

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

最佳創意獎

040216

木炭竹炭誰好"色"

學校名稱：國立善化高級中學

作者： 高二 張婉如 高二 許寶茹 高二 黃于綺 高二 謝盈宇	指導老師： 吳淦任 蘇彥學
---	-----------------------------

關鍵詞： 吸附、木炭、竹炭

作品名稱：木炭竹炭誰好“色”

摘要

本研究以竹炭、木炭作為吸附劑，吸附水中的有色物質(染料、顏料)，發現竹炭的吸附效果比木炭來得優異、脫色效果來得明顯。並藉由等溫吸附理論來探討，進而了解吸附行為機制，並且探討粒徑與溫度對於吸附的影響。

壹、研究動機

當我們在高一基礎化學學到活性碳的特性，了解活性碳可以當除臭、脫色劑，除臭與脫色就是把活性碳當吸附劑來使用；近年來台灣紡織業、染整業蓬勃興起，但染整業所排放的高色度廢液對河川生態有極嚴重的影響卻又極難作分解處理，吸附脫色乃處理高色度廢液極有效率的方法。

市面上竹炭應用風行一時，其中一項原因為竹炭具有良好的除臭除濕功能；台灣低海拔地區盛產竹子，為此我們採用竹炭與一般烤肉用木炭進行吸附實驗。將竹炭與木炭作吸附上的結果作比較，一窺竹炭平凡中的偉大，並藉由數據試圖了解吸附行為機制。

貳、研究目的

- 一、以竹炭/木炭對染料進行吸附，並觀察其吸附效果。
- 二、利用 UV 分光光度計做檢量線，再做檢量線分析吸附後染料殘餘量，求得吸附量。
- 三、比較竹炭與木炭吸附量，進而得知竹炭與木炭吸附效果孰優孰劣。
- 四、藉由 Freundlich 與 Langmuir 吸附理論，對竹炭與木炭吸附行為進行更深一步的探討。
- 五、探討粒徑大小對於吸附的影響。
- 六、探討溫度高低對於吸附的影響。

參、實驗理論與原理

【朗伯·比爾定律】

$$A = \epsilon bc$$

A 為吸收度 ϵ 可藉 UV 分光光度計偵測

ϵ 為消光係數 ϵ 隨著溶液種類特性而有不同的常數

b 為通過被測物的路徑長 ϵ 本實驗所使用的樣品槽光徑長 1cm

c 為濃度 ϵ 可經由換算得到

我們將利用 UV 分光光度計偵測染料溶液的吸光度，設定檢量校正曲線，藉此定律求得染料在溶液中的殘餘量(濃度)。

【Freundlich 吸附平衡方程式】後簡稱為「F 氏理論」

$$\text{※式一：} \quad \frac{X}{M} = k \cdot C^n$$

$$\text{※式二：} \quad \log\left(\frac{X}{M}\right) = \log k + n \log C$$

C：吸附平衡濃度

X：吸附量

k、n：常數(受吸附劑種類、吸附質種類、溫度等影響)(n 經常介於 0.1~1 之間)

$\frac{X}{M}$ ：單位吸附量

由(式二)知，當平衡濃度愈大時，單位吸附量愈大(不需考慮吸附劑上已經吸附的吸附量)。因此 F 氏吸附方程式解釋以凡得瓦力層層包覆的物理吸附行為。我們藉由作圖與回歸分析，可以知道竹炭或木炭的吸附行為是否符合 F 氏假設。

【Langmuir 等溫吸附方程式】後簡稱為「L 氏理論」

$$\text{※式三：} \quad \frac{X}{M} = k_2 \theta = \frac{k_1 k_2 C}{1 + k_1 C}$$

$$\text{※式四：} \quad \frac{C}{X/M} = \frac{1}{k_1 k_2} + \frac{C}{k_2}$$

θ ：吸附劑表面被染料分子遮蔽的遮蔽分率

k_1 ：與吸附能量有關的常數

k_2 ：飽和吸附量

L 氏理論中，因吸附劑的表面具有不勻稱的引力形成殘餘的電子價，這些電子價與吸附質(例如染料上的官能基)產生具有選擇性的鍵結；此種鍵結類似離子鍵，吸附所放出的熱量也相當於形成離子鍵所放出的熱量，因此 L 氏吸附方程式討論的是化學吸附的現象。

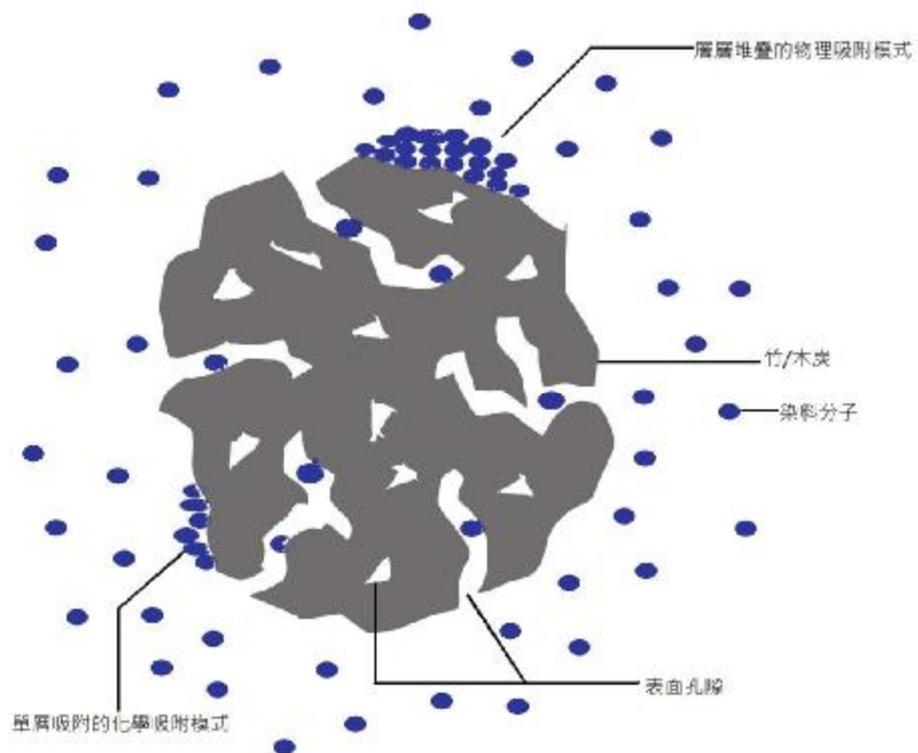
L 氏等溫吸附方程式的假定如下：

- (1) 吸附劑表面具有無數個分佈均勻的吸附位置，每個位置只能接受一個吸附質分子。
- (2) 吸附劑上每個吸附位置與吸附質的親和力都相同。
- (3) 吸附劑分子表面的吸附容量為單層的飽和吸附量。
- (4) 吸附質分子與吸附質分子之間無交互作用。

【物理吸附與化學吸附的比較】

	物理吸附	化學吸附
吸附力	凡得瓦力	原子價吸引力
選擇性	無(低溫時於任何孔隙均可)	有選擇性
吸附速率	很快(無法測定)	通常不快(可測定)
吸附層	多分子層吸附	單一分子層吸附
定溫吸附量	高溫時減少(隨溫度降低)	高溫時增加(隨溫度增加)
可逆性	吸附後易脫離	不易脫離
吸附熱	10 kcal/mole	20~1000 kcal/mole

【染料吸附竹炭/木炭想像圖】



肆、研究設備與器材

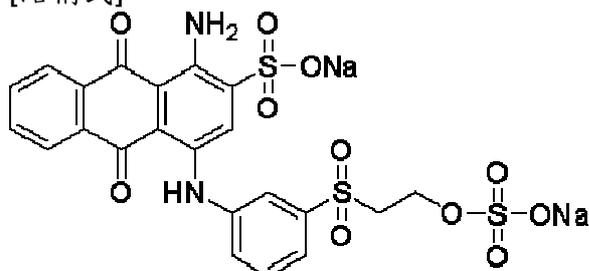
一、實驗器材：

- (1) UV 分光光度計 Thermo Helios Epsilon 美國製
- (2) 電子天平
- (3) 恆溫振盪器 DENG YNG DKW-20
- (4) 鐵鎚
- (5) 大型垃圾袋
- (6) 滴定管與鐵架
- (7) 燒杯 50、500、1000、2000mL
- (8) 定量瓶 100、250、1000mL
- (9) 錐形瓶 125、250、500mL
- (10) 漏斗
- (11) 滴管
- (12) 比色管與試管架
- (13) 廣口瓶
- (14) 鋁箔紙
- (15) 保鮮膜
- (16) 刮勺
- (17) 有蓋玻璃瓶
- (18) 有蓋試管
- (19) 油炸鐵網 (三種孔目大小 大：1.95mm 中：1.30mm 小：0.9mm)
- (20) 標籤紙
- (21) 色度計
- (22) 2mL、吸量管與橡膠吸球
- (23) 數位單眼相機 Nikon D50
Nikkor AF-S DX 18-200mm f/3.5-5.6 VR
- (24) 使用軟體
 1. Microsoft Office 2003 Excel
 2. Nikon Capture NX

二、藥品

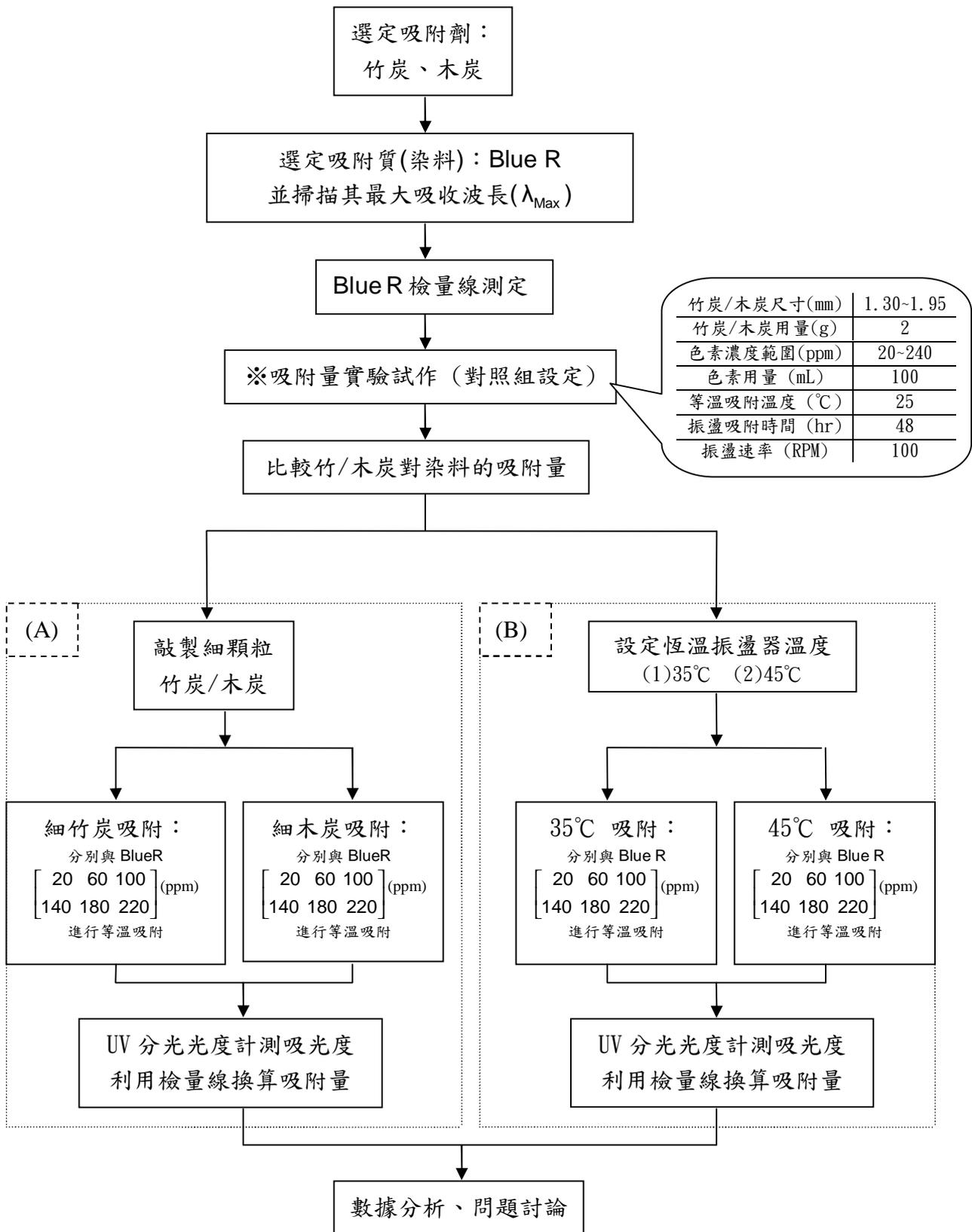
- (1) 竹炭
- (2) 木炭
- (3) 反應性染料 Remazol Brilliant Blue R (Reactive Blue 19)

[結構式]



- (4) 蒸餾水

伍、實驗流程架構



[註] 實驗組操作變因 { (A) 吸附量與吸附劑顆粒大小的探討
(B) 吸附量與溫度高低的探討

陸、研究過程或方法

一、選用五金大賣場所販售的竹炭與木炭作為吸附劑：



二、選用染料當吸附質：選用 Remazol Brilliant Blue R 染料

配製 20ppm 染料水溶液，利用 UV 分光光度計掃描染料的^{最大吸收波長}
[特別感謝]國立成功大學化學系提供 UV 分光光度計

三、Blue R 檢量線測定

- 1.配製 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100ppm 的染料水溶液。
- 2.再利用 UV 分光光度計測出各濃度的吸光度(Absorance)，並用 Excel 繪製檢量線

四、吸附實驗試做：本次實驗將作為稍候實驗的對照組

- 1.配製 20、40、60、80、100、120、140、160、180、200、220、240 ppm 染料水溶液
- 2.取竹炭與木炭分別以鐵鎚擊碎，通過大孔目與中孔目的油炸濾網，篩選出粒徑大小為 1.30~1.95mm 的竹/木炭裝入廣口瓶中。



- 3.取 2 克的竹/木炭與上述 12 種濃度的 Blue R 染料水溶液 100mL 在 50mL 錐形瓶中混合，並以鋁箔紙作兩層封裝(避免染料光分解)。
- 4.設定恆溫振盪器水溫 25°C、振盪速率為 100 RPM 開始進行 48 小時等溫吸附實驗
- 5.取出吸附平衡後的水溶液，利用 UV 分光光度計偵測吸光度
- 6.將所測得的吸光度代入檢量線，求得吸附平衡時的染料濃度。

五、比較竹/木炭對染料的吸附量：

利用數位相機拍攝吸附前後染料溶液顏色深淺變化，並利用 Excel 軟體對吸附量數據統計並作圖比較。

六、就各項變因進行實驗：

[Exp.A] 吸附劑粒徑大小與吸附量的關係

- (一) 分別敲製細顆粒的竹炭與木炭，使用孔隙最小(0.9mm)的濾網作為下層篩選網，孔隙中等(1.3mm)的濾網作為上層篩選網，分別篩選出粒徑約 0.90~1.30mm 的竹炭與木炭顆粒。
- (二) 分別取 2g 細竹炭與細木炭加入配製好的 20、60、100、140、180、220ppm 100mL 的染料溶液中。
- (三) 25°C 100RPM 恆溫振盪 48 小時，取竹/木炭上層液體測吸收度。

[Exp.B] 溫度高低與吸附量的研究

將恆溫振盪槽溫度分別設定為 35°C、45°C，作兩次振盪，振盪速率設定為 100RPM

- (一) 選定 2g 粗顆粒的竹炭/木炭，20、60、100、140、180、220ppm 100mL，進行 48 小時等溫吸附實驗。
- (二) 取上層澄清液體，使用 UV 分光光度計測吸收度。

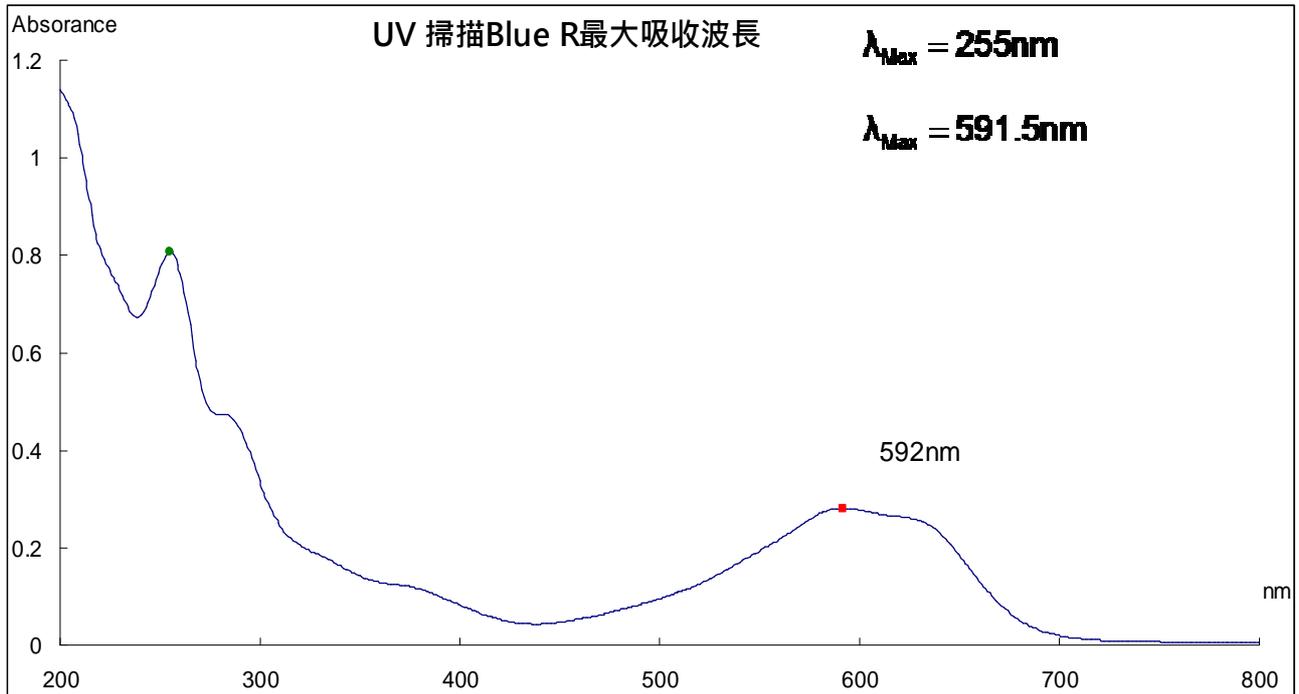
【補充】UV 分光光度計的操作

- (1) 開機熱機 30 分鐘等待分光光度計燈泡發光穩定
- (2) 設定最大吸收波長 (Blue R $\lambda_{MAX} = 591nm$)
- (3) 將裝有蒸餾水的樣品槽(sample cell)置入偵測架上，蓋上上蓋
- (4) 按操作板上的 Blank 進行空白樣品偵測
- (5) 取出空白樣品，置入裝有待測樣品(染料溶液)的樣品槽
- (6) 讀取儀表所示吸收值並記錄
- (7) 取出樣品槽潤洗，進行下一樣品測定。



柒、研究結果與討論

Blue R 染料溶液最大吸收掃描結果：



(圖一)Blue R 最大吸收波長

Sample	Blue-R
Instrument Model	U-3010 Spectrophotometer
Measurement Type	Wavelength Scan
Data Mode	Abs
Starting Wavelength	800.00 nm
Ending Wavelength	200.00 nm

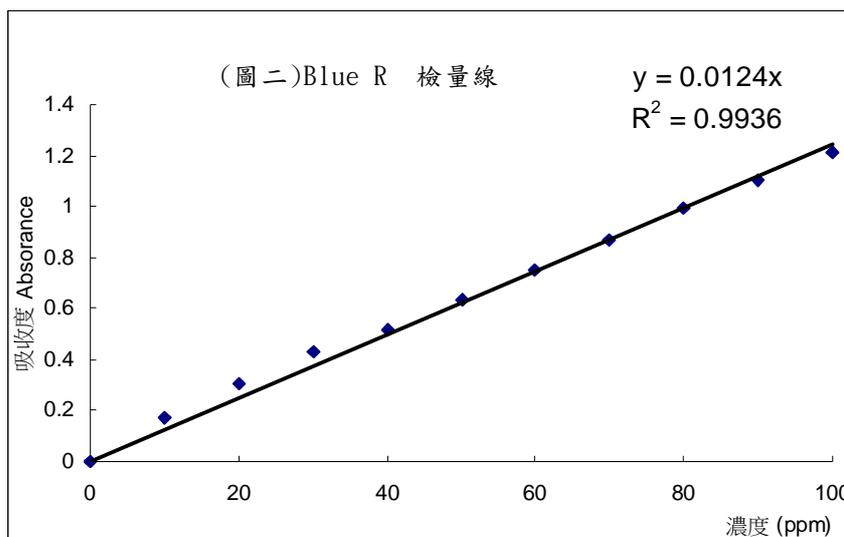
Peaks

Peak #	Start (nm)	Apex (nm)	End (nm)	Height (Abs)	Area (Abs*nm)	Valley (nm)	Valley (Abs)
1	800.00	591.50	438.50	0.282	40.767	438.50	0.043
2	438.50	255.00	238.50	0.807	54.601	238.50	0.672

(圖一)為 Blue R 水溶液 UV 掃描最大吸收波長的結果，得知在 255nm 與 591.5nm 處有兩個吸收峰，因在最大吸收峰處作偵測受到的干擾會較少，所以我們取可見光區 591.5nm 進行吸光度偵測。

一、檢量線：

ppm	吸光度
0	0
10	0.169
20	0.303
30	0.427
40	0.519
50	0.635
60	0.754
70	0.865
80	0.997
90	1.101
100	1.213



二、竹炭吸附 Blue R

原濃度(ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	2.85	0.45	17.15	0.93	0.33
40	12.76	1.11	27.24	1.13	0.94
60	25.45	1.41	34.55	1.24	1.47
80	40.49	1.61	39.51	1.30	2.05
100	58.94	1.77	41.06	1.31	2.87
120	65.85	1.82	54.15	1.43	2.43
140	114.47	2.06	25.53	1.11	8.97
160	124.39	2.09	35.61	1.25	6.99
180	133.01	2.12	46.99	1.37	5.66
200	137.48	2.14	62.52	1.49	4.40
220	141.22	2.15	78.78	1.60	3.59
240	143.82	2.16	96.18	1.68	2.99

【數據處理】

1. 將 UV 分光光度計所偵測到的吸光度代入檢量線(圖二)，即可得到吸附平衡濃度 C

即 $\frac{\text{吸收度(Absorbance)}}{\text{檢量線斜率}(0.0124)} = \text{換算濃度(ppm)}$ ※(詳見附件)

2. 吸附量 X = 原濃度 (ppm) - 吸附平衡濃度 C (ppm)

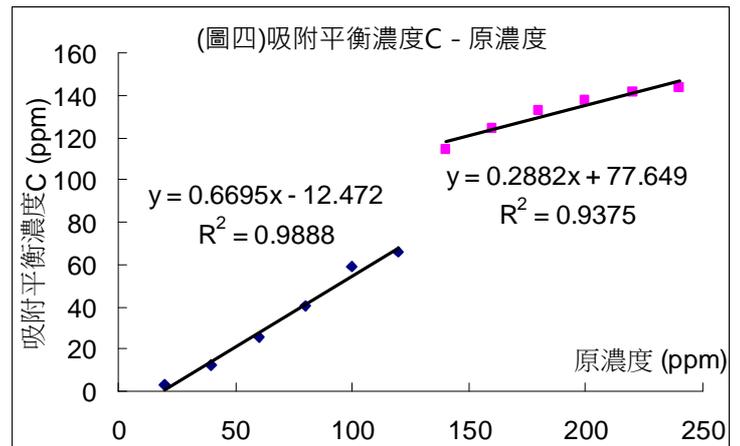
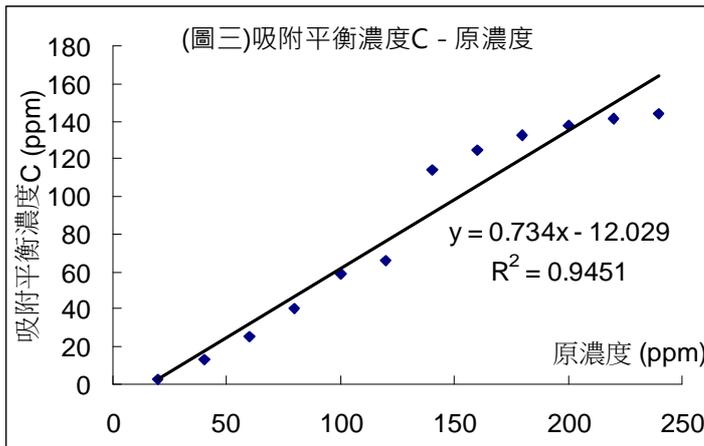
3. logC 值即為對吸附平衡濃度取 log 值

4. $\log(X/M) \Rightarrow \log\left(\frac{\text{吸附量 X (ppm)}}{\text{吸附劑量 (2克)}}\right)$ (3)、(4)稍後要作 Freundlich 等溫吸附方程式探討用

5. $C/(X/M) \Rightarrow \frac{\text{吸附平衡濃度(ppm)}}{(\text{吸附量 X / 吸附劑量})}$ 作為 Langmuir 等溫吸附方程式探討用

【圖表分析】

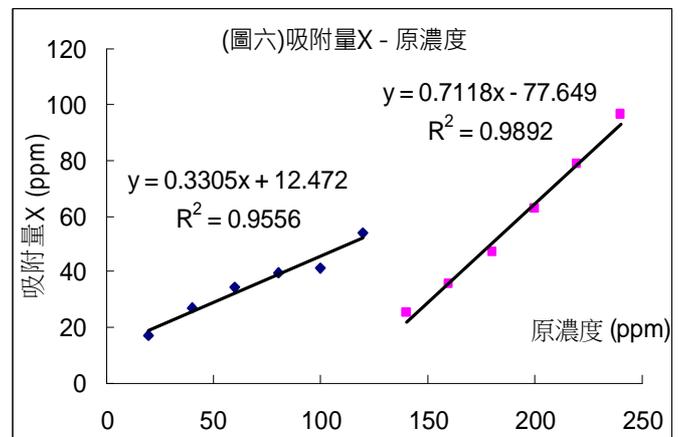
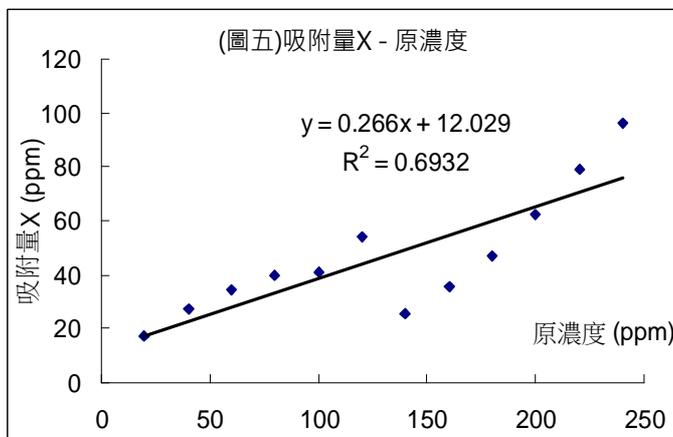
(一) 吸附平衡濃度 C 對原濃度作圖



1. 染料溶液原濃度與吸附平衡濃度(殘餘濃度)呈線性，殘餘濃度隨原濃度增多而漸增。
2. 低濃度與高濃度傾向略有不同，因此把數據分為兩組，分別作趨勢線(圖四)，得到的回歸分析值較(圖三)來得好。
3. 左段趨勢線斜率大於右段趨勢線斜率得知：低濃度下，原濃度對殘餘濃度影響較大。

為了對濃度與吸附的影響，我們進一步進行吸附量對原濃度的研究：

(二) 吸附量 X 對原濃度作圖



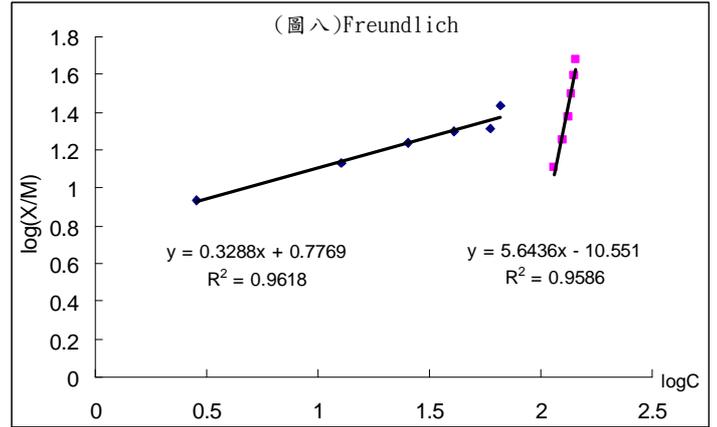
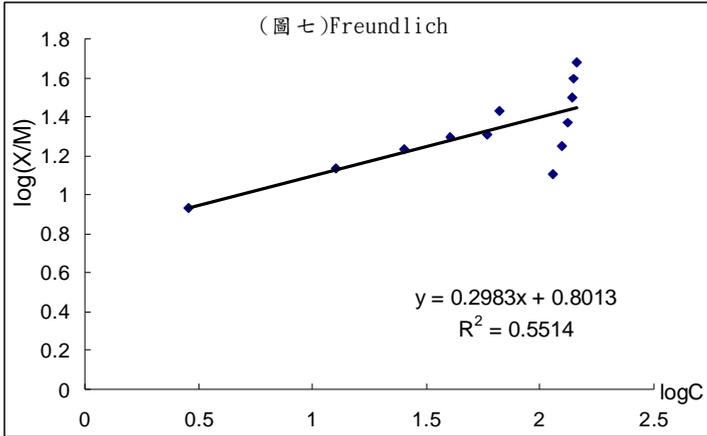
當對吸附量對原濃度作圖時，發現數據再次呈現兩段傾向。

1. 由上圖可知，染料濃度愈大，吸附量也愈大
2. 140ppm 的吸附量反而比 120ppm 來得低。
3. 如同(圖四)所透露的，(圖六)中左右兩段趨勢線的斜率更明確地顯現：高濃度區域內，原濃度對吸附量影響較大。

由上，數據似乎暗示我們，隨著染料濃度的高低，吸附受到某些因素影響。為了解釋吸附行為，查閱文獻資料，固體表面吸附液體或氣體分子，可分為物理吸附與化學吸附兩種方式且大多數的吸附行為，物理吸附與化學吸附是同時存在的。

為了解實驗中所進行的 Blue R 與竹炭間的吸附模式，我們試著將數據代入夫若因立希 (Freundlich)所提出的吸附平衡方程式來分析：

(三) Freundlich 等溫方程式分析

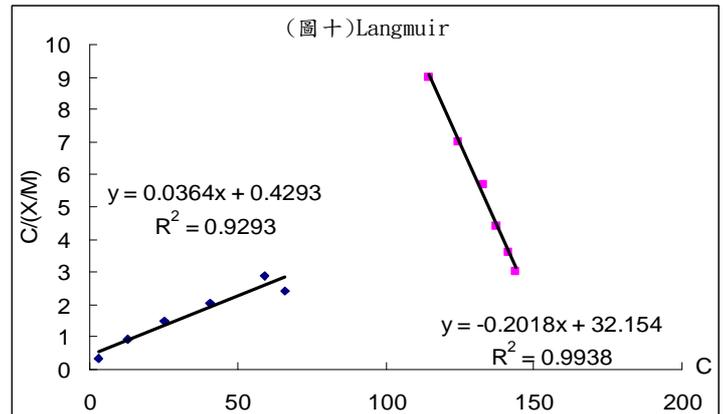
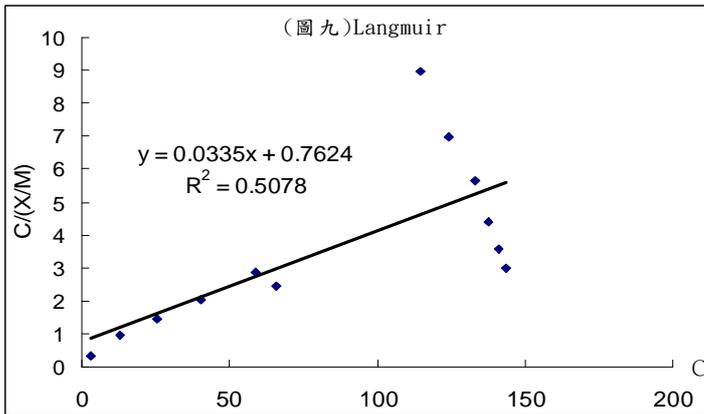


1. 趨勢線的斜率：

左段趨勢線的斜率為 0.3288(F 氏吸附式中的 n 值)，代入 F 氏吸附式後，發現常數 $0.1 < n = 0.3288 < 1$ 右段趨勢線斜率為 5.6436，較一般 n 值(0.1~1)大上許多。

2. 由回歸分析 R^2 值可知，F 氏等溫吸附理論可以合理解釋竹炭吸附現象。

(四) Langmuir 等溫吸附方程式分析



當我們以 L 氏等溫吸附理論作圖時發現：

1. 數據呈現兩段線性，低濃度(20~120ppm)時， $C/(X/M)$ 對平衡濃度 C 形成正相關；高濃度(140~240ppm)時 $C/(X/M)$ 對平衡濃度 C 形成負相關。

2. 由(圖十)，低濃度下每克竹炭的飽和吸附量 $k_2 = \frac{1}{\text{趨勢線斜率}(0.0364)} = 27.47 \text{ ppm/g}$

【討論】

$\frac{C}{X/M} = \frac{\text{吸附平衡濃度(ppm)}}{\text{單位吸附量(ppm)}}$ 的數學意義為「比值」，即吸附平衡時 $\frac{\text{竹炭周遭環境染料量}}{\text{竹炭上所吸附染料量}}$ 比值。

根據 L 氏的假設：化學吸附飽和吸附量固定；平衡濃度愈大時， $\frac{\text{竹炭周遭環境染料量}}{\text{竹炭上所吸附染料量}}$ 應愈大

è 倘若吸附行為符合 L 氏的假設，趨勢線的斜率應為正值。

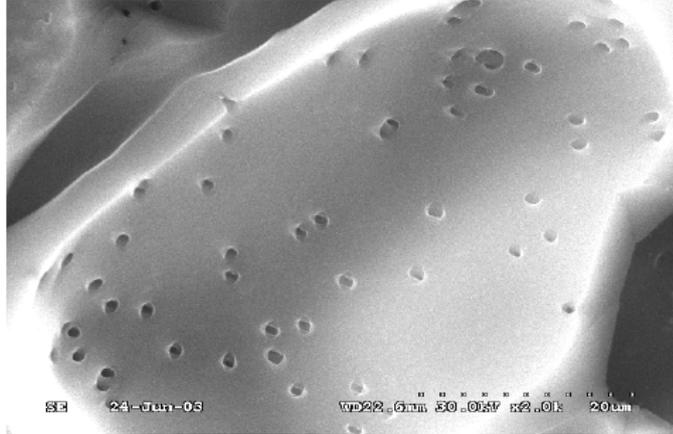
低濃度(20~120ppm)區域， $\frac{\text{竹炭周遭環境染料量}}{\text{竹炭上所吸附染料量}}$ 比值隨著平衡濃度增加而漸增(正相關)；

高濃度(140~240ppm)區域， $\frac{\text{竹炭周遭環境染料量}}{\text{竹炭上所吸附染料量}}$ 比值隨著平衡濃度增加而漸小(負相關)，

得知高濃度區域不滿足 L 氏的假設，推測高濃度區域化學吸附模式較不明顯，此時竹炭上所吸附的染料量絕大部份是藉由物理(凡得瓦)吸附。

【推論與探討】

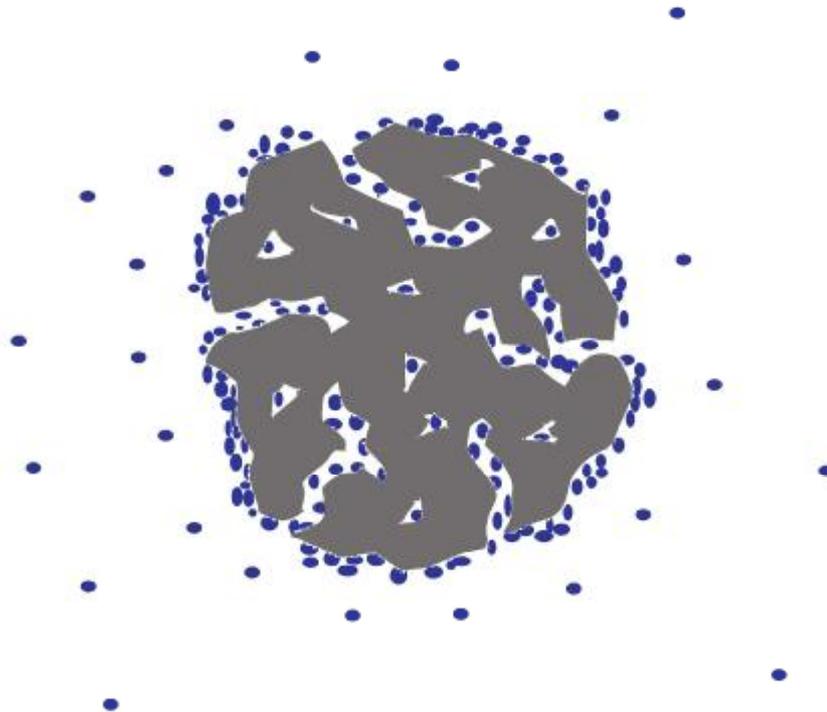
1. 低濃度(20~120ppm)可能兼具化學吸附與物理吸附兩種模式
2. 高濃度(140~240ppm)則以物理吸附為主，化學吸附所占的比例很小
3. 由於高中資源有限，無法進一步對竹炭的表面進行電子顯微鏡分析，不過很慶幸的是，我們參考的論文文獻陳宏彬 孟宗竹炭與活性炭之研製(屏科大 民 92)中對竹炭做過顯微分析。
第 3 章 p.48 Fig.3-14 孟宗竹炭(炭化溫度 700°C)徑切面之薄壁細胞與壁孔 (2000X)



可發現竹炭表面有許多孔隙，所以我們推測：

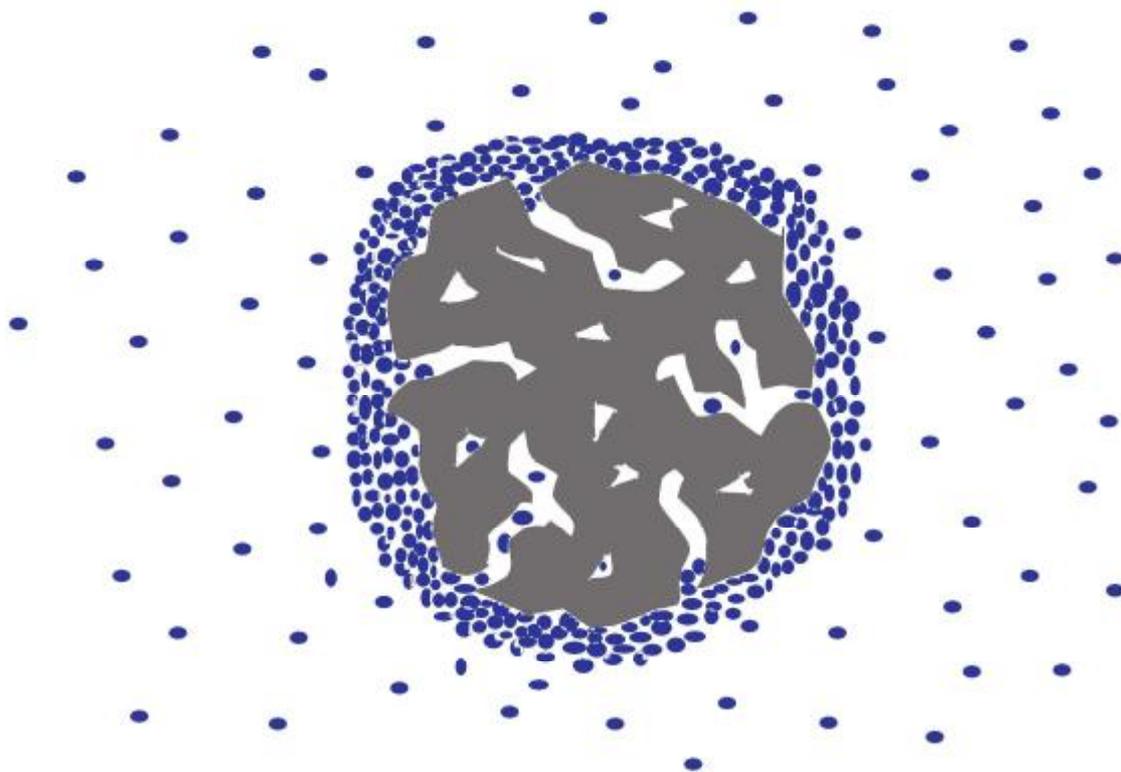
- (1) 低濃度時，染料分子能較均勻地擴散到竹炭的表面與孔隙中，因此化學吸附較明顯。

【低濃度吸附想像圖】



(2) 高濃度時，由於竹炭四周的染料濃度很高，染料分子快速層層包覆竹炭表面，並且堵住孔隙開口，阻止其他染料分子進入竹炭內部進行表面吸附。

【高濃度吸附想像圖】



(3) 由四種圖形所呈現的兩段趨勢，可能染料濃度在 120~140ppm 間，染料分子的堆積量剛好達到進入竹炭孔隙的臨界點。

【展望】

由於竹炭、木炭上的孔隙數會影響到表面積大小，因此未來做竹/木炭吸附時，可以進行孔隙數目估算並推測其表面積大小對吸附的影響。

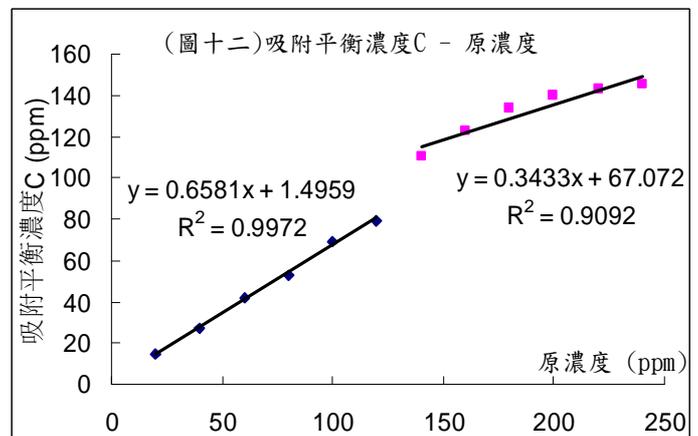
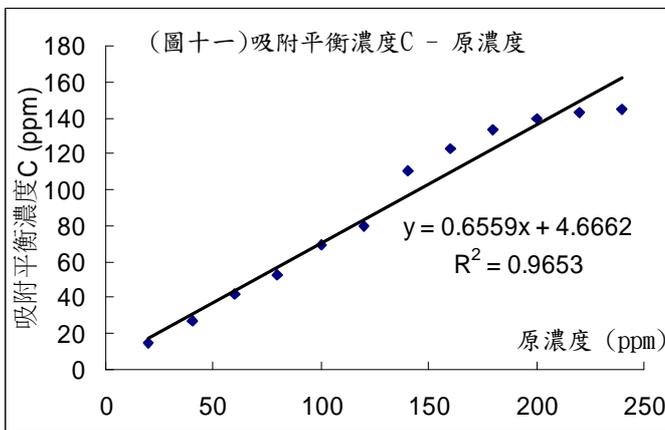
三、木炭吸附 Blue R

原濃度 (ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	14.96	1.17	5.04	0.40	5.94
40	26.91	1.43	13.09	0.82	4.11
60	41.95	1.62	18.05	0.96	4.65
80	52.76	1.72	27.24	1.13	3.87
100	69.27	1.84	30.73	1.19	4.51
120	79.51	1.90	40.49	1.31	3.93
140	110.24	2.04	29.76	1.17	7.41
160	122.60	2.09	37.40	1.27	6.56
180	133.50	2.13	46.50	1.37	5.74
200	139.67	2.15	60.33	1.48	4.63
220	142.93	2.16	77.07	1.59	3.71
240	144.88	2.16	95.12	1.68	3.05

【數據處理】如同竹炭吸附 Blue R

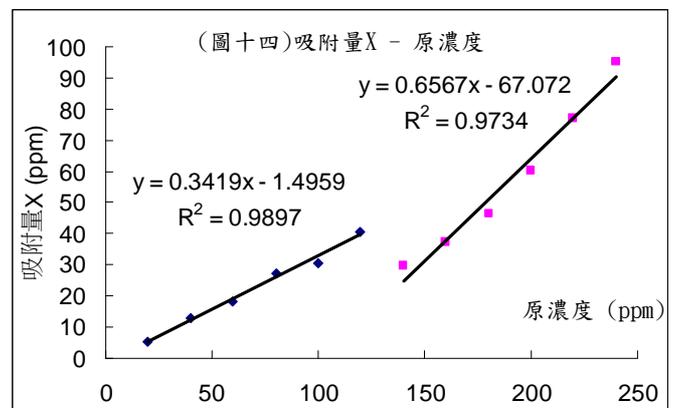
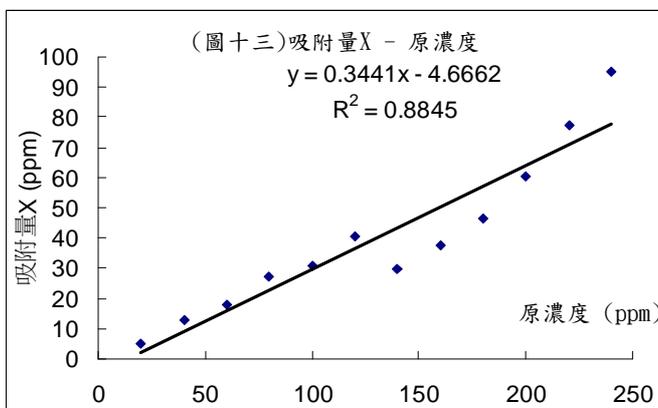
【圖表分析】

(一) 吸附平衡濃度 C 對原濃度作圖



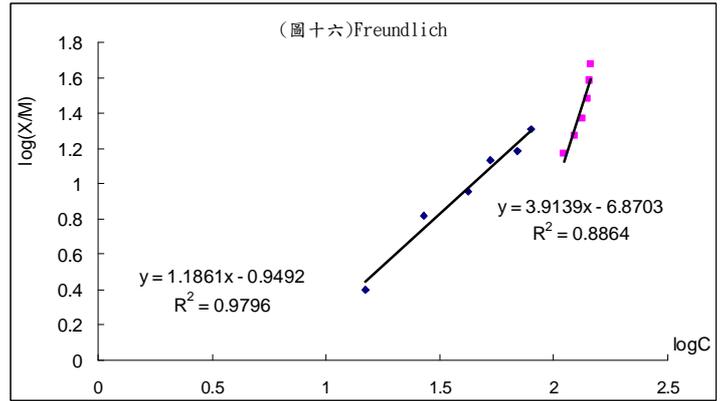
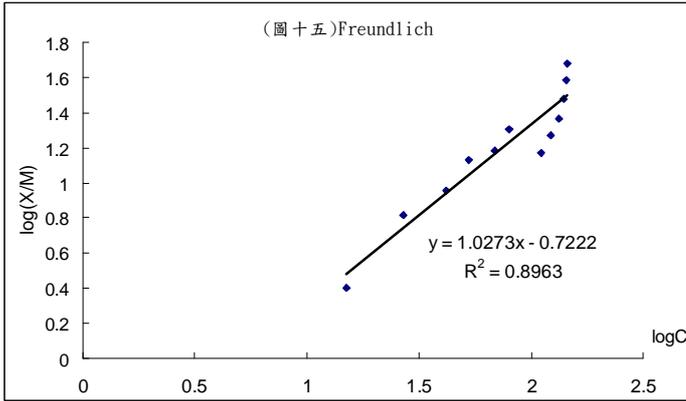
1. 如同竹炭吸附呈現線性，並且呈現兩段線性
2. 如同竹炭吸附，在 120~140ppm 之間吸附傾向發生改變
3. 在低濃度時，原濃度大小對於殘餘濃度 C 影響較大。

(二) 吸附量 X 對原濃度作圖



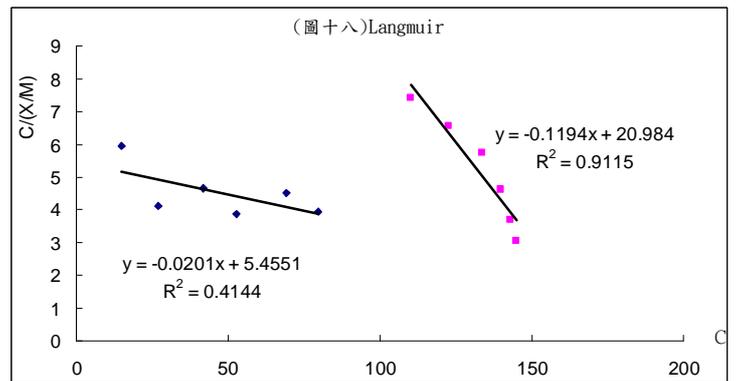
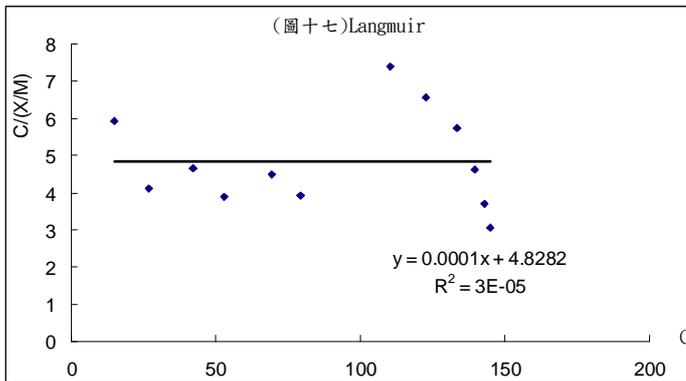
1. 染料濃度愈大，吸附量也愈大
2. 140ppm 的吸附量反而比 120ppm 來得低。
3. 由左右兩段趨勢線斜率：木炭進行吸附時，高濃度區域內，原濃度對吸附量影響較大；

(三) Freundlich 等溫方程式分析



1. 趨勢線斜率：左段趨勢線斜率為 1.1861，右段趨勢線斜率 3.9139，較一般 n 值(0.1~1)大。
2. 原濃度 120 到 140ppm 的吸附量偏離線性，進行兩段分析後並做趨勢預測/回歸分析後，發現木炭吸附相當符合 F 氏吸附式。

(四) Langmuir 等溫吸附方程式分析



1. 數據呈現兩段線性，但左右兩段趨勢線斜率皆為負值，若用 L 氏理論解釋符合度較差。
2. 低濃度(20~120ppm)的線性規則較差，可能與木炭本身的分子排列規則性有關係。

【討論】

綜合 F 氏與 L 氏分析，我們得知木炭吸附以物理吸附(凡得瓦吸附)為主。

四、竹炭 vs.木炭吸附力大小比較：

(一)色度比較

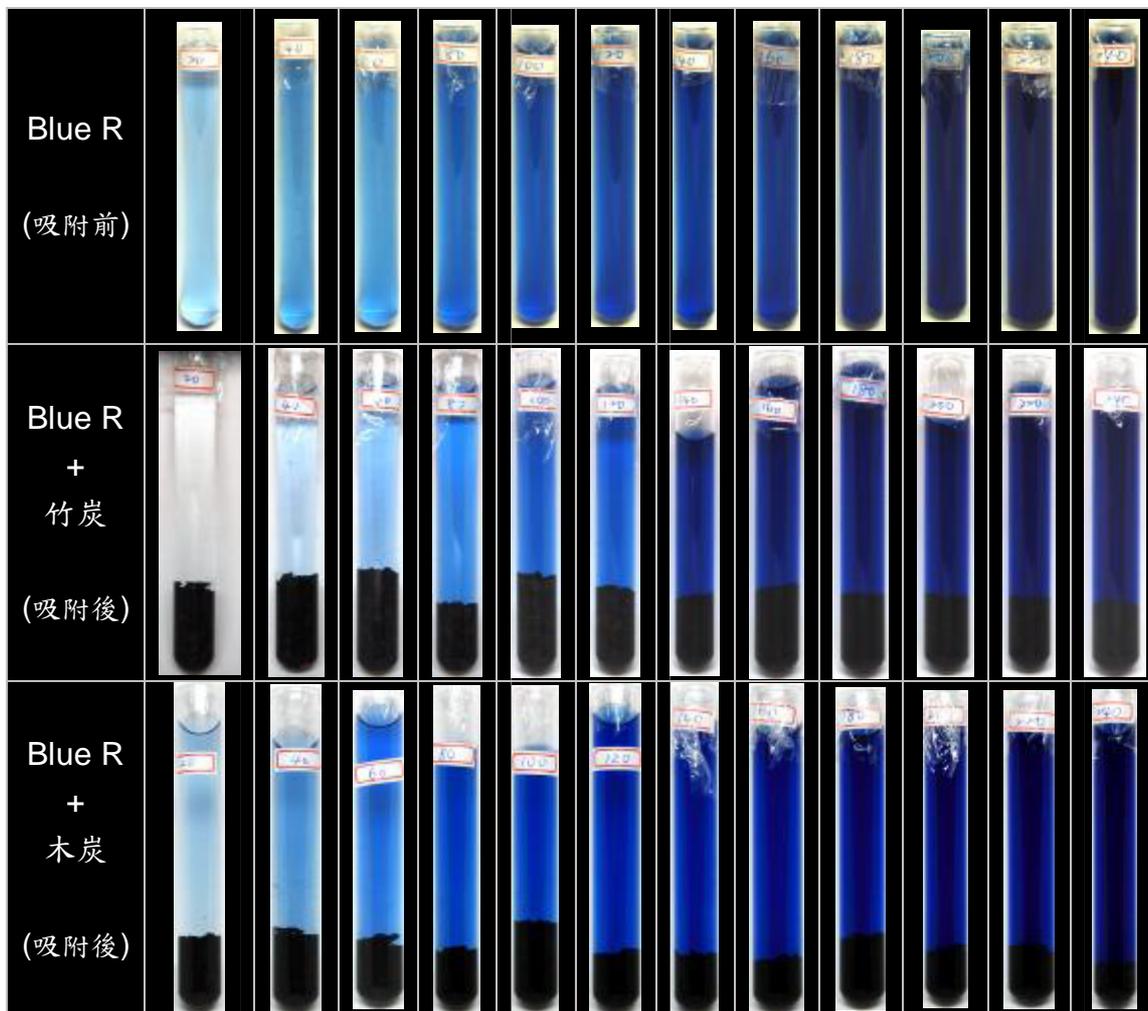
由於竹炭與木炭吸附大小差異，肉眼就可以判斷出來，因此我們使用相機把它拍下來

【拍攝器材】

Nikon D50 + Nikkor AF-S 18-200mm VR F/3.5-5.6

拍攝模式	手動	ISO	200
快門	1/50 秒	光圈	F11
白平衡	自訂校正	焦距	90mm

【色度比較表】



表中照片可以觀察出 20 ~ 80 ppm 時竹炭的吸附情形較好

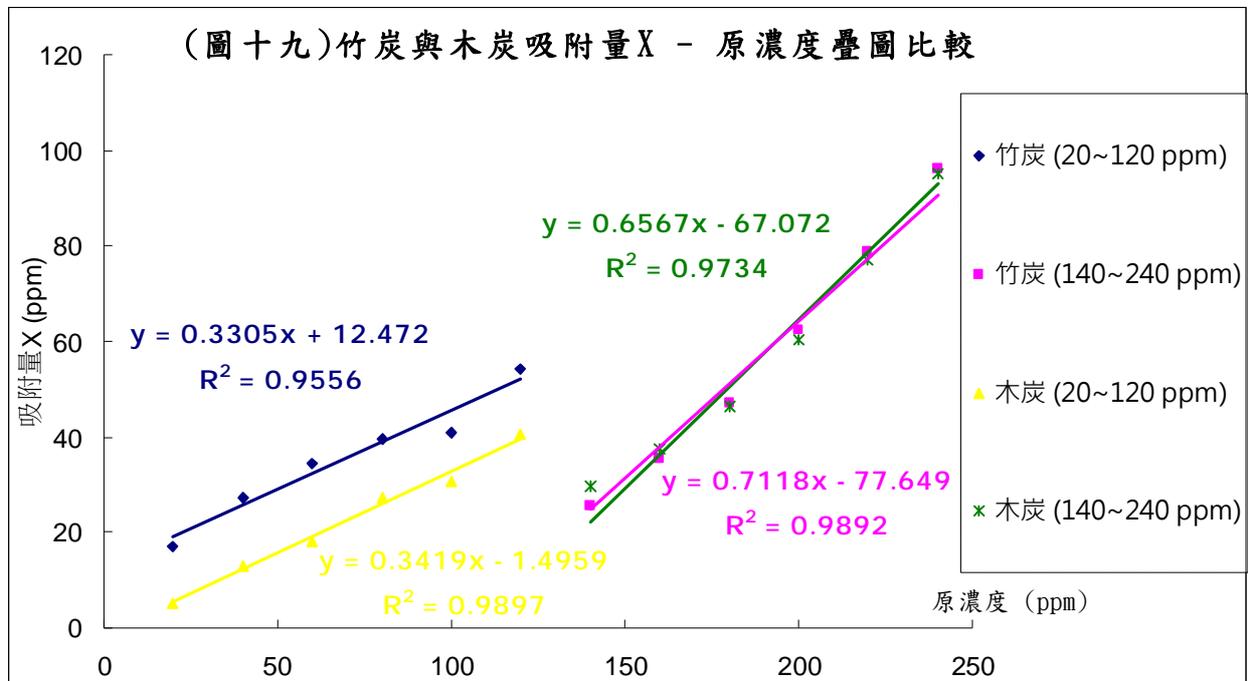
(二) 吸附量比較表

原濃度 (ppm)	竹炭吸附量 (ppm)	大小關係	木炭吸附量 (ppm)
20	17.17	>	5.04
40	27.33	>	13.08
60	34.75	>	18.04
80	39.83	>	27.23
100	41.53	>	30.73
120	54.67	>	40.48
140	26.45	<	29.75
160	36.61	<	37.39
180	48.06	>	46.50
200	63.62	>	60.32
220	79.91	>	77.07
240	97.33	>	95.12

由上表得知，

1. 竹炭在 20~120ppm 時，吸附量大於木炭，吸附效果較優；
2. 在 140 與 160ppm 下吸附量稍小於木炭 } ⇒ 吸附量相當 (竹炭與木炭粒徑大小控制良好)
 在 180 ~ 240ppm 下吸附量稍大於木炭 }

(丙) 吸附量疊圖比較

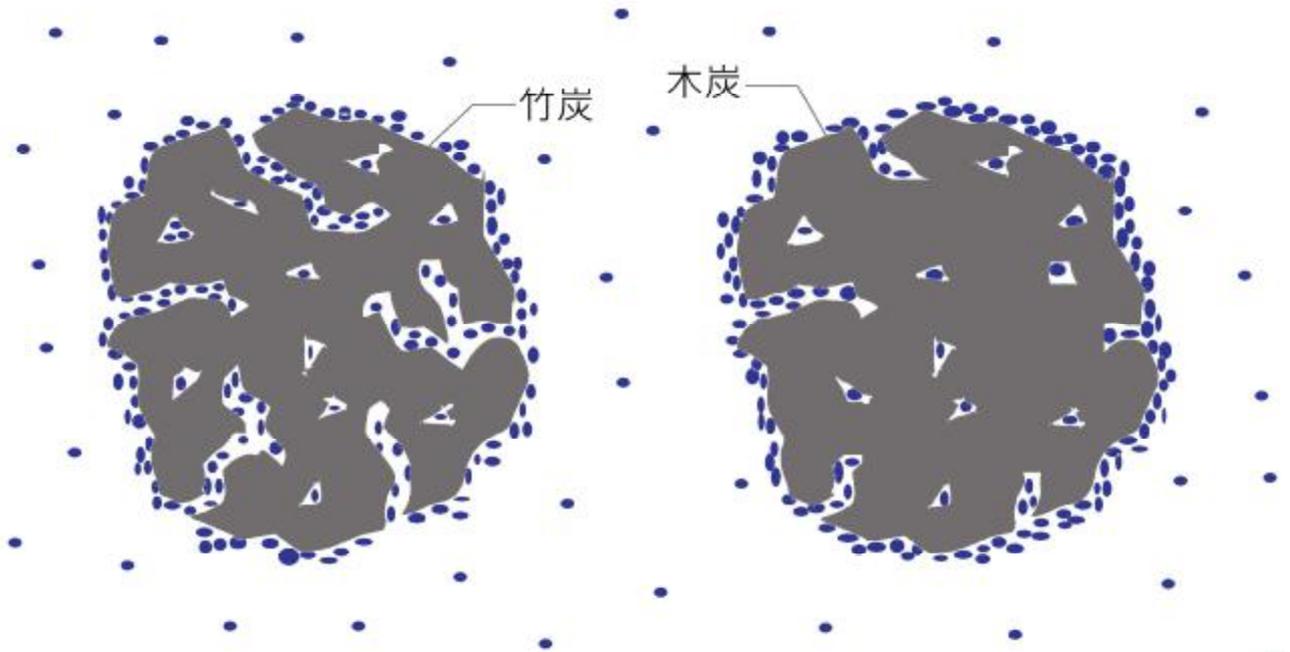


1. 左邊兩條趨勢線斜率十分接近，幾乎互為平行線；
2. 右邊兩條趨勢線雖交叉，但趨勢線幾乎重疊。

【討論】

1. 上圖可得知，低濃度區竹炭吸附量比木炭高，木炭與竹炭的趨勢線近乎平行，推測原因可能為竹炭的孔隙較木炭多、總表面積竹炭較木炭大的緣故。

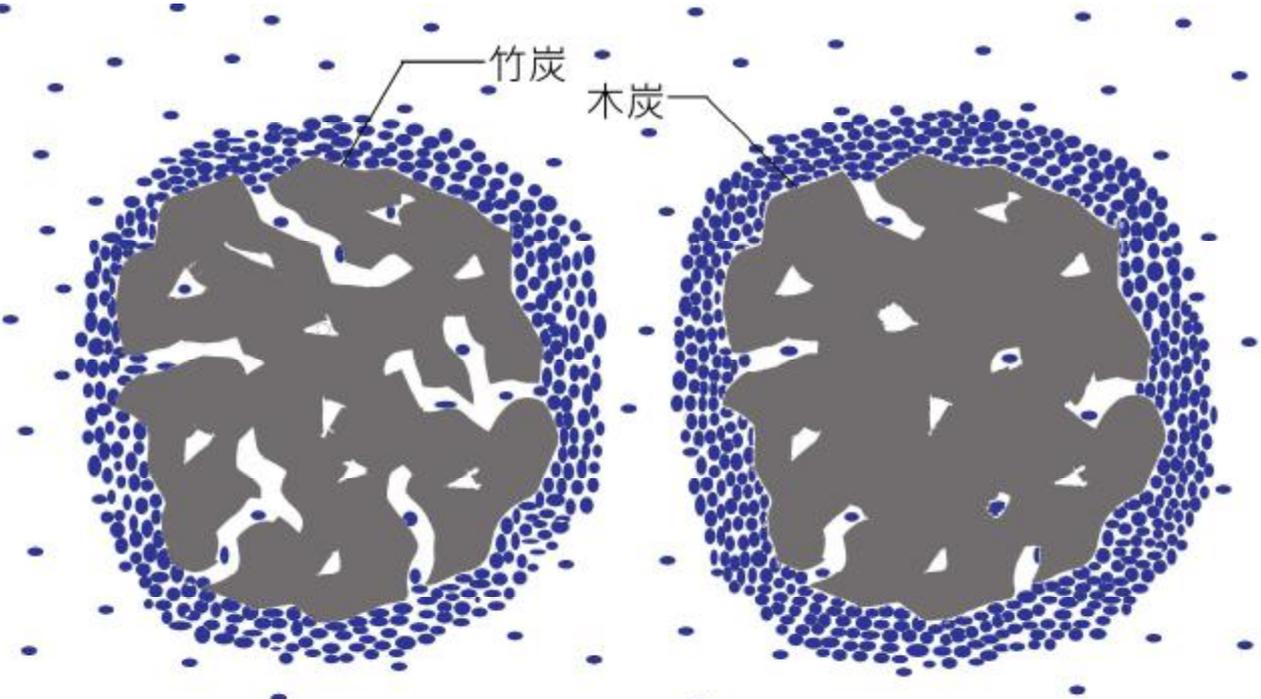
【低濃度竹/木炭吸附想像圖】 (請留意孔隙內的染料量)



è 上圖可知，低濃度下，孔隙數目、大小會影響到表面積與吸附量。

2. 高濃度區的趨勢線幾乎重疊，推測是因染料分子於高濃度下快速包覆、堵塞導致無法進入孔隙內，因此粒徑大小一致的竹炭、木炭的吸附量相當。

【高濃度竹/木炭吸附想像圖】 (請留意孔隙內的染料量)



è 上圖可知，高濃度下，孔隙數目、大小對於吸附量的影響較小。

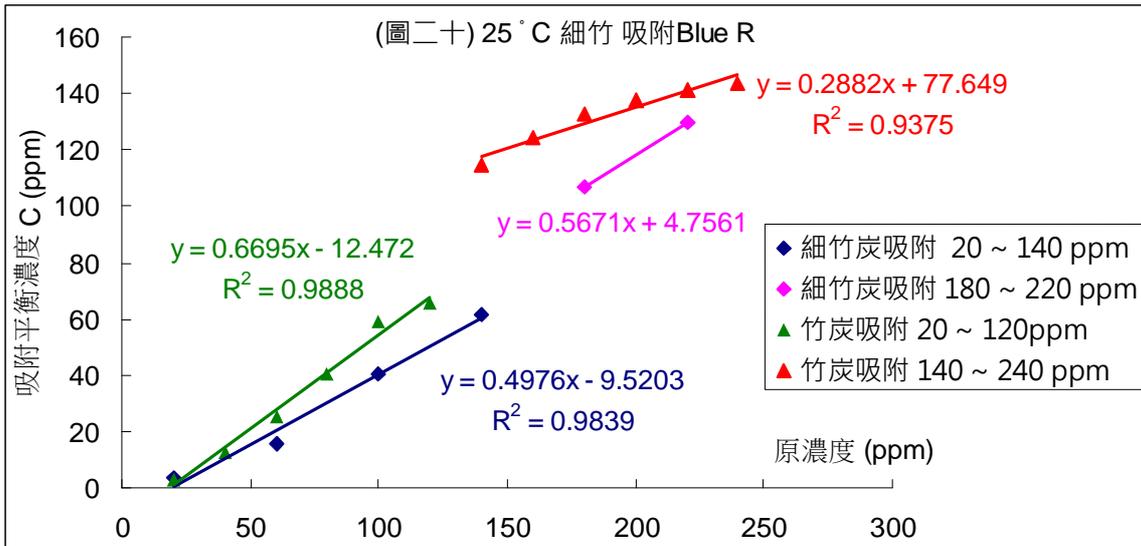
五、吸附與粒徑大小的探討：

(一)竹炭部份：

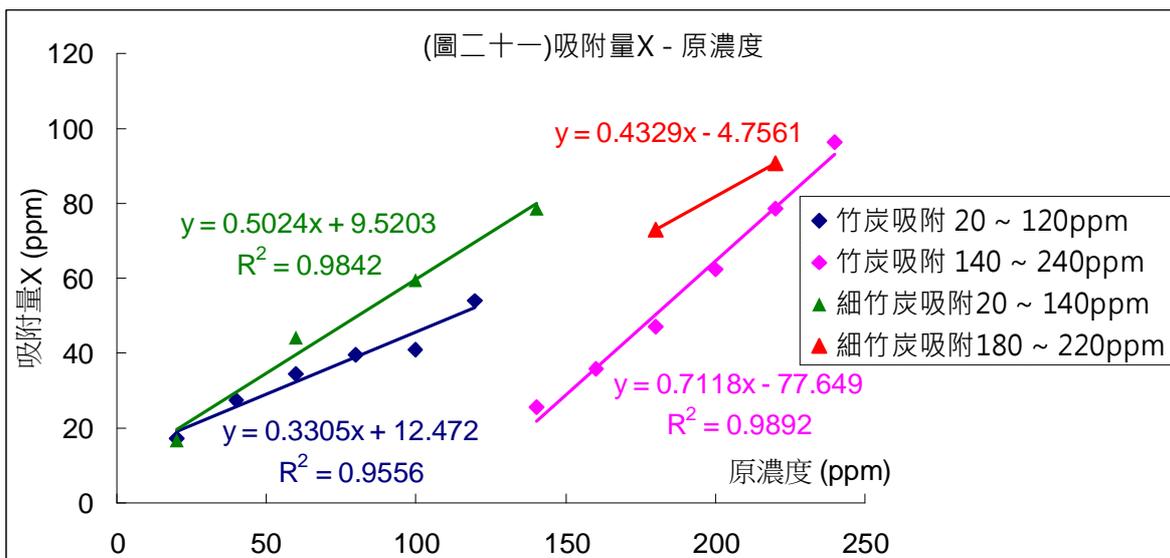
細粒徑竹炭的吸附數據如下表：

原濃度(ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	3.41	0.53	16.59	0.92	0.41
60	15.69	1.20	44.31	1.35	0.71
100	40.57	1.61	59.43	1.47	1.37
140	61.46	1.79	78.54	1.59	1.57
180	106.83	2.03	73.17	1.56	2.92
220	129.51	2.11	90.49	1.66	2.86

【圖表分析】利用上表製圖並與 25°C 一般粒徑的竹炭做比較：



1. 溶液殘餘(未吸附)染料，以一般竹炭為多。
2. 由趨勢線推測，濃度極低(20ppm)或濃度極高(>220ppm)時，殘餘溶液濃度會趨向一致。
3. 細竹炭的吸附兩段傾向較不明顯。

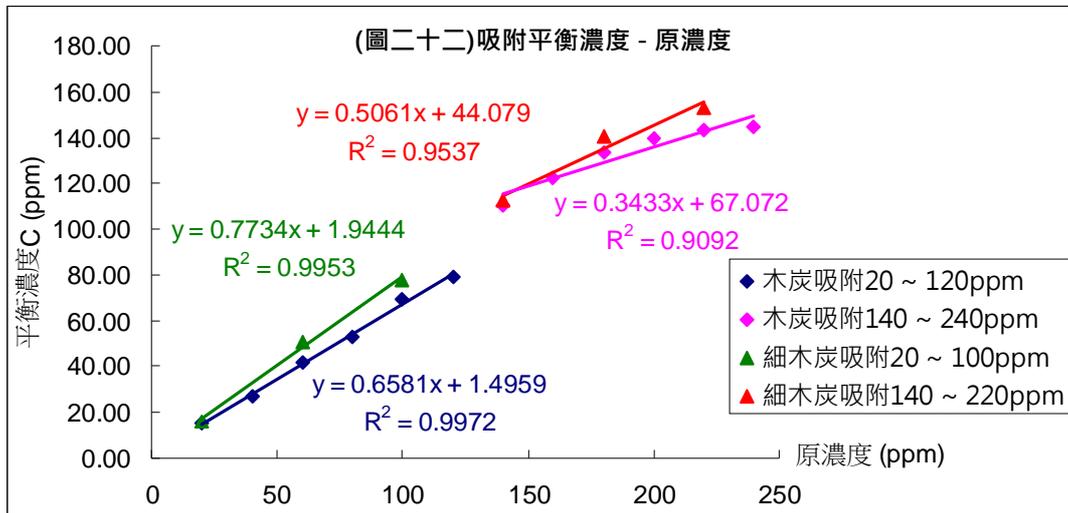


1. 吸附量以顆粒較細的竹炭為多。
2. 由趨勢線推測，濃度極低(20ppm)或濃度極高(>220ppm)時，殘餘溶液濃度會趨向一致。

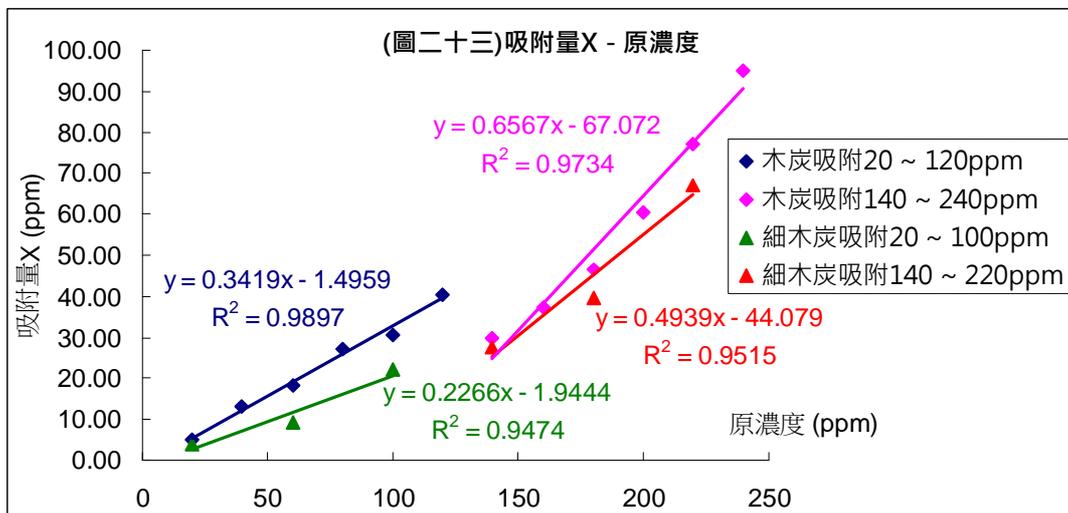
(二) 木炭部份：細粒徑木炭的吸附數據如下表：

原濃度(ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	16.18	1.21	3.82	0.28	8.47
60	50.81	1.71	9.19	0.66	11.06
100	78.05	1.89	21.95	1.04	7.11
140	112.36	2.05	27.64	1.14	8.13
180	140.33	2.15	39.67	1.30	7.07
220	152.85	2.18	67.15	1.53	4.55

【圖表分析】利用上表製圖並與 25°C 一般粒徑的木炭做比較：



1. 溶液殘餘(未吸附)染料，以細木炭為多。
2. 由趨勢線推測，濃度極低(20ppm)或濃度極高(>220ppm)時，殘餘溶液濃度會趨向一致。但右半端趨勢線走向很接近。

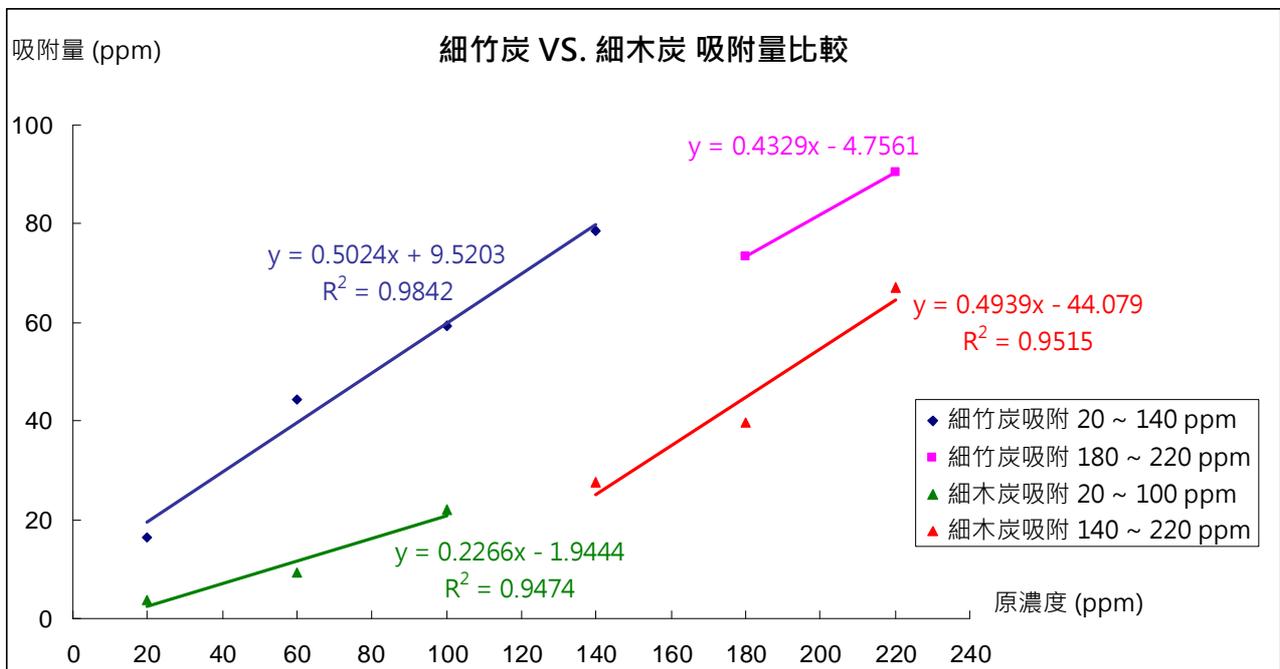


1. 吸附量以粒徑較粗者為多。
2. 左半段趨勢線可知濃度極稀時，吸附量一致
3. 右半段趨勢線的趨勢線走向一致

【討論】依照吸附理論，粒徑愈小者表面積愈大(當半徑減為 1/n 倍，表面積增為 n 倍)吸附量愈大，但我們的實驗結果違背一般吸附現象，推測可能是市售的木炭燒製過程與條件沒有經過控制因此木炭內部碳化較不均勻(可見第六頁右圖)，影響木炭孔隙生成進而影響到吸附量。當我們以鐵鎚把木炭敲愈碎，內部碳化較不均勻的部份就更容易露出來，因此細木炭吸附量會略低。

【細粒徑 竹炭 VS. 木炭 吸附量比較】

原濃度 (ppm)	細竹炭吸附量 (ppm)	大小關係	細木炭吸附量 (ppm)
20	16.59	>	3.82
60	44.31	>	9.19
100	59.43	>	21.95
140	78.54	>	27.64
180	73.17	>	39.67
220	90.49	>	67.15



由上圖與上表可知，25°C下，細粒徑竹炭的吸附量皆大於木炭

六、吸附與溫度高低的影響

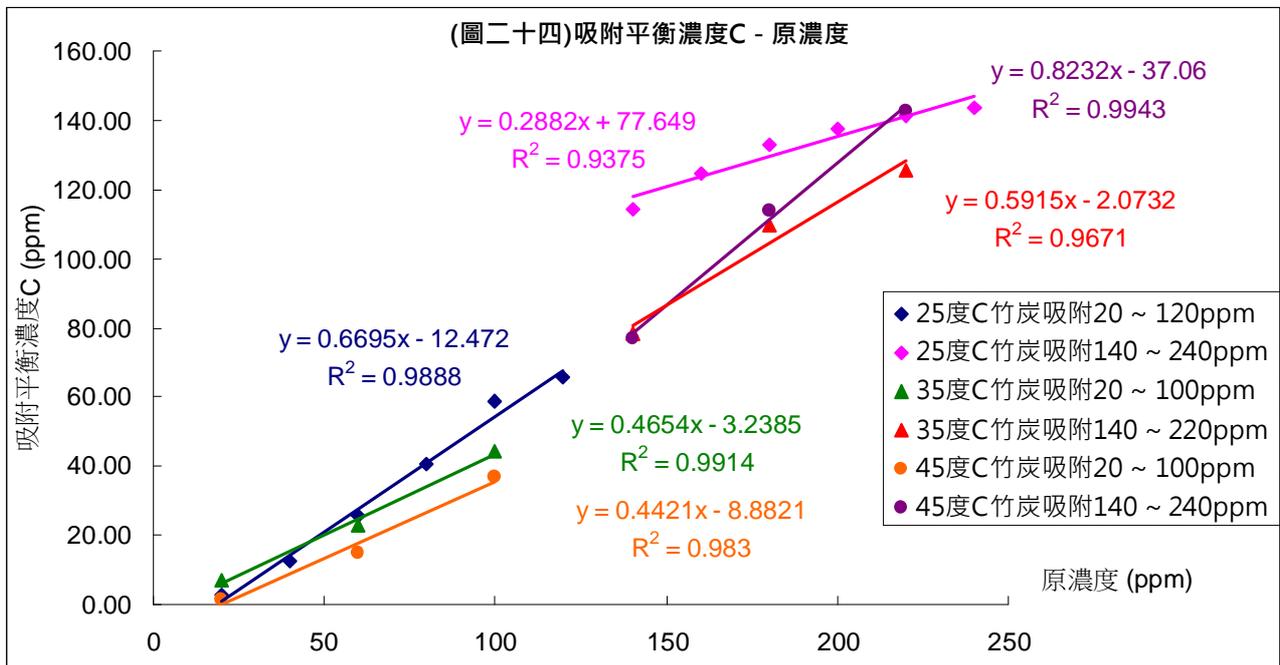
(一)35°C的竹炭吸附數據如下表：

原濃度(ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	7.07	0.85	12.93	0.81	1.09
60	22.68	1.36	37.32	1.27	1.22
100	44.31	1.65	55.69	1.44	1.59
140	78.21	1.89	61.79	1.49	2.53
180	109.43	2.04	70.57	1.55	3.10
220	125.53	2.10	94.47	1.67	2.66

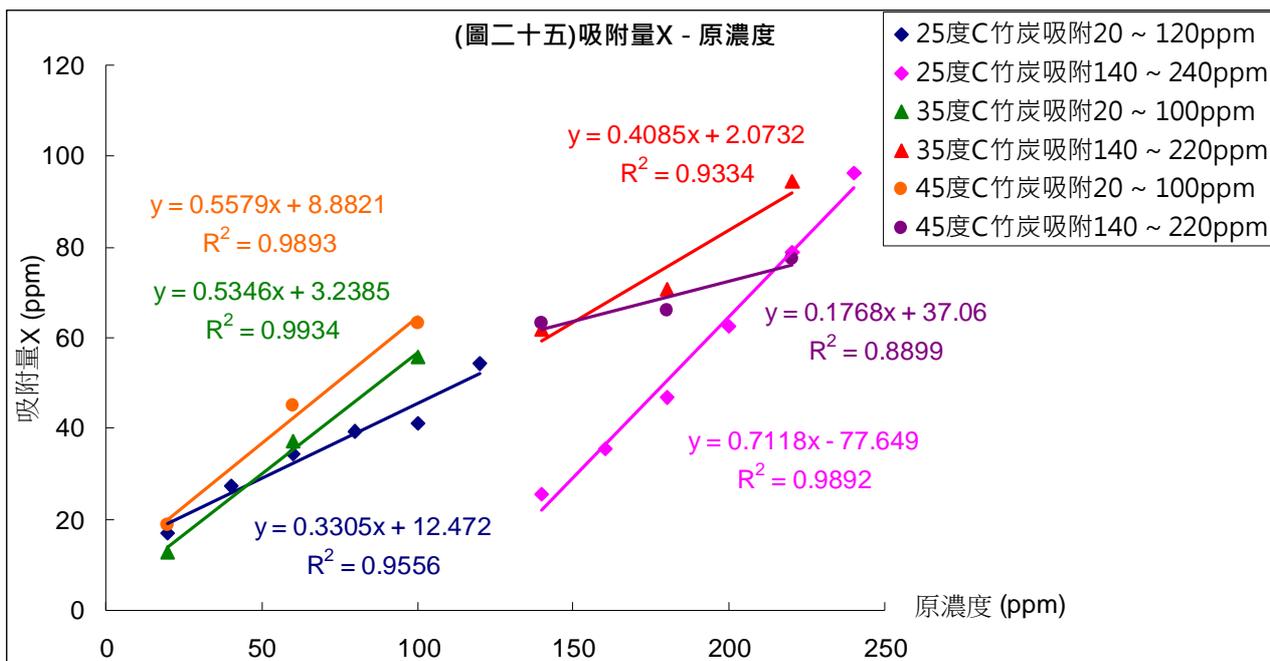
(二)45°C的竹炭吸附數據如下表：

原濃度(ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	1.30	0.11	18.70	0.97	0.14
60	14.96	1.17	45.04	1.35	0.66
100	36.67	1.56	63.33	1.50	1.16
140	76.75	1.89	63.25	1.50	2.43
180	113.98	2.06	66.02	1.52	3.45
220	142.60	2.15	77.40	1.59	3.68

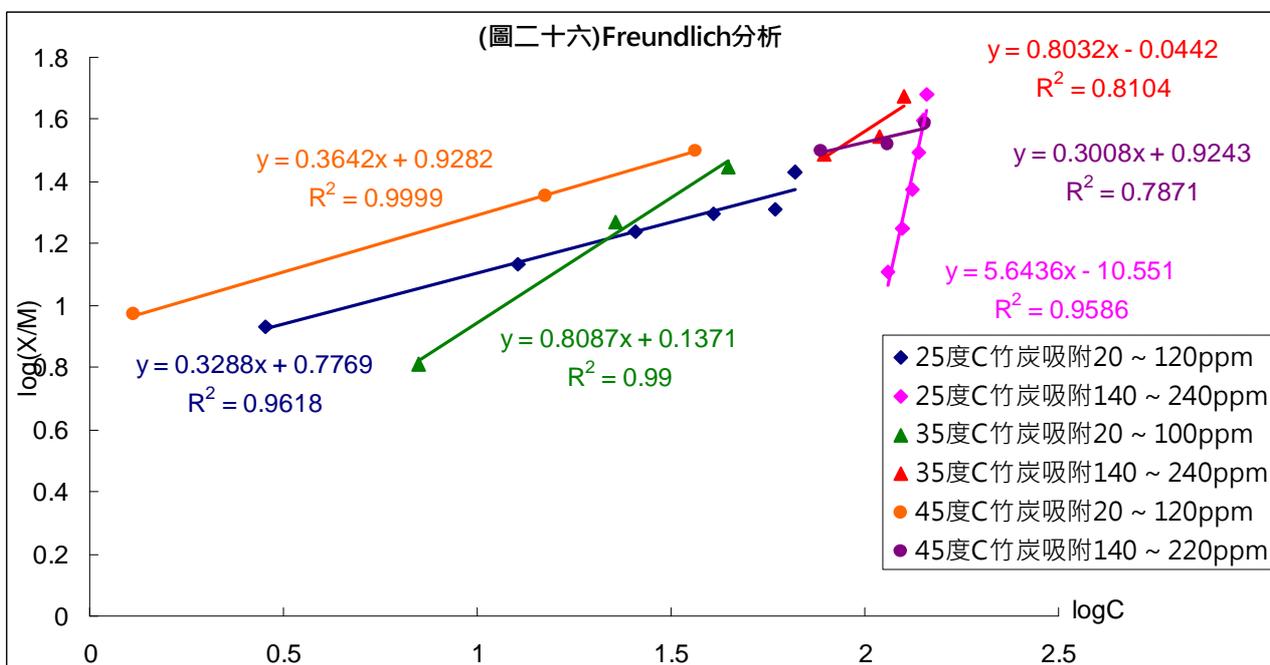
【圖表分析】利用上表製圖並與 25°C 一般粒徑的竹炭做比較：



1. 低濃度時染料溶液殘餘濃度一致，大抵上殘餘染料濃度隨著溫度變高降低。
2. 高濃度時染料溶液殘餘濃度 $C_{25} > C_{45} > C_{35}$

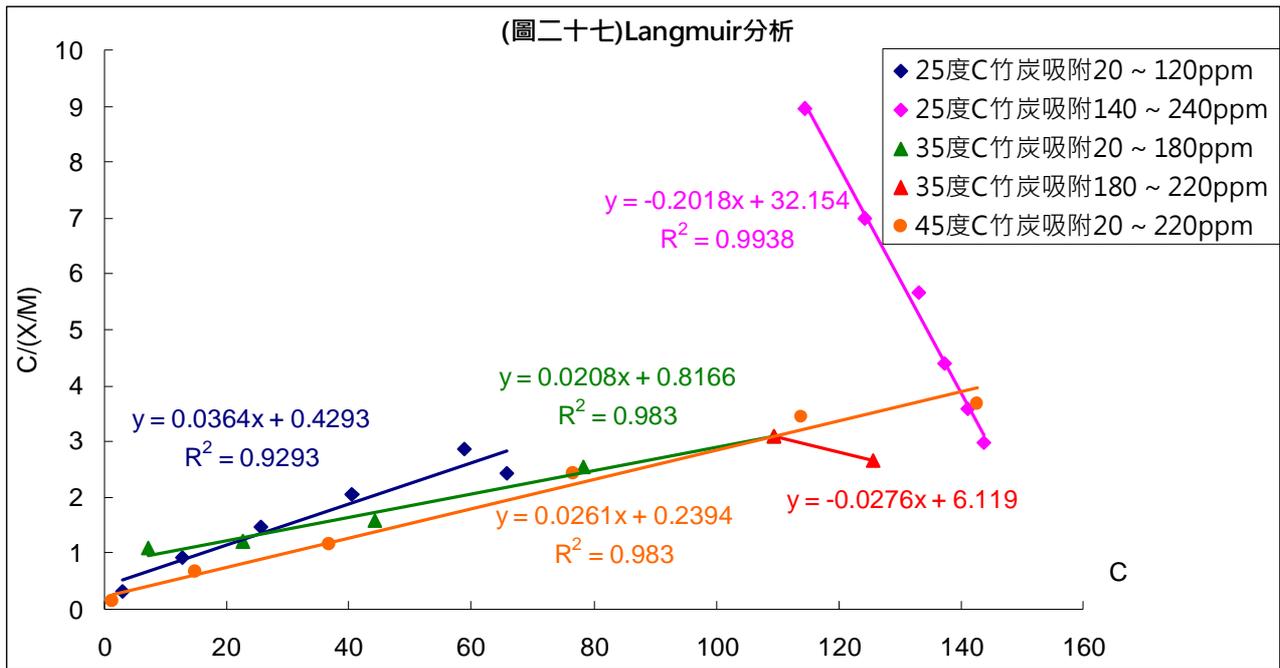


1. 低濃度時，吸附量隨著溫度上升而變大，符合化學吸附的特性。
2. 高濃度下，吸附量 $X_{35} > X_{45} > X_{25}$ ，溫度與吸附量的關係不成比例。與我們原理中所提及的關係並不相符。微觀下，吸附是相當複雜的行為，因此溫度對吸附量的影響未來可對竹炭表面孔隙、與吸附動力學進行更深一步的研究與探討。



低濃度下，溫度愈高愈能符合 F 氏假設，推測為溫度較高時染料分子動能(振動動能、溶液中運動動能)較大，染料分子與竹炭快速結合與快速分開，因此染料分子在高溫較低溫時能均勻堆疊之故。

但當外來高濃度染料分子時，染料分子包覆竹炭表面速率太快，可能堵塞孔隙並難以均勻堆疊，因此應該對孔隙與吸附速率再進行更深入的探討。



1. 由上圖知 $\left. \begin{array}{l} 45\text{度C } 20 \sim 220\text{ppm} \\ 35\text{度C } 20 \sim 180\text{ppm} \\ 25\text{度C } 20 \sim 120\text{ppm} \end{array} \right\}$ 時符合 L 氏假設；

2.

溫度°C	趨勢線斜率	理論飽和吸附量 k_2 (ppm/g)
25	0.0364	27.47252747
35	0.0208	48.07692308
45	0.0261	38.31417625

【討論】

溫度愈高愈利於化學吸附進行，(因為物理吸附的染料與竹炭表面快速結合與分開；但形成化學吸附模式下結合後不容易脫附)因此溫度愈高，進行化學吸附濃度範圍愈大。

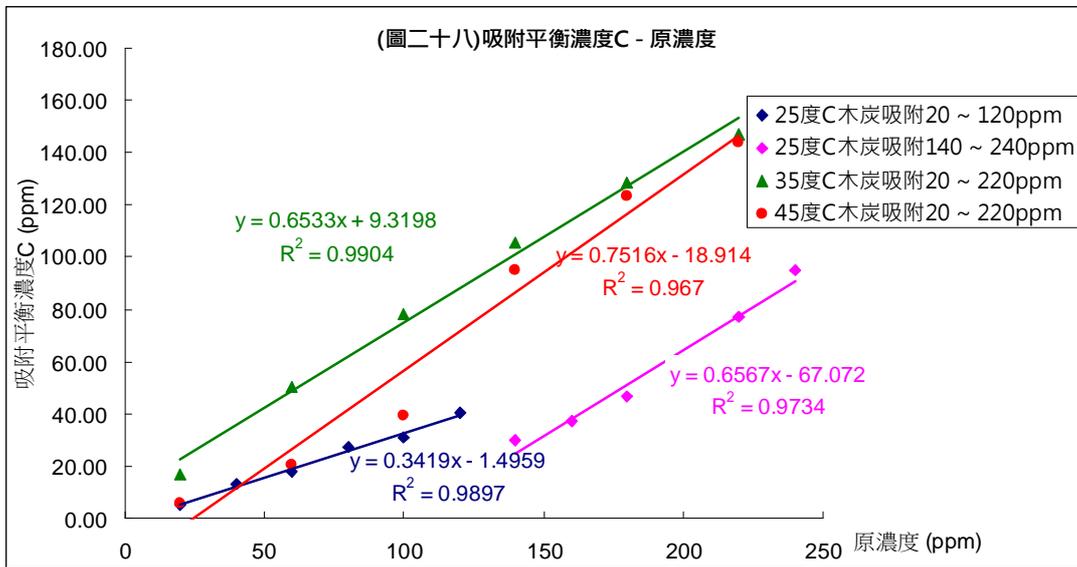
(三)35°C的木炭吸附數據如下表：

原濃度(ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	16.59	1.22	3.41	0.23	9.71
60	50.16	1.70	9.84	0.69	10.20
100	78.21	1.89	21.79	1.04	7.18
140	105.69	2.02	34.31	1.23	6.16
180	128.78	2.11	51.22	1.41	5.03
220	146.83	2.17	73.17	1.56	4.01

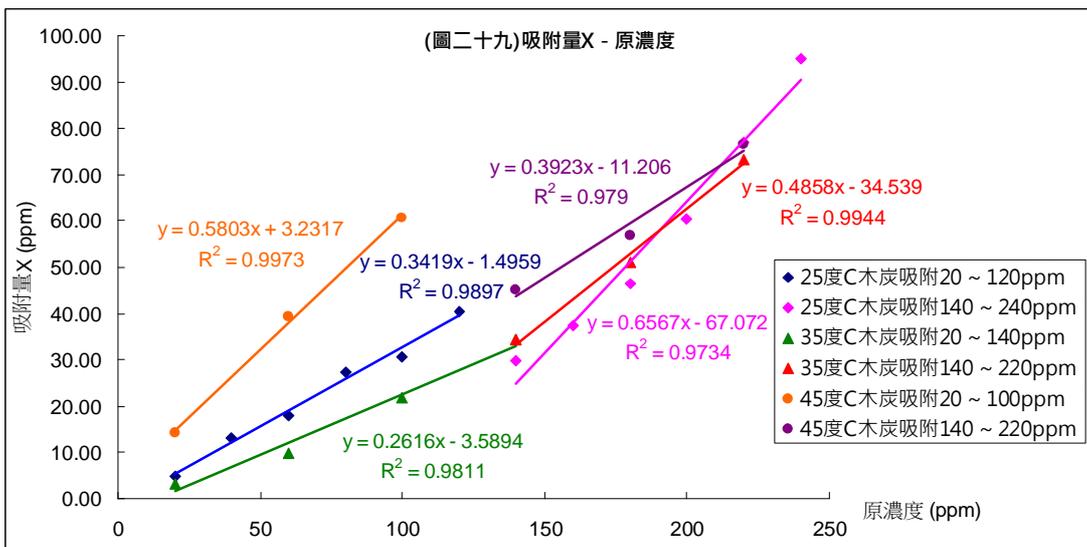
(四)45°C的木炭吸附數據如下表：

原濃度(ppm)	吸附平衡濃度 C (ppm)	logC (ppm)	吸附量 X (ppm)	log(X/M)	C/(X/M)
20	5.85	0.77	14.15	0.85	0.83
60	20.57	1.31	39.43	1.29	1.04
100	39.43	1.60	60.57	1.48	1.30
140	94.96	1.98	45.04	1.35	4.22
180	123.25	2.09	56.75	1.45	4.34
220	143.58	2.16	76.42	1.58	3.76

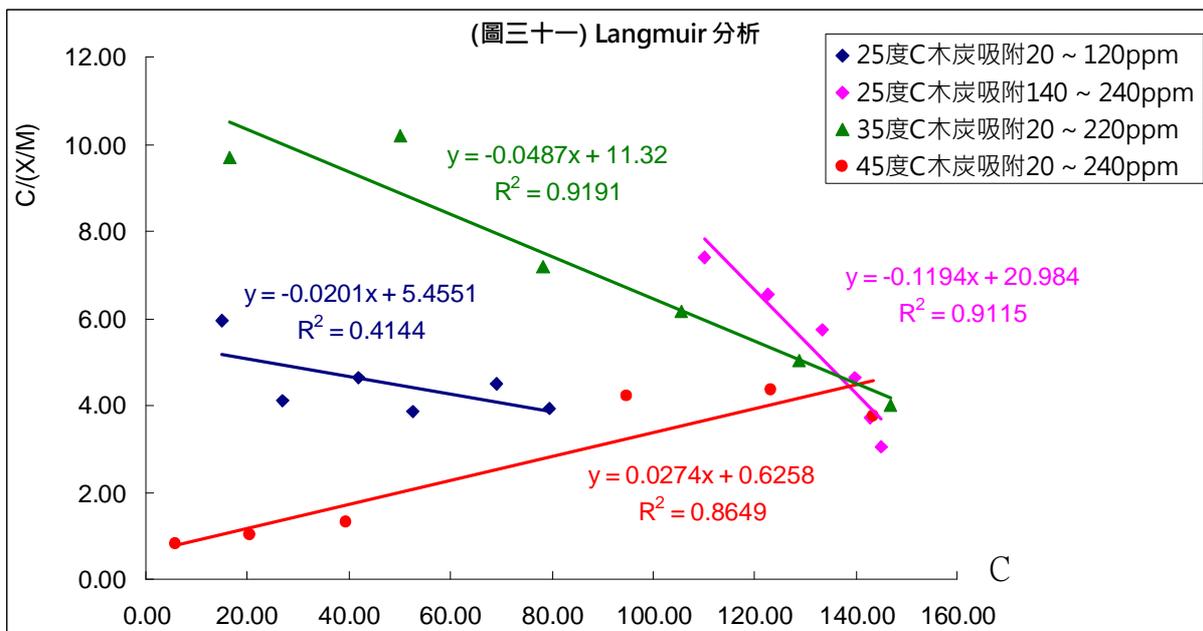
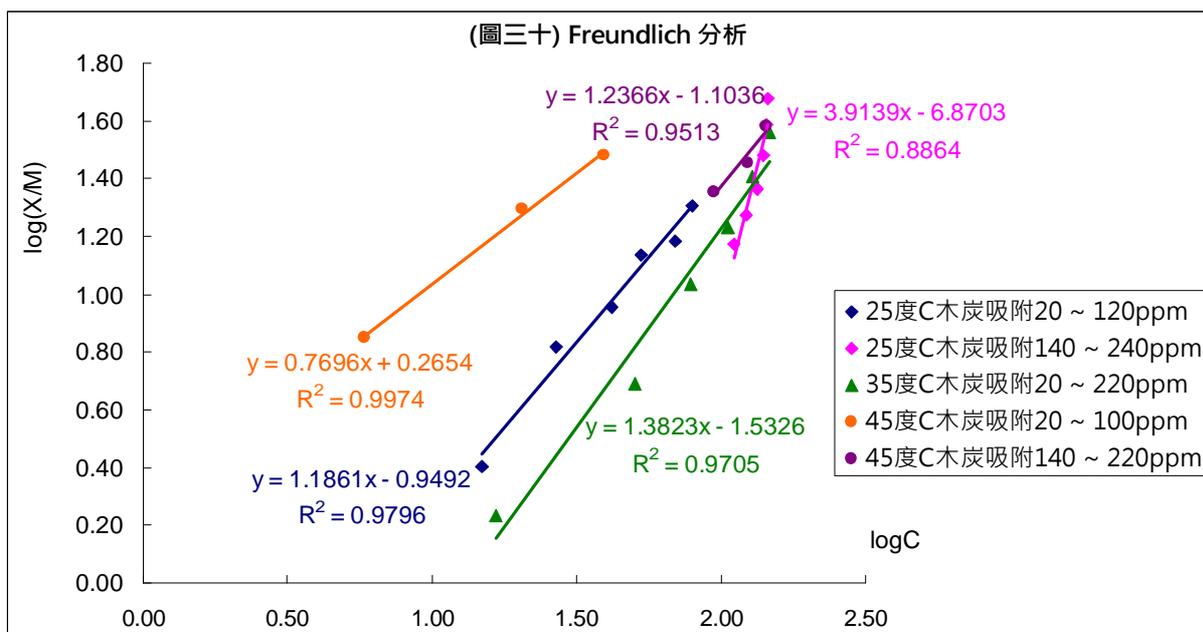
【圖表分析】利用上表製圖並與 25°C 一般粒徑的木炭做比較：



1. 低濃度時，殘餘濃度 $C_{35} > C_{45} > C_{25}$
2. 高濃度時，殘餘濃度 $C_{35} > C_{45} > C_{25}$



低濃度下 $X_{45} > X_{25} > X_{35}$ ，吸附量與溫度不成比例。影響原因複雜，理由與「溫度對竹炭吸附影響」時的討論相同。

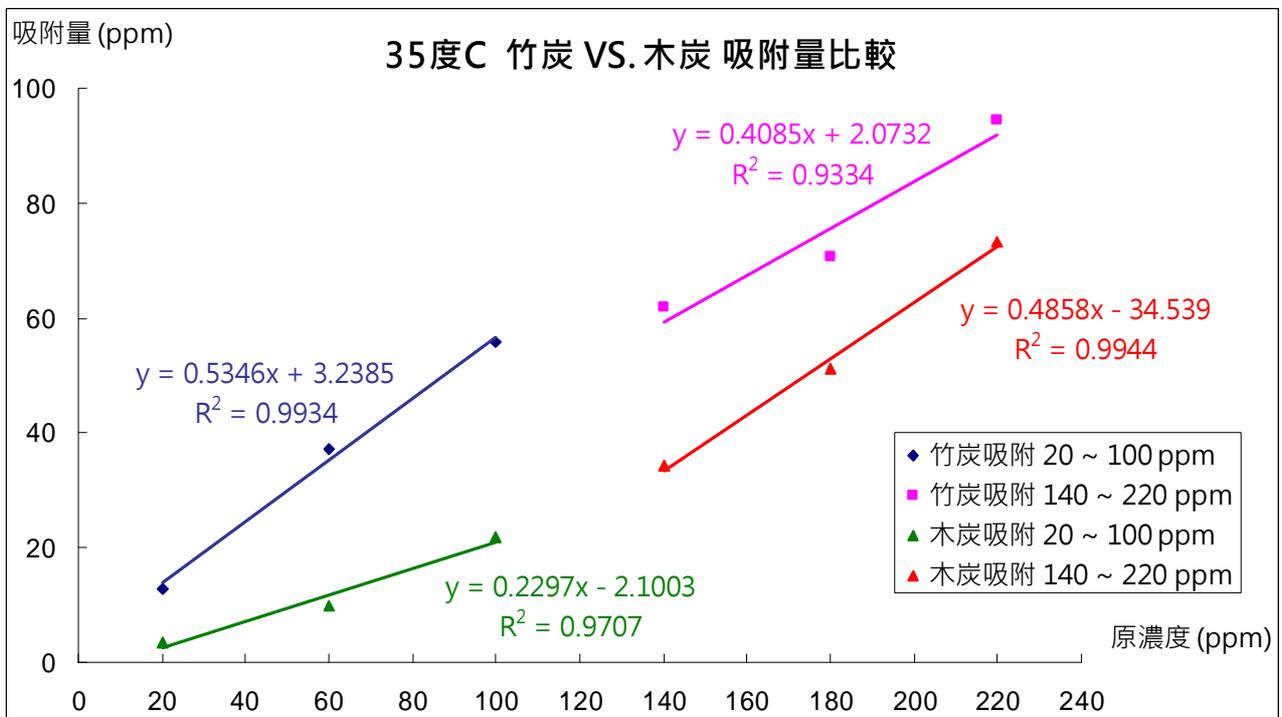


綜合 F 氏、L 氏分析：

1. 低溫、低濃度下的木炭吸附大致符合 F 氏吸附理論
2. 可知在 45°C 時，較符合 L 氏假設；且溫度高時化學吸附較明顯。低溫時對於 L 氏理論符合度不高。
3. 45°C 時趨勢線斜率為 0.0274，飽和吸附量 $k_2 = 36.496 \text{ ppm/g}$

【35°C下 竹炭 VS. 木炭 吸附量比較表】

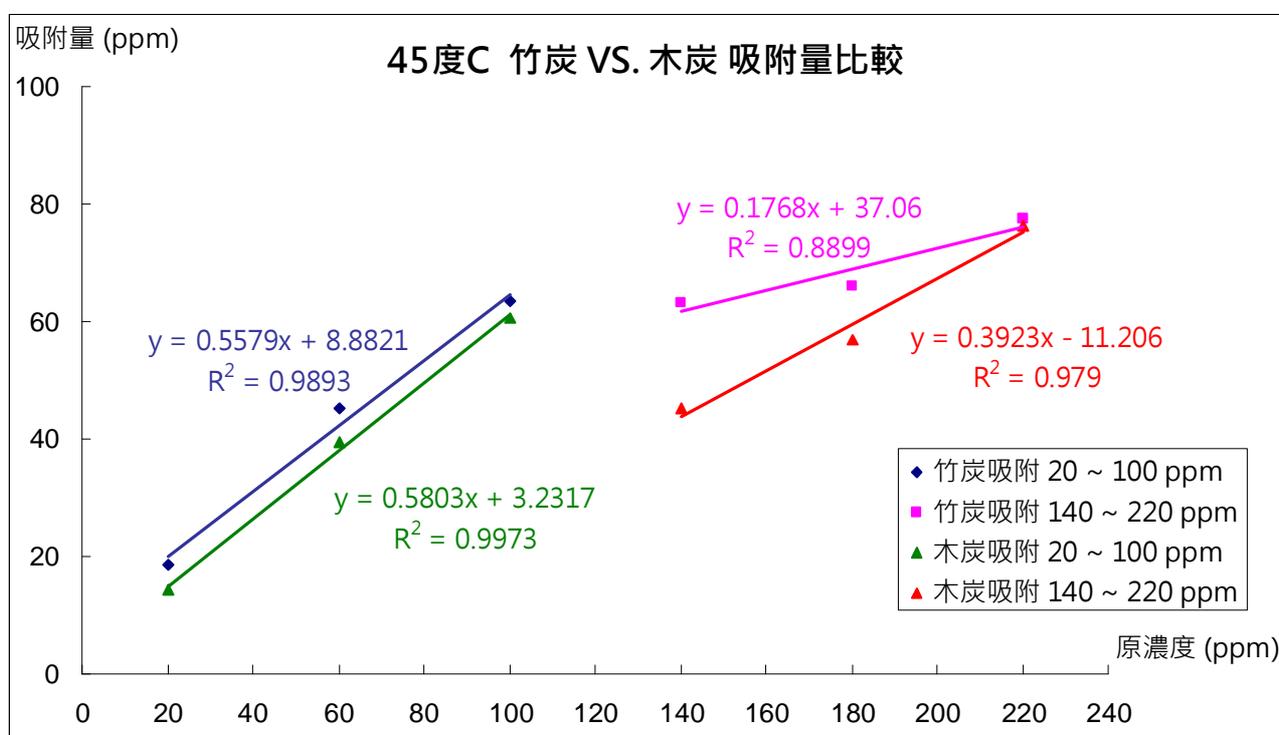
原濃度 (ppm)	竹炭吸附量 (ppm)	大小關係	木炭吸附量 (ppm)
20	12.93	>	3.41
60	37.32	>	9.84
100	55.69	>	21.79
140	61.79	>	34.31
180	70.57	>	51.22
220	94.47	>	73.17



由上圖與上表可知，35°C下，一般粒徑竹炭的吸附量大於木炭

【45°C下 竹炭 VS. 木炭 吸附量比較表】

原濃度 (ppm)	竹炭吸附量 (ppm)	大小關係	木炭吸附量 (ppm)
20	18.70	>	14.15
60	45.04	>	39.43
100	63.33	>	60.57
140	63.25	>	45.04
180	66.02	>	56.75
220	77.40	>	76.42



由上圖與上表可知，**35°C**下，一般粒徑竹炭的吸附量皆大於木炭

綜合先前比較結果，我們得知不論粒徑粗細、溫度高低，竹炭對染料的吸附量皆大於木炭。

è 竹炭吸附 **BlueR** 染料效果較好

【未來展望】

未來進行吸附實驗時可進一步進行

1. 以電子顯微鏡對竹炭/木炭表面進行分析。
2. 計算孔隙率。
3. 對木炭的碳化製程進行控管。
4. 進行動力學分析，並做出吸附反應的速率定義式。

捌、結論

- (一)竹炭、木炭吸附實驗，發現低濃度下竹炭吸附能力較木炭優異。
- (二)低濃度下竹炭化學吸附行為較木炭明顯；高濃度下，物理吸附較化學吸附明顯。
- (三)市售木炭燒製炭化過程較粗糙，因此任何濃度下木炭表面以物理吸附為主。
- (四)進行粒徑大小實驗，發現低濃度下吸附量細竹炭較粗竹炭好，高濃度下吸附量相當。
- (五)粗木炭吸附量比細木炭好，可能是因為木炭燒製過程瑕疵所致。
- (六)進行溫度與吸附的實驗，在低濃度下，竹炭吸附量隨著溫度增高而升高，
- (七)木炭在高溫下利於化學吸附，溫度愈高愈不利於進行物理吸附，因此吸附量 25°C 大於 35°C；但化學吸附與物理吸附的吸附原理不同，吸附量也不同，因此難以去比較不同吸附模式的吸附量。

總結實驗結果，竹炭對於染料廢液去色有相當功效，具相當大的環保價值。因此盛產竹的台灣，若對竹炭加以應用，應會帶來相當大的商機與收益！

玖、參考資料

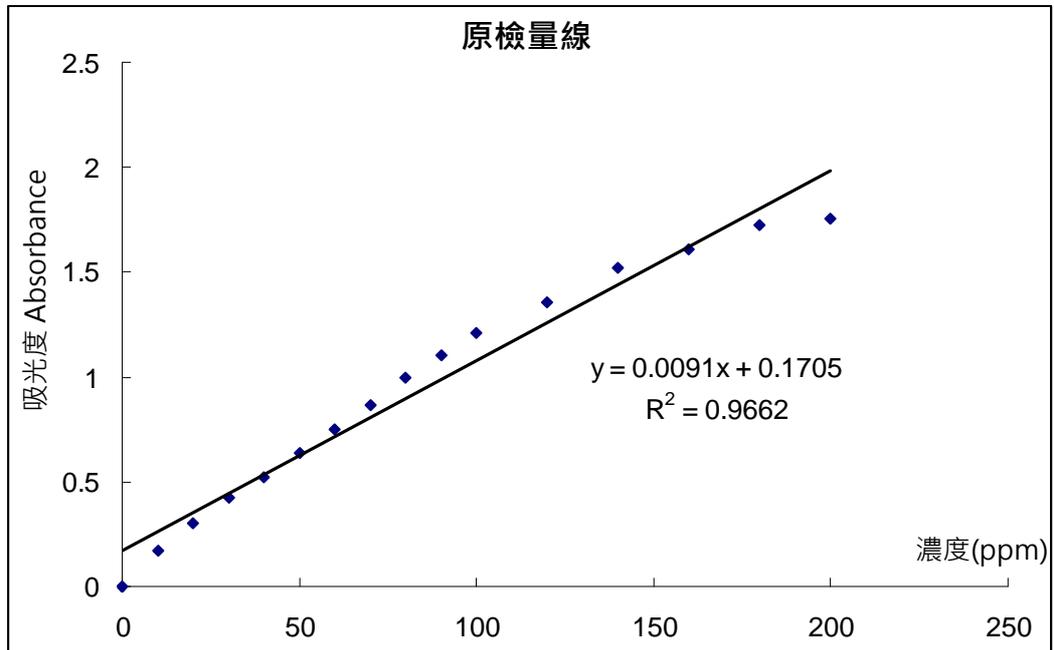
- 一、書名：Atkin's Physical Chemistry 7.ed 作者：P. W. Atkins and Julio de Paula
出版商：W. H. FREEMAN
- 二、吳淦任 以戊二醛交聯幾丁聚醣圓珠吸附水溶液中 Potassium indigotrisulfonate 之研究
(高師大 民 90)
- 三、陳宏彬 孟宗竹炭與活性炭之研製(屏科大 民 92)
- 四、林文超 廢氣活性白土對水中染料液吸附特性之研究(義守大學 民 94)
- 五、
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search/ProductDetail?ProdNo=R8001&Brand=SIGMA>

拾、附件

一、檢量線製作過程：

原先製作檢量線時，我們配製 10~ 200ppm 的標準溶液，作圖如下：

ppm	吸收度
0	0
10	0.169
20	0.303
30	0.427
40	0.519
50	0.635
60	0.754
70	0.865
80	0.997
90	1.101
100	1.213
120	1.358
140	1.519
160	1.612
180	1.726
200	1.754



作圖後發現：

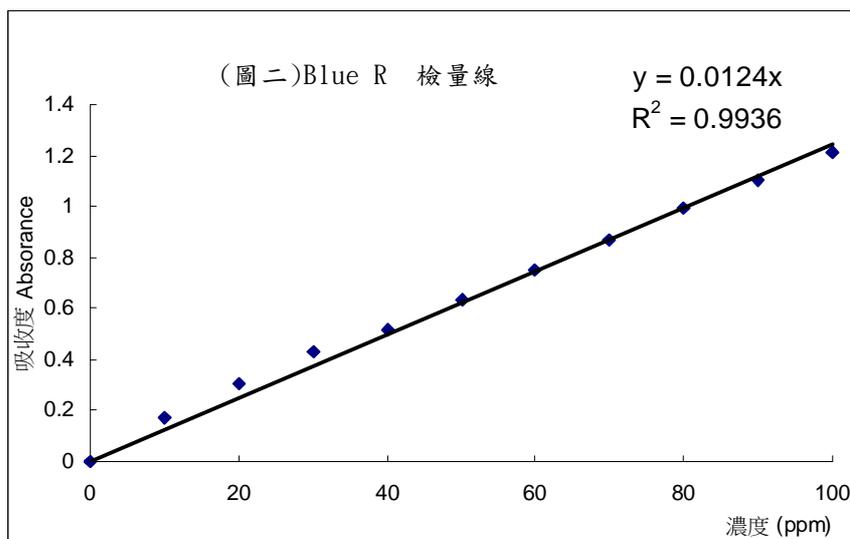
(一)低濃度的範圍下，吸光度與染料濃度大致呈線性

(二)高濃度的範圍下，吸光度與染料濃度的關係偏離線性，濃度愈高偏離愈多。

推測是因為高濃度下，大量染料粒子對溶液產生散射現象，影響吸光度偵測，此現象印證了朗伯·比爾定律(吸光度與溶液濃度成正比的關係)僅適用於低濃度的染料溶液。因此，我們設定了檢量線的使用範圍為吸光度 0 ~ 1.213 (換算濃度為 0 ~ 100ppm)。

二、檢量線適用範圍為吸光度 0 ~ 1.213 (換算濃度為 0 ~ 100ppm)，如下圖表所示：

ppm	吸光度
0	0
10	0.169
20	0.303
30	0.427
40	0.519
50	0.635
60	0.754
70	0.865
80	0.997
90	1.101
100	1.213



(一)進行吸附實驗時，樣品原始吸光度若大於 1.213 時，我們便進行稀釋再進行吸光度測量。

[註]稀釋方法：取 5mL 染料溶液注入 10mL 量筒，再加水稀釋至 10 毫升，體積稀釋 2 倍

(二)稀釋後染料溶液的吸光度值，可由檢量線公式：

$$\frac{\text{吸收度(Absorbance)}}{\text{檢量線斜率}(0.0124)} = \text{換算濃度 (ppm)} \quad \text{換算出對應濃度。}$$

(三)將換算出來的對應濃度乘以稀釋倍率，即為吸附平衡(殘餘)濃度 C

(四)若原吸光度在檢量線適用範圍內，則換算濃度即為吸附平衡(殘餘)濃度 C

(五)原始數據處理如下：

1. 竹炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
原吸光度	0.035	0.157	0.313	0.498	0.725	0.81	1.408	1.53	1.636	1.691	1.737	1.769
吸光度(稀釋後)							0.710	0.771	0.825	0.852	0.876	0.892
檢量線換算濃度(ppm)	2.85	12.76	25.45	40.49	58.94	65.85	57.24	62.20	66.51	68.74	70.61	71.91
殘餘濃度 C (ppm)	2.85	12.76	25.45	40.49	58.94	65.85	114.47	124.39	133.01	137.48	141.22	143.82

2. 木炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
原吸光度	0.184	0.331	0.516	0.649	0.852	0.978	1.356	1.508	1.642	1.718	1.758	1.782
吸光度(稀釋後)							0.683	0.760	0.828	0.866	0.886	0.898
檢量線換算濃度(ppm)	14.96	26.91	41.95	52.76	69.27	79.51	55.12	61.30	66.75	69.84	71.47	72.44
殘餘濃度 C (ppm)	14.96	26.91	41.95	52.76	69.27	79.51	110.24	122.60	133.50	139.67	142.93	144.88

3. 細竹炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	60	100	140	180	220
原吸光度	0.042	0.193	0.499	0.756	1.314	1.593
吸光度(稀釋後)					0.662	0.803
檢量線換算濃度(ppm)	3.41	15.69	40.57	61.46	53.42	64.76
殘餘濃度 C (ppm)	3.41	15.69	40.57	61.46	106.83	129.51

4. 細木炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	60	100	140	180	220
原吸光度	0.199	0.625	0.96	1.382	1.726	1.88
吸光度(稀釋)				0.762	0.870	0.948
檢量線換算濃度(ppm)	3.41	15.69	40.57	61.46	70.17	76.43
殘餘濃度 C (ppm)	16.18	50.81	78.05	112.36	140.33	152.85

5. 35°C 竹炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	60	100	140	180	220
原吸光度	0.087	0.279	0.545	0.962	1.346	1.544
吸光度(稀釋)					0.678	0.778
檢量線換算濃度(ppm)	7.07	22.68	44.31	78.21	54.72	62.77
殘餘濃度 C (ppm)	7.07	22.68	44.31	78.21	109.43	125.53

6. 45°C 竹炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	60	100	140	180	220
原吸光度	0.016	0.184	0.451	0.944	1.402	1.754
吸光度(稀釋)					0.707	0.884
檢量線換算濃度(ppm)	1.30	14.96	36.67	76.75	56.99	71.30
殘餘濃度 C (ppm)	1.30	14.96	36.67	76.75	113.98	142.60

7. 35°C 木炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	60	100	140	180	220
原吸光度	0.204	0.617	0.962	1.300	1.584	1.806
吸光度(稀釋)				0.762	0.798	0.910
檢量線換算濃度(ppm)	16.59	50.16	78.21	61.46	64.39	73.42
殘餘濃度 C (ppm)	16.59	50.16	78.21	105.69	128.78	146.83

8. 45°C 木炭吸附 BlueR 染料水溶液：

原濃度(ppm)	20	60	100	140	180	220
原吸光度	0.072	0.253	0.485	1.168	1.516	1.766
吸光度(稀釋)					0.764	0.890
檢量線換算濃度(ppm)	5.85	20.57	39.43	94.96	61.63	71.79
殘餘濃度 C (ppm)	5.85	20.57	39.43	94.96	123.25	143.58

[註]

- (1)上列表中，原吸光度超過檢量線吸光度的適用範圍(>1.213)皆用紅色字體標示。
- (2)所得到的吸附平衡(殘餘)濃度 C，用來進行進一步的分析，用藍色字體標示。

【評語】 040216

本件作品探討木炭竹炭的脫包效果，研究結果發現竹炭的效果較好，可應用環境污染的相關領域。由於在研究方法的創新使得本研究可以應用數位相機，Excel 軟體於資料收集與分析，進而獲得較佳的研究成果。