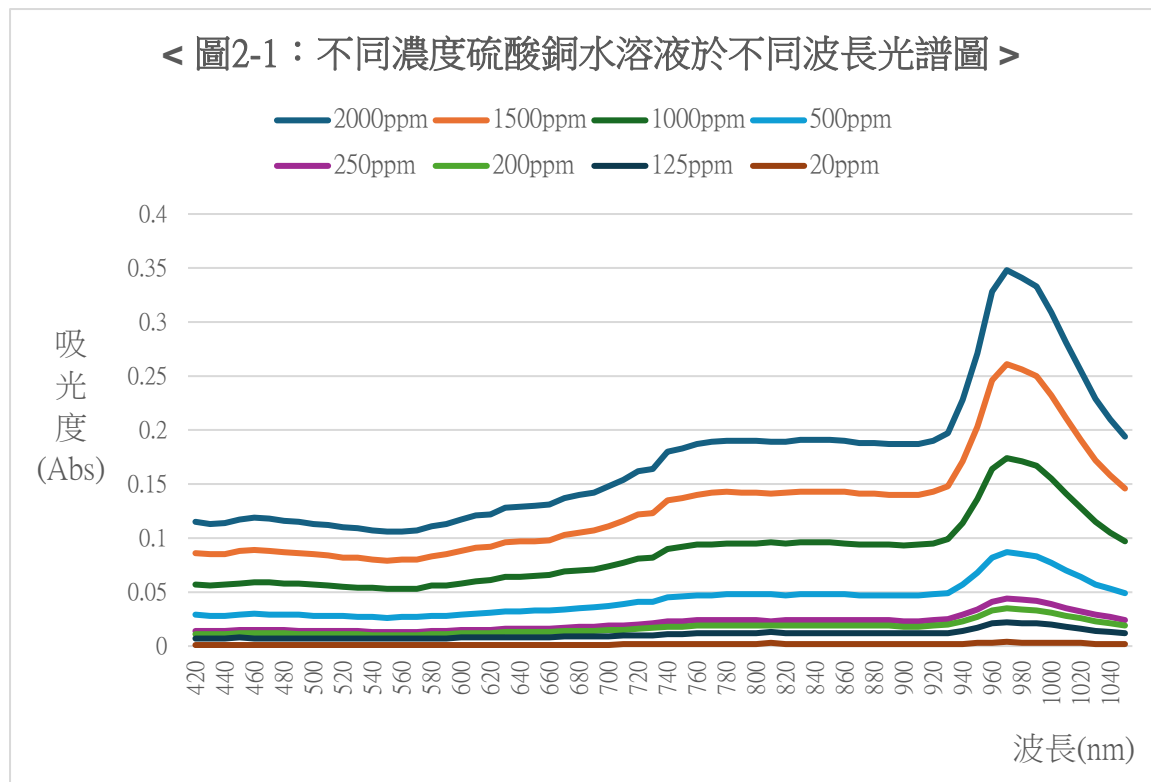
1. 實驗方法：

| | |
|------|---|
| 控制變因 | 同溫下（25°C），8 個 1000mL 燒杯，全新瓶裝硫酸銅結晶 |
| 操縱變因 | 8 個 1000mL 燒杯分別調配 2000ppm、1500ppm、1000ppm、500ppm、250ppm 與 200ppm、20ppm、15ppm 之硫酸銅水溶液，分光光度計波長設定 420nm~1050nm |
| 應變變因 | 觀察 8 種濃度之硫酸銅水溶液於 64 種波長其吸光度變化 |

- (1) 取 1000mL 燒杯加入 2g 硫酸銅結晶與 1000mL RO 逆滲透水，攪拌混合。
- (2) 兩者倒在一起，調配成濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液，加入石英管中，測其吸光度。
- (3) 分光光度計波長設定範圍 420nm~1050nm，測量 2000ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下的吸光度。
- (4) 重複上述實驗步驟（1）~（3），硫酸銅水溶液濃度改為 1500ppm、1000ppm、500ppm、250ppm、200ppm、20ppm 與 15ppm。

2. 實驗結果：

- (1) 不同濃度之硫酸銅水溶液於不同波長之吸光度（詳見附錄 P37~P40）



3. 實驗發現：

- (1) 硫酸銅水溶液於可見光至近紅外光區域呈現一寬廣吸收帶，其主要吸收峰位於約 750 nm 至 850 nm 之間，以 800~820 nm 最為明顯，吸光度隨濃度增加而穩定上升。
- (2) 硫酸銅水溶液在約 950 - 970 nm 處具有較高吸光度，但該區域吸光度變化陡峭，對波長微小誤差敏感，容易造成測量不穩定。相較之下，810 nm 位於吸收曲線的平緩區域，具有較佳的穩定性與重現性。
- (2) 不同濃度之硫酸銅溶液在全波段之吸收光譜曲線形狀高度相似，吸光度隨濃度增加而上升，呈現良好的線性關係。
- (3) 實驗顯示，在 810 nm 波長下，各濃度溶液之吸光度與濃度具有高度線性相關，其相關係數 $R^2 = 0.999$ ，顯示本實驗具有良好的定量分析能力。

(二) 探討不同濃度硫酸銅水溶液於波長 810nm 下之檢量線

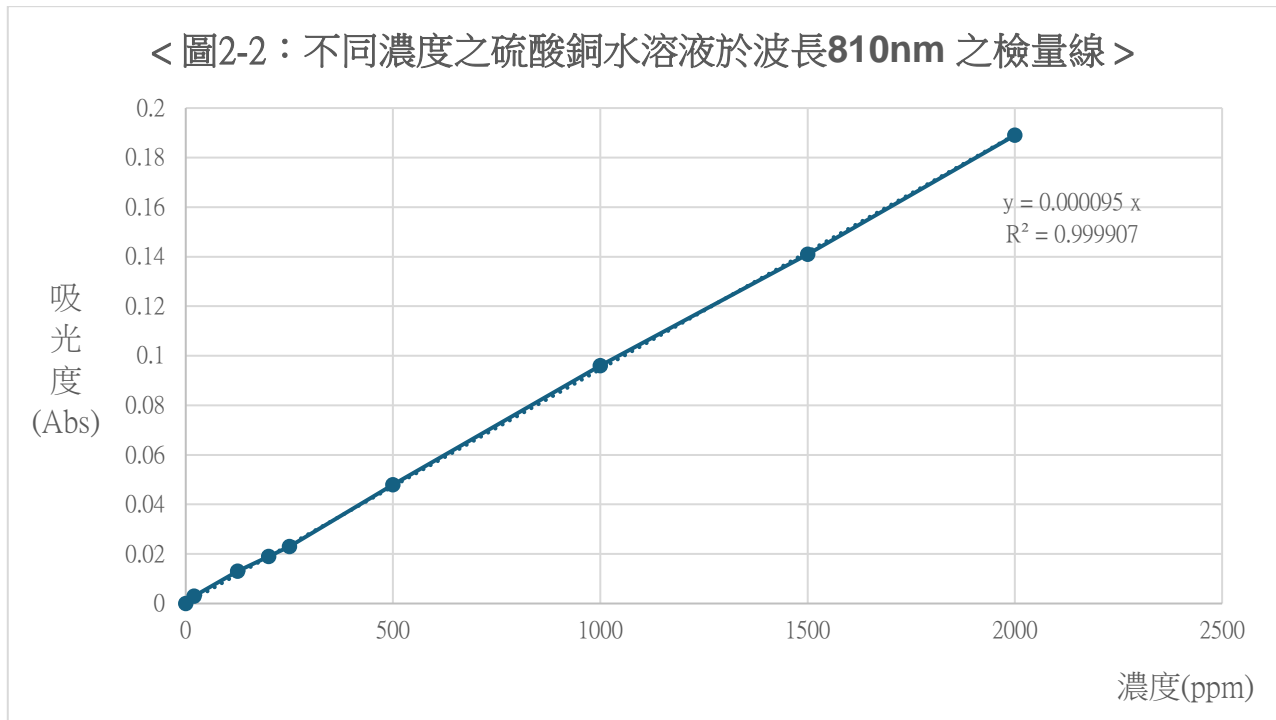
1. 實驗方法：

| | |
|------|---|
| 控制變因 | 同溫下 (25°C)，8 個 1000mL 燒杯，全新瓶裝硫酸銅結晶 |
| 操縱變因 | 8 個 1000mL 燒杯分別調配 2000ppm、1500ppm、1000ppm、500ppm、250ppm 與 200ppm、20ppm、15ppm 之硫酸銅水溶液，分光光度計波長設定 420nm~1050nm |
| 應變變因 | 觀察 8 種濃度之硫酸銅水溶液於波長 810nm 之吸光度 |

- (1) 取燒杯 1000mL 加入 2g 硫酸銅結晶與 1000mL RO 逆滲透水，調配成 2000ppm 硫酸銅水溶液。

- (2) 取若干硫酸銅水溶液加入石英管中，測其吸光度。
- (3) 分光光度計波長設定範圍 420nm~1050nm，測量 2000ppm 硫酸銅水溶液於不同波長的吸光度。
- (4) 重複上述實驗步驟 (1) ~ (3)，硫酸銅水溶液濃度改為 1500ppm、1000ppm、500ppm、250ppm 與 200ppm、125ppm、20ppm。

2. 實驗結果：



3. 實驗發現：

- (1) 波長 810nm 下，8 種不同濃度的硫酸銅水溶液，吸光度之相關係數高達 0.999，且統計圖呈線性。
- (2) 波長 810nm 下，8 種濃度所對應的吸光度連成的斜直線為硫酸銅水溶液檢量線。
- (3) 以下實驗取硫酸銅水溶液最佳濃度 2000ppm，波長設定 810nm。

三、探討不同條件下不同苦茶殼型態對銅離子吸附率最佳化實驗

(一) 探討同溫下，不同苦茶殼型態於不同濃度硫酸銅水溶液之吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|---|
| 控制變因 | 同溫下 (25°C)，2 支石墨棒 (原重 9.5g/支)，5 個 1000mL 燒杯，時間 96 小時，加熱溫度 100°C，2 顆 3 號電池串聯 |
| 操縱變因 | 分別調配 2000ppm、1500ppm、1000ppm、500ppm 硫酸銅水溶液，3 種苦茶殼型態 |
| 應變變因 | 觀察 4 種濃度之硫酸銅水溶液於 3 種苦茶殼型態下其銅離子吸附能力 |

- (1) 先將 30g 苦茶殼平分成 3 份，每份 10g。
- (2) 第 1 份研磨成粉，過篩，不加熱，第 2 份研磨成粉，過篩，再以烘箱加熱 100°C

24 小時，第 3 份苦茶殼以烘箱加熱溫度 100°C 24 小時。分別加入濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL 中，加上電解裝置，每 24 小時測量銅離子濃度。

(3) 重複實驗步驟 (1) ~ (2)，濃度改為 1500ppm、1000ppm、500ppm。

2. 實驗結果：

(1) 不同苦茶殼型態於不同濃度硫酸銅水溶液 96 小時吸光度 (詳見附錄 P41)

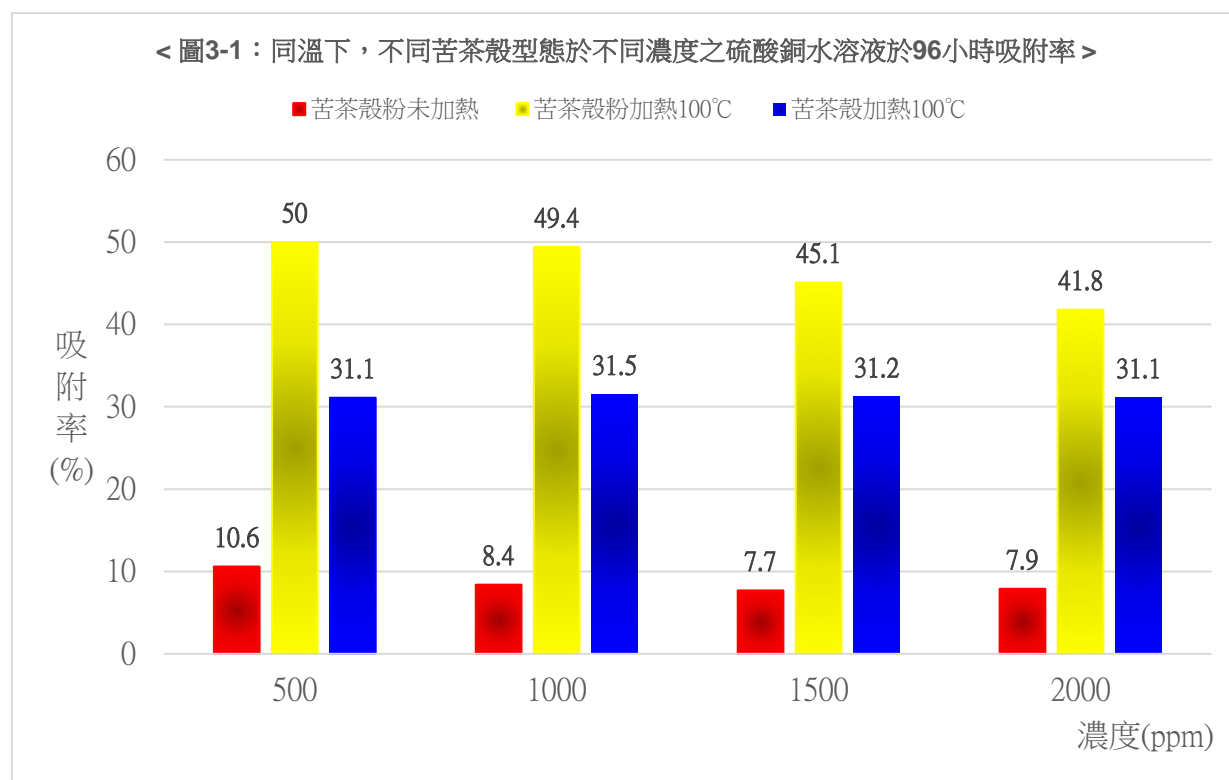
(2) 不同苦茶殼型態於不同濃度硫酸銅水溶液 96 小時陰極累積增重 (詳見附錄 P42)

(3) 同溫下，不同苦茶殼型態於不同濃度之硫酸銅水溶液 96 小時吸附率：

< 表 3-1：同溫下，不同苦茶殼型態於不同濃度之硫酸銅水溶液 96 小時吸附率 >

| 濃度 (ppm) | 型態 | 原始吸光度 | 96 小時後吸光度 | 吸附率 (%) |
|----------|---------------|-------|-----------|---------|
| 500 | 苦茶殼粉末未加熱 | 0.047 | 0.042 | 10.6 |
| 500 | 苦茶殼粉末加熱 100°C | 0.044 | 0.022 | 50.0 |
| 500 | 苦茶殼加熱 100°C | 0.045 | 0.031 | 31.1 |
| 1000 | 苦茶殼粉末未加熱 | 0.095 | 0.087 | 8.4 |
| 1000 | 苦茶殼粉末加熱 100°C | 0.089 | 0.045 | 49.4 |
| 1000 | 苦茶殼加熱 100°C | 0.092 | 0.063 | 31.5 |
| 1500 | 苦茶殼粉末未加熱 | 0.142 | 0.131 | 7.7 |
| 1500 | 苦茶殼粉末加熱 100°C | 0.133 | 0.073 | 45.1 |
| 1500 | 苦茶殼加熱 100°C | 0.138 | 0.095 | 31.2 |
| 2000 | 苦茶殼粉末未加熱 | 0.189 | 0.174 | 7.9 |
| 2000 | 苦茶殼粉末加熱 100°C | 0.177 | 0.103 | 41.8 |
| 2000 | 苦茶殼加熱 100°C | 0.183 | 0.126 | 31.1 |

< 圖3-1：同溫下，不同苦茶殼型態於不同濃度之硫酸銅水溶液於96小時吸附率 >



(4) 同溫下，苦茶殼粉加熱 100°C 於不同濃度之硫酸銅水溶液 96 小時之吸附率：

< 表 3-2：同溫下，苦茶殼粉加熱 100°C 於不同濃度之硫酸銅水溶液 96 小時之吸附率 >

| 濃度 (ppm) | 吸附率 (%) | 吸附量 |
|----------|---------|-------|
| 500 | 50.0 | 0.022 |
| 1000 | 49.4 | 0.044 |
| 1500 | 45.1 | 0.060 |
| 2000 | 41.8 | 0.074 |

(5) 電解陰陽極石墨棒周圍變化：




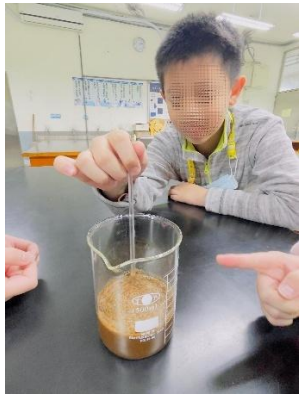



< 表 3-3：不同時間下，電解陰陽極石墨棒周圍變化 >

| 電極 時間 (hr) | 陰極 | 陽極 | 圖示 |
|---------------|--------------|-------------|---|
| 1 | 無變化 | 無變化 |  |
| 3 | 有些微白色氫氣泡泡 | 有小範圍的白色氧氣泡泡 |  |
| 24 | 有些微白色氫氣泡泡 | 有大範圍的白色氧氣泡泡 |  |
| 48 | 白色氫氣泡泡範圍變大 | 有大範圍的白色氧氣泡泡 |  |
| 72 | 白色氫氣泡泡範圍稍微縮小 | 仍有明顯的白色氧氣泡泡 |  |
| 96 | 白色氫氣泡泡範圍稍微縮小 | 仍有明顯的白色氧氣泡泡 |  |

3. 實驗發現：

- (1) 吸附時間越長，溶液吸光度下降，表示銅離子吸附越多。
- (2) 吸附時間越長，陰極累積增重增加，表示電解持續進行銅離子吸附。
- (3) 在相同吸附時間，吸附率：未加熱 < 加熱，表示加熱提升銅離子吸附。
- (4) 在相同加熱條件下，吸附率：苦茶殼 < 苦茶殼粉，表示增加表面積，提升銅離子吸附。
- (5) 苦茶粉的吸附位點數量是固定的。當濃度較低時，這些位點足以吸附大部分銅離子，所以吸附率較高；但當濃度升高時，銅離子總量遠超過吸附位點能負荷的量，吸附劑達到飽和，多餘的銅離子只能留在溶液中，因此吸附率反而下降。
- (6) 隨著濃度增加，吸附率雖下降，但總吸附量仍增加，顯示苦茶粉在高濃度下逐漸達到

吸附飽和。

| | | | |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| 挑選苦茶殼並秤重 | 將苦茶殼研磨成粉 | 置於烘箱中 加熱 100°C 24 小時 | 倒入濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 攪拌 1 分鐘 |
|  |  |  |  |
| 組裝電解硫酸銅 水溶液裝置 | 觀察陰陽極 石墨棒周圍變化 | 取出石墨棒 用礦泉水稍微清洗 | 陰極石墨棒秤重 |

< 實驗過程圖 >

(二) 探討不同加熱溫度下，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|---|
| 控制變因 | 2 支石墨棒（原重 9.5g/支），苦茶殼粉 10g，濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，6 個 1000mL 燒杯，2 顆 3 號電池串聯，加熱時間 24 小時 |
| 操縱變因 | 加熱溫度分別為 50°C、100°C、150°C |
| 應變變因 | 觀察 2 種苦茶殼型態於 3 種加熱溫度對溶液中銅離子吸附能力 |

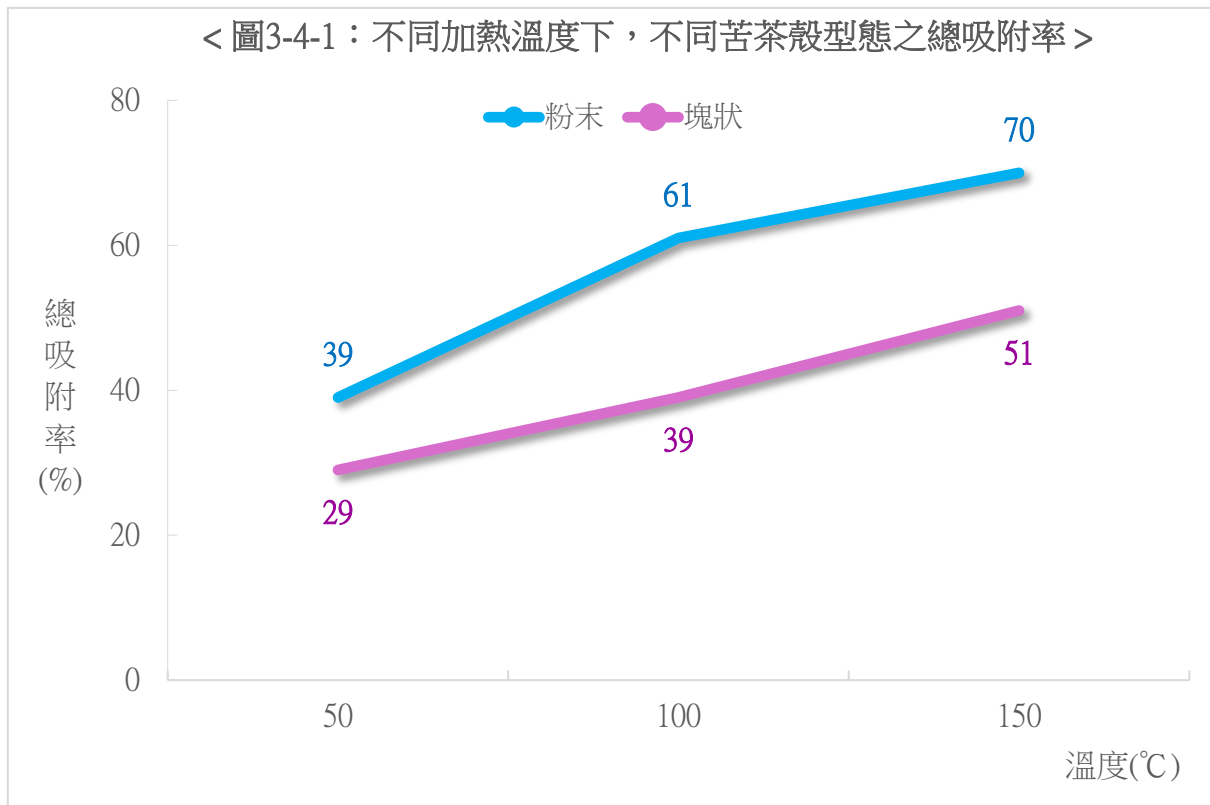
- (1) 準備 10g 苦茶殼殼粉和 10g 苦茶殼，分別以烘箱加熱 50°C 24 小時備用。
- (2) 取 2 個燒杯分別加入 10g 苦茶殼殼粉與 10g 苦茶殼，分別放入濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，並攪拌 1 分鐘，靜置 1 分鐘，測其初始吸光度。
- (3) 組裝 2 個直流電源之電解硫酸銅水溶液裝置，以石墨棒作為陰陽極，分別置於 2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL。
- (4) 觀察 2 種苦茶殼型態於硫酸銅水溶液對銅離子吸附能力。
- (5) 重複步驟 (1) ~ (4)，烘箱加熱溫度改為 100°C、150°C。

2. 實驗結果：

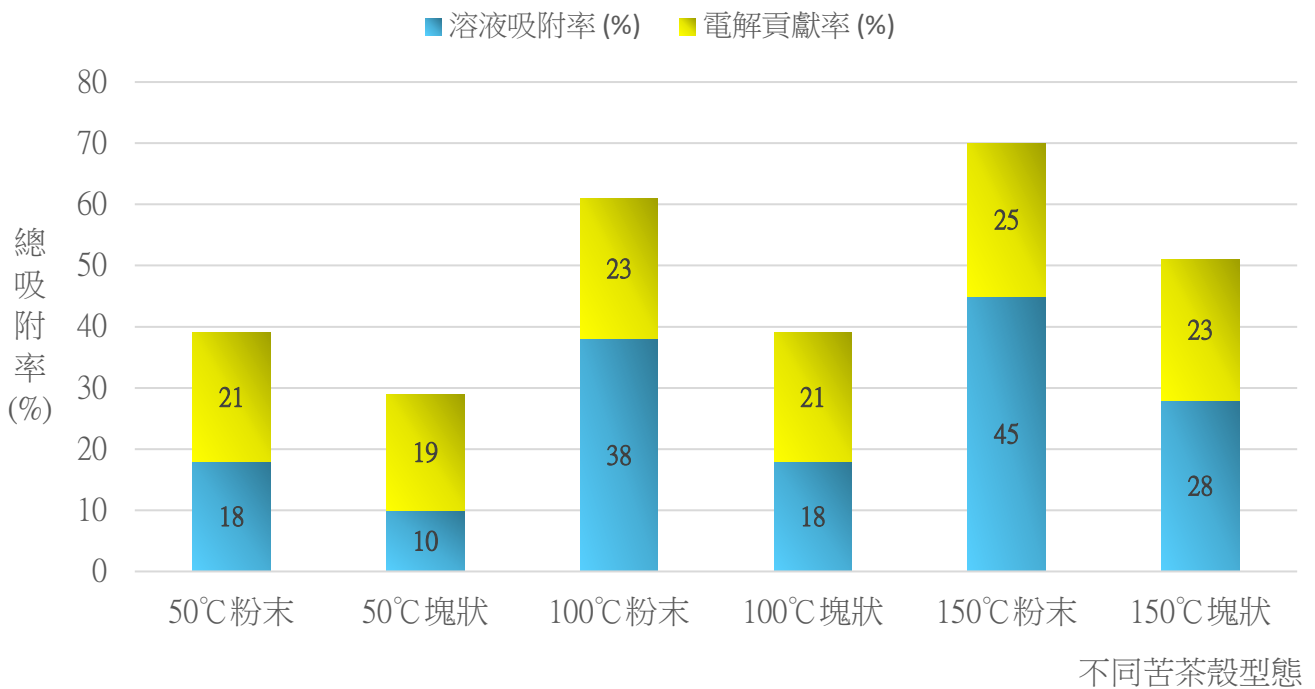
< 表 3-4：不同加熱溫度下，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子之總吸附率 >

| 溫度 (°C) | 型態 | 溶液吸附率 (%) | 電解貢獻率 (%) | 總吸附率 (%) |
|---------|----|-----------|-----------|----------|
| 50 | 粉末 | 18 | 21 | 39 |
| | 塊狀 | 10 | 19 | 29 |
| 100 | 粉末 | 38 | 23 | 61 |
| | 塊狀 | 18 | 21 | 39 |
| 150 | 粉末 | 45 | 25 | 70 |
| | 塊狀 | 28 | 23 | 51 |

< 圖3-4-1：不同加熱溫度下，不同苦茶殼型態之總吸附率 >



< 圖3-4-2：不同加熱溫度下，不同苦茶殼型態對溶液總吸附率與電解貢獻率比較 >



3. 實驗發現：

- (1) 苦茶殼粉加熱溫度從 50°C 到 100°C，吸附率大幅提升至 22%；但從 100°C 到 150°C，吸附率提升 9%，幅度變小，表示邊際效益遞減。
- (2) 每花 1 單位的電，100°C 能獲得 29% 的吸附率，比 150°C 的 21.4% 更划算，100°C 能源效率最高。
- (3) 加熱 50°C 只是把表面烘乾，孔洞還沒打開；
加熱 100°C 不會破壞苦茶殼的結構，僅去除了苦茶殼中的水分和部分揮發性有機物，使其內部纖維素、木質素上的羥基(-OH)、羧基(-COOH)等吸附官能團充分暴露，從而大幅提升了離子交換與錯合吸附的能力；
加熱 150°C 可能會讓苦茶殼慢慢碳化、變脆。

建議：評估能源效率、操作安全性與苦茶殼之穩定性最適加熱溫度為 100°C

(三) 探討不同溫度下，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|--|
| 控制變因 | 2 支石墨棒（原重 9.5g/支），苦茶殼粉 2 公克，濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，5 個 500mL 燒杯，2 顆 3 號電池串聯，時間 2 小時 |
| 操縱變因 | 溫度分別為 25°C、30°C、40°C、50°C、60°C |
| 應變變因 | 觀察 5 種溫度下，3 種苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附能力 |

- (1) 5 個燒杯分別加入苦茶殼粉末加熱 10 公克與濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，並攪拌 1 分鐘，靜置 1 分鐘。
- (2) 組裝 5 個直流電源之電解硫酸銅水溶液裝置，以石墨棒作為陰陽極，置於 25°C 恆溫槽。

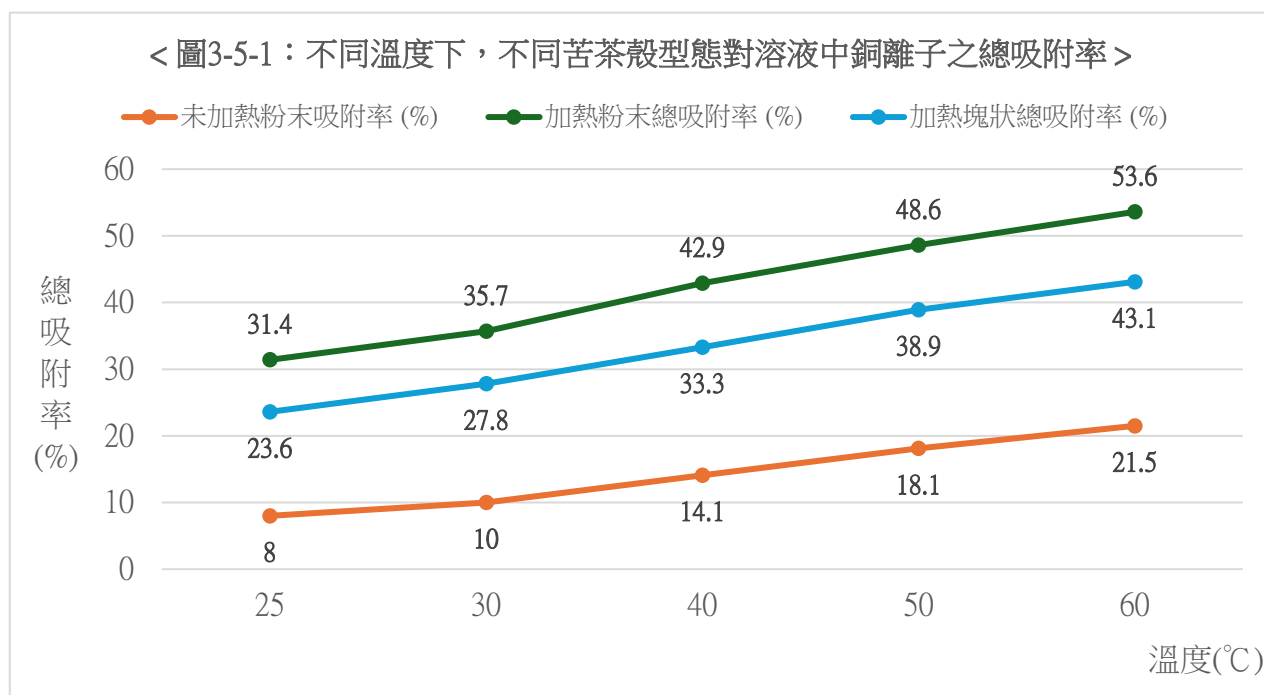
- (3) 觀察苦茶殼粉末加熱對溶液中銅離子吸附能力。
- (4) 重複步驟 (1) ~ (3)，恆溫槽溫度改為 30℃、40℃、50℃和 60℃。
- (5) 重複步驟 (1) ~ (4)，苦茶殼型態改為苦茶殼粉加熱 100℃、苦茶殼加熱 100℃。

2. 實驗結果：

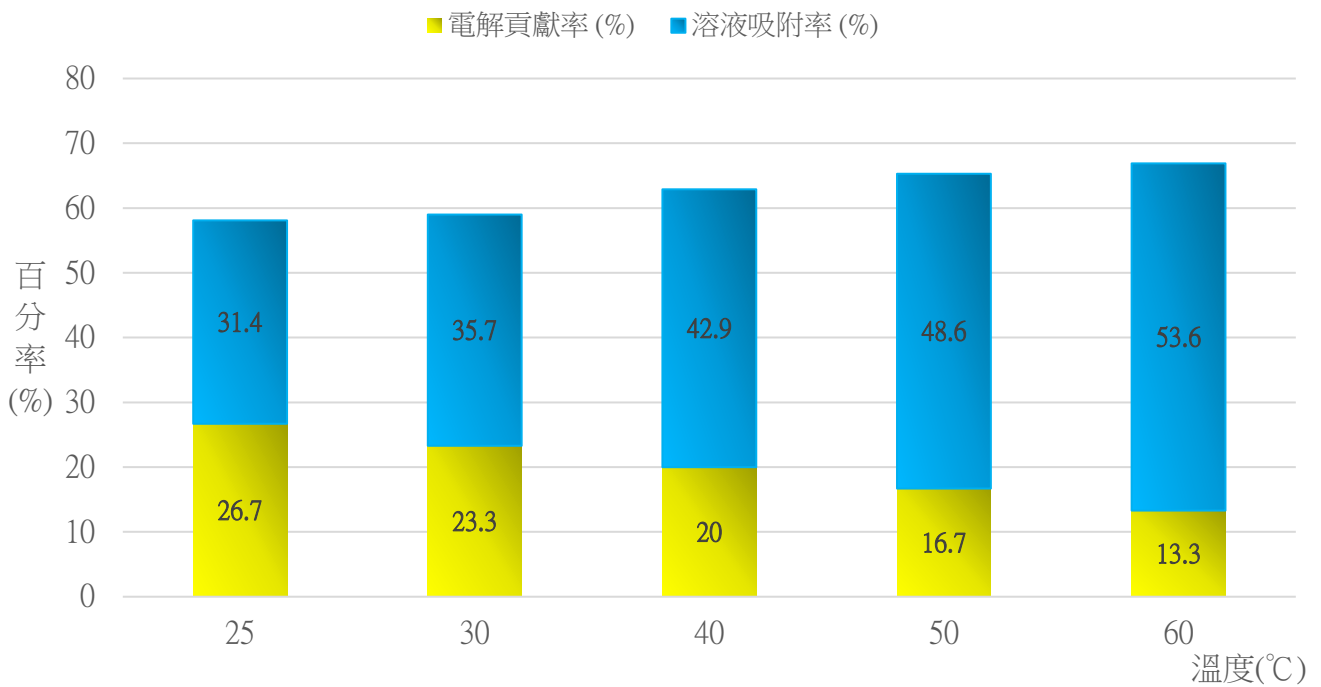
- (1) 不同溫度下，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率（詳見附錄 P42）
- (2) 不同溫度下，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率比較：

< 表 3-5：不同溫度下，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附率比較 >

| 溫度 (°C) | 粉末未加熱 吸附率 (%) | 粉末加熱 100°C 吸附率 (%) | 塊狀加熱 100°C 吸附率 (%) |
|---------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 25 | 8.0 | 31.4 | 23.6 |
| 30 | 10.0 | 35.7 | 27.8 |
| 40 | 14.1 | 42.9 | 33.3 |
| 50 | 18.1 | 48.6 | 38.9 |
| 60 | 21.5 | 53.6 | 43.1 |



< 圖3-5-2：不同溫度下，苦茶殼粉加熱100°C對溶液吸附率與電解貢獻率比較 >



3. 實驗發現：

(1) 無論哪種苦茶殼型態，溫度越高，總吸附率越高，60°C是最佳的恆溫槽溫度。

(2) 雖然 60°C 吸附效果最好，但能耗約為 40°C 的 2.3 倍，且邊際效益開始下降。

建議：評估吸附效能、能源效率、操作安全性與苦茶粉穩定性後，最適溫度為 40°C。

(四) 探討同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態於對溶液中銅離子之吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|--|
| 控制變因 | 同溫下 (40°C)，2 支石墨棒 (原重 9.5g/支)，5 個 1000mL 燒杯，3 種苦茶殼型態皆 10g，加熱溫度 100°C 24 小時，2 顆 3 號電池串聯 |
| 操縱變因 | 3 種苦茶殼型態，時間 0.5 小時、1 小時、2 小時和 3 小時 |
| 應變變因 | 觀察不同時間下，3 種苦茶殼型態對溶液中銅離子吸附能力 |

(1) 備妥苦茶殼粉未加熱、苦茶殼粉加熱 100°C 和苦茶殼加熱 100°C 各 10g。

(2) 組裝電解裝置，將苦茶殼粉未加熱倒入濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL 中，每 30 分鐘測量溶液吸光度。

(3) 重複實驗步驟 (1) ~ (2)，時間改為 1 小時、2 小時和 3 小時。

(4) 重複實驗步驟 (1) ~ (3)，型態改為苦茶殼粉加熱 100°C、苦茶殼加熱 100°C。

2. 實驗結果：

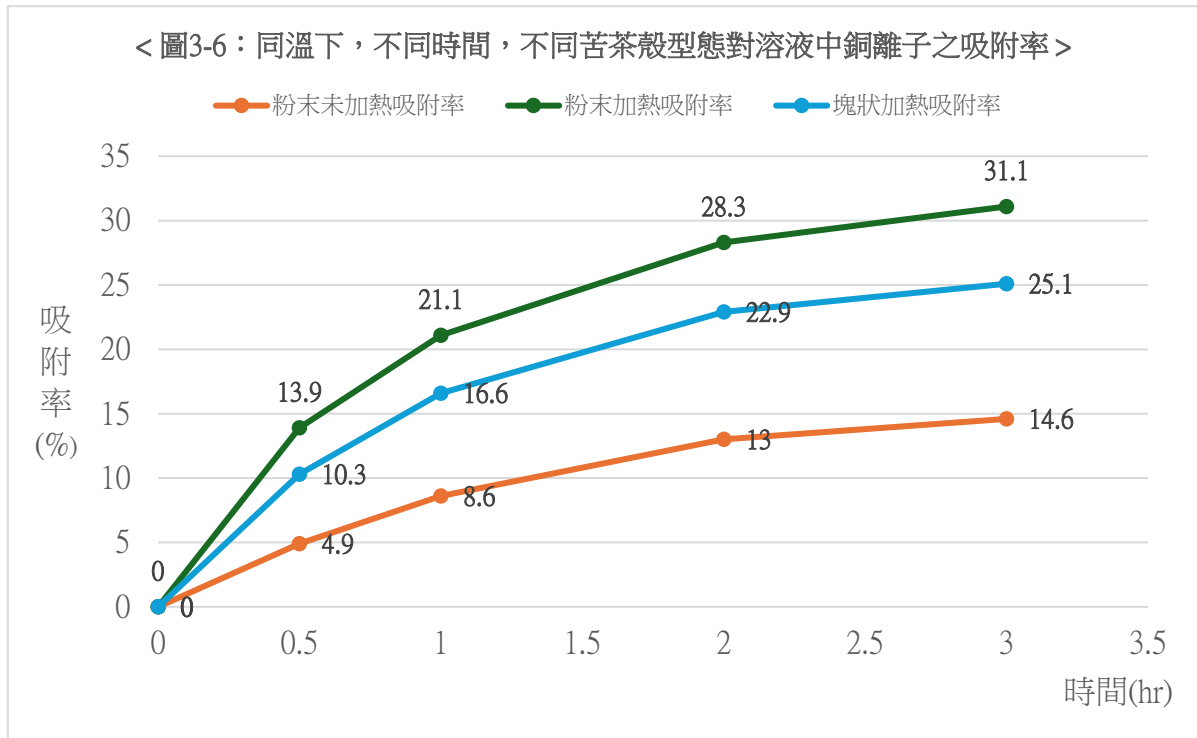
(1) 同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子之吸附率 (詳見附錄 P42~P43)

(2) 同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態陰極累積增重 (詳見附錄 P43)

(3) 同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子之吸附率：

< 表 3-6：同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態對溶液中銅離子之吸附率 >

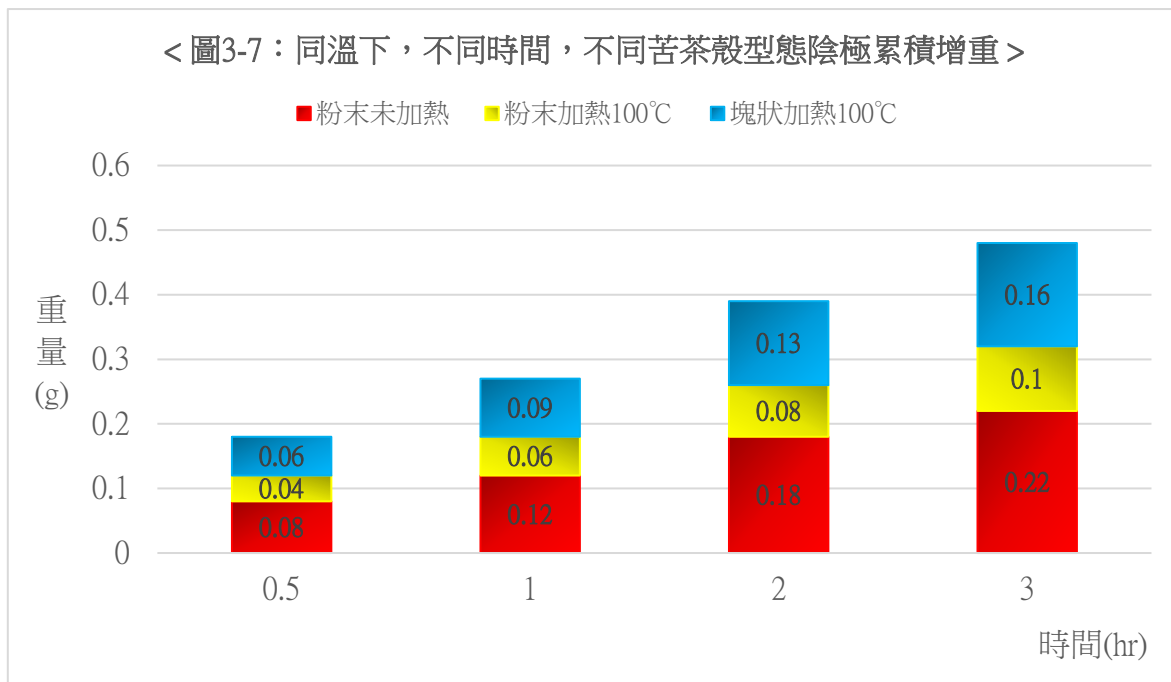
| 時間 (hr) \ 型態 | 粉末未加熱 | 粉末加熱 | 塊狀加熱 |
|--------------|-------|------|------|
| 0.5 | 4.9 | 13.9 | 10.3 |
| 1 | 8.6 | 21.1 | 16.6 |
| 2 | 13.0 | 28.3 | 22.9 |
| 3 | 14.6 | 31.1 | 25.1 |



(4) 同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態陰極累積增重：

< 表 3-7：同溫下，不同時間，不同苦茶殼型態陰極累積增重 >

| 時間 (hr) \ 型態 | 粉末未加熱 | 粉末加熱 | 塊狀加熱 |
|--------------|-------|------|------|
| 0.5 | 0.08 | 0.04 | 0.06 |
| 1 | 0.12 | 0.06 | 0.09 |
| 2 | 0.18 | 0.08 | 0.13 |
| 3 | 0.22 | 0.10 | 0.16 |



3. 實驗發現：

- (1) 有無加熱，**吸附率：未加熱 < 加熱**，加熱多吸附 2.1~2.8 倍的銅離子！
- (2) 加熱 100°C，**吸附率：塊狀 < 粉末**，粉末多吸附 4-6%的銅離子，表面積越大效果越好！
- (3) 前 0.5 小時吸附最快，2 小時已經吸附 28%，2 小時以後吸附增加變慢。

建議：最適吸附時間為 2 小時。

(五) 探討同溫下，不同時間，不同重量活性碳對溶液中銅離子吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|--|
| 控制變因 | 同溫下 (40°C)，2 支石墨棒 (原重 9.5g/支)，2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，6 個 1000mL 燒杯 |
| 操縱變因 | 活性碳 1、2、3、4、5、6、7g，時間 1 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、30 分鐘、60 分鐘、120 分鐘、150 分鐘、180 分鐘 |
| 應變變因 | 觀察不同時間下，7 種重量之活性碳對溶液銅離子吸附能力 |

- (1) 7 種不同重量的活性碳分別倒入裝有 150mL 濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液的 7 個燒杯中，攪拌 1 分鐘，靜置 1 分鐘，取中段溶液，測量初始吸光度。
- (2) 7 個燒杯加裝電解裝置後，放入 40°C 恆溫槽。
- (3) 1 分鐘後，觀察 7 個燒杯陰極石墨棒上銅離子的吸附狀況，並測量吸光度。
- (4) 重複步驟 (1) ~ (3)，時間改為 5 分鐘、10 分鐘、30 分鐘、60 分鐘、120 分鐘、150 分鐘、180 分鐘。

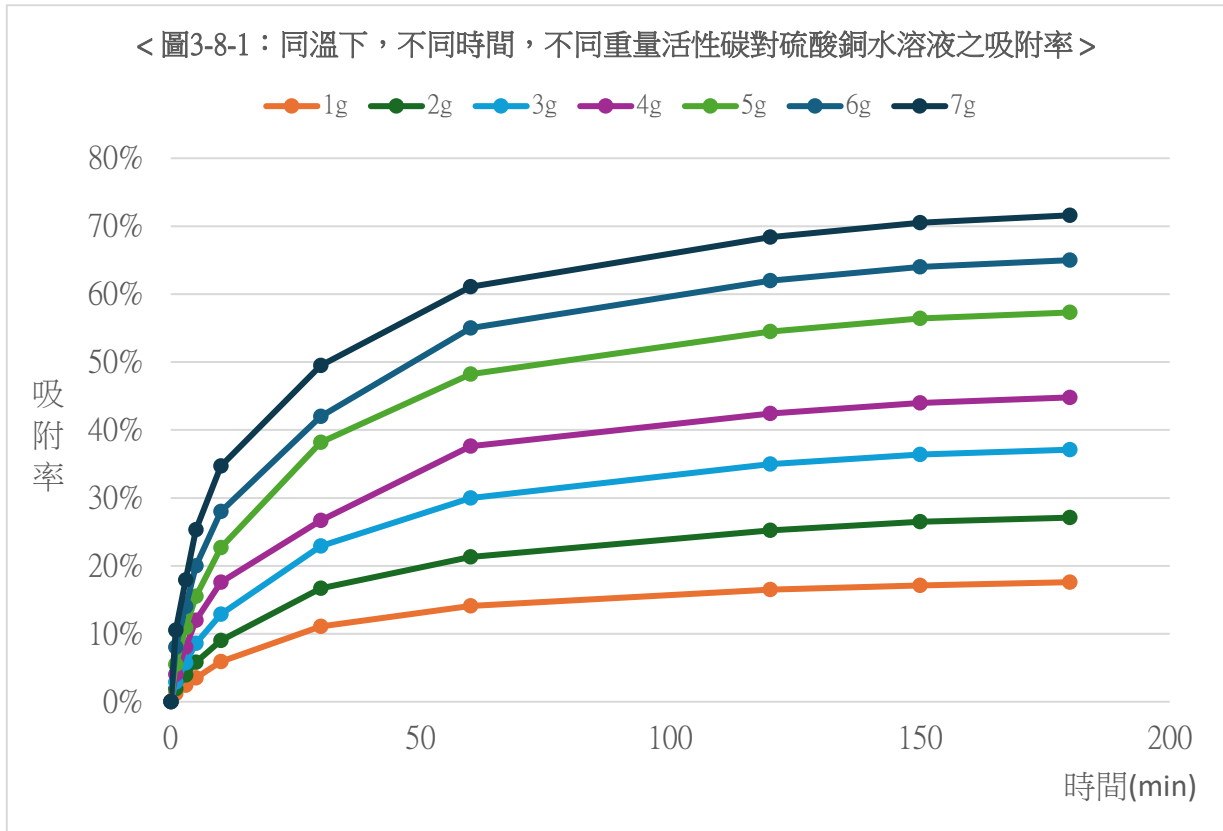
2. 實驗結果：(詳見附錄 P44~46)

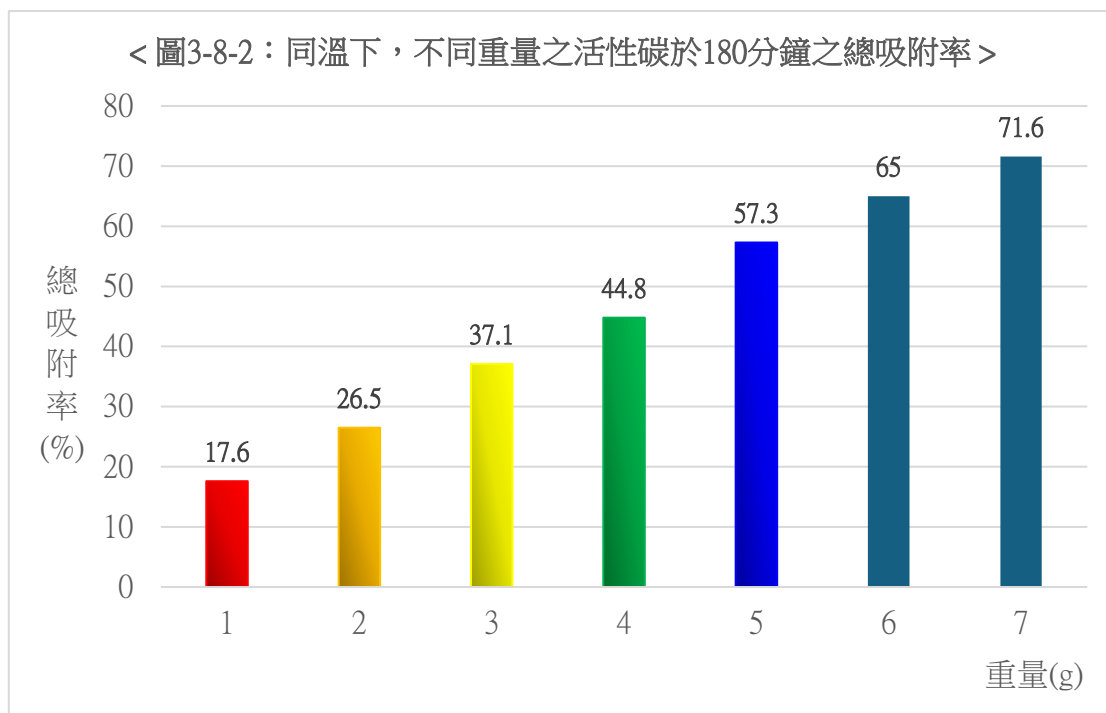
- (1) 同溫下，不同時間，不同重量之活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重
- (2) 同溫下，不同時間，不同重量之活性碳吸附貢獻比較：

< 表 3-8：同溫下，不同時間，不同重量之活性碳吸附貢獻比較 >

| 活性碳重量 (g) | 總吸附率 (%) | 電解貢獻率 (%) | 吸附電解占比 |
|-----------|----------|-----------|--------|
| 1 | 17.1 | 57.6 | 電解 |
| 2 | 26.5 | 40.0 | 電解 |
| 3 | 37.1 | 30.0 | 電解 |
| 4 | 44.8 | 20.0 | 活性碳吸附 |
| 5 | 57.3 | 13.3 | 活性碳吸附 |
| 6 | 65.0 | 0.0 | 活性碳吸附 |
| 7 | 71.6 | 0.0 | 活性碳吸附 |

< 圖3-8-1：同溫下，不同時間，不同重量活性碳對硫酸銅水溶液之吸附率 >



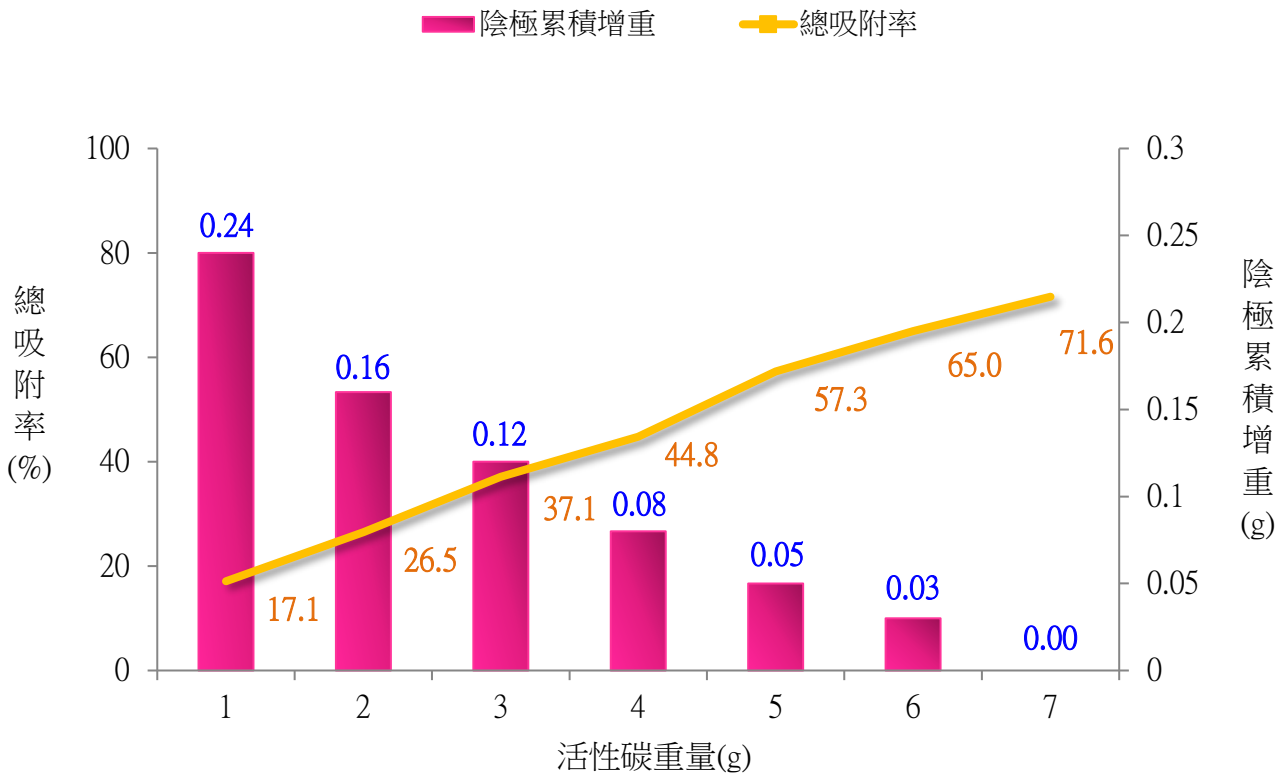


(4) 同溫下，不同重量之活性碳於 180 分鐘之總吸附率與陰極累積增重：

< 表 3-9：同溫下，不同重量之活性碳於 180 分鐘之總吸附率與陰極累積增重 >

| 活性碳重量 (g) | 總吸附率 (%) | 陰極累積增重 (g) |
|-----------|----------|------------|
| 1 | 17.1 | 0.24 |
| 2 | 26.5 | 0.16 |
| 3 | 37.1 | 0.12 |
| 4 | 44.8 | 0.08 |
| 5 | 57.3 | 0.05 |
| 6 | 65.0 | 0.03 |
| 7 | 71.6 | 0.00 |

<圖3-9：同溫下，不同重量之活性碳於180分鐘之總吸附率與陰極累積增重>



3. 實驗發現：

- (1) 活性碳越多，吸附率越高：吸附主要發生在前 60 分鐘，各重量活性碳在 60 分鐘時都已達到 80%以上的總吸附率。
- (2) 活性碳重量越多，陰極累積增重越少：銅離子都被活性碳吸附了。
- (3) 4g < 活性碳重量時：主要吸附作用來自活性碳，而不是電解。
- (4) 活性碳重量從 6g→7g 時，吸附率只增加了 6.6%，表示當活性碳重量超過 6g 後，繼續增加活性碳的效益遞減。

建議：6g 活性碳是最佳吸附重量

(六) 探討同溫下，不同時間，不同重量不同型態之苦茶殼與活性碳混合對溶液中銅離子吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|--|
| 控制變因 | 同溫下 (40°C)，2 支石墨棒 (原重 9.5g/支)，2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，6 瓶 1000mL 燒杯，2 顆 3 號電池串聯 |
| 操縱變因 | 活性碳 1g~6g、苦茶殼粉 1g~3g，苦茶殼 1g~3g，時間 0.5、1、2、3 小時 |
| 應變變因 | 同溫下 (40°C)，2 支石墨棒 (原重 9.5g/支)，2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，6 瓶 1000mL 燒杯，2 顆 3 號電池串聯 |

- (1) 6 瓶濃度 2000ppm、150mL 之硫酸銅水溶液，分別加入 1g 活性碳與 1g 苦茶殼粉。
- (2) 組裝 6 個直流電源之電解硫酸銅水溶液裝置，以石墨棒作為陰陽極。
- (3) 觀察濃度 2000ppm、150mL 之硫酸銅水溶液加入 1g 活性碳與 1g 苦茶殼粉後，吸附時間 0.5 小時，銅離子吸附能力。
- (4) 重複實驗步驟 (1) ~ (3)，活性碳重量改為 2g~6g，時間改為 1、2、3 小時。

(5) 重複實驗步驟 (1) ~ (4)，苦茶殼粉重量改為 2g~3g。

(6) 重複實驗步驟 (1) ~ (4)，苦茶殼重量改為 2g~3g。

2. 實驗結果：

(1) 不同重量不同型態苦茶殼與 1~7g 活性碳混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度
(詳見附錄 P46~P48)

(2) 不同重量不同型態苦茶殼與 1~7g 活性碳混合於不同時間陰極累積增重
(詳見附錄 P48~P50)

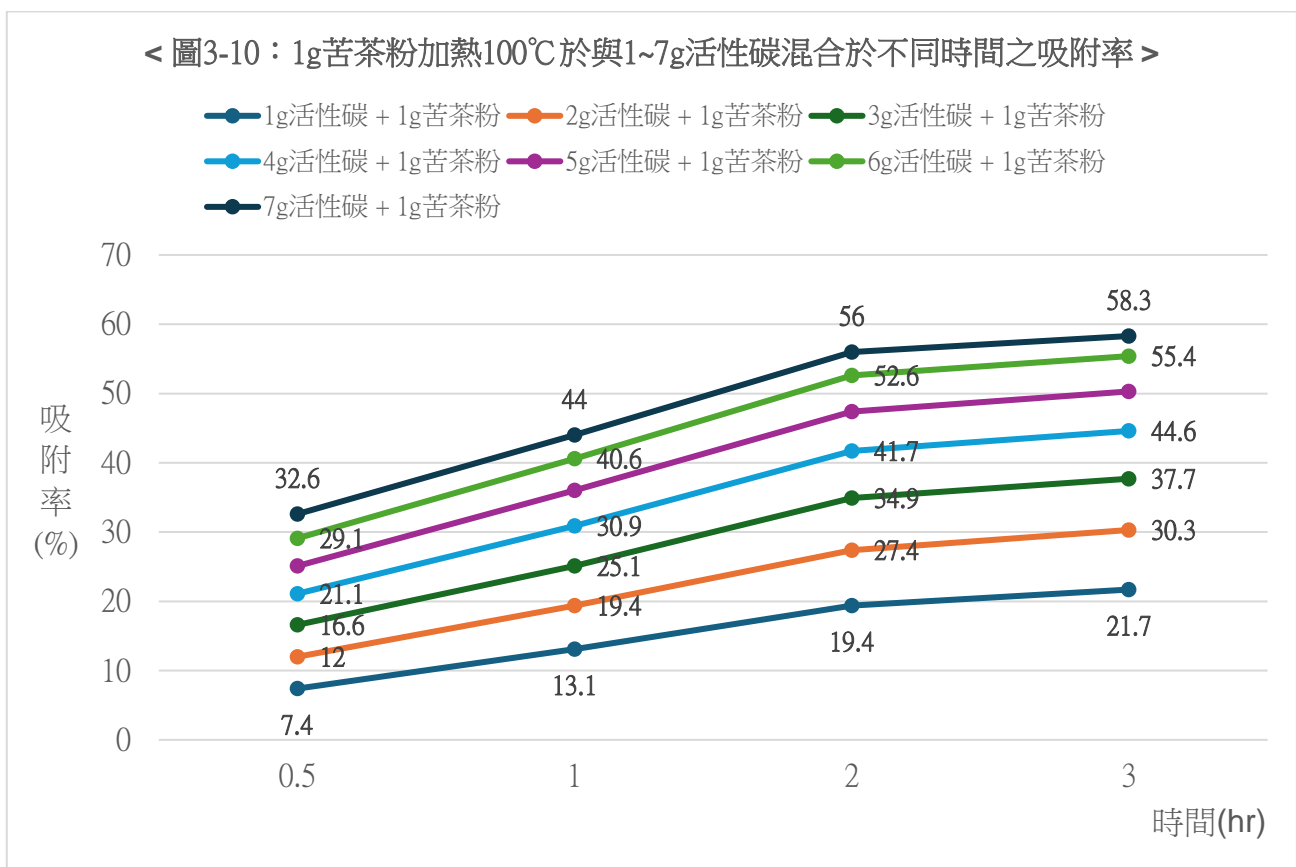
(3) 1g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率 (詳見附錄 P51)

(4) 1g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率 (詳見附錄 P51~P52)

(5) 1g~3g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率：

< 表 3-10：1g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率 >

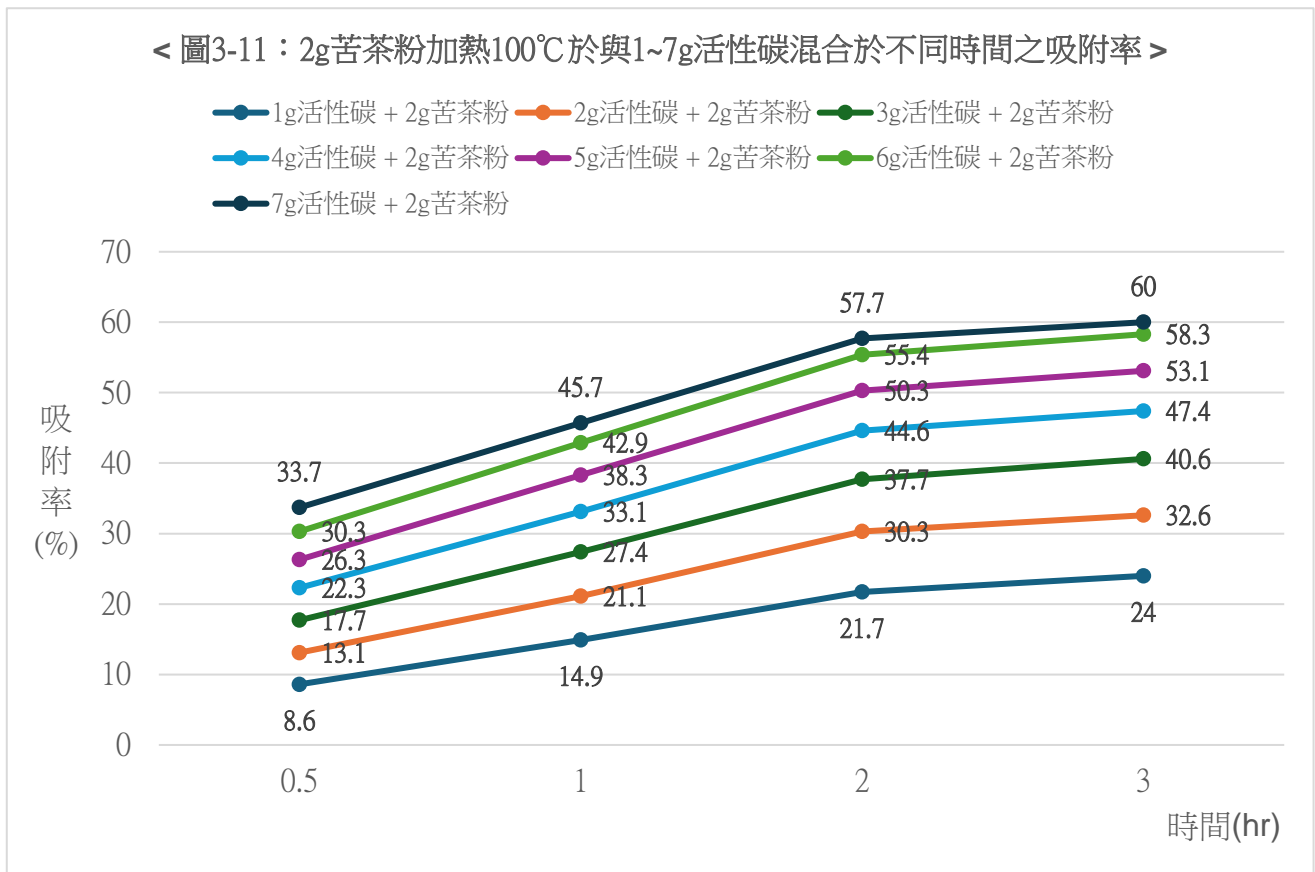
| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 7.4 | 12.0 | 16.6 | 21.1 | 25.1 | 29.1 | 32.6 |
| 1 | 13.1 | 19.4 | 25.1 | 30.9 | 36.0 | 40.6 | 44.0 |
| 2 | 19.4 | 27.4 | 34.9 | 41.7 | 47.4 | 52.6 | 56.0 |
| 3 | 21.7 | 30.3 | 37.7 | 44.6 | 50.3 | 55.4 | 58.3 |



< 表 3-11：2g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率 >

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 8.6 | 13.1 | 17.7 | 22.3 | 26.3 | 30.3 | 33.7 |
| 1 | 14.9 | 21.1 | 27.4 | 33.1 | 38.3 | 42.9 | 45.7 |
| 2 | 21.7 | 30.3 | 37.7 | 44.6 | 50.3 | 55.4 | 57.7 |
| 3 | 24.0 | 32.6 | 40.6 | 47.4 | 53.1 | 58.3 | 60.0 |

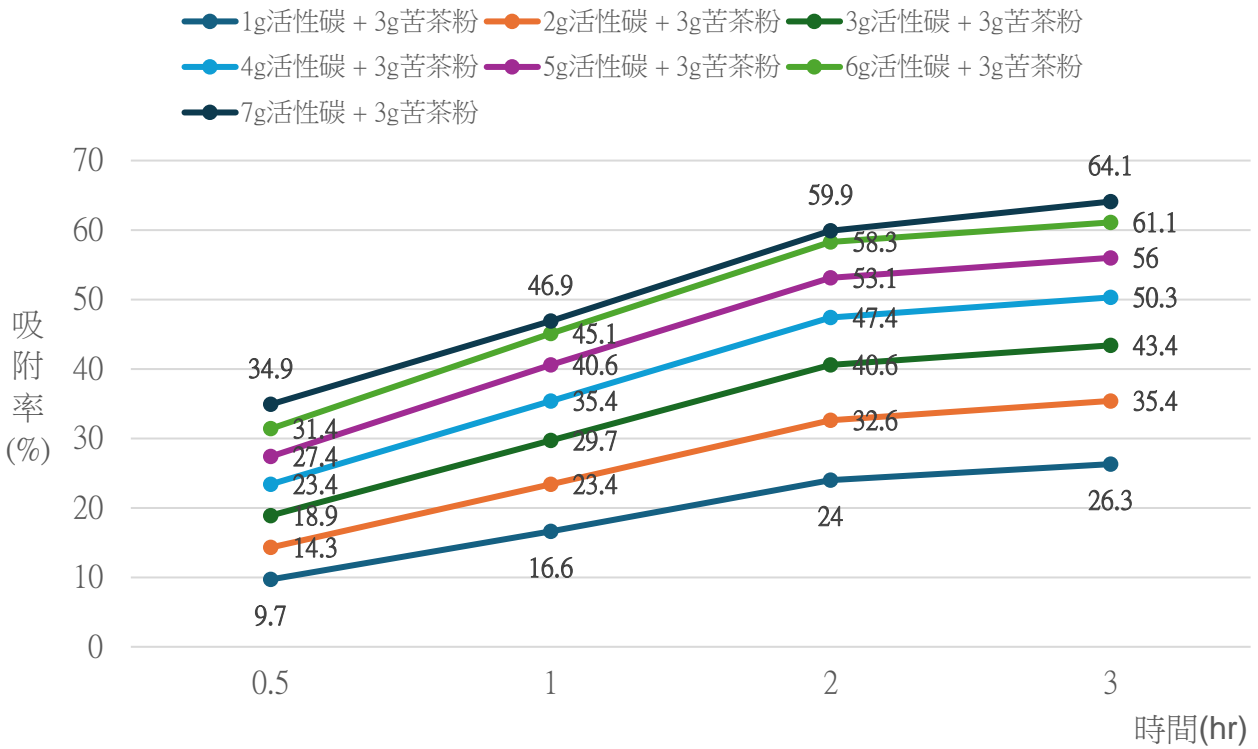
< 圖3-11：2g苦茶粉加熱100°C於與1~7g活性碳混合於不同時間之吸附率 >



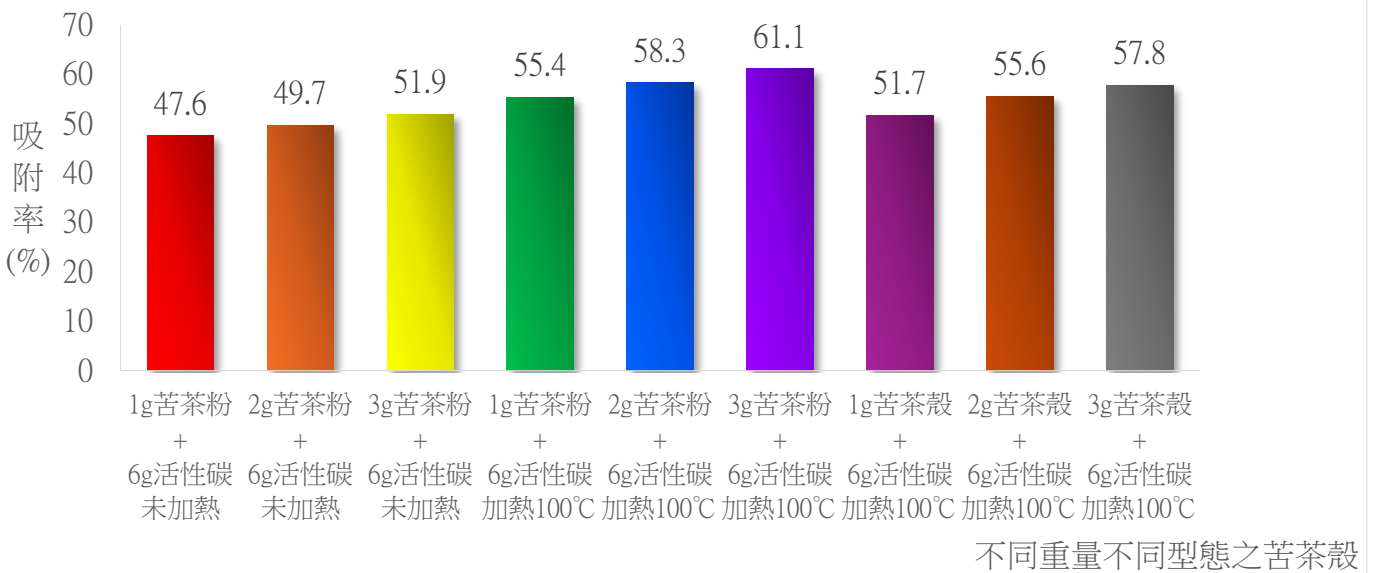
< 表 3-12：3g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率 >

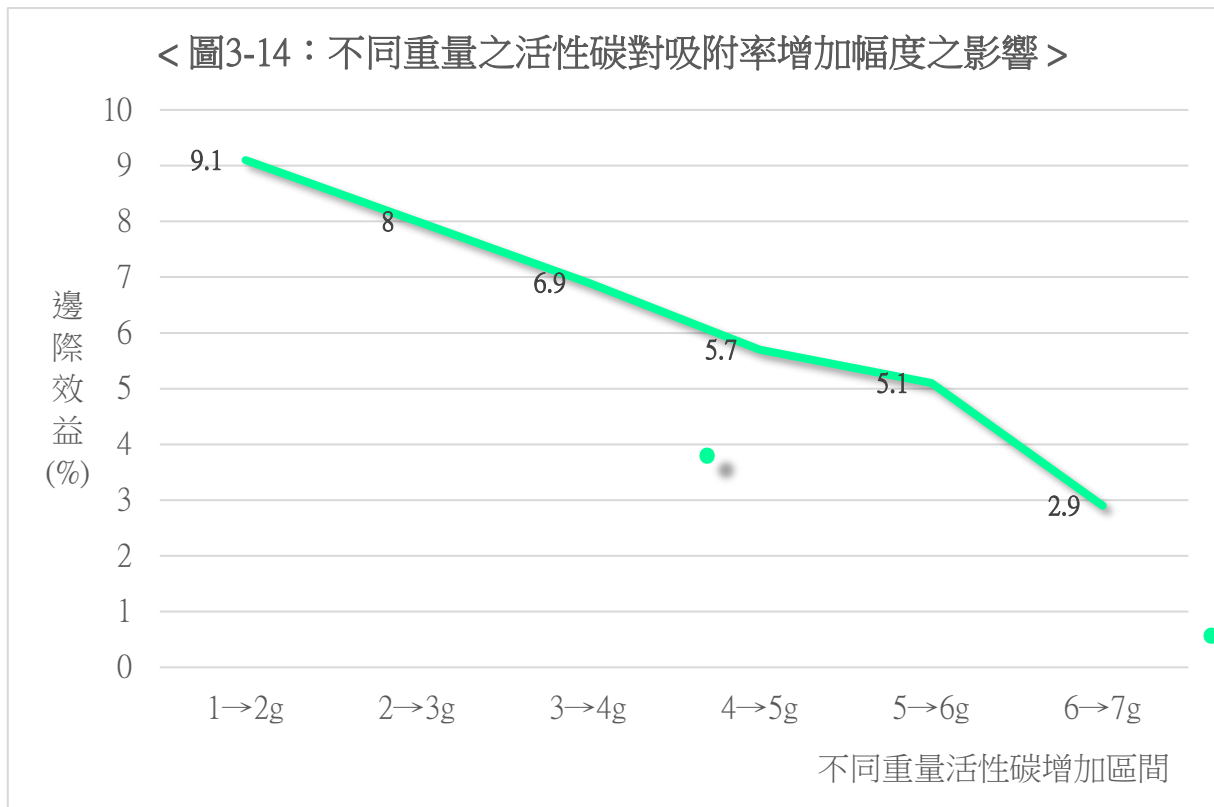
| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 9.7 | 14.3 | 18.9 | 23.4 | 27.4 | 31.4 | 34.9 |
| 1 | 16.6 | 23.4 | 29.7 | 35.4 | 40.6 | 45.1 | 46.9 |
| 2 | 24.0 | 32.6 | 40.6 | 47.4 | 53.1 | 58.3 | 59.9 |
| 3 | 26.3 | 35.4 | 43.4 | 50.3 | 56.0 | 61.1 | 64.1 |

< 圖3-12：3g苦茶粉加熱100°C於與1~7g活性碳混合於不同時間之吸附率 >



< 圖3-13：不同重量不同型態之苦茶殼與6g活性碳混合於3小時之吸附率 >



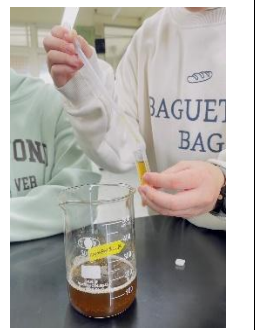





3. 實驗發現：

- (1) 苦茶殼粉加熱 100°C 越多，吸附率越高。
 - (2) 吸附主要發生在前 2 小時，其吸附率已達總吸附率的 85%以上。
 - (3) 陰極累積增重與吸附率呈反比。
 - (4) 活性碳與苦茶殼粉加熱 100°C 混合有加成效果。
 - (5) 只使用活性碳：6g 活性碳吸附率 65.0%；
 最佳吸附組合 = 3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 7g 活性碳；
 最佳經濟組合 = 3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 6g 活性碳。
 - (6) 6g < 活性碳重量，繼續增加活性碳邊際效益遞減。
- 建議：3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 6g 活性碳是兼顧吸附效果與經濟效益的最佳組合。

| | | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | | |
| 調配 2000ppm 硫酸銅水溶液 | 苦茶粉與活性碳 比例混合加入 硫酸銅水溶液 | 電解裝置放入 40°C 恆溫槽 | 觀察電解陰陽極 石墨棒周圍變化 |

| | | | |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| 觀察陰陽極 石墨棒變化 | 陰極石墨棒秤重 | 取若干中段溶液 於石英管 | 於波長 810nm 下 測量溶液吸光度 |

< 實驗過程圖 >

四、探討其他農業廢棄物對溶液中銅離子吸附率

(一) 探討不同花生殼型態於最佳化條件下對溶液中銅離子吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|--|
| 控制變因 | 同溫下 (40°C)，2 支石墨棒 (原重 9.5g/支)，3 種花生殼型態各 10g，2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，3 個 1000mL 燒杯，2 顆 3 號電池串聯 |
| 操縱變因 | 3 種花生殼型態，時間 1、2、3 小時 |
| 應變變因 | 觀察 3 種花生殼型態對硫酸銅水溶液其銅離子吸附能力 |

- (1) 取花生殼粉末 10g 加入 150mL 濃度 20000ppm 硫酸銅水溶液，攪拌 1 分鐘，靜置 1 分鐘，測初始吸光度。
- (2) 將電解裝置放置 40°C 的恆溫槽中，電解 1 小時，測量硫酸銅水溶液之吸光度與陰極石墨棒的重量。
- (3) 重覆步驟 1~2，時間改為 2 小時、3 小時。
- (4) 重覆步驟 1~3，花生型態改為粉末加熱 100°C、花生殼加熱 100°C。

2. 實驗結果：

- (1) 原吸光度：0.190

< 表 4-1：同溫下，不同時間，花生殼粉末未加熱之吸光度 >

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 吸光度 (Abs) | | | |
| 吸光度 | 0.181 | 0.174 | 0.170 |

< 表 4-2：同溫下，不同時間，花生殼粉末未加熱之陰極累積增重 >

| | | | |
|---------|------|------|------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 重量 (g) | | | |
| 陰極累積增重 | 0.02 | 0.04 | 0.06 |

(2) 原吸光度：0.180

< 表 4-3：同溫下，不同時間，花生殼粉加熱 100°C 之吸光度 >

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 吸光度 (Abs) | | | |
| 吸光度 | 0.160 | 0.147 | 0.140 |

< 表 4-4：同溫下，不同時間，花生殼粉加熱 100°C 之陰極累積增重 >

| | | | |
|---------|------|------|------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 重量 (g) | | | |
| 陰極累積增重 | 0.04 | 0.06 | 0.05 |

(3) 原吸光度：0.185

< 表 4-5：同溫下，不同時間，花生殼加熱 100°C 之吸光度 >

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 吸光度 (Abs) | | | |
| 吸光度 | 0.172 | 0.163 | 0.158 |

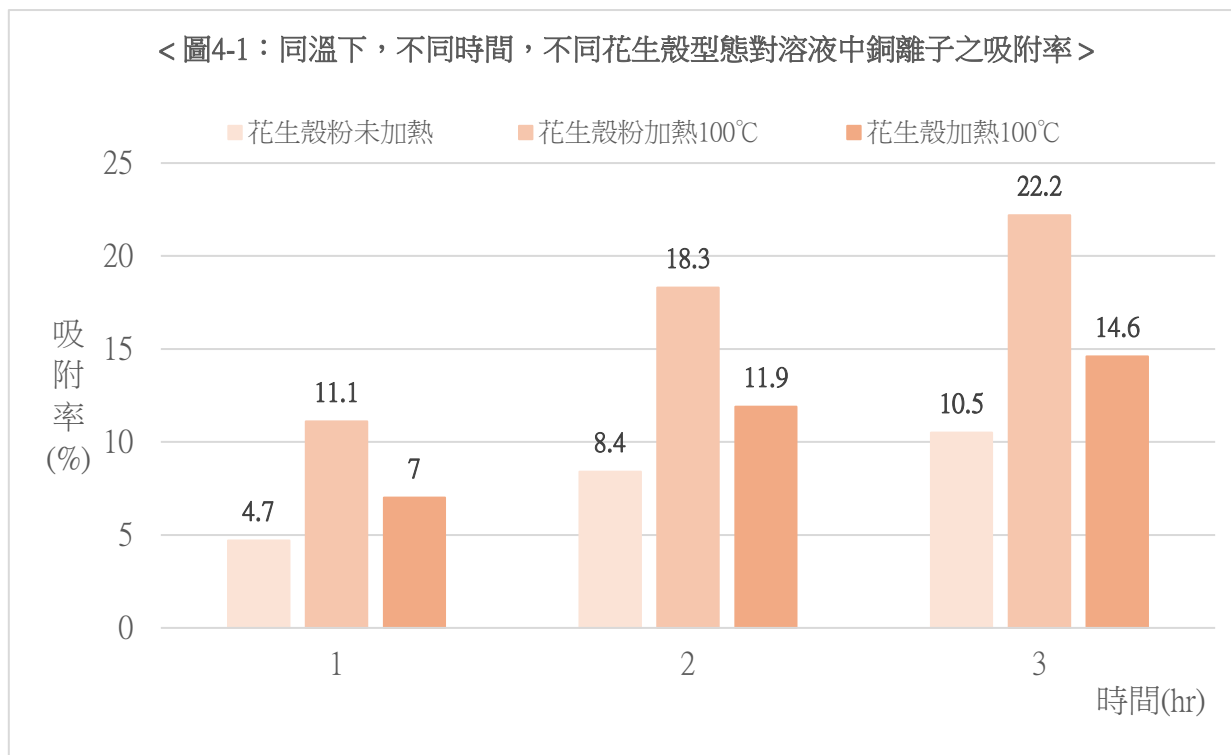
< 表 4-6：同溫下，不同時間，花生殼加熱 100°C 之陰極累積增重 >

| | | | |
|---------|------|------|------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 重量 (g) | | | |
| 陰極累積增重 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |

(4) 吸附率：

< 表 4-7：同溫下，不同時間，不同花生殼型態對溶液中銅離子之吸附率 >

| | | | |
|--------|---------|--------------|-------------|
| 型態 | 花生殼粉未加熱 | 花生殼粉加熱 100°C | 花生殼加熱 100°C |
| 時間(hr) | | | |
| 1 | 4.7 | 11.1 | 7.0 |
| 2 | 8.4 | 18.3 | 11.9 |
| 3 | 10.5 | 22.2 | 14.6 |



3. 實驗發現：

- (1) 吸附率比較：花生殼粉未加熱 < 花生殼加熱 100°C < 花生殼粉加熱 100°C
 花生殼加熱 100°C < 花生殼粉加熱 100°C

(二) 探討不同開心果殼型態於最佳化條件下對溶液中銅離子吸附率

1. 實驗方法：

| | |
|------|---|
| 控制變因 | 同溫下 (40°C)，2 支石墨棒 (原重 9.5g/支)，3 種開心果殼型態各 10g，2000ppm 硫酸銅水溶液 150mL，3 個 1000mL 燒杯，2 顆 3 號電池串聯 |
| 操縱變因 | 3 種開心果殼型態，時間 1、2、3 小時 |
| 應變變因 | 觀察 3 種開心果殼型態對硫酸銅水溶液其銅離子吸附能力 |

- (1) 取開心果殼粉末 10g 加入 150mL 濃度 20000ppm 硫酸銅水溶液，攪拌 1 分鐘，靜置 1 分鐘，測初始吸光度。
- (2) 將電解裝置放置 40°C 的恆溫槽中，電解 1 小時，測量硫酸銅水溶液之吸光度與陰極石墨棒的重量。
- (3) 重覆步驟 1~2，時間改為 2~3 小時。
- (4) 重覆步驟 1~3，開心果型態改為粉末加熱 100°C、開心果殼加熱 100°C。

2. 實驗結果：

- (1) 原吸光度：0.190

< 表 4-8：同溫下，不同時間，開心果殼粉末加熱之吸光度 >

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 吸光度 (Abs) | | | |
| 吸光度 | 0.183 | 0.177 | 0.174 |

< 表 4-9：同溫下，不同時間，開心果殼粉末加熱之陰極累積增重 >

| | | | |
|---------|------|------|------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 重量 (g) | | | |
| 陰極累積增重 | 0.02 | 0.04 | 0.06 |

(2) 原吸光度：0.180

< 表 4-10：同溫下，不同時間，開心果殼粉加熱 100°C 之吸光度 >

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 吸光度 (Abs) | | | |
| 吸光度 | 0.165 | 0.153 | 0.145 |

< 表 4-11：同溫下，不同時間，開心果殼粉加熱 100°C 之陰極累積增重 >

| | | | |
|---------|------|------|------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 重量 (g) | | | |
| 陰極累積增重 | 0.03 | 0.06 | 0.05 |

(3) 原吸光度：0.185

< 表 4-12：同溫下，不同時間，開心果殼加熱 100°C 之吸光度 >

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 吸光度 (Abs) | | | |
| 吸光度 | 0.175 | 0.167 | 0.162 |

< 表 4-13：同溫下，不同時間，開心果殼加熱 100°C 之陰極累積增重 >

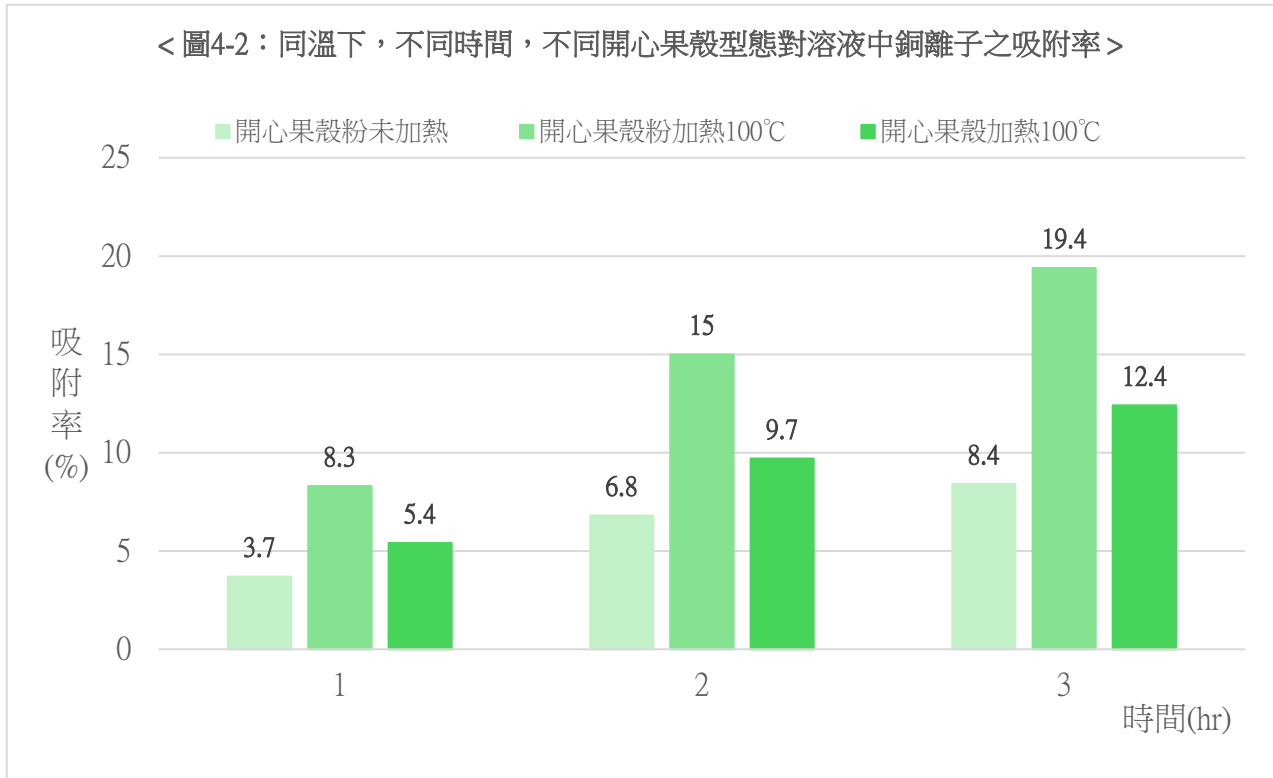
| | | | |
|---------|------|------|------|
| 時間 (hr) | 1 | 2 | 3 |
| 重量 (g) | | | |
| 陰極累積增重 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |

(4) 吸附率：

< 表 4-14：同溫下，不同時間，不同開心果殼型態之吸附率 >

| | | | |
|--------|-----------|---------------|--------------|
| 型態 | 開心果殼粉末未加熱 | 開心果殼粉加熱 100°C | 開心果殼加熱 100°C |
| 時間(hr) | | | |
| 1 | 3.7 | 8.3 | 5.4 |
| 2 | 6.8 | 15.0 | 9.7 |

| | | | |
|---|-----|------|------|
| 3 | 8.4 | 19.4 | 12.4 |
|---|-----|------|------|



3. 實驗發現：

- (1) 吸附率比較：開心果殼粉末未加熱 < 開心果殼加熱 100°C < 開心果殼粉末加熱 100°C
開心果殼加熱 100°C < 開心果殼粉末加熱 100°C

(三) 探討不同農業廢棄物於最佳化條件下吸附率排名

- (1) 不同農業廢棄物於最佳化條件下吸附率排名：

< 圖 4-15：不同農業廢棄物於最佳化條件下吸附率排名 >

| 排名 | 材料型態 | 吸附率 (%) |
|----|--------------------------|---------|
| 1 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉加熱 100°C | 71.6 |
| 2 | 6g 活性碳 | 65.0 |
| 3 | 5g 活性碳 | 57.3 |
| 4 | 苦茶殼粉加熱 100°C | 50.0 |
| 5 | 4g 活性碳 | 44.8 |
| 6 | 3g 活性碳 | 37.1 |
| 7 | 苦茶殼加熱 100°C | 31.1 |
| 8 | 2g 活性碳 | 26.5 |
| 9 | 花生殼粉加熱 100°C | 22.2 |
| 10 | 開心果粉加熱 100°C | 19.4 |

伍、討論

一、探討廢電池拆解前後之電壓變化，並觀察其內部構造與組成材料

1. 拆解廢電池是本研究的前置實驗，我們選擇回收量最多的 3 號電池作研究，學生顯得非常興奮，躍躍欲試。我們先用三用電表測量回收電池的電壓與電流，接著透過鉗子的輔助，從電池外包裝由外往內一層一層剝開，很清楚看到電池的內部構造與組成材料，最難處理的應該是將石墨棒完整抽出，幸好學生都克服了這項挑戰!最後，學生將最重要的三種材料（石墨棒、鋅片與黑色電解質）重新組合，測量拆解後的電壓與電流，並思考拆解前後電壓與電流的差異所代表的可能原因。原本我們發想將回收電池的石墨棒作為電解裝置的陰陽極，但是 3 號電池的石墨棒短又細，無法浸入 150mL 的硫酸銅水溶液中，因此購買市售的石墨棒替代。同時也意識到，廢電池若被丟進一般垃圾，送到掩埋場或焚化爐，其外殼隨時間腐蝕，裡面的金屬物質溶出，或是高溫使部分重金屬飛灰或煙氣，造成空氣汙染，將對我們的身體健康與生活環境造成嚴重的影響。

實驗結果發現：電壓主要取決於材料的化學反應，石墨棒+鋅片+電解質重新組合後亦能測量到低電壓，而微弱的電流，是電解質分布不均或接觸不良是造成。

2. 透過拆解電池的學習歷程，學生已經了解電池的內部構造與組成材料，接著探討廢電池材料如何能產生電，也就是了解廢電池中殘留的化學物質與不同金屬電極之間的反應性。從實驗結果我們發現，不同材料組合所產生的電壓有顯著差異，這證明了廢電池內部殘留的電解質仍具有活性，能與不同金屬發生氧化還原反應，進而產生電位差。在改變兩電極距離的實驗中，我們觀察到隨著電極間距增加，電壓有逐漸下降的趨勢。這可能是由於電解質中的離子傳導路徑變長，導致內電阻增加，進而影響電壓的表現。

實驗結果發現：廢電池拆解後的材料，重新組合仍能產生電壓。石墨棒與鋅片分別插入電解質中，能產生微弱的電壓，且電極距離越近，電壓越大。

二、探討同溫下不同濃度之硫酸銅水溶液檢測實驗

1. 由於硫酸銅水溶液很容易導電，裡面有很多可以自由移動的小離子，加速電解反應。另外，硫酸銅水溶液呈藍色，它的顏色深淺變化與吸光度增減是很好互相印證的方式。
2. 一開始我們選用低濃度的硫酸銅水溶液，因為濃度較低，受誤差影響較大，我們推測是背

景值存在的關係，於是我們改用高濃度的硫酸銅水溶液實驗，以降低誤差。

實驗結果發現：硫酸銅水溶液在約 950 - 970 nm 處具有較高吸光度，但該區域吸光度變化陡峭，對波長微小誤差敏感，容易造成測量不穩定。相較之下，810 nm 位於吸收曲線的平緩區域，具有較佳的穩定性與重現性。

波長 810nm 下，各濃度之吸光度與濃度具高度線性相關，其相關係數

$R^2 = 0.999$ ，表示在 20 ppm 至 2000 ppm 範圍內，吸光度與濃度之間具有

極佳之線性關係。

波長 810nm 下，8 種濃度對應的吸光度連成的斜直線為硫酸銅水溶液檢量線。

三、探討不同條件下不同苦茶殼型態對銅離子吸附率最佳化實驗

1. 新竹地區的頭前溪與客雅溪近年曾傳出重金屬污染問題，受到社會關注。查閱相關文獻，已有研究利用茶葉渣、玉米芯或甘蔗渣等材料進行重金屬吸附實驗，顯示天然植物材料可能具有吸附金屬離子的能力。每年 10、11 月是苦茶樹採收的季節，老師的朋友將家鄉收成的苦茶籽/殼提供給我們做研究。

我們先挑出苦茶籽的果殼與種殼（以下統稱苦茶殼），實驗設計將苦茶殼分成三種型態（苦茶殼粉末加熱、苦茶殼粉加熱、苦茶殼加熱）在不同條件下觀察溶液中銅離子的吸附率。

由於苦茶殼比較硬，我們嘗試用鐵鎚先敲打成碎屑，再用杵研磨，但成效不彰。於是思考使用研磨機，不過七刀頭或八刀頭的研磨機雖然可立即將苦茶殼研磨成粉，但一台機器約 1 萬元，在經費有限的考量下，老師先拿一般四刀頭的果汁機測試，雖然是四刀頭，但馬力強，轉速快，幾次研磨後，大部分苦茶殼已經化成粉末狀，為了節省材料，經篩網過篩，取得細緻的粉末後，並將剩餘無法過篩的大顆粒繼續研磨，才得以讓實驗繼續進行。

除了觀察 3 種不同苦茶殼型態於硫酸銅水溶液中對銅離子之吸附率，我們以惰性元素的石墨棒作為電解的兩極，其優點在於石墨是良好的導電體，不易與溶液反應，能清楚的觀察到陰極石墨棒上紅棕色的銅沉積在上面，再由陰極累積增重數據的變化，得知電解在整個實驗過程的貢獻占比。

實驗結果發現：吸附時間越長，溶液吸光度下降，表示銅離子吸附越多。

吸附時間越長，陰極累積增重增加，表示電解持續進行銅離子吸附。

相同吸附時間，吸附率：未加熱 < 加熱，表示加熱提升銅離子吸附。

相同加熱條件下，吸附率：苦茶殼 < 苦茶殼粉，表示增加表面積，提升銅

離子吸附。

隨著初始濃度增加，吸附率雖下降，但總吸附量仍增加，顯示苦茶殼粉在高濃度下逐漸達到吸附飽和。

2. 為了備妥苦茶殼粉加熱或苦茶殼加熱這兩項材料，我們購買可設定最高溫 200°C 的小型熱循環烘箱。並將欲加熱的材料分別設定低、中、高 3 種溫度（溫差 50°C）放入烘箱中，控制加熱時間為 24 小時後取出。接著將加熱後的材料分別倒入 150mL 濃度 2000ppm 的硫酸銅水溶液中，攪拌 1 分鐘，靜置 1 分鐘，取中段的溶液，測其初始吸光度，再加上電解裝置，放入 25°C 恆溫槽，吸附時間 2 小時，並觀察與紀錄後吸光度與陰極增重。

實驗結果發現：苦茶殼粉加熱溫度從 50°C 到 100°C，吸附率大幅提升至 22%；但從 100°C 到 150°C，吸附率提升 9%，幅度變小，表示邊際效益遞減。

加熱 50°C 只是把表面烘乾，孔洞還沒打開；加熱 100°C 不會破壞苦茶殼的結構，僅去除了苦茶殼中的水分和部分揮發性有機物，使其內部纖維素、木質素上的羥基(-OH)、羧基(-COOH)等吸附官能團充分暴露，從而大幅提升了離子交換與錯合吸附的能力；150°C 可能會讓苦茶殼慢慢碳化、變脆。

建議：評估能源效率、操作安全性與苦茶殼穩定性，最佳加熱溫度為 100°C

3. 恆溫槽是實驗過程扮演定溫的重要角色，更能確保實驗的化學變化在同一溫度下進行，不會受到環境冷熱的影響。

實驗結果發現：無論哪種苦茶殼型態，溫度越高，吸附率：

$25^{\circ}\text{C} < 30^{\circ}\text{C} < 40^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C} < 60^{\circ}\text{C}$

雖然 60°C 吸附效果最好，但能耗約為 40°C 的 3 倍，且邊際效益開始下降。

建議：評估吸附效能、能源效率、操作安全性與苦茶殼穩定性，最佳溫度為 40°C

4. 前實驗得知，最佳溫度為 40°C，因此本實驗於恆溫槽設定溫度 40°C 進行。我們發現溫度會影響吸附速度，40°C 時吸附比較快，2 小時就能達到 25°C 時 24 小時的效果。這說明了加熱可以幫助苦茶殼粉更快吸附銅離子。

實驗結果發現：有無加熱，吸附率：未加熱 < 加熱；加熱 100°C 吸附率：塊狀 < 粉末
前 0.5 小時吸附最快，2 小時已經吸附 30%，2 小時以後吸附增加變慢。

建議：最佳吸附時間為 2 小時。

5. 活性炭在生活中有許多應用，例如：口罩、濾水器和空氣清淨機等。活性炭吸附力超強，就像超級海綿！裡面有很多很多小孔洞，如果把 1 公克的活性炭展開，表面積可以大到 1000 平方公尺，這麼大的表面積，可以抓住很多銅離子，因此，用活性炭來吸附銅離子，效果會很明顯，容易觀察，可作為本研究的對照組。

實驗結果發現：活性炭越多，吸附率越高：吸附主要發生在前 60 分鐘，各重量活性炭在 60 分鐘時都已達到 80% 以上的總吸附率。

活性碳越多，陰極累積增重越少：銅離子都被活性碳吸附了。

4g < 活性碳重量時：主要吸附作用來自活性碳，而不是電解。

活性碳從 6g→7g 時，吸附率只增加了 6.6%，這表示當活性碳重量超過 6g 後，繼續增加活性碳的效益越來越低。

建議：6g 活性碳是最佳吸附重量。

6. 苦茶殼是植物性材料，主要成分為：纖維素、半纖維素、木質素，這類材料天然，具有一些孔隙結構，磨成粉後，屬於「具有孔隙的材料」。苦茶殼粉末吸附銅離子的機制主要是：孔隙可以「卡住」部分離子，表面有一些官能基團，例如：-OH（羥基）與 -COOH（羧基）可以和銅離子形成弱鍵結。透過加熱處理，吸附能力亦大幅提升，前項實驗結果得知活性碳越多，吸附率越高，於是我們將不同重量不同苦茶殼型態混合，於最適溫度與時間下，觀察溶液中銅離子的吸附效果。

實驗結果發現：苦茶殼粉加熱 100°C 重量越多，吸附率越高。

吸附主要發生在前 2 小時，其吸附率已達總吸附率的 85% 以上。

陰極累積增重與吸附率呈反比。

活性碳與苦茶殼粉加熱 100°C 混合有加成效果。

只使用活性碳：6g 活性碳吸附率 65.0%；

最佳吸附組合 = 3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 7g 活性碳；

最佳經濟組合 = 3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 6g 活性碳。

6g < 活性碳重量，繼續增加活性碳邊際效益越來越低。

建議：3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 6g 活性碳是最佳吸附組合。

四、探討其他農業廢棄物對溶液中銅離子吸附率

1. 實驗進行慢慢的接近農曆春節，想到一般民眾都會採買年貨—花生，於是，我們買了 2 斤的原味花生，作為探討其他農業廢棄物對溶液中銅離子吸附率之材料。我們享用花生後，收集吃剩的花生殼，並處理成 3 種不同花生殼型態（花生殼粉未加熱，花生殼粉加熱與花生殼加熱），觀察不同花生殼型態於最佳化條件下對硫酸銅水溶液中銅離子吸附率。

實驗結果發現：吸附率比較：

花生殼粉未加熱 < 花生殼加熱 100°C < 花生殼粉加熱 100°C

花生殼加熱 100°C < 花生殼粉加熱 100°C

2. 開心果也是一般民眾喜愛的年貨之一，我們也購入 2 斤的原味開心果，享用之餘，合力將開心果殼收集起來，並處理成 3 種不同開心果殼型態（開心果殼粉未加熱，開心果殼粉加熱與開心果殼加熱），觀察不同開心果殼型態於最佳化條件下對硫酸銅水溶液中銅離子吸附

率。由於開心果殼比苦茶殼還堅硬，研磨過程需花費許多時間才能累積 10g 的粉末，甚至四刀頭的果汁機在實驗過程中提前退役，還好馬上購入新的同款果汁機，繼續完成實驗。

實驗結果發現：吸附率比較：

開心果殼粉末未加熱 < 開心果殼加熱 100°C < 開心果殼粉加熱 100°C
開心果殼加熱 100°C < 開心果殼粉加熱 100°C

陸、結論

一、探討廢電池拆解前後之電壓變化，並觀察其內部構造與組成材料

1. 電壓主要取決於材料的化學反應，石墨棒+鋅片+電解質重新組合後亦能測量到低電壓，而微弱的電流，是電解質分布不均或接觸不良是造成。
2. 廢電池拆解後的材料，重新組合仍能產生電壓。石墨棒與鋅片分別插入電解質中，能產生電壓，兩極距離越近，電壓越大。

二、探討同溫下不同濃度之硫酸銅水溶液檢測實驗

1. 波長 810nm 下，濃度 20 ppm 至 2000 ppm 範圍內之吸光度與濃度具高度線性相關，其相關係數 $R^2 = 0.999$ 。
2. 波長 810nm 下，8 種濃度對應的吸光度連成的斜直線為硫酸銅水溶液檢量線。

三、探討不同條件下不同苦茶殼型態對銅離子吸附率最佳化實驗

1. 不同吸附時間，相同型態，吸附率：24 小時 < 48 小時 < 72 小時 < 96 小時，
相同吸附時間，不同型態，吸附率：未加熱 < 加熱，
相同加熱條件下，不同型態，吸附率：塊狀 < 粉末，
2. 不同加熱溫度，不同型態，吸附率：50°C < 100°C < 150°C，
評估能源效率、操作安全性與苦茶殼穩定性，最佳加熱溫度為 100°C
3. 不同溫度，不同型態，吸附率：25°C < 30°C < 40°C < 50°C < 60°C，
評估吸附效能、能源效率、操作安全性與苦茶殼穩定性，最佳溫度為 40°C
4. 不同時間，相同溫度，有無加熱 100°C，吸附率：未加熱 < 加熱；
加熱 100°C，吸附率：塊狀 < 粉末
5. 不同重量的活性碳，吸附率：1g < 2g < 3g < 4g < 5g < 6g，

6g < 活性碳重量時，吸附率邊際效益遞減，6g 為活性碳最佳吸附重量

6. 活性碳與苦茶殼粉加熱 100°C 混合吸附率有加成效果，

3g 苦茶殼粉加熱 100°C + 6g 活性碳是最佳吸附組合

四、探討其他農業廢棄物對溶液中銅離子吸附率

1. 不同時間，花生殼吸附率：未加熱 < 加熱；塊狀 < 粉末

2. 不同時間，開心果殼吸附率：未加熱 < 加熱；塊狀 < 粉末

3. 綜合比較：不同農業廢棄物型態於最佳化條件下吸附率排名

開心果殼粉加熱 100°C < 花生殼粉加熱 100°C < 2g 活性碳 < 苦茶殼加熱 100°C < 3g 活性碳 < 4g 活性碳

< 苦茶殼粉加熱 100°C < 5g 活性碳 < 6g 活性碳 < 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉加熱 100°C

柒、參考資料

1. 含纖維素之生物吸附劑對重金屬吸附之研究，碩士論文，賴怡伶
2. 以花生殼灰吸附水溶液中鉛離子的研究，碩士論文，廖士瑋
3. 新竹市第 43 屆科學展覽會作品：好菇到－利用廢棄菇類吸附實驗室硫酸銅廢液中銅離子
4. 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品：膜力奇蹟－以蛋殼膜粉吸附重金屬離子與色素之研究
5. 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品：吸金大法－果皮改善重金屬污染水之研究
6. 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品：農業廢棄物再利用－吸附重金屬離子之研究
7. 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品：『蔗』麼『C』力－利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子
8. 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品：遠離「塑」命-海需要開發淡菜足絲
9. 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品：碳為觀止－回收式生物炭吸附光解膠囊
10. 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品：殼中生機－廢棄殼粉晶球戰勝重金屬廢液
11. 農業知識入口網：

https://kmweb.moa.gov.tw/search_wg.php?q=%E8%8B%A6%E8%8C%B6%E6%AE%BC&s_type=

12. 自然科學第七冊，第三單元「發現大地的奧秘」，台北：翰林書局，2025

捌、附錄

附錄 1：不同濃度之硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.115 | 0.113 | 0.114 | 0.1165 | 0.1185 | 0.118 | 0.116 | 0.115 | 0.113 | 0.112 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.11 | 0.109 | 0.107 | 0.106 | 0.106 | 0.107 | 0.111 | 0.113 | 0.117 | 0.121 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.122 | 0.128 | 0.129 | 0.13 | 0.131 | 0.137 | 0.14 | 0.142 | 0.148 | 0.154 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.162 | 0.164 | 0.18 | 0.183 | 0.187 | 0.189 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.189 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.189 | 0.191 | 0.191 | 0.191 | 0.19 | 0.188 | 0.188 | 0.187 | 0.187 | 0.187 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.19 | 0.197 | 0.228 | 0.271 | 0.328 | 0.348 | 0.341 | 0.333 | 0.309 | 0.281 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.255 | 0.229 | 0.21 | 0.194 | | | | | | |

濃度 1500ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.086 | 0.085 | 0.085 | 0.088 | 0.089 | 0.088 | 0.087 | 0.086 | 0.085 | 0.084 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.082 | 0.082 | 0.080 | 0.079 | 0.080 | 0.080 | 0.083 | 0.085 | 0.088 | 0.091 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.092 | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.098 | 0.103 | 0.105 | 0.107 | 0.111 | 0.116 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.122 | 0.123 | 0.135 | 0.137 | 0.140 | 0.142 | 0.143 | 0.142 | 0.142 | 0.141 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.142 | 0.143 | 0.143 | 0.143 | 0.143 | 0.141 | 0.141 | 0.140 | 0.140 | 0.140 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.143 | 0.148 | 0.171 | 0.203 | 0.246 | 0.261 | 0.256 | 0.250 | 0.232 | 0.211 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.191 | 0.172 | 0.158 | 0.146 | | | | | | |

濃度 1000ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.057 | 0.056 | 0.057 | 0.058 | 0.059 | 0.059 | 0.058 | 0.058 | 0.057 | 0.056 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.055 | 0.054 | 0.054 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.056 | 0.056 | 0.058 | 0.060 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.061 | 0.064 | 0.064 | 0.065 | 0.066 | 0.069 | 0.070 | 0.071 | 0.074 | 0.077 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.081 | 0.082 | 0.090 | 0.092 | 0.094 | 0.094 | 0.095 | 0.095 | 0.095 | 0.096 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.095 | 0.096 | 0.096 | 0.096 | 0.095 | 0.094 | 0.094 | 0.094 | 0.093 | 0.094 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.095 | 0.099 | 0.114 | 0.136 | 0.164 | 0.174 | 0.171 | 0.167 | 0.155 | 0.144 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.128 | 0.115 | 0.105 | 0.097 | | | | | | |

濃度 500ppm 之硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.029 | 0.028 | 0.028 | 0.029 | 0.030 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.028 | 0.028 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.028 | 0.027 | 0.027 | 0.026 | 0.027 | 0.027 | 0.028 | 0.028 | 0.029 | 0.030 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.031 | 0.032 | 0.032 | 0.033 | 0.033 | 0.034 | 0.035 | 0.036 | 0.037 | 0.039 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.041 | 0.041 | 0.045 | 0.046 | 0.047 | 0.047 | 0.048 | 0.048 | 0.048 | 0.048 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.047 | 0.048 | 0.048 | 0.048 | 0.048 | 0.047 | 0.047 | 0.047 | 0.047 | 0.047 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.048 | 0.049 | 0.057 | 0.068 | 0.082 | 0.087 | 0.085 | 0.083 | 0.077 | 0.070 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.064 | 0.057 | 0.053 | 0.049 | | | | | | |

濃度 250ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.014 | 0.014 | 0.014 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.014 | 0.014 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.014 | 0.014 | 0.015 | 0.015 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.015 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.017 | 0.018 | 0.018 | 0.019 | 0.019 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.020 | 0.021 | 0.023 | 0.023 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.023 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.023 | 0.023 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.024 | 0.025 | 0.029 | 0.034 | 0.041 | 0.044 | 0.043 | 0.042 | 0.039 | 0.035 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.032 | 0.029 | 0.027 | 0.024 | | | | | | |

濃度 200ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.011 | 0.011 | 0.011 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.011 | 0.011 | 0.011 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.011 | 0.011 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.011 | 0.011 | 0.012 | 0.012 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.012 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.015 | 0.015 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.016 | 0.017 | 0.018 | 0.018 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.018 | 0.018 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.019 | 0.020 | 0.023 | 0.027 | 0.033 | 0.035 | 0.034 | 0.033 | 0.031 | 0.028 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.026 | 0.023 | 0.021 | 0.019 | | | | | | |

125ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.008 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.010 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.010 | 0.010 | 0.011 | 0.011 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.013 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.012 | 0.012 | 0.014 | 0.017 | 0.021 | 0.022 | 0.021 | 0.021 | 0.020 | 0.018 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.016 | 0.014 | 0.013 | 0.012 | | | | | | |

濃度 20ppm 硫酸銅水溶液於不同波長下之吸光度

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 波長 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 |
| 吸光度 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 波長 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | 610 |
| 吸光度 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 波長 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 |
| 吸光度 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 |
| 波長 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 | 800 | 810 |
| 吸光度 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.003 |
| 波長 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 | 900 | 910 |
| 吸光度 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 波長 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 |
| 吸光度 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
| 波長 | 1020 | 1030 | 1040 | 1050 | | | | | | |
| 吸光度 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | | | | | | |

附錄 2：不同苦茶殼型態於不同濃度之硫酸銅水溶液 96 小時吸光度

不同苦茶殼型態於濃度 500ppm 硫酸銅水溶液 96 小時吸光度

| 時間 (hr) 型態 | 初始值 | 24 小時 | 48 小時 | 72 小時 | 96 小時 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 苦茶殼粉未加熱 | 0.047 | 0.045 | 0.044 | 0.043 | 0.024 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0.047 | 0.031 | 0.026 | 0.024 | 0.022 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0.047 | 0.036 | 0.033 | 0.032 | 0.031 |

不同苦茶殼型態於濃度 1000ppm 硫酸銅水溶液 96 小時吸光度

| 時間 (hr) 型態 | 初始值 | 24 小時 | 48 小時 | 72 小時 | 96 小時 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 苦茶殼粉未加熱 | 0.095 | 0.091 | 0.089 | 0.088 | 0.087 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0.089 | 0.062 | 0.052 | 0.048 | 0.045 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0.092 | 0.072 | 0.066 | 0.064 | 0.063 |

不同苦茶殼型態於濃度 1500ppm 硫酸銅水溶液 96 小時吸光度

| 時間 (hr) 型態 | 初始值 | 24 小時 | 48 小時 | 72 小時 | 96 小時 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 苦茶殼粉未加熱 | 0.142 | 0.136 | 0.133 | 0.132 | 0.131 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0.133 | 0.093 | 0.080 | 0.076 | 0.073 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0.138 | 0.108 | 0.099 | 0.096 | 0.095 |

不同苦茶殼型態於濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 96 小時吸光度

| 時間 (hr) 型態 | 初始值 | 24 小時 | 48 小時 | 72 小時 | 96 小時 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 苦茶殼粉未加熱 | 0.189 | 0.181 | 0.177 | 0.175 | 0.174 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0.177 | 0.124 | 0.110 | 0.106 | 0.103 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0.183 | 0.143 | 0.132 | 0.128 | 0.126 |

附錄 3：不同苦茶殼型態於濃度 500ppm 硫酸銅水溶液 96 小時陰極累積增重

不同苦茶殼型態於濃度 500ppm 硫酸銅水溶液 96 小時陰極累積增重

| 時間 (hr) 型態 | 24 | 48 | 72 | 96 |
|---------------|----|------|------|------|
| 苦茶殼粉未加熱 | 0 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0 | 0 | 0 | 0 |

不同苦茶殼型態於濃度 1000ppm 硫酸銅水溶液 96 小時陰極累積增重

| 時間 (hr) \ 型態 | 24 | 48 | 72 | 96 |
|--------------|------|------|------|------|
| 苦茶殼粉末未加熱 | 0.10 | 0.10 | 0.18 | 0.19 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0 | 0.08 | 0.09 | 0.09 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |

不同苦茶殼型態於濃度 1500ppm 硫酸銅水溶液 96 小時陰極累積增重

| 時間 (hr) \ 型態 | 24 | 48 | 72 | 96 |
|--------------|------|------|------|------|
| 苦茶殼粉末未加熱 | 0.08 | 0.16 | 0.17 | 0.18 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.10 |

不同苦茶殼型態於濃度 2000ppm 硫酸銅水溶液 96 小時陰極累積增重

| 時間 (hr) \ 型態 | 24 | 48 | 72 | 96 |
|--------------|------|------|------|------|
| 苦茶殼粉末未加熱 | 0.18 | 0.26 | 0.27 | 0.28 |
| 苦茶殼粉加熱 100°C | 0.08 | 0.17 | 0.18 | 0.19 |
| 苦茶殼加熱 100°C | 0.08 | 0.16 | 0.17 | 0.18 |

附錄 4：不同溫度下，苦茶殼粉末未加熱對溶液中銅離子吸附率與陰極增重

原吸光度 0.739

不同溫度下，苦茶殼粉末未加熱對溶液中銅離子吸附率與陰極增重

| 溫度 (°C) | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 陰極增重 (g) | 0.20 | 0.19 | 0.14 | 0.12 | 0.10 |
| 電解貢獻率 (%) | 66.7 | 66.3 | 46.7 | 40.0 | 33.3 |
| 吸光度 (Abs) | 0.680 | 0.665 | 0.635 | 0.605 | 0.580 |
| 總吸附率 (%) | 8.0 | 10.0 | 14.1 | 18.1 | 21.5 |

原吸光度 0.700

不同溫度下，苦茶殼粉加熱 100°C 對溶液中銅離子吸附率與陰極增重

| 溫度 (°C) | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 陰極增重 (g) | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| 電解貢獻率 (%) | 26.7 | 23.3 | 20.0 | 16.7 | 13.3 |
| 吸光度 (Abs) | 0.480 | 0.450 | 0.400 | 0.360 | 0.325 |
| 總吸附率 (%) | 31.4 | 35.7 | 42.9 | 48.6 | 53.6 |

原吸光度 0.720

不同溫度下，苦茶殼加熱 100°C 對溶液中銅離子吸附率與陰極增重

| 溫度 (°C) | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 陰極增重 (g) | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.09 | 0.07 |
| 電解貢獻率 (%) | 40.0 | 36.7 | 33.3 | 30.0 | 23.3 |
| 吸光度 (Abs) | 0.550 | 0.520 | 0.480 | 0.440 | 0.410 |
| 總吸附率 (%) | 23.6 | 27.8 | 33.3 | 38.9 | 43.1 |

附錄 5：同溫下，不同時間，苦茶殼粉未加熱對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

初始吸光度：0.185

同溫下，不同時間，苦茶殼粉未加熱對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (hr) \ 項目 | 後吸光度 (Abs) | 吸附率 (%) | 陰極累積增重 (g) |
|--------------|------------|---------|------------|
| 0.5 | 0.176 | 4.9 | 0.8 |
| 1 | 0.169 | 8.6 | 0.12 |
| 2 | 0.161 | 13.0 | 0.18 |
| 3 | 0.158 | 14.6 | 0.22 |

初始吸光度：0.175

同溫下，不同時間，苦茶殼粉加熱 100°C 對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (hr) \ 項目 | 後吸光度 (Abs) | 吸附率 (%) | 陰極累積增重 (g) |
|--------------|------------|---------|------------|
| 0.5 | 0.155 | 13.9 | 0.04 |
| 1 | 0.142 | 21.1 | 0.06 |
| 2 | 0.129 | 28.3 | 0.08 |
| 3 | 0.124 | 31.1 | 0.10 |

初始吸光度：0.180

同溫下，不同時間，苦茶殼加熱 100°C 對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (hr) \ 項目 | 後吸光度 (Abs) | 吸附率 (%) | 陰極累積增重 (g) |
|--------------|------------|---------|------------|
| 0.5 | 0.157 | 10.3 | 0.06 |
| 1 | 0.146 | 16.6 | 0.09 |
| 2 | 0.135 | 22.9 | 0.13 |
| 3 | 0.131 | 25.1 | 0.16 |

附錄 6：同溫下，不同時間，不同重量之活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

同溫下，不同時間，1g 活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (min) 活性碳重量 (g) | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 陰極累積增重 (g) | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 0.22 |
| 1 | 原吸光度 (Abs) | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 |
| | 後吸光度 (Abs) | 0.168 | 0.166 | 0.164 | 0.160 | 0.152 | 0.146 | 0.142 | 0.141 | 0.140 |
| | 吸附率 (%) | 1.2 | 2.4 | 3.5 | 5.9 | 11.1 | 14.1 | 16.5 | 17.1 | 17.6 |

同溫下，不同時間，2g 活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (min) 活性碳重量 (g) | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 陰極累積增重 (g) | 0 | 0 | 0 | 0.02 | 0.08 | 0.12 | 0.14 | 0.15 |
| 2 | 原吸光度 (Abs) | 0.155 | 0.155 | 0.155 | 0.155 | 0.155 | 0.155 | 0.155 | 0.155 | 0.155 |
| | 後吸光度 (Abs) | 0.152 | 0.149 | 0.146 | 0.141 | 0.130 | 0.122 | 0.116 | 0.114 | 0.113 |
| | 吸附率 (%) | 1.9 | 3.9 | 5.8 | 9.0 | 16.7 | 21.3 | 25.2 | 26.5 | 27.1 |

同溫下，不同時間，3g 活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (min) 活性碳重量 (g) | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 陰極累積增重 (g) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | 0.10 |
| 3 | 原吸光度 (Abs) | 0.140 | 0.140 | 0.140 | 0.140 | 0.140 | 0.140 | 0.140 | 0.140 | 0.140 |
| | 後吸光度 (Abs) | 0.136 | 0.132 | 0.128 | 0.122 | 0.108 | 0.098 | 0.091 | 0.089 | 0.088 |
| | 吸附率 (%) | 2.9 | 5.6 | 8.6 | 12.9 | 22.9 | 30.0 | 35.0 | 36.4 | 37.1 |

同溫下，不同時間，4g 活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (min) 活性碳重量 (g) | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|-------|---|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 4 | 陰極累積增重 (g) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.02 |
| 原吸光度 (Abs) | 0.125 | | 0.125 | 0.125 | 0.125 | 0.125 | 0.125 | 0.125 | 0.125 | 0.125 |
| 後吸光度 (Abs) | 0.120 | | 0.115 | 0.110 | 0.103 | 0.088 | 0.078 | 0.072 | 0.070 | 0.069 |
| 吸附率 (%) | 4.0 | | 8.0 | 12.0 | 17.6 | 26.7 | 37.6 | 42.4 | 44.0 | 44.8 |

同溫下，不同時間，5g 活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (min) 活性碳重量 (g) | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|-------|---|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5 | 陰極累積增重 (g) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.02 |
| 原吸光度 (Abs) | 0.110 | | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 |
| 後吸光度 (Abs) | 0.104 | | 0.098 | 0.093 | 0.085 | 0.068 | 0.057 | 0.050 | 0.048 | 0.047 |
| 吸附率 (%) | 5.5 | | 10.9 | 15.5 | 22.7 | 32.0 | 48.2 | 54.5 | 56.4 | 57.3 |

同溫下，不同時間，6g 活性碳對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (min) 活性碳重量 (g) | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|-------|---|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 6 | 陰極累積增重 (g) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 原吸光度 (Abs) | 0.100 | | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 |
| 後吸光度 (Abs) | 0.092 | | 0.086 | 0.080 | 0.072 | 0.058 | 0.045 | 0.038 | 0.036 | 0.035 |
| 吸附率 (%) | 8.0 | | 14.0 | 20.0 | 28.0 | 42.0 | 55.0 | 62.0 | 64.0 | 65.0 |

同溫下，不同時間，7g 活性炭對溶液中銅離子之吸附率與陰極累積增重

| 時間 (min) 活性炭重量 (g) | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 陰極累積增重 (g) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 原吸光度 (Abs) | 0.095 | 0.095 | 0.095 | 0.095 | 0.095 | 0.095 | 0.095 | 0.095 | 0.095 |
| | 後吸光度 (Abs) | 0.085 | 0.078 | 0.071 | 0.062 | 0.048 | 0.037 | 0.030 | 0.028 | 0.027 |
| | 吸附率 (%) | 10.5 | 17.9 | 25.3 | 34.7 | 49.5 | 61.1 | 68.4 | 70.5 | 71.6 |

附錄 7：不同重量不同苦茶殼型態與 1~7g 活性炭混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

初始吸光度：0.185

1g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性炭混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性炭 + 1g 苦茶殼粉 | 2g 活性炭 + 1g 苦茶殼粉 | 3g 活性炭 + 1g 苦茶殼粉 | 4g 活性炭 + 1g 苦茶殼粉 | 5g 活性炭 + 1g 苦茶殼粉 | 6g 活性炭 + 1g 苦茶殼粉 | 7g 活性炭 + 1g 苦茶殼粉 |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.176 | 0.168 | 0.160 | 0.152 | 0.145 | 0.138 | 0.132 |
| 1 | 0.169 | 0.158 | 0.148 | 0.138 | 0.129 | 0.121 | 0.115 |
| 2 | 0.161 | 0.147 | 0.134 | 0.122 | 0.111 | 0.102 | 0.095 |
| 3 | 0.158 | 0.143 | 0.129 | 0.117 | 0.106 | 0.097 | 0.090 |

2g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性炭混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性炭 + 2g 苦茶殼粉 | 2g 活性炭 + 2g 苦茶殼粉 | 3g 活性炭 + 2g 苦茶殼粉 | 4g 活性炭 + 2g 苦茶殼粉 | 5g 活性炭 + 2g 苦茶殼粉 | 6g 活性炭 + 2g 苦茶殼粉 | 7g 活性炭 + 2g 苦茶殼粉 |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.174 | 0.166 | 0.158 | 0.150 | 0.143 | 0.136 | 0.130 |
| 1 | 0.166 | 0.155 | 0.145 | 0.135 | 0.126 | 0.118 | 0.112 |
| 2 | 0.157 | 0.143 | 0.130 | 0.118 | 0.108 | 0.099 | 0.092 |
| 3 | 0.154 | 0.139 | 0.125 | 0.113 | 0.103 | 0.094 | 0.087 |

3g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性炭混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性炭 + 3g 苦茶殼粉 | 2g 活性炭 + 3g 苦茶殼粉 | 3g 活性炭 + 3g 苦茶殼粉 | 4g 活性炭 + 3g 苦茶殼粉 | 5g 活性炭 + 3g 苦茶殼粉 | 6g 活性炭 + 3g 苦茶殼粉 | 7g 活性炭 + 3g 苦茶殼粉 |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.174 | 0.166 | 0.158 | 0.150 | 0.143 | 0.136 | 0.130 |
| 1 | 0.166 | 0.155 | 0.145 | 0.135 | 0.126 | 0.118 | 0.112 |
| 2 | 0.157 | 0.143 | 0.130 | 0.118 | 0.108 | 0.099 | 0.092 |
| 3 | 0.154 | 0.139 | 0.125 | 0.113 | 0.103 | 0.094 | 0.087 |

| | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.5 | 0.172 | 0.164 | 0.156 | 0.148 | 0.141 | 0.134 | 0.128 |
| 1 | 0.163 | 0.152 | 0.142 | 0.132 | 0.123 | 0.115 | 0.110 |
| 2 | 0.153 | 0.139 | 0.126 | 0.114 | 0.104 | 0.095 | 0.090 |
| 3 | 0.150 | 0.135 | 0.121 | 0.109 | 0.099 | 0.090 | 0.085 |

初始吸光度：0.175

1g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.162 | 0.154 | 0.146 | 0.138 | 0.131 | 0.124 | 0.118 |
| 1 | 0.152 | 0.141 | 0.131 | 0.121 | 0.112 | 0.104 | 0.090 |
| 2 | 0.141 | 0.127 | 0.114 | 0.102 | 0.092 | 0.083 | 0.077 |
| 3 | 0.137 | 0.122 | 0.109 | 0.097 | 0.087 | 0.078 | 0.073 |

2g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.160 | 0.152 | 0.144 | 0.136 | 0.129 | 0.122 | 0.116 |
| 1 | 0.149 | 0.138 | 0.128 | 0.118 | 0.109 | 0.101 | 0.095 |
| 2 | 0.137 | 0.123 | 0.110 | 0.098 | 0.088 | 0.079 | 0.074 |
| 3 | 0.133 | 0.118 | 0.105 | 0.093 | 0.083 | 0.074 | 0.070 |

3g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.158 | 0.150 | 0.142 | 0.134 | 0.127 | 0.120 | 0.114 |
| 1 | 0.146 | 0.135 | 0.125 | 0.115 | 0.106 | 0.098 | 0.093 |
| 2 | 0.133 | 0.119 | 0.106 | 0.094 | 0.084 | 0.075 | 0.072 |
| 3 | 0.129 | 0.114 | 0.101 | 0.089 | 0.079 | 0.070 | 0.068 |

初始吸光度：0.180

1g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 | 2g 活性碳 | 3g 活性碳 | 4g 活性碳 | 5g 活性碳 | 6g 活性碳 | 7g 活性碳 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | + 1g 苦茶殼 | + 1g 苦茶殼 | + 1g 苦茶殼 | + 1g 苦茶殼 | + 1g 苦茶殼 | + 1g 苦茶殼 | + 1g 苦茶殼 |
| 0.5 | 0.167 | 0.159 | 0.151 | 0.143 | 0.136 | 0.129 | 0.123 |
| 1 | 0.158 | 0.147 | 0.137 | 0.127 | 0.118 | 0.110 | 0.140 |
| 2 | 0.148 | 0.134 | 0.121 | 0.109 | 0.099 | 0.090 | 0.084 |
| 3 | 0.144 | 0.129 | 0.116 | 0.104 | 0.094 | 0.085 | 0.080 |

2g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 | 2g 活性碳 | 3g 活性碳 | 4g 活性碳 | 5g 活性碳 | 6g 活性碳 | 7g 活性碳 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | + 2g 苦茶殼 | + 2g 苦茶殼 | + 2g 苦茶殼 | + 2g 苦茶殼 | + 2g 苦茶殼 | + 2g 苦茶殼 | + 2g 苦茶殼 |
| 0.5 | 0.165 | 0.157 | 0.149 | 0.141 | 0.134 | 0.127 | 0.121 |
| 1 | 0.155 | 0.144 | 0.134 | 0.124 | 0.115 | 0.107 | 0.101 |
| 2 | 0.144 | 0.130 | 0.117 | 0.105 | 0.095 | 0.086 | 0.081 |
| 3 | 0.140 | 0.125 | 0.112 | 0.100 | 0.090 | 0.081 | 0.077 |

3g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間對溶液中銅離子吸光度

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 | 2g 活性碳 | 3g 活性碳 | 4g 活性碳 | 5g 活性碳 | 6g 活性碳 | 7g 活性碳 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | + 3g 苦茶殼 | + 3g 苦茶殼 | + 3g 苦茶殼 | + 3g 苦茶殼 | + 3g 苦茶殼 | + 3g 苦茶殼 | + 3g 苦茶殼 |
| 0.5 | 0.163 | 0.155 | 0.147 | 0.139 | 0.132 | 0.125 | 0.119 |
| 1 | 0.152 | 0.141 | 0.131 | 0.121 | 0.112 | 0.104 | 0.099 |
| 2 | 0.140 | 0.126 | 0.113 | 0.101 | 0.091 | 0.082 | 0.079 |
| 3 | 0.136 | 0.121 | 0.108 | 0.096 | 0.086 | 0.077 | 0.075 |

附錄 8：不同重量不同苦茶殼型態與 1~7g 活性碳混合於不同時間陰極累積增重

1g 苦茶殼粉末未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 | 2g 活性碳 | 3g 活性碳 | 4g 活性碳 | 5g 活性碳 | 6g 活性碳 | 7g 活性碳 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | + 1g 苦茶殼粉 | + 1g 苦茶殼粉 | + 1g 苦茶殼粉 | + 1g 苦茶殼粉 | + 1g 苦茶殼粉 | + 1g 苦茶殼粉 | + 1g 苦茶殼粉 |
| 0.5 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.09 |
| 1 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.11 | 0.14 |
| 2 | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 0.22 | 0.24 | 0.20 | 0.25 |
| 3 | 0.28 | 0.28 | 0.30 | 0.30 | 0.32 | 0.28 | 0.33 |

2g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.10 |
| 1 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.15 |
| 2 | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.24 | 0.24 | 0.21 | 0.26 |
| 3 | 0.29 | 0.30 | 0.30 | 0.32 | 0.32 | 0.29 | 0.34 |

3g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.10 |
| 1 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.12 | 0.15 |
| 2 | 0.22 | 0.22 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.22 | 0.26 |
| 3 | 0.30 | 0.30 | 0.32 | 0.32 | 0.33 | 0.30 | 0.34 |

1g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.05 | 0.05 | 0.16 | 0.16 | 0.07 | 0.05 | 0.08 |
| 1 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.09 | 0.12 |
| 2 | 0.17 | 0.17 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.17 | 0.21 |
| 3 | 0.24 | 0.24 | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.24 | 0.28 |

2g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.28 | 0.08 |
| 1 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| 2 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.22 |
| 3 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.29 |

3g 苦茶殼粉加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 1 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.13 |
| 2 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.22 |
| 3 | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.28 | 0.29 |

1g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 2g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 3g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 4g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 5g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 6g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 7g 活性碳 + 1g 苦茶殼 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.5 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.18 |
| 1 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.10 | 0.13 |
| 2 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.18 | 0.21 |
| 3 | 0.25 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.25 | 0.28 |

2g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 2g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 3g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 4g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 5g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 6g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 7g 活性碳 + 2g 苦茶殼 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.5 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.09 |
| 1 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 0.14 |
| 2 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.19 | 0.22 |
| 3 | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.26 | 0.29 |

3g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之陰極累積增重

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 2g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 3g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 4g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 5g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 7g 活性碳 + 3g 苦茶殼 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.5 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.10 |
| 1 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.11 | 0.14 |
| 2 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.20 | 0.23 |
| 3 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.28 | 0.29 | 0.27 | 0.30 |

附錄 9：不同重量之苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率：

1g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 1g 苦茶殼粉 |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 4.9 | 9.2 | 13.5 | 17.8 | 21.6 | 25.4 | 28.6 |
| 1 | 8.6 | 14.6 | 20.0 | 25.4 | 30.3 | 34.6 | 37.8 |
| 2 | 13.0 | 20.5 | 27.6 | 34.1 | 40.0 | 44.9 | 48.6 |
| 3 | 14.6 | 22.7 | 30.3 | 36.8 | 42.7 | 47.6 | 51.4 |

2g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 2g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 5.9 | 10.3 | 14.6 | 18.9 | 22.7 | 26.5 | 29.7 |
| 1 | 10.3 | 16.8 | 22.7 | 28.1 | 33.0 | 37.3 | 39.5 |
| 2 | 15.1 | 23.2 | 30.3 | 36.8 | 42.7 | 47.6 | 50.3 |
| 3 | 16.8 | 24.9 | 32.4 | 38.9 | 44.9 | 49.7 | 53.0 |

3g 苦茶殼粉未加熱與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率

| 組合 時間 (hr) | 1g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 2g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 3g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 4g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 5g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 | 7g 活性碳 + 3g 苦茶殼粉 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.5 | 7.0 | 11.4 | 15.7 | 20.0 | 23.8 | 27.6 | 30.8 |
| 1 | 11.9 | 18.4 | 24.3 | 29.7 | 34.6 | 38.9 | 40.5 |
| 2 | 17.3 | 25.4 | 32.4 | 38.9 | 44.9 | 49.7 | 51.4 |
| 3 | 18.9 | 27.0 | 34.6 | 41.1 | 47.0 | 51.9 | 54.1 |

附錄 10：不同重量之苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率：

1g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 2g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 3g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 4g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 5g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 6g 活性碳 + 1g 苦茶殼 | 7g 活性碳 + 1g 苦茶殼 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.5 | 6.1 | 10.6 | 15.0 | 19.4 | 23. | 27.2 | 31.7 |
| 1 | 11.1 | 17.2 | 22.8 | 28.3 | 33.3% | 37.8 | 42.2 |
| 2 | 16.7 | 24.4 | 31.7 | 38.3 | 43.9 | 48.9 | 53.3 |
| 3 | 18.9 | 27.2 | 34.4 | 41.1 | 46.7 | 51.7 | 56.6 |

2g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 2g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 3g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 4g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 5g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 6g 活性碳 + 2g 苦茶殼 | 7g 活性碳 + 2g 苦茶殼 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.5 | 7.2 | 11.7 | 16.1 | 20.6 | 24.4 | 28.3 | 32.8 |
| 1 | 13.3 | 19.4 | 25.0 | 30.6 | 35.6 | 40.0 | 43.9 |
| 2 | 20.0 | 27.8 | 35.0 | 41.7 | 47.2 | 52.2 | 55.0 |
| 3 | 22.2 | 30.6 | 38.3 | 45.0 | 50.6 | 55.6 | 57.2 |

3g 苦茶殼加熱 100°C 與 1~7g 活性碳混合於不同時間之吸附率

| 組合 時間(hr) | 1g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 2g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 3g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 4g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 5g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 6g 活性碳 + 3g 苦茶殼 | 7g 活性碳 + 3g 苦茶殼 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.5 | 8.3 | 12.8 | 17.2 | 21.7 | 25.6 | 29.4 | 33.9 |
| 1 | 14.4 | 20.6 | 26.7 | 32.2 | 37.2 | 41.7 | 45.0 |
| 2 | 21.7 | 30.0 | 37.2 | 43.9 | 49.4 | 54.4 | 56.1 |
| 3 | 24.4 | 32.8 | 40.6 | 47.2 | 52.8 | 57.8 | 58.3 |