

第十屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA10-523

作品名稱：廢絲襪也有春天

姓名：謝育弘

關鍵字：絲襪、重金屬吸附、TLC

摘要

我們利用家庭裡常見的廢棄絲襪，將之回收再利用。絲襪中的耐綸成分可溶於甲酸，經純化、脫色後即可得到耐綸溶液。我們將耐綸溶液均勻滴加於玻片上風乾，得到自製薄板層析試片(TLC片)，可運用於生物及化學實驗中混合物的分離。分離後的物質亦可通過儀器做定性及定量分析。

耐綸的化學結構含有醯胺鍵，我們從早期的科展報告中發現重金屬鹽類易與蛋白質結合成穩定的沉澱物而析出，得知蛋白質因含有大量醯胺基團，能與金屬離子結合成蛋白質鹽沉澱，藉以除去水溶液中的重金屬。我們利用同樣含有醯胺鍵的自製耐綸溶液進行重金屬吸附實驗，期望能夠達到吸附並除去重金屬的效果。本實驗所使用的材料是家中舊有的尼龍絲襪，以達到廢物利用及環保的最高宗旨。

壹、研究動機

高一基礎化學的衣料與化學單元，我們學到「耐綸」是最早被利用的合成纖維，是一般家庭中常見的材料，包括釣魚線、漁網、衣料、網球拍線、尼龍絲襪等皆具耐綸的成分。又在生物課的葉綠素層析實驗中，得知了一種能將物質分離的分析法—薄板層析法(Thin layer chromatography, TLC)，也稱為薄層色譜法。一般 TLC 試片是由微細的微粒組成，如矽土膠，矽藻土，氧化鋁或纖維素，塗布在薄鋁板或是玻璃製成的承托板或薄膜上，可運用於混合物的分離實驗。

我們希望能夠從生活中的廢棄材料中取得能夠製成 TLC 片的成分，從文獻中發現耐綸能夠溶於甲酸中，家庭中有許多的廢棄絲襪及衣料均具有耐綸的成分，於是我們利用家庭裡常見的廢棄絲襪，經甲酸溶解出其中的耐綸，並純化、脫色後得到耐綸溶液，將耐綸溶液均勻滴加於玻片上風乾後，即可得到自製 TLC 試片，並將其運用於高中的化學及生物實驗中，達到廢物利用及環保的概念。

由於耐綸的結構中具有醯胺鍵，早期的科展報告中發現重金屬鹽類易與蛋白質結合成穩定的沉澱物而析出，可用以除去水溶液中的重金屬。我們從絲襪中純化出的耐綸液亦含有與蛋白質相同的醯胺鍵運用於重金屬離子的吸附及分離。

貳、研究目的

- (一)藉由家庭廢棄的絲襪製成自製環保 TLC 試片，達到廢物利用和環保的效果。
- (二)利用自製環保 TLC 片進行高中生物實驗—菠菜色素分離實驗。
- (三)比較自製 TLC 片和市售 TLC 片進行菠菜色素分離的效果。
- (四)廢棄的絲襪溶於適當溶劑，經脫色純化後的耐綸液運用於重金屬吸附效果以紫外光/可見光光譜儀分析之。
- (五)將耐綸液均勻滴加於濾紙上乾燥後形成耐綸濾紙，過濾含重金屬的溶液，達到去除溶液中重金屬效果。
- (六)將自製耐綸 TLC 片運用於一般化學實驗中。
- (七)製作耐綸過濾裝置

參、研究設備及器材

一、儀器：

燒杯(100ml)、燒杯(50ml)、波棒、鑷子、標籤數張、滴管、TLC 片、附銅夾之導線、錐形瓶、100ml 量筒、15cm 長玻片、抽濾瓶、抽濾機、抽濾漏斗、100ml 瓶子、25ml 針筒

二、試藥： 100%、80%、70%黑色絲襪、100%、80%、70%皮膚色絲襪、己二胺、己二醯氯、氫氧化鈉、正己烷、甲酸、丙酮、硫酸、石油醚、過錳酸鉀晶體、醋酸銅、硝酸銅

肆、研究過程或方法

一、耐綸的合成及自製 TLC 試片

(一)取 5% 己二胺水溶液 10 毫升至入 100 毫升的燒杯中，用滴管加入 10 滴的 20%NaOH 水溶液，即成溶液 A。

(二)取 5% 己二醯氯的正己烷溶液 10 毫升，置於 50 毫升的燒杯中，即為溶液 B。

(三)藉著玻棒，使溶液 B 沿著 A 玻棒緩緩加入溶液 A 中。

(四)在兩溶液介面處發生產生聚合縮合反應，而形成白色聚合物，即為耐綸 66。

(五)用鑷子將其夾出拉成絲狀，纏繞在玻棒上。(如圖 1、2)

(六)將所製的耐綸絲浸入水中清洗數次，再以丙酮沖洗數次後乾燥。(如圖 3)

(七)將自製耐綸以 7g : 70ml 的比例溶入甲酸。

(八)將耐綸溶液用滴管均勻滴在 15cm 玻片上，待風乾後(大約 1~2 天的時間)，即為耐綸 TLC 片。(如圖 4)



圖 1 溶液界面處形成耐綸，抽出耐綸



圖 2 將抽出的耐綸絲捲在玻璃棒上



圖 3 風乾後的耐綸



圖 4 自製環保耐綸 TLC 試片

二、從廢棄絲襪中分離純化出耐綸溶液

(一)把組成比例不同的黑色或皮膚色絲襪以 1g : 10ml 的比例以甲酸溶解(如圖 5)。

(二)再加入 3-5 大匙的活性碳至絲襪耐綸溶液中脫色，再利用抽濾裝置過濾，除去溶液中的活性碳及纖維(如圖 6、7)。

(三)過濾後的濾液為澄清的耐綸溶液(如圖 8)。

(四)將耐綸溶液用滴管均勻滴在 15cm 玻片上，自然風乾後(大約須 1~2 天的時間)，即為環保耐綸 TLC 試片(如圖 9)。



圖5 100%皮膚色絲襪溶解於甲酸



圖6 加入活性碳脫色，並以抽濾裝置過濾

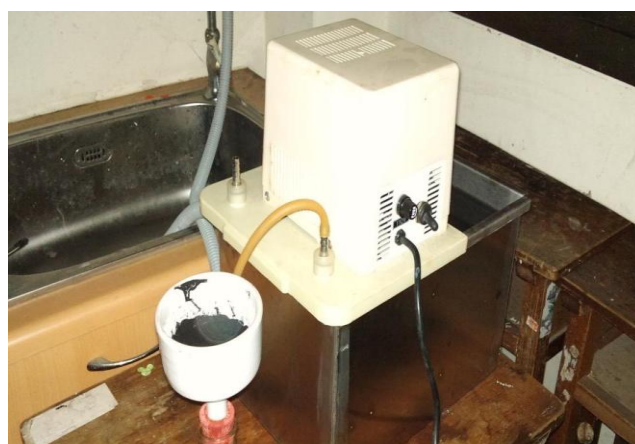


圖7 抽氣過濾裝置

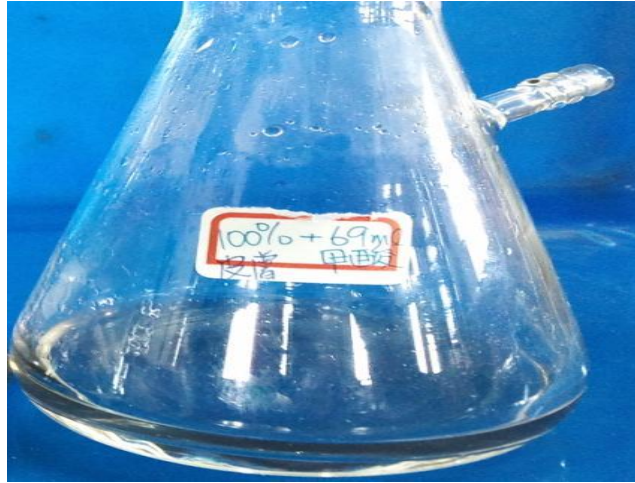


圖8 經活性炭脫色後得到透明的耐綸溶液



圖9 耐綸 TLC 片成品

三、耐綸 TLC 片應用於菠菜色素分離層析實驗

(一)利用自製 TLC 片及市售 TLC 進行 菠菜色素分離層析實驗(如圖

10、11)

(二)配製不同比例的展開液，並比較各種比例的展開液分離效果，

找到最佳化分離條件。

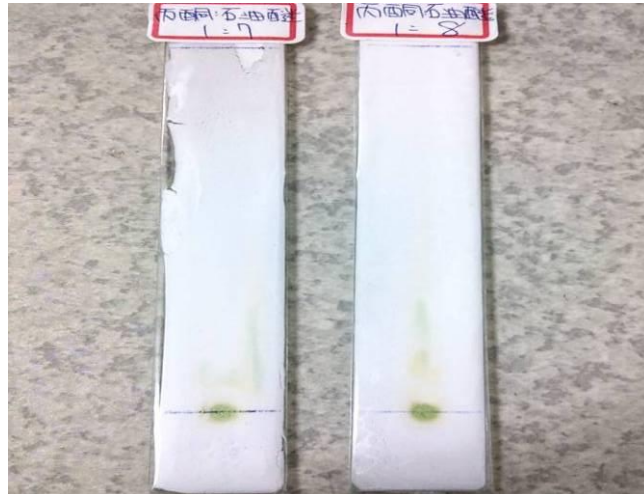


圖10 自製耐綸 TLC 片運用於菠菜色素分離實驗

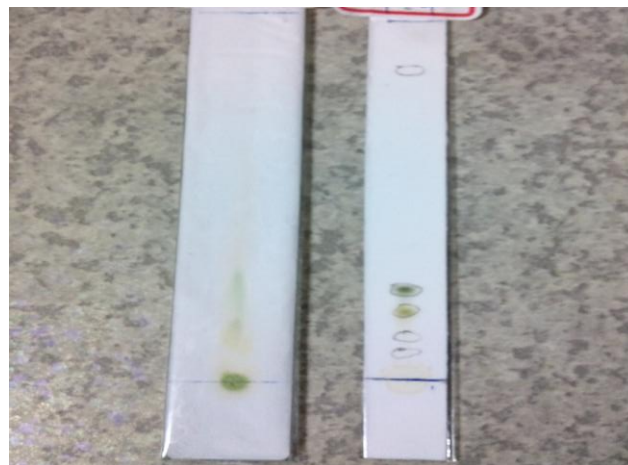


圖11 左為自製耐綸 TLC 片;右為市售 TLC 片，運用於菠菜色素分離實驗

四、耐綸溶液吸附重金屬(溶劑為甲酸)

(一)利用廢棄絲襪經甲酸溶解，純化及脫色後製得澄清耐綸溶液。

(二)以金屬硝酸鹽晶體溶解於甲酸中配製重金屬溶液濃度：

$[Cu^{2+}] = 2.5mM, 2mM, 1.5mM, 1mM, 0.5mM$

(三)以分光光度計量測不同濃度 Cu^{2+} 離子的吸收光譜。

(四)以各金屬離子之最大吸收波長所對應之不同濃度的吸收值作圖，得到 Cu^{2+} 濃度對吸收度之檢量線。

(五)將耐綸溶液加入已知濃度的 Cu^{2+} 溶液中，利用分光光度計測量吸收值，對應檢量線數值，換算出耐綸溶液可吸附重金屬的效果。

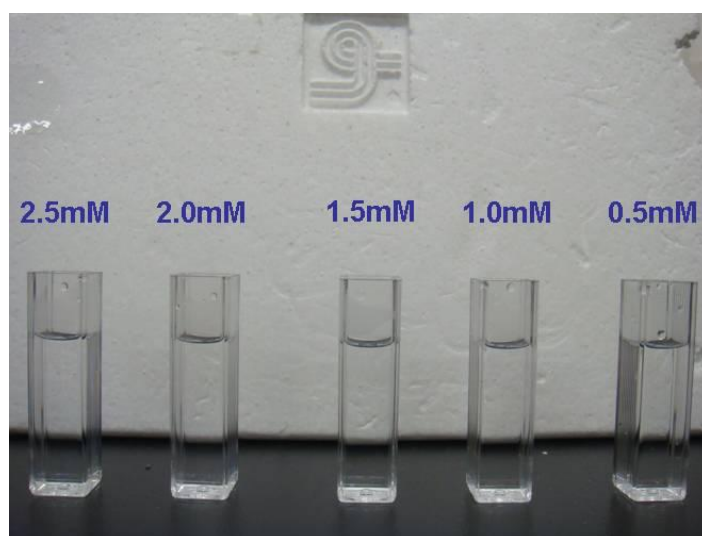


圖12 不同濃度的銅離子溶液

五、耐綸溶液吸附重金屬(溶劑為 DMF)

(一)以金屬醋酸銅晶體溶解於 DMF 中配製重金屬溶液濃度：

$[\text{Cu}^{2+}] = 5.0\text{mM}$ ， 2.5mM ， 2mM ， 1.5mM ， 1mM

(二)將不同濃度 Cu^{2+} 離子溶液各取 3mL 裝入石英槽中(如圖13)，並以紫外光/可見光光譜儀測量吸收光譜。

(三)以各金屬離子之最大吸收波長所對應之不同濃度的吸收值作圖，得到 Cu^{2+} 離子濃度對吸收度之檢量線。

(四)利用自製耐綸經 DMF 溶解後製得澄清耐綸溶液。

(五)將耐綸溶液加入已知濃度的 Cu^{2+} 離子溶液中，混合後溶液呈現凝聚混濁(如圖14)，經濾紙濾除混濁物後，利用紫外光/可見光光譜儀測量吸收值，代入檢量線公式換算出耐綸溶液吸附重金屬之效果。

(六)將耐綸液滴於濾紙上，自然風乾後得到耐綸濾紙。將金屬容易透過耐綸濾紙吸附重金屬，利用紫外光/可見光光譜儀測量濾液之吸收值，代入檢量線公式換算出耐綸濾紙吸附重金屬之效果。



圖13 Cu^{2+} 離子溶液

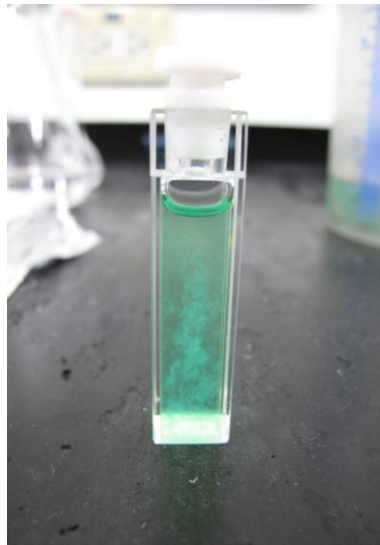


圖14混合後溶液呈現凝聚混濁

六、自製重金屬過濾裝置

(一). 耐綸濾心

- 1.把塑膠罐底部打洞
- 2.拿2個底部打洞的罐子用熱熔膠黏起來
- 3.把其中一個蓋子內部用熱熔膠黏上一個小針頭
- 4.把珍珠奶茶的吸管剪洞
- 5.在一般家用的紙餐巾上塗佈我們的耐綸溶液
- 6.吸管套上針頭並捲上耐綸餐巾
- 7.裝上泡棉膠罐子即為自製耐綸濾心(圖16)
- 8.以可調抽水速度的抽水馬達抽取重金屬溶液(圖17)
- 9.把抽出的溶液用定量的試管裝起，並以分光光度計測試其吸收效果

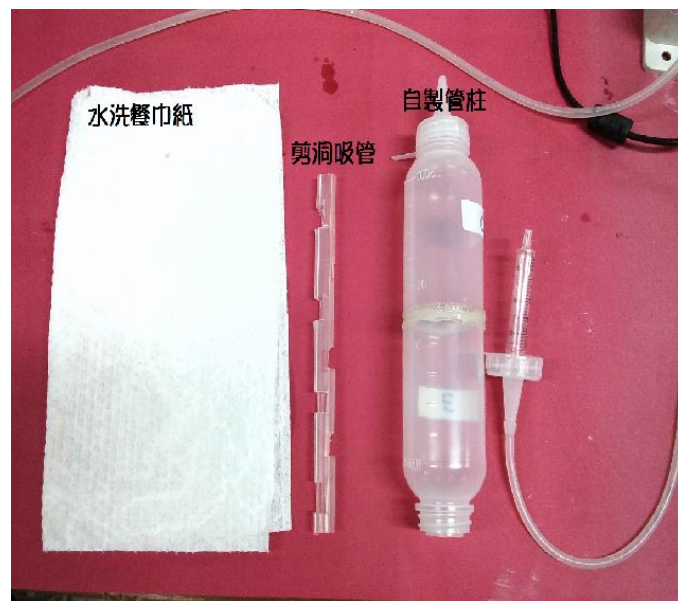


圖15自製濾心材料



圖16

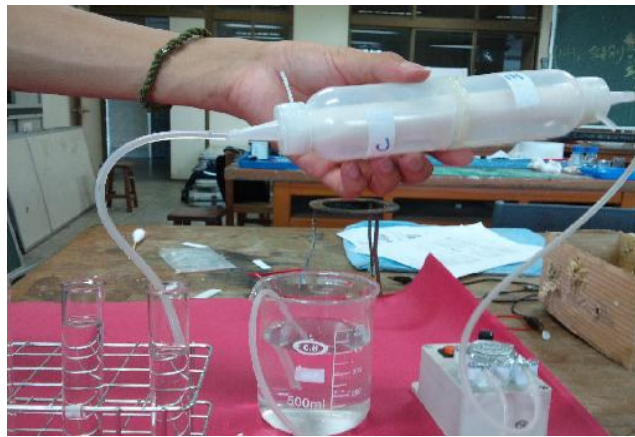


圖17

(二). 管柱色層分析

- 1.拿一個大針頭，中間塞入棉花
- 2.把耐綸製成粉狀，鋪在棉花上
- 3.以重金屬離子溶液通過，測試其吸收效果
- 4.把過濾後的溶液分管收集，測試每管濃度得到使用壽命(圖18)



圖18

伍、研究結果

一、絲襪的成分比例與製成耐綸 TLC 片品質關係

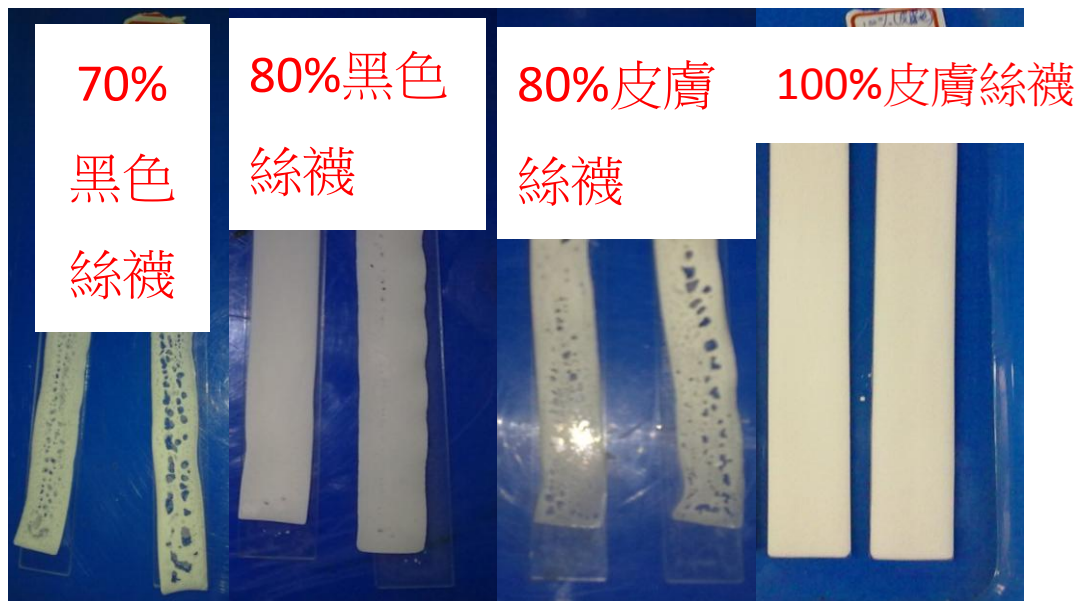


圖19 不同比例的絲襪製得耐綸 TLC 試片

二、比較自製 TLC 片與市售 TLC 片的分離能力

(一)展開液—丙酮:石油醚=1:1

表1 展開液比例—丙酮:石油醚=1:1，進行菠菜色素分離實驗的 Rf 值

丙酮:石 油醚 1:1		胡蘿蔔素	葉綠素 a	葉綠素 b	葉黃素
	自製 TLC	無法分離			
	市售 TLC	無法分離			

丙酮：石油醚
=1：1



圖20 展開液比例—丙酮:石油醚=1:1，比較自製 TLC 片與市售 TLC 片
分離效果

(二)展開液—丙酮:石油醚=1:5

表2 展開液比例：丙酮:石油醚=1:5，進行菠菜色素分離實驗的
Rf 值

丙酮:石 油醚 1:5		胡蘿蔔素	葉綠素 a	葉綠素 b	葉黃素
	自製 TLC	0.87	0.58	0.35	0.11
	市售 TLC	0.87	0.27	0.21	0.14

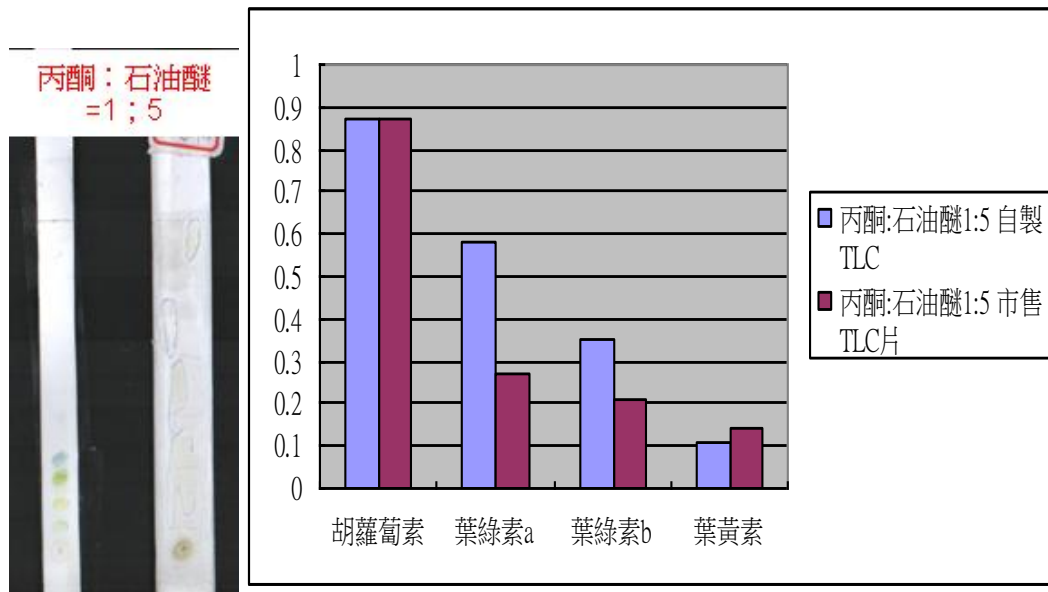


圖21 展開液比例—丙酮:石油醚=1:5，比較自製 TLC 片與市售 TLC 片分離效果

(三)展開液—丙酮:石油醚=1:9

表3 展開液比例：丙酮:石油醚=1:9，進行菠菜色素分離實驗的

Rf 值

丙酮:石 油醚 1:9		胡蘿蔔素	葉綠素 a	葉綠素 b	葉黃素
	自製 TLC	0.91	0.33	0.21	0.1
	市售 TLC	0.83	0.21	0.15	0.1

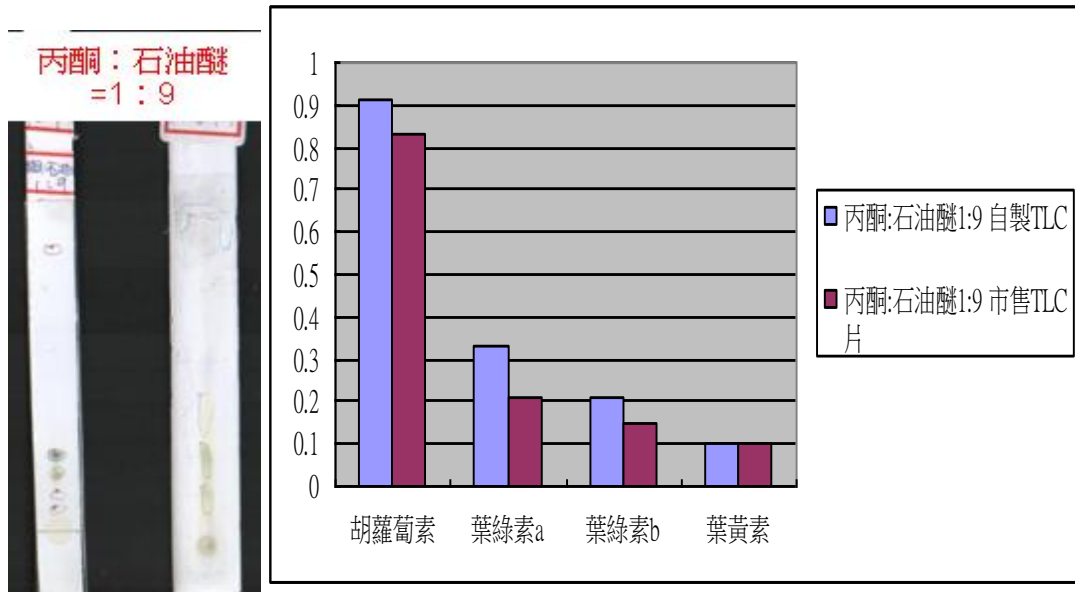


圖22 展開液比例—丙酮:石油醚=1:9，比較自製 TLC 片與市售 TLC 片分離效果

三、耐綸溶液吸附重金屬

(一) 耐綸溶液(甲酸為溶劑)吸附銅離子

1. 不同濃度銅離子吸收光譜圖

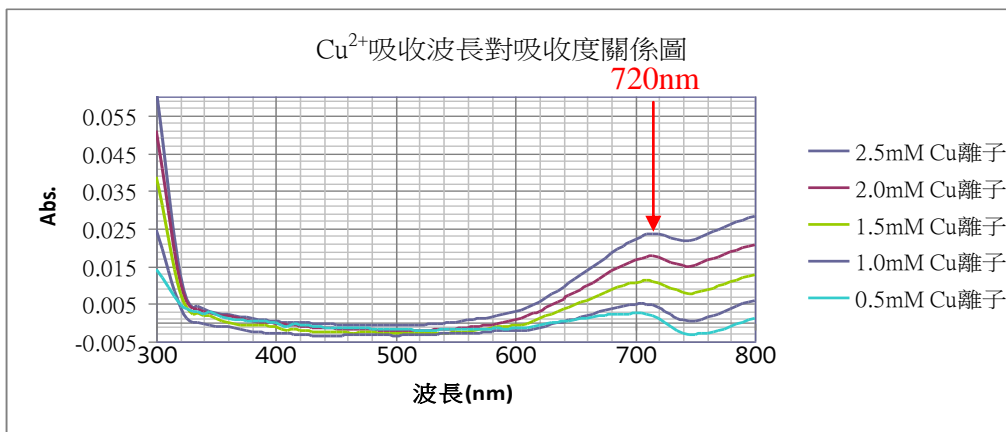


圖23 以 UV/VIS 光譜儀測量不同 Cu²⁺濃度之吸收光譜

2. 檢量線

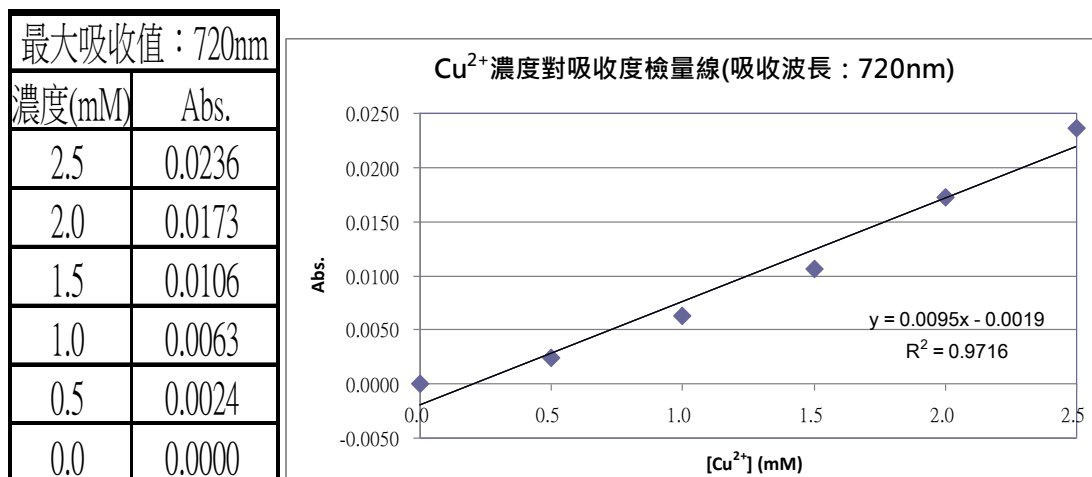


圖24 Cu²⁺ 濃度對吸收度檢量線

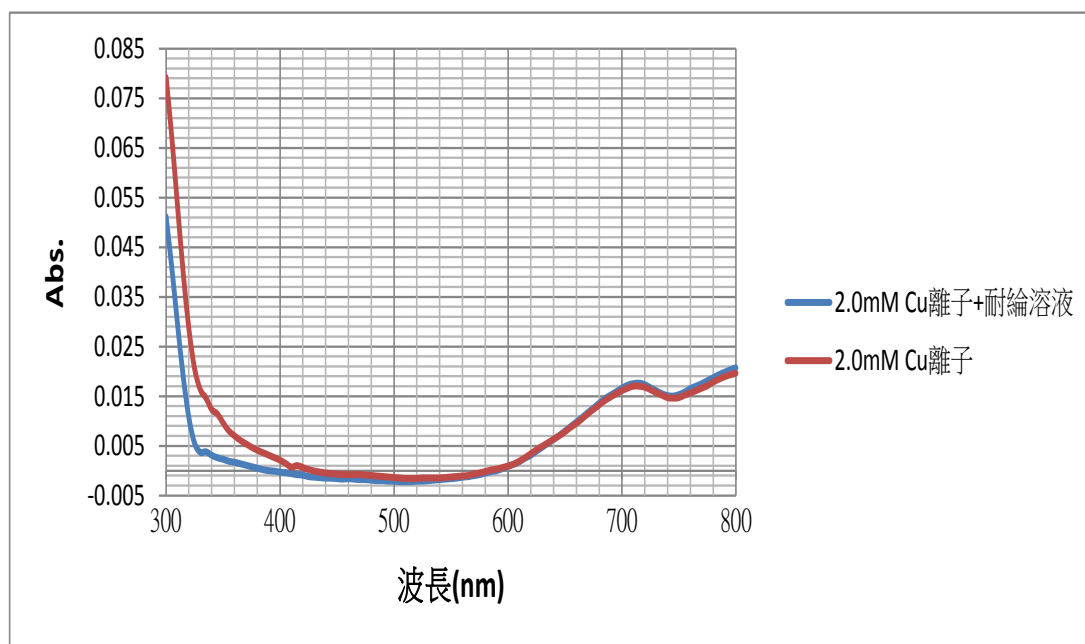


圖25 加入耐綸液前後之吸收光譜

(二) 耐綸溶液(DMF 為溶劑)吸附銅離子

1. 不同濃度銅離子吸收光譜

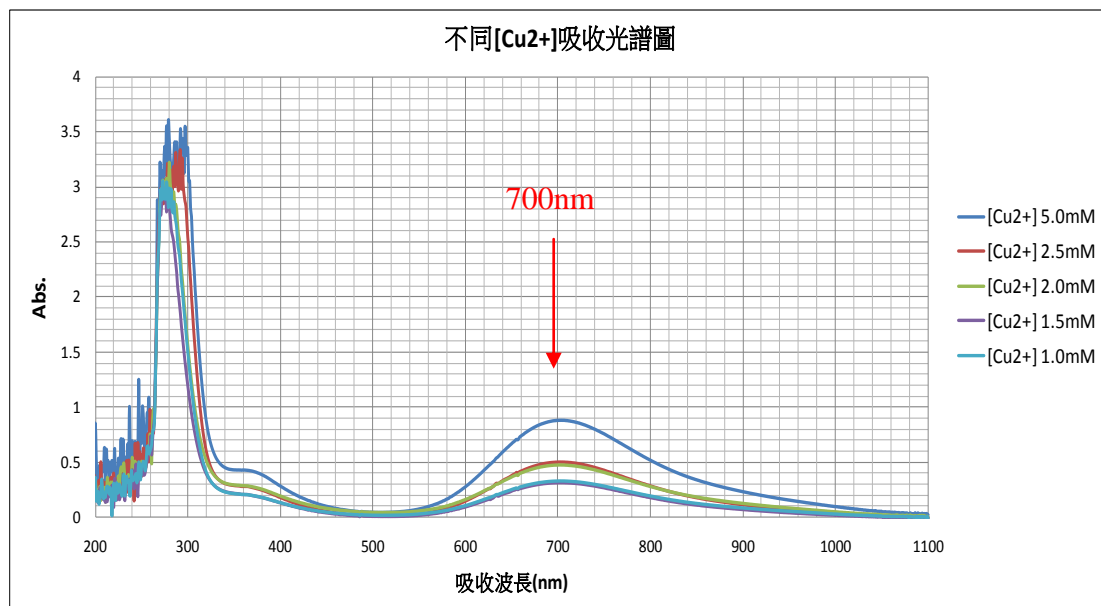


圖26 以 UV/VI 光譜儀測量不同 Cu²⁺濃度之吸收光譜(耐綸液加入前)

2. 檢量線

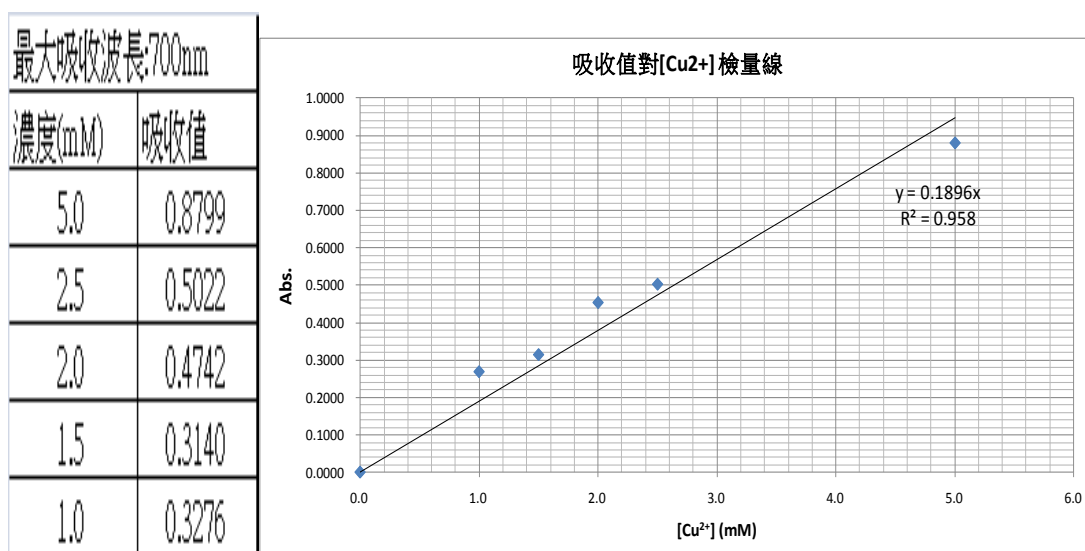


圖27 Cu²⁺濃度對吸收度檢量線

3. 耐綸液直接加入含重金屬溶液吸附重金屬

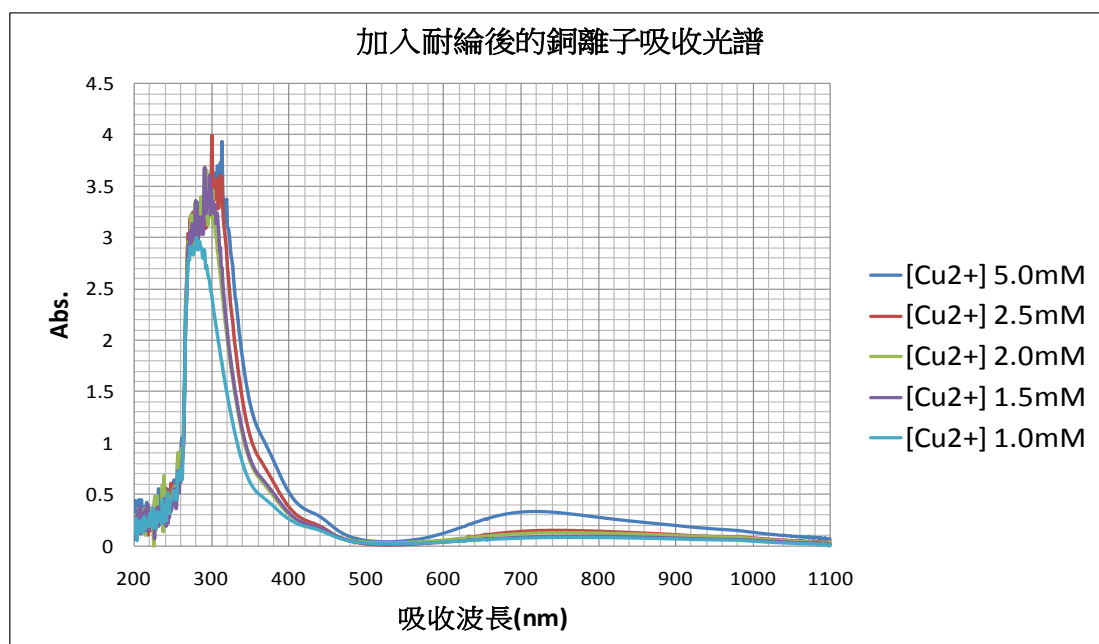


圖28 以 UV/VI 光譜儀測量不同 Cu^{2+} 濃度之吸收光譜(耐綸液加入後)

表4 耐綸液加入前後銅離子吸收值與濃度換算表

銅離子濃度 (mM)	Abs. (加入耐綸液前)	Abs. (加入耐綸液後)	Δ Abs.	加入耐綸液後 $[\text{Cu}^{2+}]$ (mM)	加入耐綸液後 $[\text{Cu}^{2+}]$ 吸附量
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0
1.0	0.2684	0.0724	0.1960	0.4	0.6
1.5	0.3140	0.0863	0.2277	0.5	1.0
2.0	0.4533	0.1196	0.3337	0.6	1.4
2.5	0.5022	0.1442	0.3580	0.8	1.7
5.0	0.8799	0.3305	0.5494	1.7	3.3

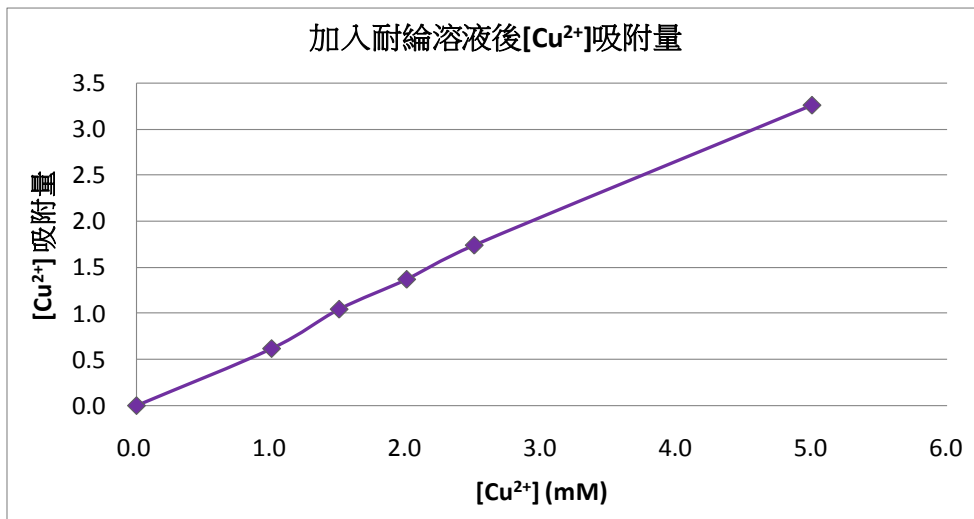


圖29 耐綸液混合不同濃度銅離子溶液對銅離子吸附量作圖

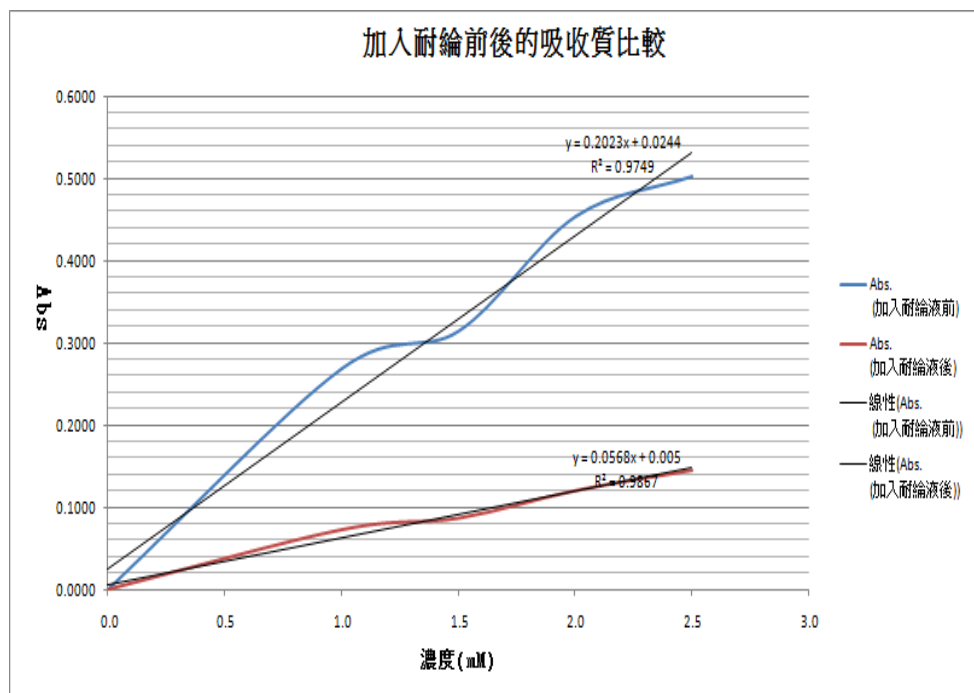


圖30 加入耐綸前後的吸收值比較

4. 以耐綸濾紙過濾金屬溶液吸附重金屬

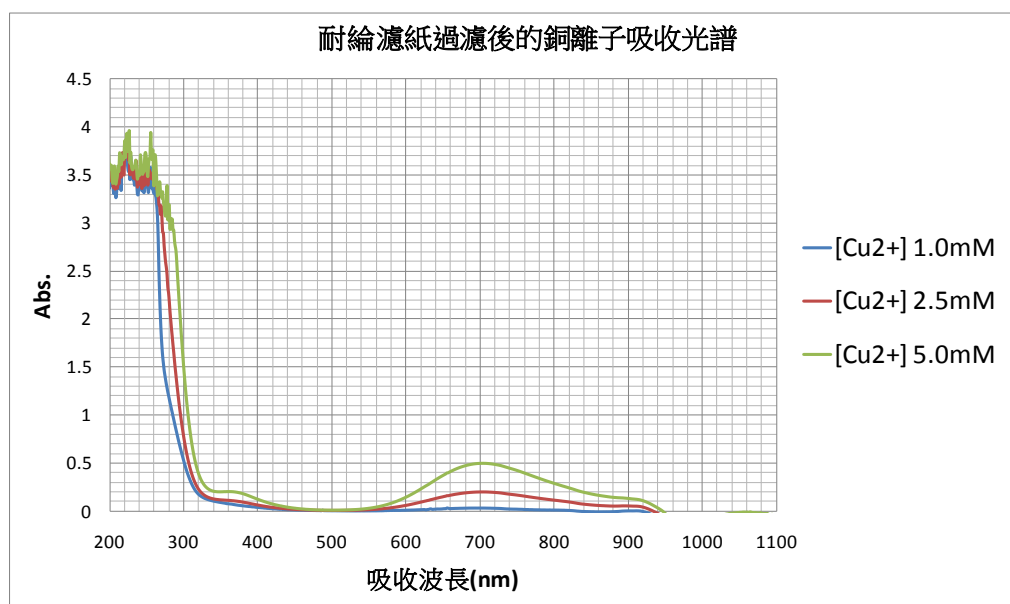


圖31 以 UV/VI 光譜儀測量不同 Cu^{2+} 濃度之吸收光譜(耐綸液加入後)

表5 耐綸濾紙過濾前後銅離子吸收值與濃度換算表

銅離子濃度 (mM)	Abs. (加入耐綸液前)	Abs. (加入耐綸液後)	Δ Abs.	加入耐綸液後 $[\text{Cu}^{2+}]$ (mM)	加入耐綸液後 $[\text{Cu}^{2+}]$ 吸附量
1.0	0.2684	0.0325	0.2359	0.2	0.8
2.5	0.5022	0.1963	0.3059	1.0	1.5
5.0	0.8799	0.4927	0.3872	2.6	2.4

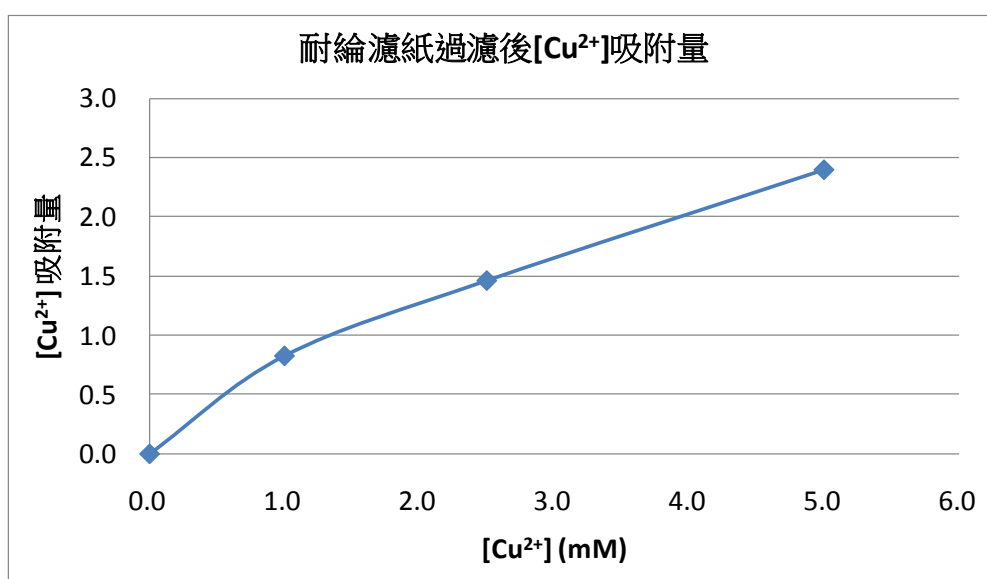


圖32 耐綸濾紙過濾不同濃度銅離子溶液對銅離子吸附量作圖

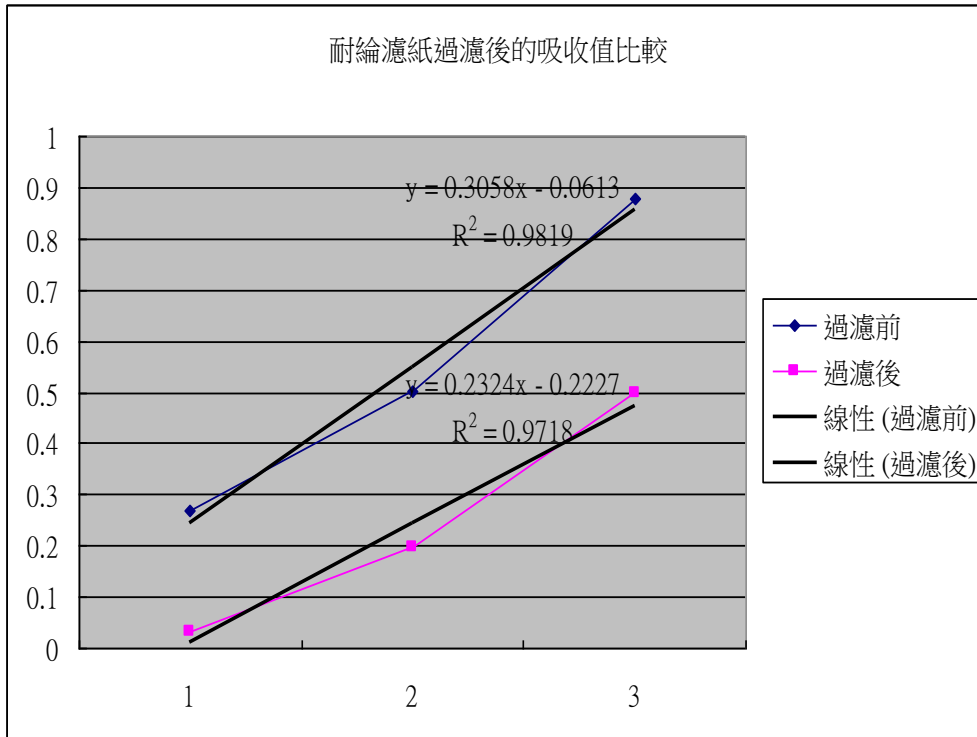


圖33 耐綸濾紙過濾後的吸收值比較

(三) 自製重金屬過濾裝置

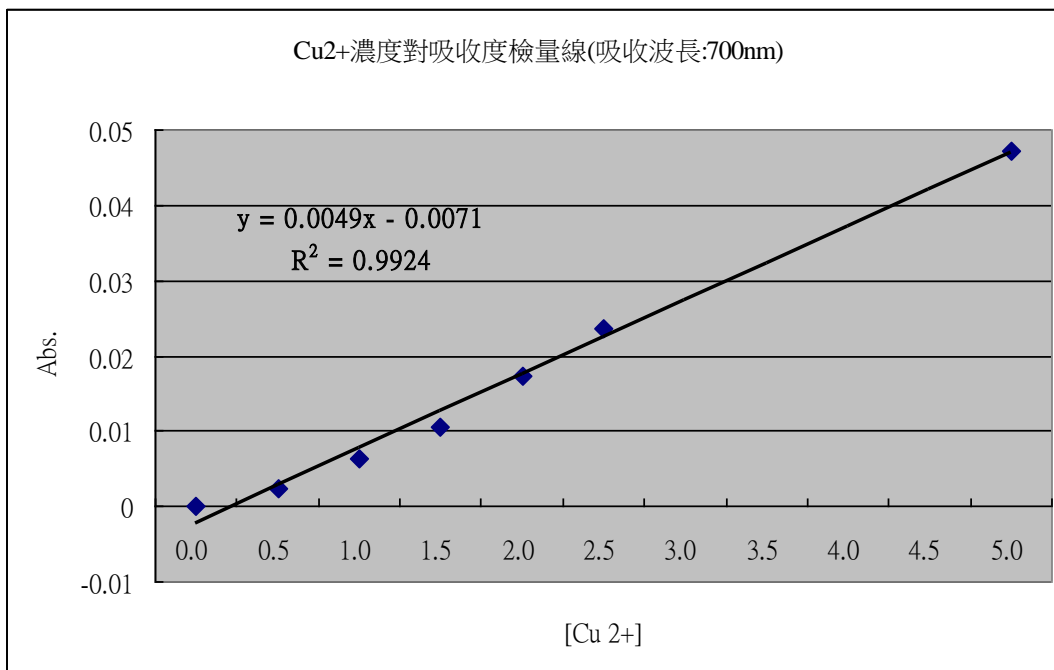


圖34 Cu²⁺濃度對吸收度檢量線(吸收波長700nm)

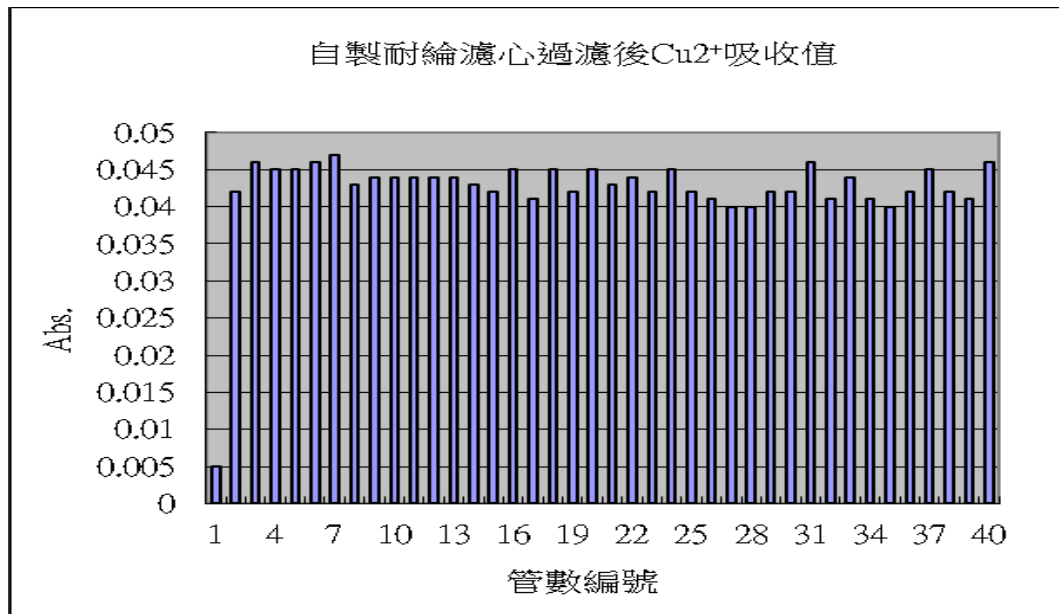


圖35 自製耐綸濾心過濾後 Cu²⁺吸收值

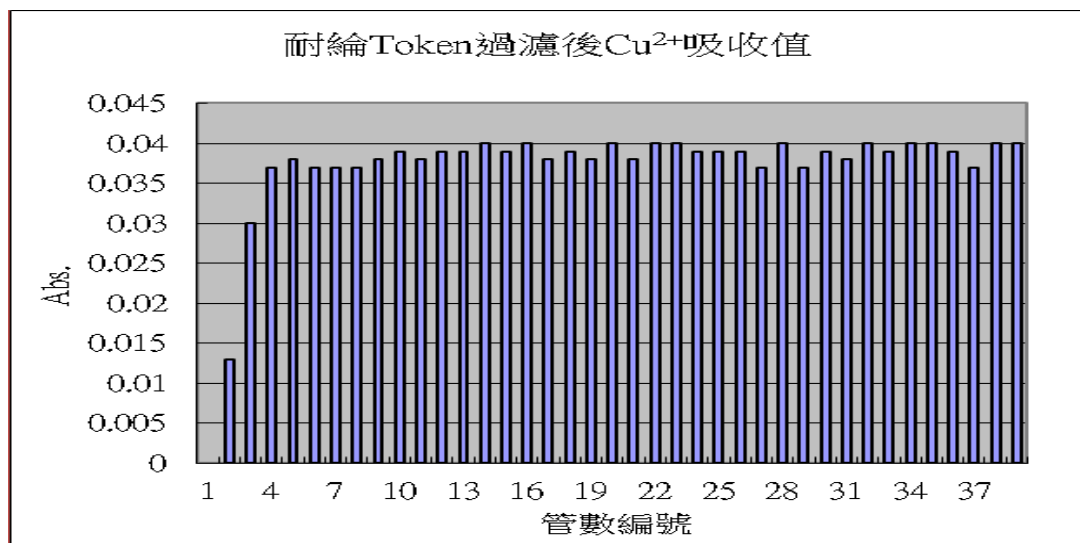


圖36 耐綸 TOKEN 過濾後 Cu²⁺吸收值

陸、討論

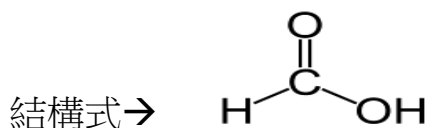
一、耐綸 TLC 試片的製備

(一)溶解耐綸溶劑的選擇

本實驗選擇甲酸作為耐綸的溶劑，因為甲酸揮發性較好，且價

格低廉。

甲酸：



(二)絲襪的成分比例與製成耐綸 TLC 片品質關係

參考圖19，實驗過程中發現，不同比例的絲襪因為彈性纖維及耐綸含量不同，製得的耐綸 TLC 片品質有所差異。我們推測因絲襪中含有的纖維及色素會影響耐綸液乾燥析出後所形成的薄膜，造成結構脆弱而容易導致破碎，且與玻璃的結合較不緊密，70%及80%絲襪所製成的耐綸 TLC 片出現破洞，黑色絲襪效果也較差。經實驗發現以100%膚色絲襪運用於自製耐綸 TLC 片品質最佳。

二、薄膜色層層析分離菠菜色素

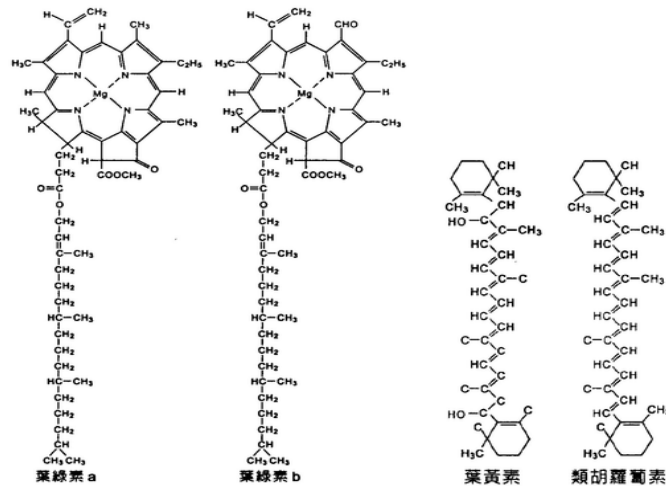
(一) 菠菜色素在濾紙及 TLC 片上的位置順序

濾紙上分離的順序以分子量大小排序（由下而上）：

葉綠素 b > 葉綠素 a > 葉黃素 > 胡蘿蔔素

在 TLC 片上分離的順序是以極性大小來看（由下而上）：

葉黃素 > 葉綠素 b > 葉綠素 a > 胡蘿蔔素



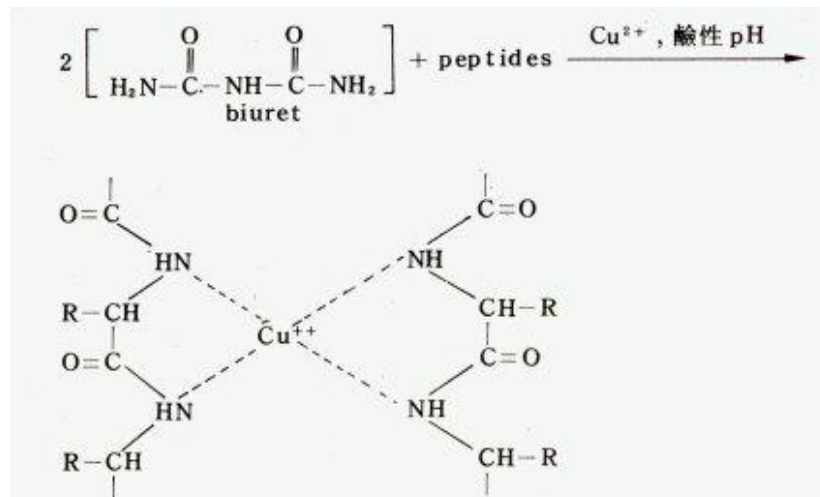
(二)耐綸 TLC 片與市售 TLC 片薄膜層析結果比較

由圖21、22下，皆可使菠菜色素分離，其中皆以1:5效果最佳。由此可知我們所製得的環保耐綸 TLC 片能夠取代市售 TLC 片，達到廢物利用於化學、生物實驗的理想。

三、耐綸含有醯胺鍵運用於吸附重金屬

(一)從耐綸的結構中含有醯胺鍵結，我們推測可以利用耐綸溶液達到吸附重金屬的效果。我們針對常見的金屬污染物質：銅離子進行重金屬吸附實驗。圖 24 為以 UV/VIS 光譜儀測量不同 Cu^{2+} 濃度之吸收光譜並製得金屬離子的檢量線。但發現耐綸溶液吸附重金屬效果不佳，推測其原因為我們的實驗是以甲酸作為耐綸的溶劑，文獻中指出重金屬鹽類與蛋白質中的醯胺鍵結合成穩定的沉澱物而析出，但須將反應環境調整成鹼性，蛋白質在水溶液中是酸鹼兩性電解質，在鹼性溶液中(對蛋白質的等電

點而言), 蛋白質分子帶負電荷, 方能與帶正電荷的金屬離子結合成蛋白質鹽。而我們所製得的耐綸—甲酸溶液為酸性環境, 易讓醯胺鍵中能與重金屬結合的孤對電子與氫離子結合成— NH_2^+ —, 失去吸附重金屬的能力。



(二) 我們得知耐綸要在中性偏鹼性的環境才能吸附重金屬, 於是將溶劑從甲酸改成 DMF。當重金屬溶液中加入耐綸-DMF 溶液後, 溶液中產生白色混濁, 過濾後量測光譜, 從圖(28) 可看出耐綸液加入後 Cu^{2+} 700nm 吸收波長明顯降低, 由此判斷耐綸確實有吸附重金屬離子的效果。

(三)將耐綸溶液均勻滴加於濾紙上並且乾燥後形成耐綸濾紙, 直接過濾金屬溶液, 從數據中亦可發現耐綸濾紙有吸附重金屬的效果, 且對低濃度金屬離子溶液吸附效果更加。一般水中重金屬汙染, 金屬離子濃度極小, 若能以耐綸濾紙濾除重金屬離子, 效果更好, 具有除去水中金屬離子的效果。

四、自製過濾裝置

管柱色層分析和自製濾心，都含有 5g 左右的耐綸，大約可以過濾 0.0002mol 的重金屬離子溶液。管柱色層分析第一管由檢量線得知有 70%的過濾效果，第二管則有 25% ，再來則達飽合，失去過濾效果。自製濾心第一管有 90%的過濾效果，再來則維持再 10%左右趨近飽和的狀態。

柒、結論

我們的研究是利用家庭中常見的廢棄絲襪，回收再利用。利用甲酸作為溶劑可將絲襪中的耐綸溶解，經純化及脫色等步驟後形成耐綸溶液，運用於環保耐 TLC 片的製作，及預期能夠利用耐綸溶液達到吸附重金屬的效果。我們自製得到的環保耐綸 TLC 片可運用於高中實驗中的菠菜色素層析實驗，且可輕易將分離後的產物刮取下，利用甲酸在溶解後，針對分離後的產物進行儀器分析。除此之外，也同時兼具環保及廢物利用的核心價值。我們希望夠利用耐綸溶液吸附重金屬，針對常見的重金屬污染物質-銅離子進行實驗，選擇中性溶劑 DMF 取代甲酸，將溶液環境調整為偏中性，較有利於重金屬吸附實驗進行。由我們的實驗結果發現耐綸溶液在中性環境下具有良好的吸附重金屬效果。我們嘗試製作耐綸濾心及耐綸管柱等過濾重金屬的裝置，充分利用了耐綸吸附重金屬的效果，做成可量產市售的商品，將來我們

將持續測試耐綸濾心的使用性能，期待能夠對日漸受到重視的環保議題盡一份心力。

我們的研究針對廢棄絲襪回收再利用及回收重金屬汙染物質，期待能夠對地球的環境保護有所貢獻。

捌、參考文獻

1. 高伯誠、陳敏傑、蘇崇豪 (2004)。養生的秘密~養生全豆奶的化學成分探討。中華民國第 43屆中小學科學展覽參展作品專輯。
2. 陳秋炳 (2011)。高三選修化學下冊。第八章聚合物。台北市：翰林。
3. 黃婷筠、林妍辰 (2007)。高分子複合材料的性質、製作與分解。臺灣2007年國際科學展覽會。
4. 鄭玉辰 (2004)。終結保麗龍汙染！---利用保麗龍廢棄物處理重金屬廢水之研究。臺灣2004年國際科學展覽會。

感謝：交通大學奈米科技研究所 柯富祥教授實驗室

交通大學應用化學研究所 鍾文聖教授實驗室