中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組　化學科

第二名

050209

新式污水處理複合材料－結合薑黃素與幾丁聚醣清除水中有機物和重金屬離子

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者：	指導老師：
高二 柯逸萱	游宗穎
高二 郭宇晴	蘇政宏

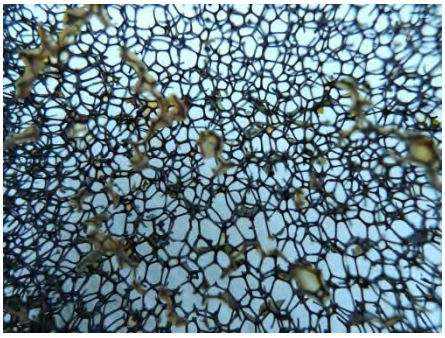
關鍵詞：薑黃、幾丁聚醣、污水處理複合材料

摘 要

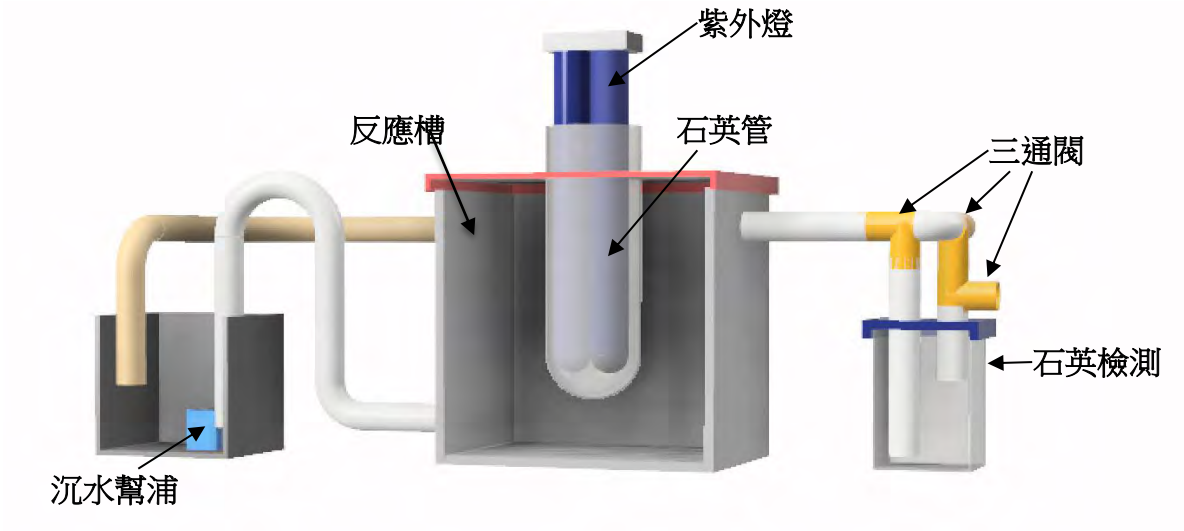
本研究結合薑黃素與幾丁聚醣，**消除水中有機色素與重金屬離子**、淨化水質。利用薑黃素光降解、可螯合重金屬離子之特性，並解決薑黃素金屬錯離子在水中無法分離之困擾，結合幾丁聚醣作為環保載體，探討各條件下薑黃幾丁聚醣膜降解有機色素及吸附重金屬離子之效果，使用薑黃泡綿針筒抽濾法，更是直接提高吸附速率與效率。有機染料Black B、Cu^{2+}、Cr^{6+}($Cr_2O_7^{2-}$)消除率分別為 **99.52%、94.47%、99.17%**。

進一步運用分光光度儀檢測原理，以便宜的光電二極體裝置，結合**全天然、無毒、生物可分解**的薑黃幾丁聚醣泡綿，研發出『**高效率、低成本、即時檢測**』的一套**自製有機物降解暨重金屬離子吸附之自動循環系統**，只需循環20分鐘，有機染料Black B、Cu^{2+}、Cr^{6+}($Cr_2O_7^{2-}$)消除率分別高達**99.41%、94.38%、99.03%**，效果極佳。

薑黃幾丁膜複合材料



薑黃幾丁泡棉複合材料



有機物降解暨重金屬離子吸附之自動循環系統

壹、研究動機

現代工業蓬勃發展，在各式各樣的製造過程中，有機物和重金屬離子的產生和排除一直是人們困擾的問題，若不小心讓這些物質進入食物鏈，更是造成人們健康的一大隱憂。

目前去除有機物的方法，由文獻中大概可以得知，有：傳統 Fenton 法[12]，卻會產生大量的鐵污泥；Photo-Fenton 法[13]，過氧化氫使用量大、成本高且不易大規模應用；奈米光觸媒分解法[14]，雖然無毒卻應用範圍小。

去除重金屬離子的方法則有：化學沈澱法[10]，但實驗中pH值對沈澱與否造成很大的限制且後續處理複雜；膜分離技術[11]，雖節能卻操作費用高，離子交換法[10]，離子交換樹脂價格高，且再生時也需要酸、鹼、鹽等等藥劑，不易廣泛使用。

薑黃最近被廣泛研究在有機降解、金屬螯合及抑菌等研究，但易溶於水的特性很難被分離及有效地運用在水處理。本研究針對薑黃的降解及對金屬螯合的效果進行分析，並嘗試新方法將薑黃素加入幾丁聚醣中，期待結合這兩種材料其天然、生物可分解，不造成環境污染，且容易取得，成本低廉等優點，並研發出一套**簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統**。

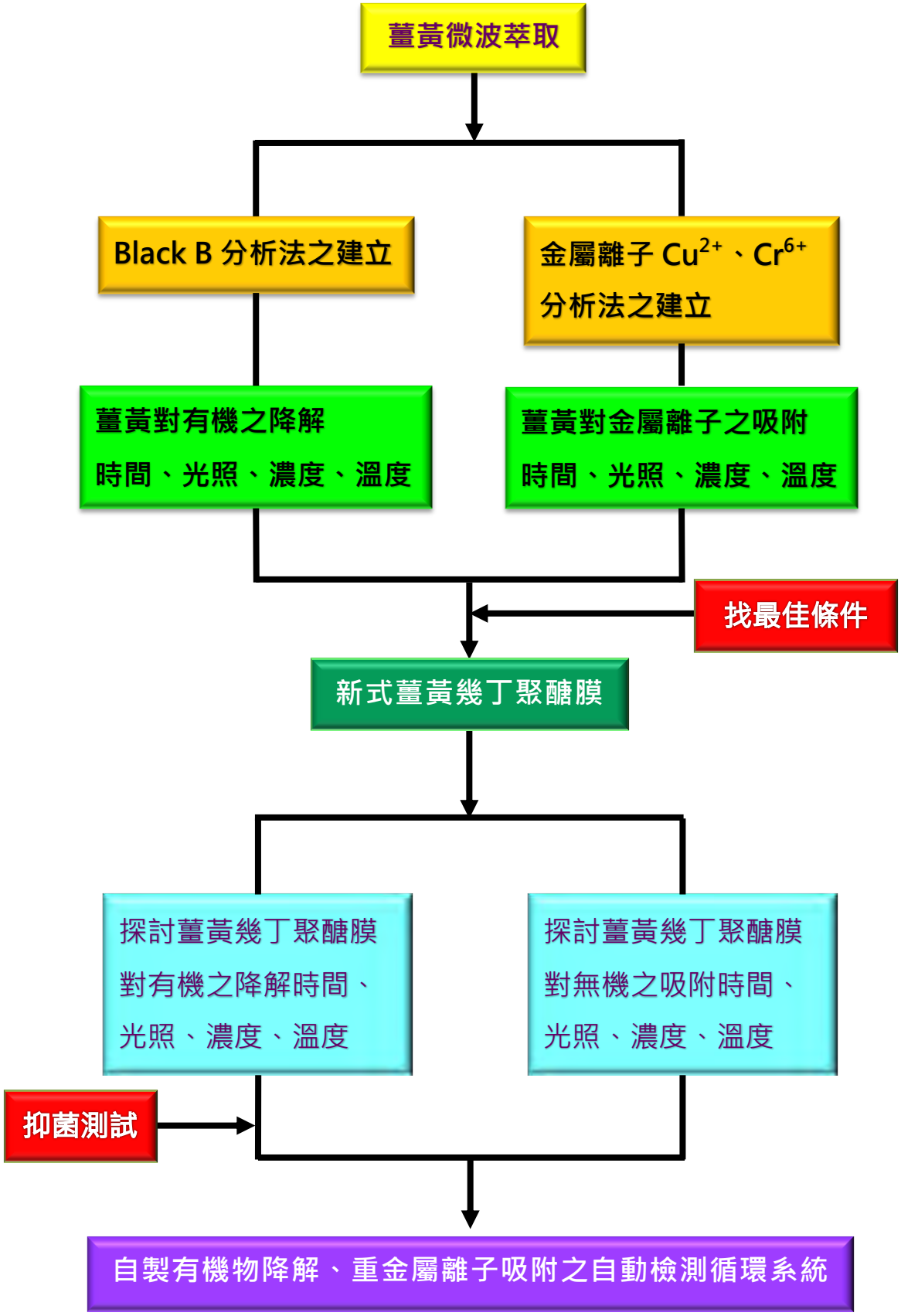
貳、研究目的

經由查閱文獻和實驗[15-21]，可以得知薑黃素除了為抗氧化劑，在水中具有螯合金屬離子且在紫外光照射下可以產生超氧陰離子具又降解之功效。文獻中將薑黃溶入水中，可與重金屬離子螯合成較穩定之金屬錯離子，但錯離子仍溶於水中無法有效過濾，依然存在有毒物質沒有去除。因此嘗試新環保載體，使用全新的薑黃複合材料在污水處理，期望有效吸附重金屬離子及降解有機色素達到淨化水質之功效。此全天然、生物可分解的污水處理材料，在使用後方便拋棄及處理，並不會造成任何環境污染。

最後，成功自製出簡易處理有機物和吸附重金屬離子污水處理暨檢測之循環系統。本研究使用Black B作為有機降解的標準藥劑並且參考各國重金屬污染標準，以Cr^{6+} (CrO_4^{2-} / $Cr_2O_7^{2-}$)和Cu^{2+}分別為2ppm和10ppm[1]，作為本研究的標準濃度。

一、建立Black B分析法
二、建立Cu^{2+}、Cr^{6+}分析法
三、**薑黃**對**Black B**之降解：探討**時間、光、溫度及pH值**對降解效果之影響
四、**薑黃**對**金屬離子**之螯合：探討濃度對薑黃與金屬離子螯合現象之影響
五、利用新式**薑黃幾丁聚醣**複合材料，對**Black B**之降解
　製成**薑黃幾丁聚醣膜**探討時間、片數、濃度對降解效果之影響
六、利用新式**薑黃幾丁聚醣**複合材料，對**重金屬離子**之吸附
　製成**薑黃幾丁聚醣膜**探討時間、片數、濃度對吸附效果之影響
七、**薑黃幾丁膜之不同方式**用以吸附及降解效果
　七之一、薑黃幾丁聚醣複合材料降解色素應用
　探討『重力過濾法』、『抽濾法』、『薑黃幾丁聚醣泡棉針筒法』對降解效果之影響
　七之二、薑黃幾丁聚醣複合材料吸附重金屬離子應用
　探討『重力過濾法』、『抽濾法』、『薑黃幾丁聚醣泡棉針筒法』對降解效果之影響
八、薑黃之抑菌效果：探討時間、光、濃度對抑菌效果之影響
九、自行設計一套簡易有效的「**有機物降解暨重金屬離子吸附之自動檢測循環系統**」

實驗架構


薑黃微波萃取
Black B 分析法之建立
金屬離子 Cu^{2+}、Cr^{6+} 分析法之建立
薑黃對有機之降解
時間、光照、濃度、溫度
薑黃對金屬離子之吸附
時間、光照、濃度、溫度
找最佳條件
新式薑黃幾丁聚醣膜
探討薑黃幾丁聚醣膜對有機之降解時間、光照、濃度、溫度
探討薑黃幾丁聚醣膜對無機之吸附時間、光照、濃度、溫度
抑菌測試
自製有機物降解、重金屬離子吸附之自動檢測循環系統

參、器材及藥品

一、實驗器材

試管	滴管	試管架	量瓶
燒杯	玻棒	秤量紙	電子天平
HPLC	微波爐	酒精燈	陶瓷纖維網
三腳架	酸鹼滴定管	碼錶	磁石攪拌加熱器
培養皿	微量吸量管	PH 測量儀	超音波震盪儀
離心機	離心管	UV 燈	石英管
高壓蒸氣滅菌釜	塗菌玻棒	螺旋試管	震盪培養機
恆溫培養箱	無菌操作台		

二、實驗藥品

乙醇	鹽酸	氫氧化鈉	幾丁聚醣
Black B 有機染料	冰醋酸	硫酸鎳	二苯基二氨脲
薑黃素	市售薑黃	檸檬酸鈉	鹽酸氫銨
硫酸銅	重鉻酸鉀	2，9-二甲基- 1，10-二氮菲	硝酸鐵
LB 培養液	2000ppm 薑黃溶液		

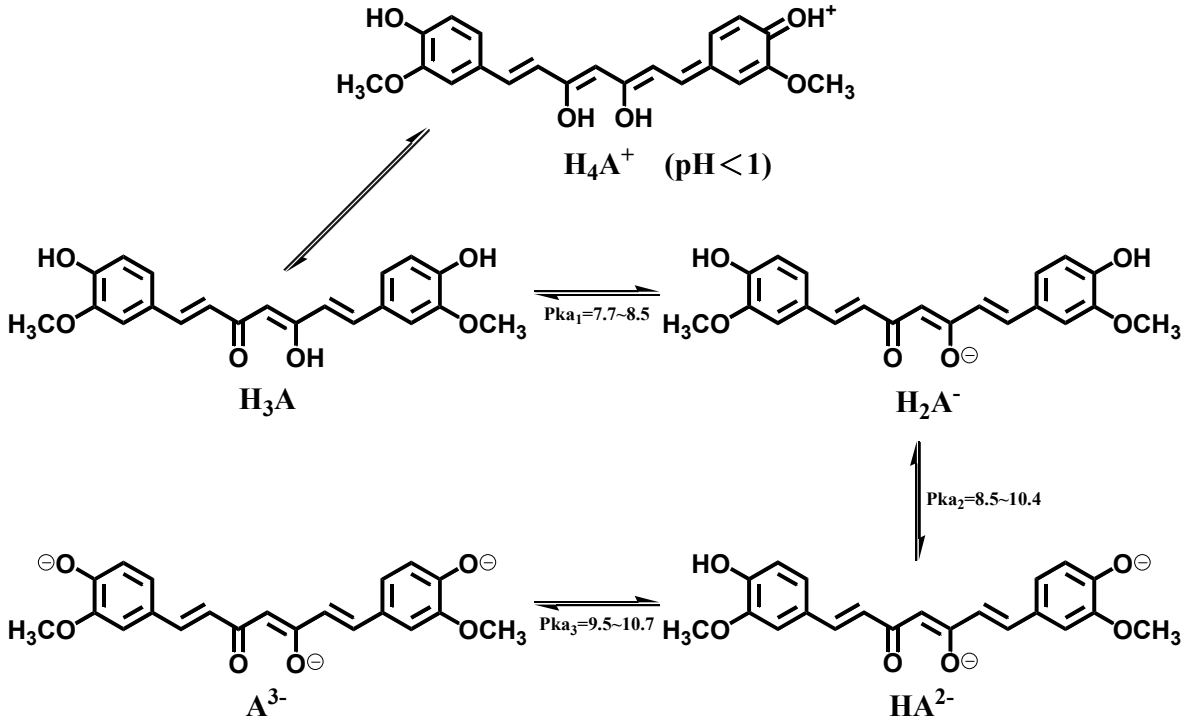
肆、研究過程與方法

原理探討

一、薑黃及幾丁聚醣環保載體簡介

(一)薑黃

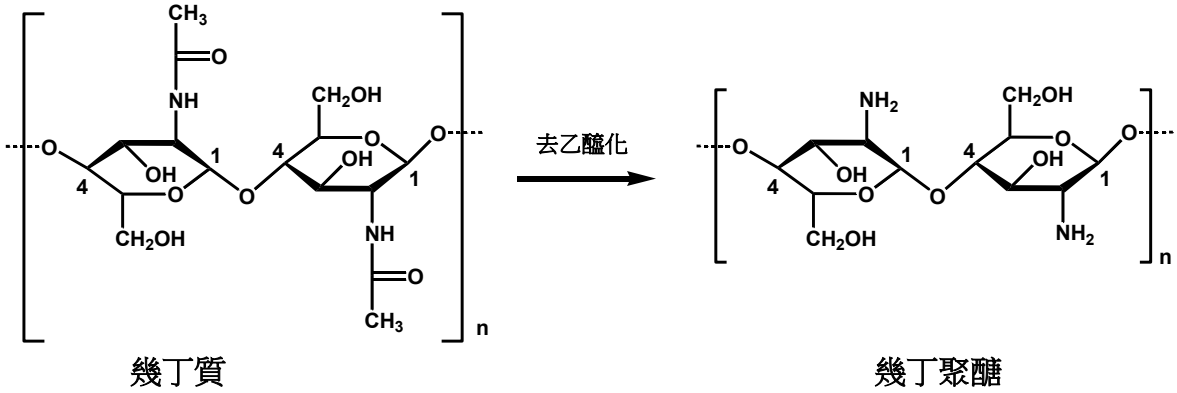
薑黃（curcuma longa）薑科薑黃屬。成分中薑黃素在不同的酸鹼值中有其變色範圍（1.0-7.5）其中，薑黃呈酸性時顏色為亮黃微偏橘色，且在水中較為穩定；而當薑黃呈鹼性時顏色為橘紅色，結構開始變得較不穩定，且容易產生光降解作用，產生香草醛和阿魏酸等對環境無毒之降解產物，同時產生活性極大的超氧自由基，便可發生近似光觸媒反應，用以降解水中之有機色素，達到淨水目的；據文獻記載，薑黃同時亦有金屬螯合作用，可在水中形成穩定之金屬錯離子，降低重金屬離子毒性。此外，薑黃為一優良抗氧化劑，氧化電位為0.66，約為維生素C氧化電位的4.4倍。常食用可延緩身體老化，亦能用於抗菌。更重要在水中經紫外光照射可以產生超氧陰離子。[15,16]



薑黃素在不同pH值的結構

(二)幾丁聚醣

幾丁聚醣為一種天然、生物可分解之優良環保載體，其由蝦蟹殼提煉出來之幾丁質再經去乙醯化而得。含多種配位官能基（胺基、羥基），既可吸附有機物亦可吸附重金屬離子，嘗試加入薑黃素幫助吸附，以期提高吸附效果。



二、比爾定律（Beer's law）

比爾定律：A =εb c

當一束平行單色光通過均勻且無散射現象的溶液時，溶液吸光度與溶液的濃度及光徑長度的乘積成正比。

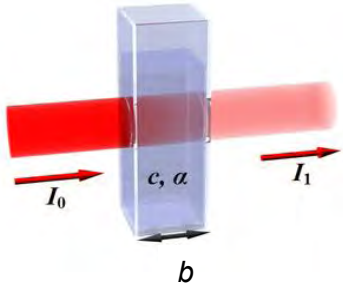
A：溶液吸光度= $\log(I_0/I_1)$

（註：I_0為入射光之輻射強度，I_1為透射光之輻射強度）

ε：莫耳吸光係數，為物質的特性常數

b：光徑長度

c：待測樣品溶液的濃度



以待測樣品溶液的濃度（c）為**x軸**，溶液吸光度（**A**）為**y軸**，

建立檢量線 →將測得的電阻值代入檢量線 →求得濃度 →求得殘留率

三、等溫吸附式

(一) Langmuir 等溫吸附式

$$\frac{x}{m} = X = \frac{X_{max} K C_e}{1 + K C_e}$$

x = 被吸附溶質的質量(mg)；m = 吸附劑質量(g)；Ce = 達平衡時，溶液中溶質的濃度(mg/mL)；Xmax = 最大吸附量；K = 實驗常數。

Xmax, K 值可以利用下列方法求得：

1.將上式之左、右兩邊各取倒數乘上 Ce 得 $\frac{C_e}{X} = \frac{1}{X_{max}} Ce + \frac{1}{X_{max} K}$

2.以 Ce/X 對 Ce 作圖，求出一迴歸曲線直線，直線的斜率為 1/Xmax，截距為 1/(Xmax K)。

(二) Freundlich 等溫吸附式

$$x / m = X = K C_e^{1/n}$$

x = 被吸附溶質的質量(mg)；m = 吸附劑質量(g)；X = 單位質量吸附劑所吸附的溶質質量(mg/g)；Ce = 達平衡時，溶液中溶質的濃度(mg/mL)；K = 吸附量指標，可作為吸附最大量 Xmax(mg/g)；n = 吸附常數。

K, n 可以利用實驗結果加以求得，其方法如下：

1.將上式之左、右兩邊各取對數 log 得 log(X) = logK + (1/n)logCe

2.以 log(X)對 log(Ce)做圖，求出一迴歸曲線直線，直線的斜率為 1/n，截距為 log(K)。

四、萃取薑黃素實驗分析

(一)一般研磨溶解萃取

1. 採摘薑黃地下根(清洗去鬚根並切塊)後，置入烘箱中烘乾
2. 以研磨機研磨成薑黃粉，並以丙酮直接溶解粉末
3. 以減壓蒸餾濃縮後，再以定量丙酮稀釋後經由HPLC檢測。

(二)索氏萃取法

＊索氏萃取法特別適用於：當待萃取之化合物種在溶劑中有有限的溶解度，且雜質並不溶於此有機溶劑時，從固體中提取化合物。

＊研究過程與方法

1.將已磨碎之薑黃素秤取試料5~10g，放入摺成圓筒狀之濾紙，並輕輕放入脫脂棉以防止試料損失。

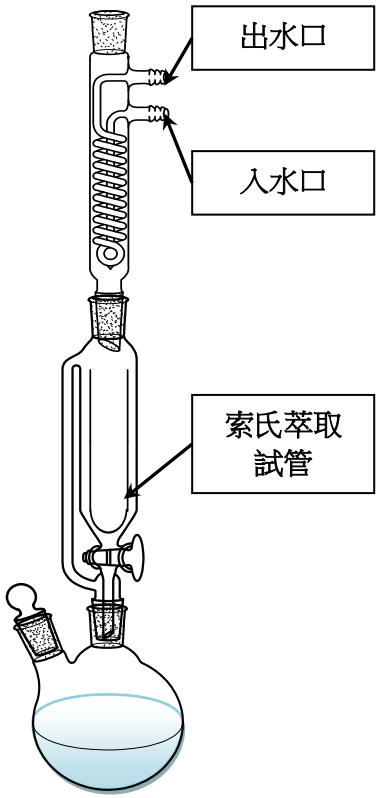
2.將其試料放入烘箱乾燥2~3小時。

3.移至玻璃乾燥器內，待其冷卻後，將其放入萃取管。

4.萃取管之上接有一冷凝管，加熱丙酮使之回流2小時，並使所有丙酮蒸氣冷卻而回到萃取管中浸潤固體。

5.待提取之薑黃素將逐漸溶解於被加熱之丙酮溶劑中，且當萃取管中之溶有薑黃素之丙酮溶劑漸滿時，將會隨著虹吸管而流出，進入燒瓶進行蒸餾。(重複步驟4.~5多次)

6.將丙酮蒸發即可得到較純化之薑黃素，再以定量的丙酮稀釋後經由HPLC檢測。



索氏萃取法

(三)微波萃取法

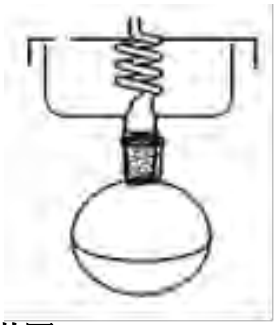
＊微波萃取法適用於：當萃取物為極性分子時，利用微波對極性分子具有高度選擇性，可快速省能源萃取高純度之薑黃素。

＊研究過程與方法

1.平底燒瓶中置入，已裝好10g薑黃粉的茶袋和丙酮，置入微波爐中。

2.改變不同的溶劑量，微波強度及時間，找出最佳的萃取條件。
(本實驗發現於20ml丙酮於微波強度：中強，微波6分鐘即可達最高萃取量)

3.將丙酮蒸發即可得到較純化之薑黃素，再以定量的丙酮稀釋後經由HPLC檢測。


簡易微波迴流萃取裝置

萃取方法	一般研磨 溶解萃取	索式萃取	微波萃取 勝
萃取量 薑黃素/薑黃 (mg/g)	**1.037**	**1.316**	**1.711**
優點	快速、簡便	雖然有許多批溶劑通過樣品，但實驗結束時只需回收一批。	快速、簡便、效率高，且萃取出薑黃素純度極高、耗費能量少，不浪費資源。
缺點	所需溶劑量大，純度不高，效果差。	需時太久，近乎一天。耗費太多能源，效率太低。	目前家用微波爐只能運用在少量

實驗方法

一、建立 Black B 分析法

(一)實驗試劑

Black B溶液母液：秤取Black B粉末 0.1g，以去離子水稀釋至總體積為 1.0 L

(二)實驗步驟

1.將100.0ppmBlack B母液稀釋成50.0ppm。
2.測量50.0ppmBlack B溶液的全譜圖，找出其檢量線最適當波段。
3.配成10、20、30、40、50、60、70、80、90、100ppm10種濃度的Black B溶液式樣以分光光度計讀取樣品在580nm之吸光度。
4.以吸光值對Black B濃度作圖，求出Black $B_{(aq)}$之校正曲線。

二、建立Cu^{2+}、Cr^{6+} 分析法

(一)實驗試劑

1. **$Cu^{2+}_{(aq)}$**

(1) 1000 ppm銅標準溶液 (2) 0.1%(g/mL)鹽酸羥胺水溶液 (3) 37.5%(g/mL)檸檬酸鈉溶液
(4) 0.2%(g/mL)2,9-二甲基-1,10-二氮菲溶液(顯色劑) (5) 緩衝溶液： 以水溶解100.00g三水合乙酸鈉（$CH_3COONa \cdot 3H_2O$），並加入6g之乙酸混和均勻後稀釋定容至250mL。

2. $Cr^{6+}_{(aq)}$

(1) 50.0 ppm鉻標準溶液 (2) 0.25M硫酸溶液 (3) 二苯基二胺脲溶液(顯色劑)：以丙酮溶解0.25 g二苯基二胺脲稀釋定容至50 mL，並儲存於棕色瓶中。

(二)實驗步驟

1. **$Cu^{2+}_{(aq)}$**

(1) 取13個25mL之容量瓶分別加入適量之銅標準母液。
(2) 加入1.50 mL 鹽酸羥胺溶液及3.00 mL檸檬酸鈉溶液，混合均勻。
(3) 加入緩衝溶液3.00mL使溶液pH值維持在5.7±0.2，再加入1.50mL顯色劑稀釋至刻度，配成0.1~10.0 ppm等濃度。
(4) 靜置15分鐘，以分光光度計讀取樣品在460 nm之吸光度。
(5) 重覆(1)～(4)二次，由三次數據取平均值。
(6) 以吸光值對Cu^{2+}濃度作圖，求出Cu^{2+}之校正曲線。
(7) **Cu^{2+}試樣之檢測**：取12.50mL之待測溶液，重複(2)～(4)，測得吸光度對應校正曲線乘二倍求出離子濃度。

2. $Cr^{6+}_{(aq)}$

(1) 配成0.1~2.0 ppm等濃度的**Cr^{6+}試樣**。
(2) 加入0.50mL 二苯基二胺脲溶液作為顯色劑，混合均勻後靜置15分鐘。
(3) 以分光光度計讀取樣品在540 nm之吸光度。
(4) 重覆(1)～(3)二次，三次數據取平均值。
(5) 以吸光值對Cr^{6+}濃度作圖，求出Cr^{6+}之檢量線。
(6) **Cr^{6+}試樣之檢測**：取12.50mL之待測溶液，重複(2)～(4)，測得吸光度代入檢量線乘二倍求出離子濃度。

三、薑黃對Black B之降解

實驗試劑：

(1) 200.0ppm 薑黃溶液 (2) 50.0ppm Black B溶液 (3) 0.05M鹽酸溶液 (4)0.05M氫氧化鉀溶液

(一)探討時間對Black B之降解效果

1.控制變因

薑黃溶液濃度200.0ppm 、Black B濃度50.0ppm、溫度25℃、pH＝10.0 ±0.2、體積 1.5ml。

2.操縱變因：時間（10、20、30、60、90、120 min）。

3.實驗步驟：

(1)取10mlBlack B及2ml薑黃溶液分別置於十個試管中。

(2)分別於10、20、30、60、90、120 min，停止計時。

(3)樣品以標準Black B之濃度分析法分析。

(二)探討光對Black B之降解效果

改變不同光源（日光燈、UV燈），同(一)之步驟。

(三)探討溫度對Black B之降解效果

改變不同溫度(10、20、30、40、50℃)，同(一)之步驟。

(五)探討pH值對Black B之降解效果

改變不同pH值（pH=4.0、7.0、10.0 ±0.2），同(一)之步驟。

四、薑黃對金屬離子之螯合

實驗試劑：

(1) 368.0ppm (1.0×10^{-3}M) 薑黃溶液 (2) 63.5 ppm(1.0×10^{-3}M) Cu^{2+}標準溶液

(3) 104.0 ppm ($[Cr_2O_7^{2-}]=1.0\times10^{-3}$M) Cr^{6+}標準溶液 (4) 56ppm (1.0×10^{-3}M) Fe^{3+}標準溶液

(5) 58ppm (1.0×10^{-3}M) Ni^{2+}標準溶液

探討薑黃濃度對金屬離子之螯合現象

1.控制變因：金屬離子溶液皆取1ml

2.操縱變因：薑黃體積（0.5、1、1.5、2.0、2.5、3.0ml ）

3.實驗步驟：

(1)取1ml之Cu^{2+}標準溶液分別置於數個試管中。

(2)分別控制薑黃體積

(3)觀察不同濃度薑黃溶液與重金屬離子螯合現象

（鉻、鐵、鎳離子溶液與薑黃螯合之實驗步驟同上）

薑黃幾丁聚醣膜

五、利用新式薑黃幾丁聚醣複合材料，對Black B之降解

＊新式薑黃幾丁聚醣膜之製作：

(1)取10.00g幾丁聚醣粉末緩緩加入醋酸溶液 1.0L (0.1M醋酸)接著加入薑黃溶液 (100ppm、200ppm、2000ppm) 1.0L至其完全溶解呈現橘黃色膠狀。

(2)取10.00mL薑黃幾丁聚醣溶液均勻分散培養皿內， 靜置使其乾燥。

(3)薑黃幾丁聚醣薄膜平均質量約為**0.20g/片**(含薑黃素約0.5mg、1mg、10mg)

(一)探討時間對Black B之降解效果

1.控制變因：

薑黃幾丁聚醣薄膜一片(含薑黃素10mg)、50.0ppmBlack B、溫度 25.0℃（置於恆溫槽）、PH=7.5 ±0.2、溶液體積30.0mL。

2.操縱變因：時間（10、20、30、60、90、120 min）。

3.實驗步驟：

(1)取30mL之 50.0ppm的 **Black B**置於100mL之大試管中。

(2)將薑黃幾丁聚醣薄膜置入溶液中至所需時間後將膜取出，並觀察顏色變化。

(3)樣品以標準Black B之濃度分析法分析。

(二)探討片數對Black B之降解效果

改變不同片數（1、2、3），同(一)之步驟。

(三)探討濃度對Black B之降解效果

改變不同濃度之薑黃溶液(100ppm、200ppm)所製成之不同含量薑黃幾丁聚醣膜(含薑黃素約0.5mg、1mg)，同(一)之步驟。

六、利用新式薑黃幾丁聚醣複合材料，對重金屬離子之吸附

(一)探討時間對Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

1.控制變因：

薑黃幾丁聚醣薄膜一片(含薑黃素 10mg)、金屬離子濃度（10.0ppm 的 $Cu^{2+}_{(aq)}$、2.0ppm 的 $Cr^{6+}_{(aq)}$）、溫度 25℃（置於恆溫槽）、pH=（去離子水之 pH 值）、溶液體積 100.0mL。

2.操縱變因：時間（10、20、30、60、90、120 min）。

3.實驗步驟：

(1)取100mL之10.0ppm的 $\mathbf{Cu^{2+}_{(aq)}}$置於150mL之燒杯中。

(2)將薑黃幾丁聚醣薄膜置入溶液中至所需時間後將膜取出，並觀察顏色變化。

(3)改以2.0ppm的$\mathbf{Cr^{6+}_{(aq)}}$，重複步驟(1)~(2)。

(4)樣品以標準$\mathbf{Cu^{2+}}$、$\mathbf{Cr^{6+}}$之濃度分析法分析。

(二)探討片數對Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

改變不同片數（1、2、3），同(一)之步驟。

(三)探討濃度對Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

改變不同濃度之薑黃溶液(100ppm、200ppm)所製成之不同含量薑黃幾丁聚醣膜(含薑黃素約0.5mg、1mg)，同(一)之步驟。

七、薑黃幾丁膜之不同方式用以吸附及降解效果

七之一、探討『重力過濾法、抽濾法、薑黃幾丁聚醣泡棉針筒法』對降解效果之影響

(一)探討「重力過濾法」對Black B之降解效果

理由：將薑黃幾丁聚醣膜丟入水中降解 Black B 效果雖不錯，但需時較久，且須將膜取出才可觀察水質是否已澄清，若用重力過濾法，則可直接得到漏斗下過濾瓶中之澄清濾液。

(1)將一片薑黃幾丁聚醣膜(含薑黃素10mg)摺成漏斗狀置於漏斗之上。

(2)將50mL之50.0ppm Black B倒入漏斗，收集濾液並記錄過濾速率。

(3)以標準Black B之濃度分析法分析。

重力過濾裝置

(二)探討「抽濾法」對 Black B 之降解效果

理由：重力過濾法時間長效率低，改以抽濾法可使濾液更快通過，且可保留過濾法之優點

(1)將薑黃幾丁聚糖膜(含薑黃素 10mg)平置於抽濾漏斗上。

(2)打開抽濾裝置，將 50mL 之 50.0ppm 的 **Black B** 倒入，從抽濾瓶中取出濾液。

(3)以標準 **Black B** 之濃度分析法分析。

抽濾裝置

(三)探討「薑黃幾丁聚醣泡綿針筒法」對 Black B 之降解效果

理由：抽濾過程進行一段時間後，薑黃幾丁聚醣膜吸水後無法平貼於抽濾漏斗上，將會使降解效果降低，且抽濾法若施力不當，亦會使膜容易破裂，於是製成泡棉針筒，孔隙適中可使薑黃幾丁聚醣附著其上，且接觸面積大，**Black B** 溶液可加速其被降解之速率，但仍加入簡易抽濾裝置，使其保持效率高之優點。

＊薑黃幾丁聚醣泡綿針筒製作方法（簡稱「泡綿針筒」）

(1) 將泡棉裁成適量大小後，浸入配置薑黃幾丁聚醣溶液中，使其完全沒入並取出晾乾，再以刷子沾取些許薑黃幾丁聚醣溶液刷在泡綿上。

(2) 待泡綿全乾後，以兩片泡綿為一單位捲成筒狀，放入50mL針筒中，再塗上黏著劑使其完全密封，則完成**泡綿針筒**。

＊簡易抽濾裝置

(1) 在罐蓋上鑽洞裝上針筒接頭；側面鑽洞裝上T型閥分別以熱熔膠密封。

(2) 針筒接頭插上泡綿針筒，在T型閥接上真空幫浦，則完成一個『**簡易抽濾裝置**』。

1.利用浸泡法探討時間對「薑黃幾丁聚醣泡綿針筒法」之降解效果

(1)將幾丁聚醣泡綿針筒置於自製簡單抽濾裝置。

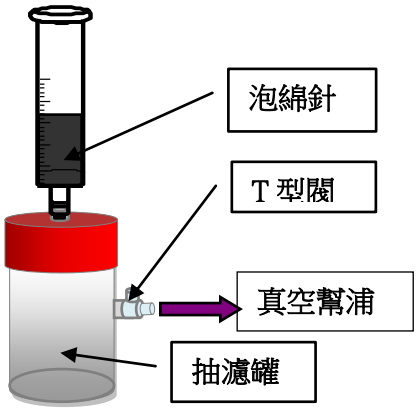
(2)取50mL之50.0ppm的Black B倒入泡綿針筒中。

(3)等待至所需時間 (3、10、30、60、120、180min)後，將溶液抽濾取出。

(4)利用標準Black B 之濃度分析法分析之。

2.探討次數對「幾丁聚醣泡綿針筒法」之降解效果

改以不同抽濾次數1、2、5、10、15、20次將濾液倒回燒杯，同實驗1. 之步驟(1)～(5)。



自製簡易抽濾裝置

七之二、薑黃幾丁聚醣複合材料吸附重金屬離子應用

(一)探討「重力過濾法」對Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果。

(1)將一片薑黃幾丁聚醣膜 (含薑黃素10mg)摺成漏斗狀置於漏斗之上。

(2)將50mL之10.0ppm的 Cu^{2+}倒入漏斗，收集濾液並記錄過濾速率。

(3)改以2.0ppm的Cr^{6+}重複(1)～(2)。

(4)以標準Cu^{2+}、Cr^{6+}之濃度分析法分析。

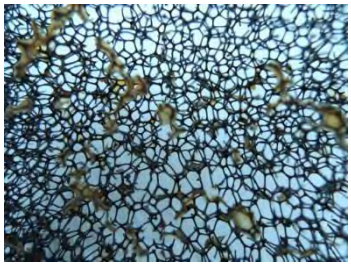
(二)探討「抽濾法」對Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

(1)將薑黃幾丁膜平置於抽濾漏斗上。

(2)打開抽濾裝置，將50mL之倒入10.0ppm的 Cu^{2+}，從抽濾瓶中取出濾液。

(3)改以2.0ppm的Cr^{6+}重複(1)～(2)。

(4)以標準Cu^{2+}、Cr^{6+}之濃度分析法分析。



薑黃幾丁聚醣泡棉

(三)探討「薑黃幾丁聚醣泡綿針筒法」對 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

1.利用浸泡法探討時間對「薑黃幾丁聚醣泡綿針筒法」之吸附效果影響

(1)將幾丁聚醣泡綿針筒置於自製簡單抽濾裝置。

(2)取50mL之2.0ppm的$Cr^{6+}_{(aq)}$倒入泡綿針筒中。

(3)等待至所需時間(3、10、30、60、120、180min)後，將溶液抽濾取出。

(4)改以10.0ppm的 $Cu^{2+}_{(aq)}$，重複(1)～(3)。

(5)利用標準$Cu^{2+}_{(aq)}$、$Cr^{6+}_{(aq)}$之濃度分析法分析之。

2.探討次數對「幾丁聚醣泡綿針筒法」之吸附效果影響

改以不同抽濾次數 1、2、5、10、15、20 次將濾液倒回燒杯，同 1.之實驗步驟(1)～(5)。

八、薑黃之抑菌效果：探討時間、光、濃度對抑菌效果之影響

＊培養大腸桿菌之實驗步驟：

(1) 將大腸桿菌之母株置入5ml LB之螺旋試管中，在37℃進行培養12小時。

(2) 將培養12小時之大腸桿菌菌液震盪均勻，取100μl加入固態培養基，塗佈均勻。

(3) 放置於25℃之培養箱培養12小時。

(4) 從培養基上挑選一大腸桿菌菌落，加入含有5mlLB之螺旋試管中，以37℃培養12小時。接著進行後續之抑菌實驗/以利後續進行抑菌實驗/此即進行後續抑菌實驗之菌液。

(一)探討薑黃濃度對抑菌效果之影響

(1)用微量吸量管取不同體積(分別為1000μl，500μl，200μl，100μl)的薑黃溶液注入固態培養基，以塗菌玻棒塗勻塗乾。

(2)加入200μl大腸桿菌菌液並用塗菌玻棒塗勻塗乾。

(3)將培養皿置入37℃恆溫箱培養12小時並觀察。

(二)探討薑黃幾丁聚醣複合材料之滅菌效果

(1)將培養16小時之大腸桿菌菌液分裝至五試管內。

(2)四組實驗組與一組對照組分別為：

(a) 原菌液

(b) 原菌液 ＋ 一片幾丁聚醣膜

(c) 原菌液 ＋ 一片薑黃幾丁聚醣膜

(d) 原菌液 ＋ 照UV燈

(e) 原菌液 ＋ 一片薑黃幾丁聚醣膜＋照UV燈

(3)反應1小時後，以微量吸量管各吸取200μl反應後之菌液注入培養基，以彎曲玻棒將液體塗勻塗乾。

(4)將培養皿置入37℃恆溫箱放置12小時並觀察。

九、自行設計一套簡易有效的「簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統」

理由：由前述實驗可知，重力過濾法、抽濾法皆需要重複多次才能達到極好之消除效果，因此我們加入『循環』之概念，即可避開繁瑣的過程；另外，為了提升此自製系統之實用性，我們加入光電二極體作為簡易分光光度計，達到『即時檢測』之效果。

(一)設計製作簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統製作方法：

1.取一壓克力箱，測量其開口大小後，鑽一洞於蓋子，再將石英管插入洞口。

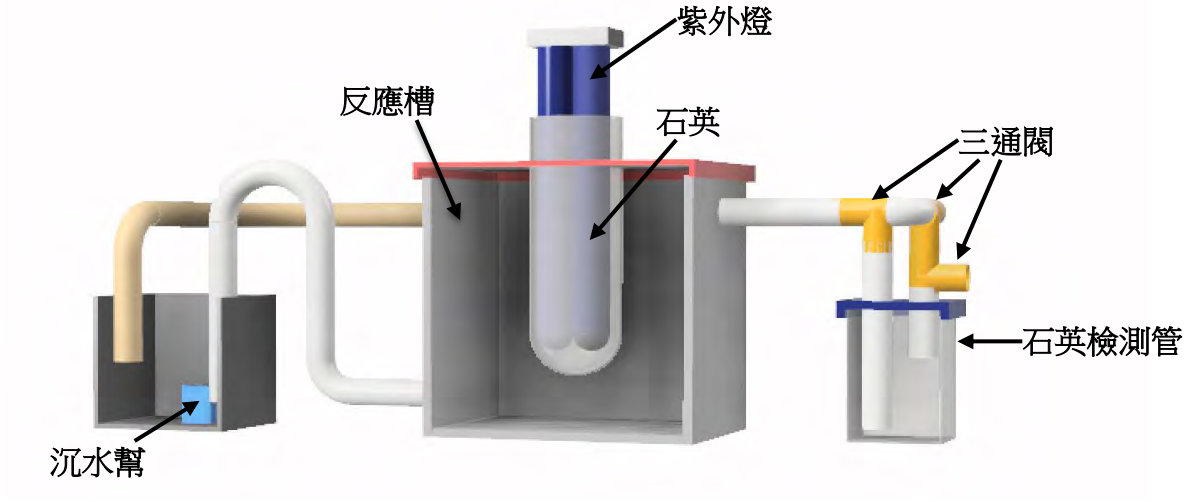
2.壓克力箱兩側高低各鑽一個洞，各水平黏製 5cm 壓克力管於洞口，在壓克力管另一端接上橡皮管。

3.低處的橡皮管接入污水箱，為水進出之通道，污水箱內設有沉水幫浦。

4.高處的橡皮管則以三通閥，一端接往檢測箱，另一端接回污水箱。

5. 檢測箱的蓋子以 3D 列印技術列印出再插入一長一短的塑膠管。

6.檢測管處加裝一光電二極體作為簡易分光光度儀。



簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統

(二)利用自製簡易分光光度儀，Black B、$Cu^{2+}_{(aq)}$ 、$Cr^{6+}_{(aq)}$ 吸收度分析法之建立

(1)配置所需標準濃度之溶液 50mL，

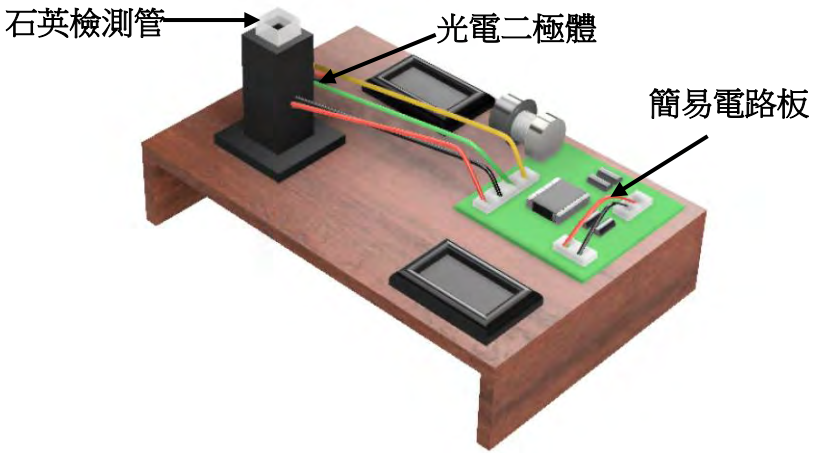
Black B：10，30，50，70，90，100 ppm

$Cu^{2+}_{(aq)}$： 0.1，0.2， 0.5， 1.0， 2.0，5.0，10.0 ppm

$Cr^{6+}_{(aq)}$： 0.1，0.2，0.5，1.0，1.5，2.0 ppm

(2)將欲求之溶液注入裝置中，測量光電二極體所測出之電壓值，並記錄其結果。

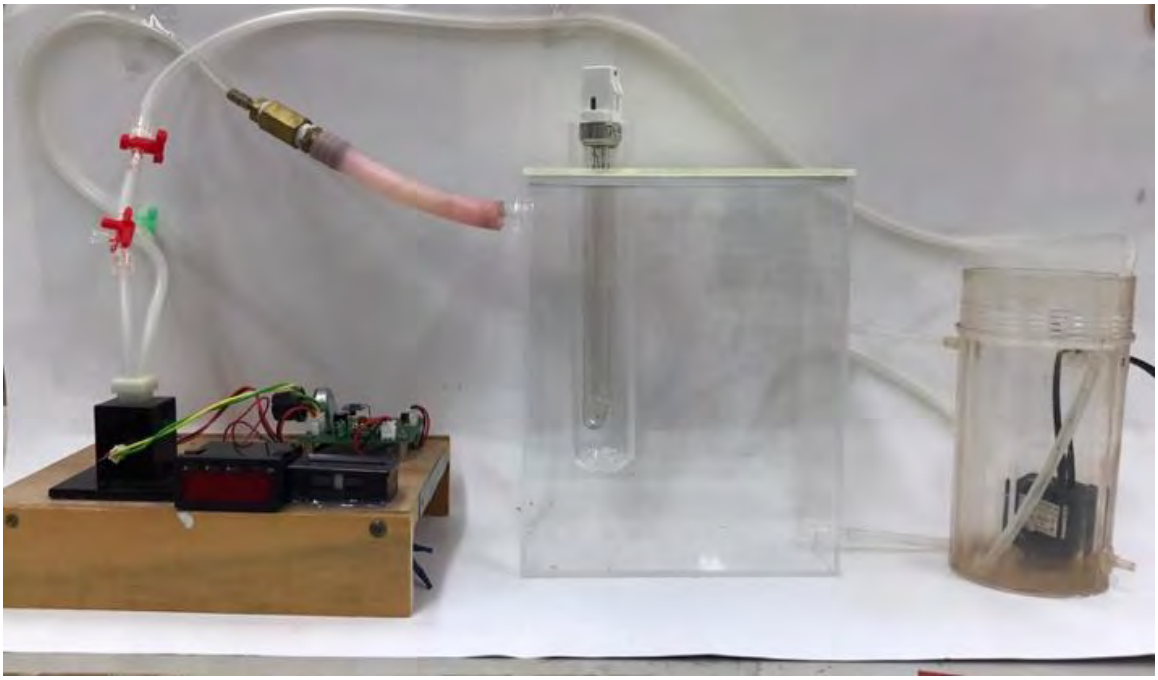
(3)更換 LED 燈(分別有：紅、橘、黃、綠、藍、白)，再次測其電壓值並記錄。
(4)重複(2)～(3)。
(5)以找出測量 **Black B**、**$Cr^{6+}_{(aq)}$**、**$Cu^{2+}_{(aq)}$**最佳波長光源條件



自製簡易分光光度儀檢測系統

(三)探討自製『簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統』
對 Black B、 $Cr^{6+}_{(aq)}$、$Cu^{2+}_{(aq)}$ 之吸附效果

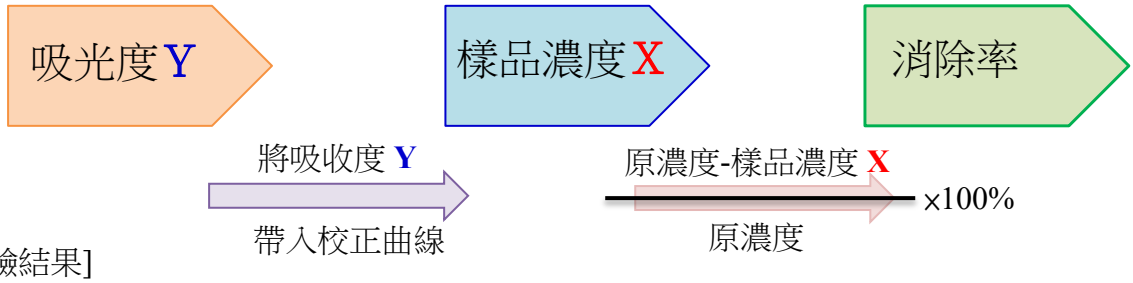
(1)取 800mL 之 10.0ppm 的 **$Cu^{2+}_{(aq)}$**，倒入 1000mL 燒杯作為母液。
(2)開啟裝置，分別於 1、5、10、20、30、60、90、120、180min 分鐘取 25mL 之樣品
(3)在同時間，以 T 型控制閥截斷回流使溶液進入自製的檢測裝置，測量其電壓值。
(4)改以 800mL 之 2.0ppm 的 **$Cr^{6+}_{(aq)}$**，重複(1)～(3)。
(5)改以 800mL 之 50.0ppm 的 Black B $_{(aq)}$，重複(1)～(3)
(6)利用標準 **Black B 、$Cu^{2+}_{(aq)}$、$Cr^{6+}_{(aq)}$**之濃度分析法分析之。



簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統

伍、結果與討論

一、建立Black B之分析法，作為本實驗之標準濃度。



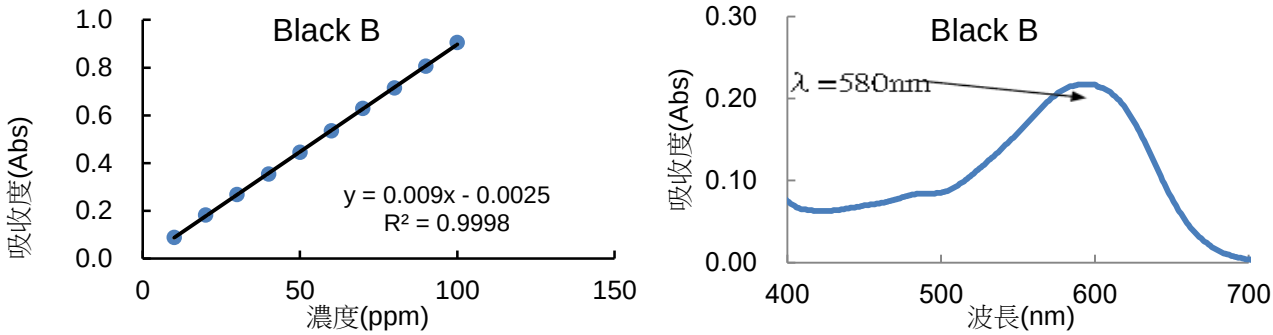
[實驗結果]

1. Black B

在不同波段所量測 **Black B** 的最大吸收度波長為 580nm。

表一(1)：依照標準分析法配製出的不同濃度，Black B 之吸光度

濃度(ppm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
吸收度(Abs)	**0.089**	**0.182**	**0.268**	**0.354**	**0.445**	**0.535**	**0.629**	**0.715**	**0.805**	**0.905**



圖一(1)左：不同 Black B 濃度在 580nm 吸收度檢量圖；右：Black B 波長對吸收度作圖

[討論]

(1)將分光光度儀所測出吸光度建立一檢量線，作為此後實驗測量濃度之標準。

(2)計算方法：實驗結果以 Black B 濃度**殘留率**，單位(%)來表示之。

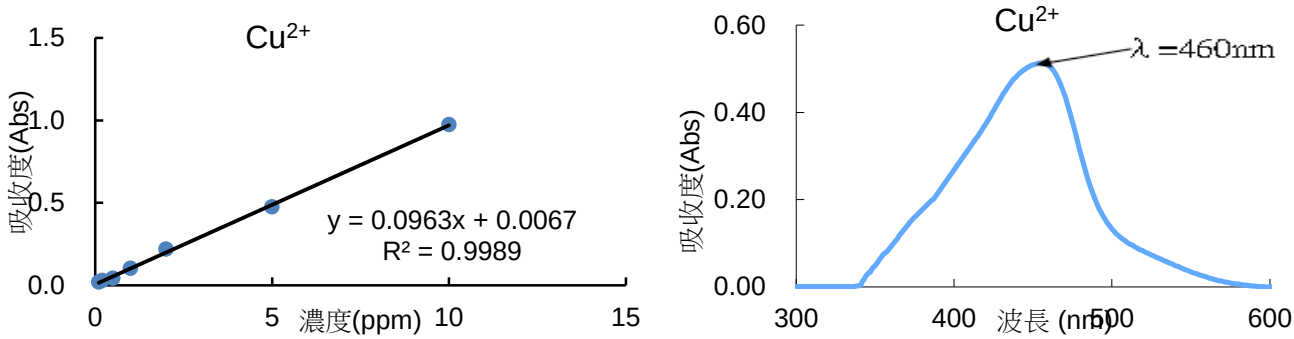
二、建立Cu^{2+} 、Cr^{6+} 之分析法

1. **$Cu^{2+}_{(aq)}$**

在不同波段所量測 **$Cu^{2+}_{(aq)}$**的最大吸收度波長為 460nm。

表一(2)：依照標準分析法配製出的不同濃度 $Cu^{2+}_{(aq)}$之吸光度

濃度(ppm)	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
吸收度(Abs)	0.018	0.028	0.042	0.103	0.219	0.474	0.974



圖二(1)左：不同 $Cu^{2+}_{(aq)}$濃度在 460nm 吸收度檢量圖、右：$Cu^{2+}_{(aq)}$波長對吸收度作圖

[討論]

為了使Cu^{2+}先還原成Cu^{+}之形式，在溶液中加入還原劑鹽酸氫鈉，接著加入檸檬酸鈉及緩衝溶液醋酸鈉以將溶液控制在良好顯色條件，最後，加入2,9-二甲基-1,10-二氮菲作為顯色劑，使不同濃度之同離子呈現由淺到深之橙色。以分光光度計測量波長460nm容液之吸收度，再將其數值代入檢量線求得溶液中Cu^{2+}之濃度。

(1)將分光光度儀所測出吸光度建立一檢量線，作為此後實驗測量濃度之標準。

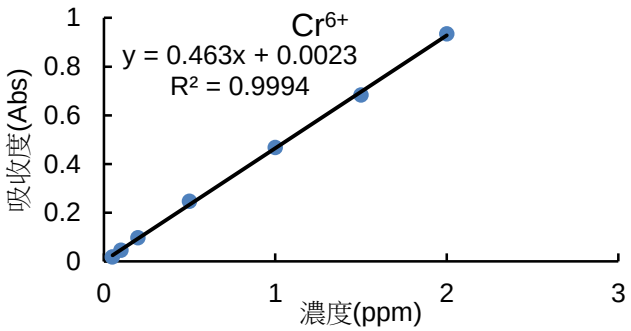
(2)計算方法：實驗結果以Cu^{2+}濃度**殘留率**，單位(%)來表示之。

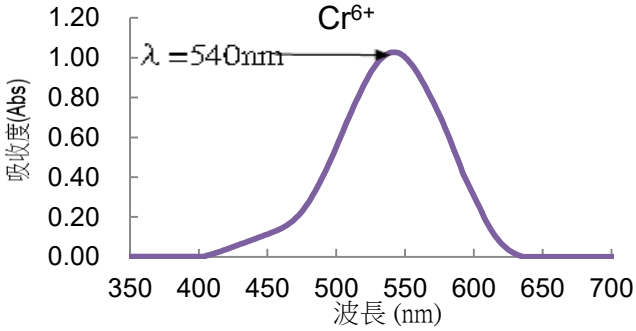
2. $Cr^{6+}_{(aq)}$

在不同波段所量測 **$Cu^{2+}_{(aq)}$**的最大吸收度波長為 540nm。

表一(2)：依照標準分析法配製出的不同濃度 **$Cr^{6+}_{(aq)}$**之吸光度

濃度(ppm)	**0.05**	**0.1**	**0.2**	**0.5**	**1**	**1.5**	**2**
吸收度(Abs)	0.018	0.046	0.097	0.247	0.468	0.683	0.934





圖二(1) 左：不同 Cr^{6+}在 540nm 的檢量線、右：Cr^{6+}波長對吸收度作圖

[討論]為了使Cr^{6+}在水中以$Cr_2O_7^{2+}{}_{(aq)}$形式存在，我們將溶液中加入數滴0.25M硫酸，將溶液控制在酸性(pH=1.0~2.0)，接著，加入極少量二苯基二銨脲溶液作為顯色劑，使溶液因濃度不同呈現由淺至深之紫紅色。最後，以分光光度計檢測波長540ppm時溶液之吸收度，再將其數值代入檢量線求得溶液中Cr^{6+}之濃度。

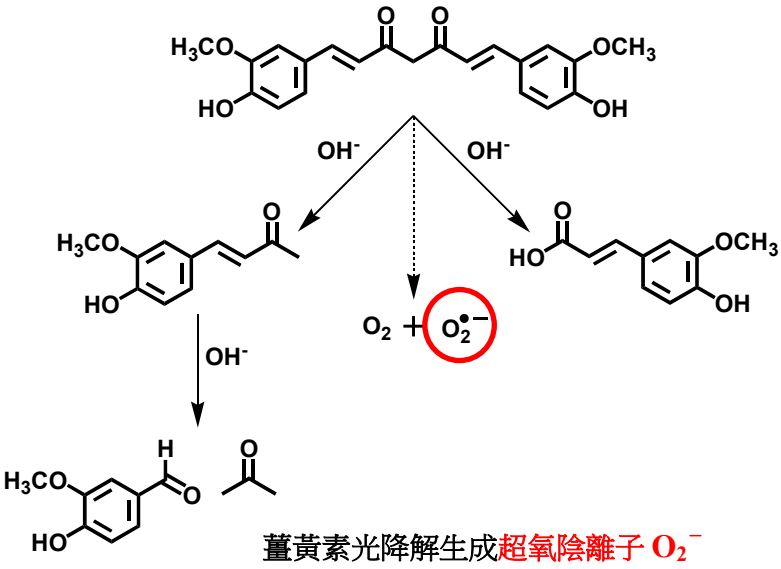
(1)將分光光度儀所測出吸光度建立一檢量線，作為此後實驗測量濃度之標準。

(2)計算方法：實驗結果以 Cr^{6+}濃度**殘留率**，單位(%)來表示之。

三、薑黃素對 Black B 之降解

【薑黃素對 Black B 降解原理】

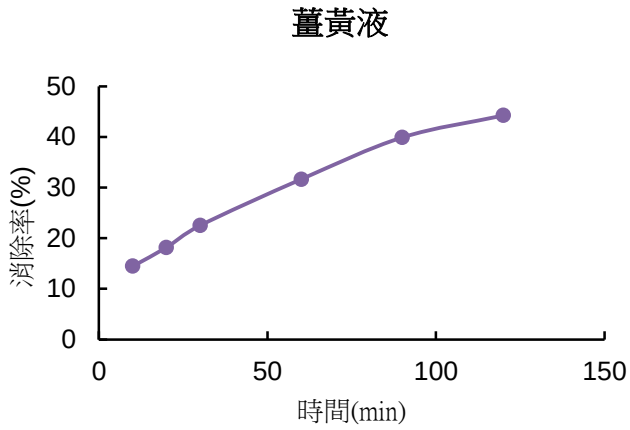
薑黃素在鹼性環境中易降解，產生超氧陰離子 O_2^-（superoxide anion），氧化還原中，一個氧分子完全還原需 4 個電子，則可發現超氧陰離子除了可作為還原劑，亦可當作氧化劑，具有很強的氧化力，而降解有機物即為一種氧化反應，因此利用薑黃素產生之超氧陰離子可用以降解有機物，超氧陰離子 O_2^-有不成對的電子，故極易與其他分子發生反應，搶奪對方的電子，被搶走的分子又變成不穩定的基團，再搶奪其他分子的電子，而形成更多不穩定的基團，使 Black B 完全氧化，而隨著時間、光照、薑黃素濃度條件的改變，使 Black B 容液顏色逐漸消失，最後轉為 H_2O 及 CO_2。



薑黃素光降解生成超氧陰離子 O_2^-

(一)探討時間對Black B之降解

[實驗結果]



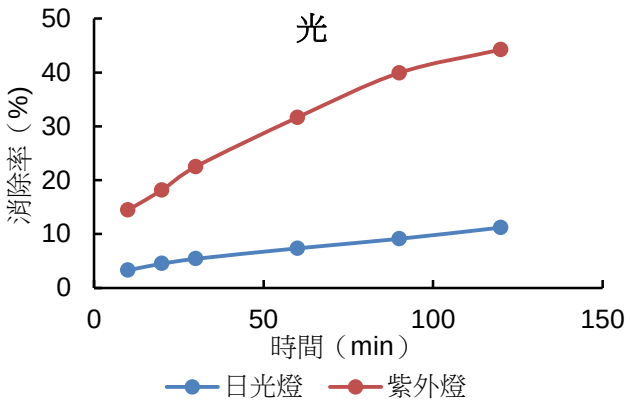
圖三(1)不同時間對 Black B 之降解效果影響

[討論]

由圖三(1)可看出，薑黃素對 Black B 之消除率隨時間而增加，90 分鐘時消除率達 39.9%，直至薑黃溶液反應達 120 分鐘時，消除率更達 44.24%。

(二)探討光對 Black B 之降解

[實驗結果]



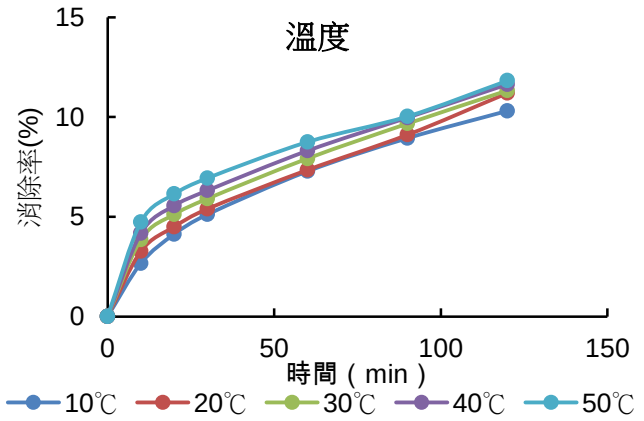
圖三(2)光對 Black B 之降解效果影響

[討論]

1. 由圖三(2)可看出，照紫外光時，薑黃素可能生成較多的超氧陰離子對Black B之降解效果明顯，較照日光燈時佳。
2. 降解反應中，無論是照紫外光或日光燈，分解效果均隨時間而增加。
3. 照紫外燈之降解反應於 90 分鐘時趨近穩定，而達 120 分鐘時消除率為 44.24%；而照日光燈之降解反應，於 30 分鐘即趨近穩定，直至反應達 120 分鐘，消除率為 11.2%。
4. 為了確定非紫外光光降解，所以也直接對 Black B 照射紫外光，發現即使到二小時後，Black B 也幾乎沒有 降解(約 20%)。

(三)探討溫度對 Black B 之降解

[實驗結果]



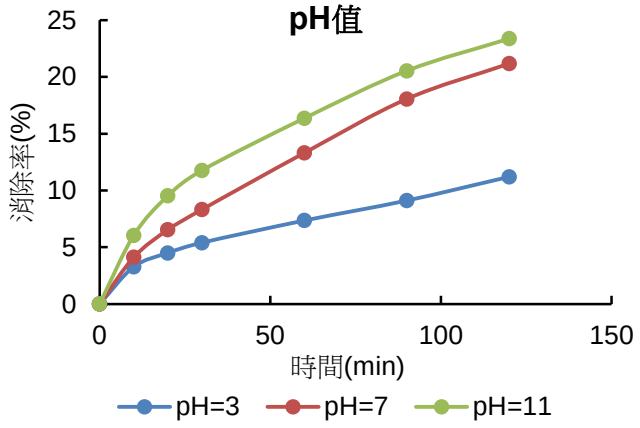
圖三(3)不同溫度對 Black B 之降解效果影響

[討論]

由圖三(3)可看出，因降解實驗為一吸熱反應，則溫度愈高降解效果愈好，但溫度實質影響不甚大，常溫亦可達到相當之效果。

(四)探討 pH 值對 Black B 之降解

[實驗結果]



圖三(4)不同 pH 值對 Black B 之降解效果影響

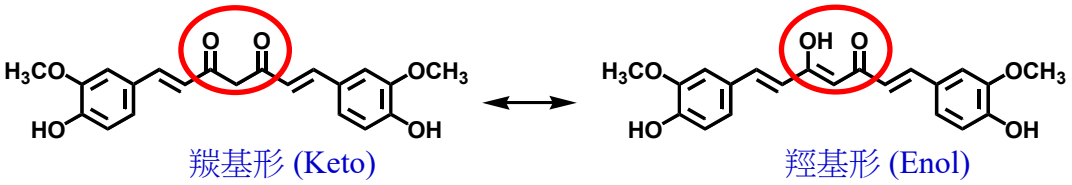
[討論]

1. 由圖三(4)可看出，將薑黃素加入 Black B後，再將溶液 pH值控制在7.0以下，消除率較無明顯變化，由此可知，薑黃素在酸性環境下，較穩定而較難啟動光降解機制，無法產生活性大之超氧陰離子降解 Black B。
2. 若將溶液之 pH值控制在7.0以上，則將開始啟動薑黃素之光降解機制，使得消除率有較明顯之變化。
3. 控制溶液 pH>7.0後，消除率無明顯變化，但由此圖可以明確推知，過於酸性環境下，薑黃液降解 Black B確實較差。

四、薑黃素對金屬離子之螯合情形

【薑黃之錯合原理】

薑黃在水中有兩種主要的共振結構，羰基形(Keto)和羥基形(Enol)如下圖四(1)所示。薑黃螯合(chelating)的錯合機制，與水中之金屬離子形成六員環，其兩個羰基或一個羰基一個羰基螯合金屬離子，如下圖四(2)所示。



圖四(1)：薑黃素共振形式

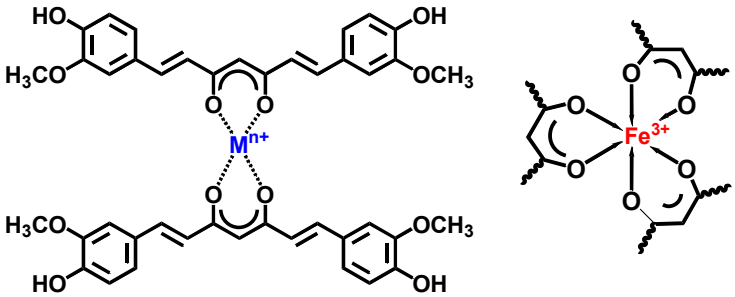
[實驗結果]

薑黃溶液 (ml)	0.5~2.0	2.5	3.0
1ml Cu^{2+}	亮黃色沈澱	橘色澄清	橘色澄清
1ml $Cr_2O_7^{2-}$	亮黃色沈澱	淡橘黃色澄清	淡橘色澄清
1ml Fe^{3+}	紅褐色沈澱	血紅色澄清	血紅色澄清
1ml Ni^{2+}	亮黃色沈澱	橘色澄清	橘色澄清

註：(1) 368.0ppm (1.0×10^{-3}M) 薑黃溶液 (2) 63.5 ppm(1.0×10^{-3}M) Cu^{2+}標準溶液
(3) 104.0 ppm ($[Cr_2O_7^{2-}]=1.0\times10^{-3}$M) Cr^{6+}標準溶液 (4) 56ppm (1.0×10^{-3}M) Fe^{3+}標準溶液
(5) 58ppm (1.0×10^{-3}M) Ni^{2+}標準溶液

[討論]

瞭解薑黃素分別與金屬離子 Cu^{2+}及 $Cr_2O_7^{2-}$螯合效果，我們亦測試了 Fe^{3+}和 Ni^{2+}加入薑黃素之現象，由照片中可看出，其亦有螯合效果，其中 Fe^{3+}與薑黃素螯合後顏色會改變，由橙色轉為血紅色。



圖四(2)：薑黃素與金屬離子螯合示意圖，
左：M^{n+}四配位(M^{n+}為 Cu^{2+}、Ni^{2+}離子)、右：Fe^{3+}六配位

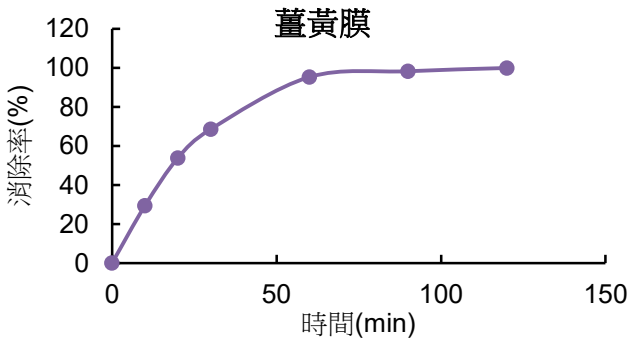
五、結合薑黃幾丁聚醣降解有機能力探討

【薑黃幾丁聚醣膜製作理由】

已知薑黃素具有降解 Black B 與螯合金屬離子之功效，但若直接將薑黃素加入水中，即使可以達到如此功效，但水將會因為加入薑黃素而呈黃色，如此一來，淨水完後依然無法直接使用，因此我們將生物可分解之環保載體幾丁聚醣與薑黃素結合，保留前述之優點並且淨水後可將膜直接取出並燒毀，不會在水中殘存黃色且不造成環境污染。以下分別針對幾個變因來探討薑黃幾丁聚醣膜對 Black B 降解之影響：

(一)探討時間對 Black B 之降解效果（找出單片之最大降解量）

[實驗結果]



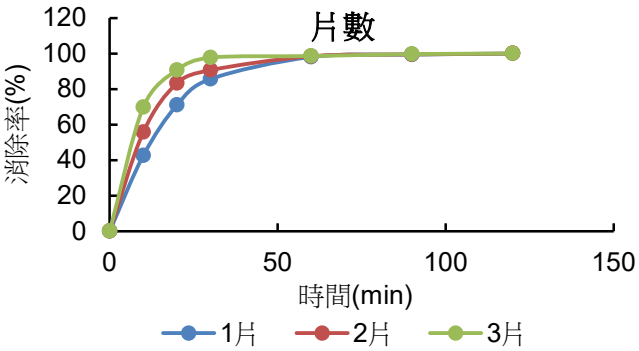
圖五(1)：不同時間對 Black $B_{(aq)}$之降解效果影響

[討論]

1. 由圖五(1)可看出，隨著時間增長，薑黃幾丁聚醣膜對Black B之降解效果亦愈來愈好，消除率也較加入薑黃液時更為顯著提高。
2. 薑黃幾丁聚醣膜經紫外光照射後產生超氧陰離子，對Black B 降解效果效果極佳。只要一小時，消除率即可達約百分之百，約為98.06%。

(二)探討片數對 Black B 之降解效果

[實驗結果]



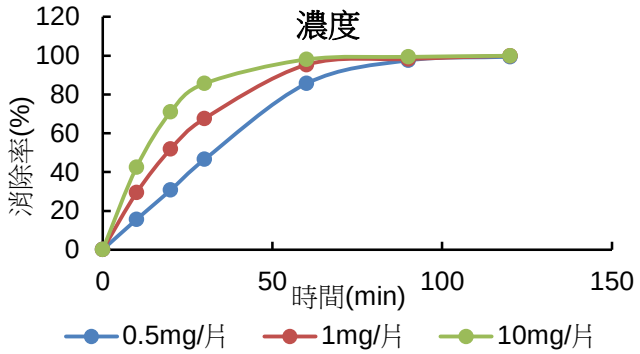
圖五(2)：不同片數對 Black $B_{(aq)}$之降解效果影響

[討論]

1. 薑黃幾丁聚糖膜的片數越多，對Black B可達到越好的降解效果。
2. 圖五(2)可看出，無論使用幾片，至1小時時消除率皆可達到近100%，由此可知，若反應時間較長（大於一小時）不需要製備大多此複合材料，只要1片即可達到可觀的消除效果。片數所造成之影響僅在前60分鐘內有顯著效果，片數越高消除速率越快。
3. 3片薑黃幾丁聚醣膜於30分鐘時消除率即達97.69%，效率極高；而無論1、2或3片，至一小時消除率皆達98.56%。

(三)探討濃度對 Black B 之降解效果

[實驗結果]



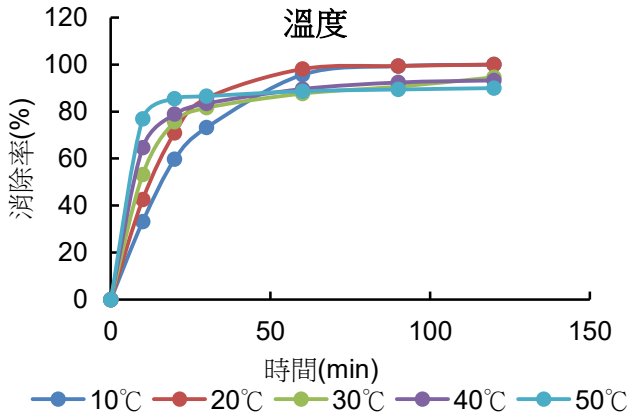
圖五(3)：不同薑黃濃度對 Black $B_{(aq)}$之降解效果影響

[討論]

1. 由圖可知薑黃幾丁聚糖膜，對Black B之消除效果均隨時間而增加。
2. 其中10mg/片之薑黃幾丁聚糖膜效果最佳，一小時後反應即趨於穩定，至120分鐘，消除率達 99.95%，效果最佳之條件，故此後實驗皆設定以此為濃度比例。0.5、1mg/片薑黃幾丁聚醣膜反應至120分鐘消除率亦即高，差別僅在前一小時之反應速率，薑黃素含量愈高所製成之膜，降解愈快。

(四)探討溫度對Black B之降解效果

[實驗結果]



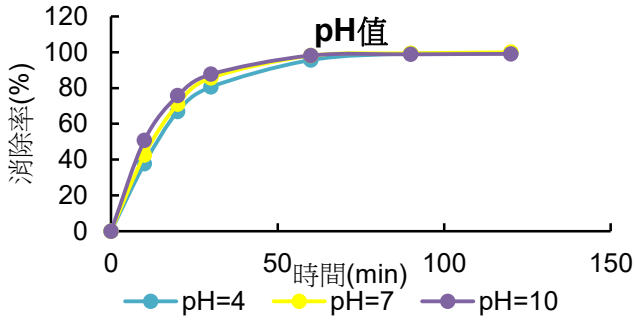
圖五(4)：不同溫度對 Black $B_{(aq)}$之降解效果影響

[討論]

1. 由此圖五(4)可知，由於溫度愈高，反應速率愈大，反應前一小時為溫度高之曲線斜率較大，但由於薑黃幾丁聚醣降解Black B等有機分子為放熱反應，雖然將溫度提高降解速率確實將會變大，但平衡常數K會變小。達平衡時反而是低溫降解量大，因此當薑黃幾丁聚醣降解Black B達平衡時，低溫消除率大於高溫消除率。
2. 此降解反應最佳降解之溫度條件為近20°C（接近常溫），由第一點可知應是較低溫消除率較大，但10°C之消除率卻遠低於反應在20°C時之消除率。推測原因為：溫度低時，粒子的動能較小而轉換成位能將無法越過降解反應所需之活化能。使得太低溫時，消除率也無法達到預期之效果。

(五) 探討 pH 值對 Black B 之降解效果

[實驗結果]



圖五(5)：不同 pH 值對 Black $B_{(aq)}$之降解效果影響

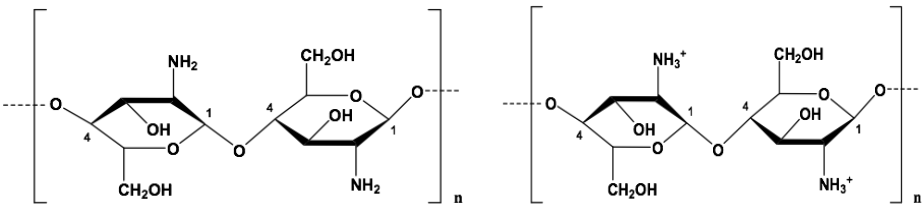
[討論]

1. 由圖五(5)可看出，pH值對薑黃幾丁聚醣膜降解Black B沒有顯著影響，但製成膜降解效果確實較薑黃液顯著提升。
2. 在鹼性條件中 ，OH^-的濃度見高有助於產生較多的超氧陰離子來氧化有機物。

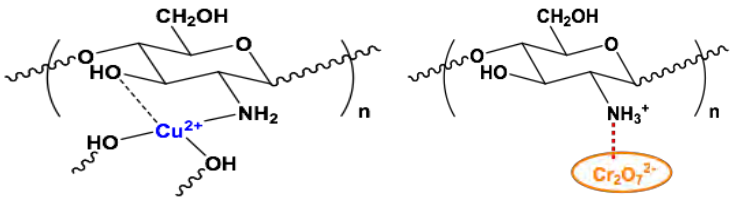
六、結合薑黃幾丁聚醣吸附金屬能力探討

【薑黃幾丁聚醣膜之吸附原理】

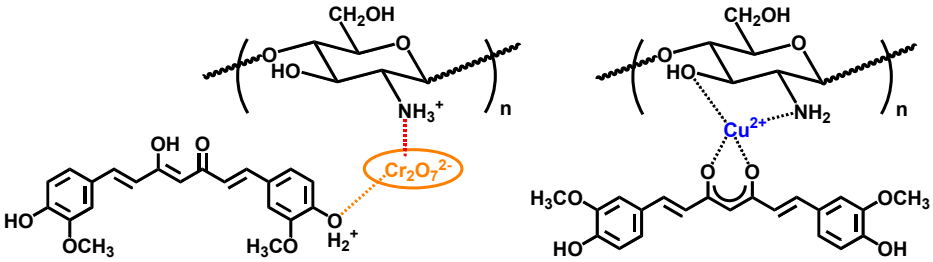
由於薑黃素與金屬離子螯合後仍溶在水中，所以嘗試將薑黃加在幾丁聚醣中，讓幾丁聚醣以氫鍵將薑黃素鎖住，從實驗結果發現薑黃素沒有再被溶出。再者，幾丁聚醣含有大量胺基，如圖六(a)。胺基在鹼中提供豐富的孤電子隊與**金屬離子**螯合；胺基在酸中質子化帶正電。幾丁聚醣以靜電引力吸附水中之**鉻的含氧酸根陰離子**，[Cr^{6+}在水中以**二鉻酸根($Cr_2O_7^{2-}$)**及**鉻酸根(CrO_4^{2-})]，如圖六(b)。**因此我們可以利用薑黃素與金屬離子的螯合能力，以及螯合後的薑黃素錯合物與幾丁聚醣的作用力相當強。如**圖六(c)。以下將分別針對幾個變因來探討薑黃幾丁聚醣膜 **Cr^{6+}、Cu^{2+}**對**吸附**之影響：



圖六(a)幾丁聚醣示意圖：左圖表在**鹼**中、右圖表在**酸**中



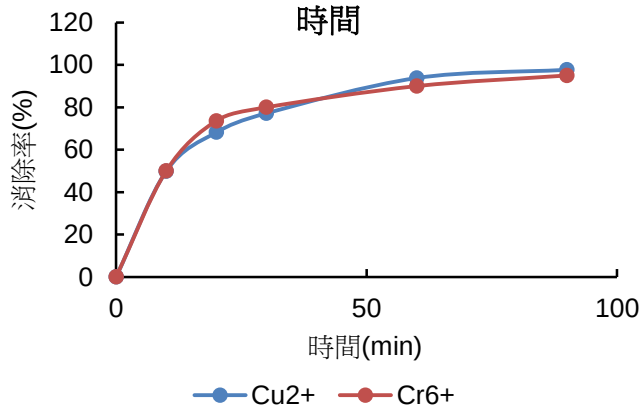
圖六(b)幾丁聚醣與**鉻的酸根陰離子和銅(II)離子**作用示意圖



圖六(c)薑黃幾丁膜與**鉻的酸根陰離子和銅(II)離子**作用示意圖

(一)探討時間對 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果（找出單片之最大吸附量）

[實驗結果]



圖六(1)：薑黃幾丁膜之不同時間對 **Cu^{2+}、Cr^{6+}**吸附效果之影響

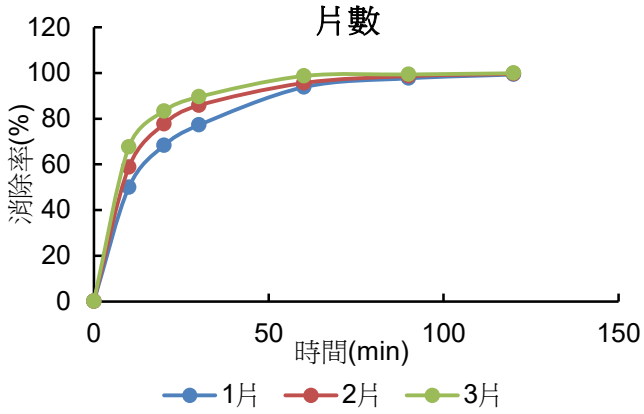
[討論]

1. 由圖六(1)可看出，一開始薑黃幾丁聚醣膜吸附$Cr^{6+}_{(aq)}$ 速率較大，曲線斜率較大，但最後達平衡時，$Cu^{2+}_{(aq)}$的消除效果優於 $Cr^{6+}_{(aq)}$。
2. 推測造成上述現象之原因為：由吸附原理可知，$Cr^{6+}_{(aq)}$的最佳吸附環境即為酸性，而薑黃幾丁聚醣膜即為中性偏微酸，使得一開始的確使$Cr^{6+}_{(aq)}$之吸附速率大於$Cu^{2+}_{(aq}$；而由上吸附結構圖可知，$Cu^{2+}_{(aq)}$帶正電，與薑黃素之負電原子團結合具有極優良之效果，使得$Cu^{2+}_{(aq)}$消除率更佳。

(二)探討片數對 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

1. Cu^{2+}

[實驗結果]



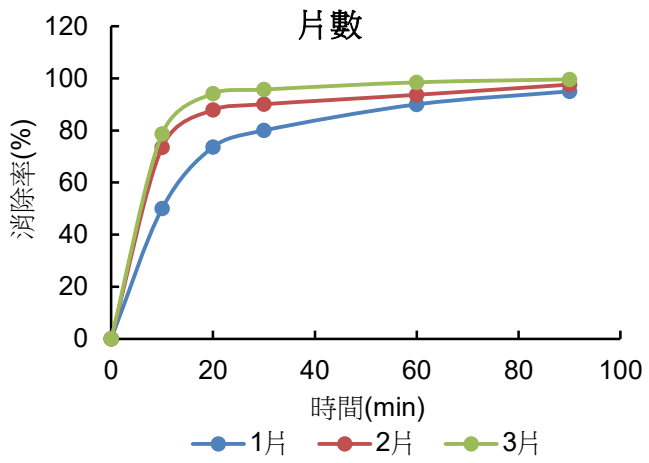
圖六(2)：薑黃幾丁膜之不同片數對 **Cu^{2+}**吸附效果之影響

[討論]

1. 片數對薑黃幾丁聚醣膜吸附**Cu^{2+}**之影響在前一小時才有影響。且對比吸附**Cr^{6+}** 之數據，可發現薑黃幾丁聚醣膜吸附**Cu^{2+}**在20分鐘內曲線斜率大於**Cr^{6+}**，有更佳之吸附效果。因為片數越多薑黃素的含量就越高，與**Cu^{2+}**螯合的反應速率就越快。
2. 無論片數為何，於60分鐘時對Cu^{2+}消除率均達到近100%。
3. 三片薑黃幾丁聚醣膜對**Cu^{2+}**吸附速率前10分鐘平均為0.676ppm/min；兩片約為0.587ppm/min；一片約為0.499ppm/min。

2. Cr^{6+}

[實驗結果]



圖六(3)：薑黃幾丁膜之不同片數對 **Cr^{6+}**吸附效果之影響

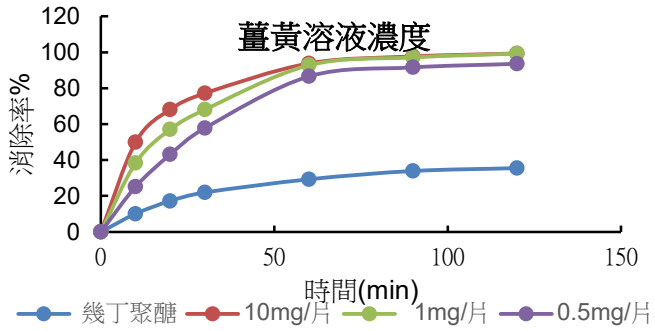
[討論]

1. 將薑黃膜丟入Cr^{6+}溶液中，隨著片數越高擁有越好之吸附效果。
2. 2片與3片的曲線近乎重疊，只要20分鐘，3片薑黃膜對Cr^{6+}之消除率可達94.16%；而只要30分鐘，2片薑黃膜對Cr^{6+}之消除率即可達90.05%；即使僅用1片薑黃幾丁聚醣膜，於60 min時，消除率亦達90.00%。
3. 三片薑黃幾丁聚醣膜對Cr^{6+}吸附速率前10分鐘平均為0.157ppm/min；兩片約為0.147ppm/min；一片約為0.100ppm/min。
4. 考慮經濟性與吸附效果，2片薑黃幾丁聚醣膜即可達到可觀、快速之吸附效果，因此，此後實驗皆設定為2片。

(三)探討薑黃溶液濃度對 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

1. Cu^{2+}

[實驗結果]



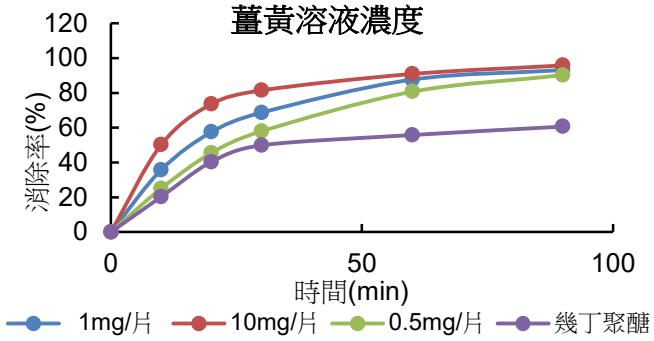
圖六(4)：薑黃幾丁膜之不同薑黃濃度對 **Cu^{2+}**吸附效果之影響

[討論]

1. 由此圖六(4)可看出，加了不同濃度之薑黃複合材料吸附Cu^{2+}之效果遠遠優於幾丁聚醣此載體本身吸附效果。隨著時間增加，吸附效果也隨之愈來愈好，反應至90分鐘時，濃度0.5gm/片之薑黃幾丁聚醣膜對Cu^{2+}之消除率91.58%，而1、10mg/片之薑黃幾丁聚醣膜對Cu^{2+}之消除率均為近 97.14%；而未加薑黃之幾丁聚醣載體消除率卻僅能達到35.49%。
2. 不同薑黃素濃度所配置薑黃幾丁聚醣膜對**Cu^{2+}**前10分鐘平均吸附速率薑黃溶液10mg/片為0.499ppm/min；1.0mg/片為0.384ppm/min；0.5mg/片為0.255ppm/min；而單純幾丁聚醣前10分鐘之平均吸附速率為0.101ppm/min。

2. Cr^{6+}

[實驗結果]



圖六(5)：薑黃幾丁膜之不同薑黃濃度對 **Cr^{6+}**吸附效果之影響

[討論]

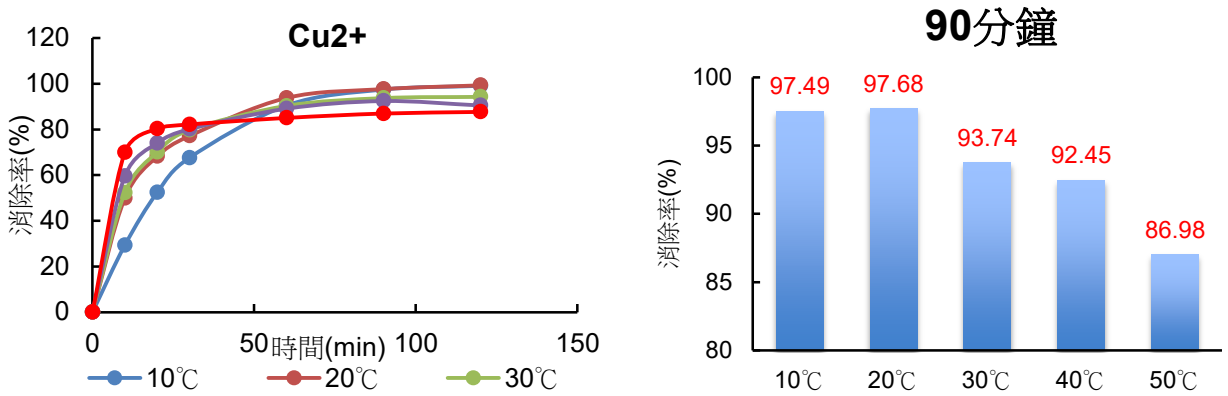
1. 由此圖六(5)可看出，加了不同濃度之薑黃複合材料吸附Cr^{6+}之效果遠遠優於幾丁聚醣此載體本身吸附效果。隨著時間增加，吸附效果也隨之愈來愈好，反應至90分鐘時，濃度0.5、1、10mg/片之薑黃複合材料對Cr^{6+}之消除率分別為：90.15%、93.11%及95.78%；而未加薑黃之幾丁聚醣載體消除率卻僅能達到60.61%。

2. 不同薑黃素濃度所配置薑黃幾丁聚醣膜對Cr^{6+}前10分鐘平均吸附速率薑黃溶液10mg/片為0.100ppm/min；1mg/片為0.071ppm/min；0.5mg/片為0.050ppm/min；而單純幾丁聚醣前10分鐘之平均吸附速率為0.041ppm/min。

(四)探討溫度對 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

1. Cu^{2+}

[實驗結果]



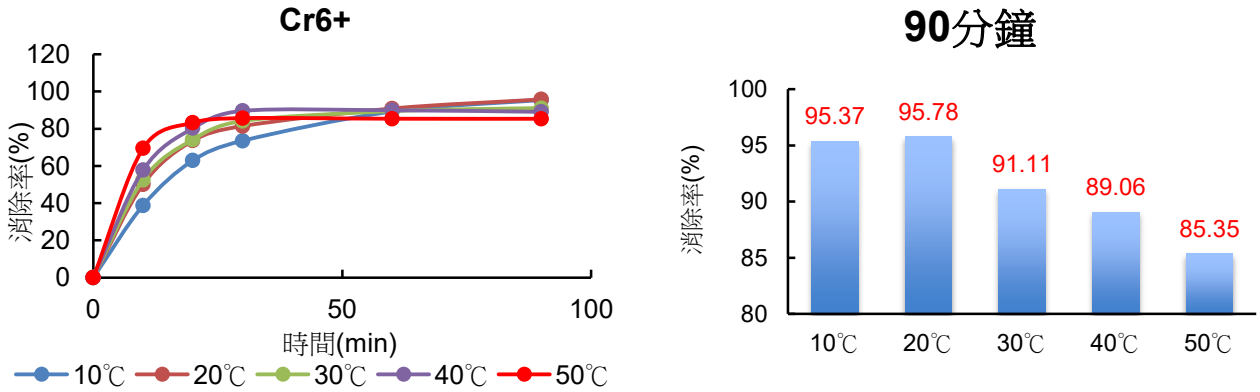
圖六(6)：薑黃幾丁膜之不同溫度對 Cu^{2+}吸附效果之影響

[討論]

1. 由此圖六(6)可知，由於溫度愈高，反應速率愈大，反應前20分鐘為溫度高之曲線斜率較大，但由於薑黃幾丁聚醣吸附$Cu^{2+}_{(aq)}$為放熱反應，雖然將溫度提高吸附速率確實將會變大，但速率常數k會變小，反應達平衡時反而是低溫吸附量略大一些，而10°C之消除率略低於反應在20°C時之消除率，則是因為溫度低時，粒子的動能較小而轉換成位能將無法越過吸附反應所需之活化能。使得太低溫時，消除率也無法達到預期之效果。
2. 由上圖六(6)可知，溫度的改變並非影響薑黃幾丁聚醣膜對$Cu^{2+}_{(aq)}$之吸附效果之重要因子。

2.Cr^{6+}

[實驗結果]



圖六(7)：薑黃幾丁膜之不同溫度對 Cr^{6+}吸附效果之影響

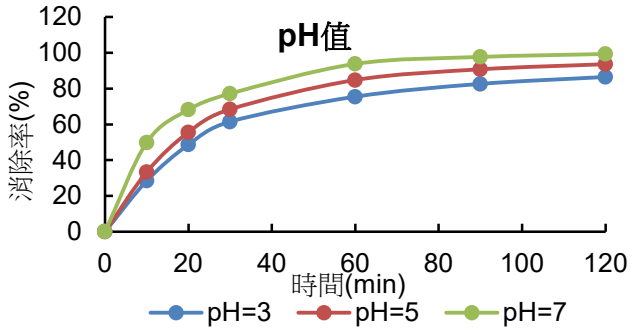
[討論]

由上圖六(7)可知，溫度的改變並非影響薑黃幾丁聚醣膜對Cr^{6+}之吸附效果之重要因子，而理由同上述之。

(五) 探討 pH 值對 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

1. Cu^{2}

[實驗結果]



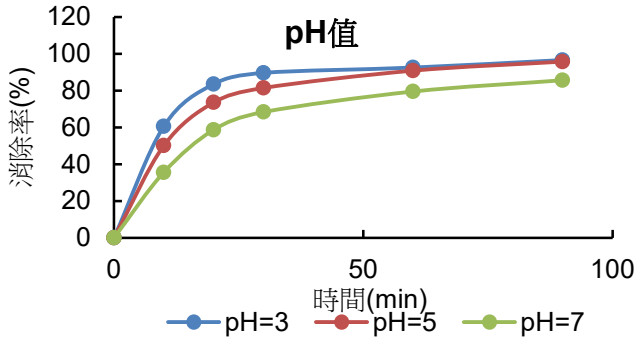
圖六(8)：薑黃幾丁膜之不同 pH 值對 Cu^{2+}吸附效果之影響

[討論]

1. 由圖六(8)可看出，pH值較高環境下對Cu^{2+} 之吸附效果略佳，但影響仍不顯著。
2. pH=7時，在20分鐘的平均速率較高，可能是在鹼中薑黃素和幾丁聚醣容易形成－O^{-}(=O)和－NH_2，並以O上或N上的孤電子對與Cu^{2+}形成配位共價鍵，提高吸附效果。

2. Cr^{6+}

[實驗結果]



圖六(9)：薑黃幾丁膜之不同 pH 值對 Cr^{6+}吸附效果之影響

[討論]

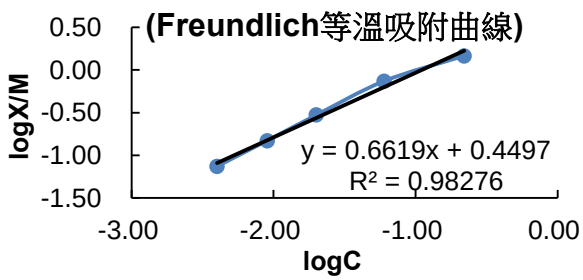
1. 由圖六(9)可看出，pH值偏低環境下對Cr^{6+}之吸附效果略佳，但影響仍不顯著。
2. pH=3時，在20分鐘的平均速率較高，可能是在酸中薑黃素和幾丁聚醣容易形成－OH_2^{+}和－NH_3^{+}與$Cr_2O_7^{2-}$ 相吸引，提高吸附效果。

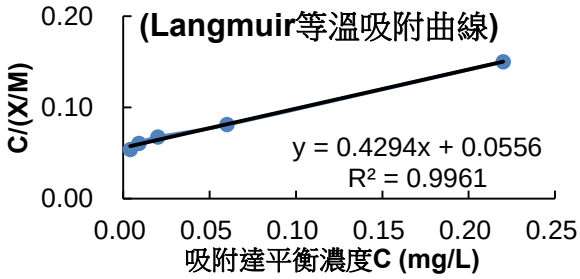
(五) 探討濃度對 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

1. Cu^{2}

[實驗結果] 表六(1)：Cu^{2+} 吸附表格

初濃度 (mg/L)	平衡濃度 C(mg/L)	被吸附重量 X(mg)	X/M (mg/g)	C/(X/M)	log C	log (X/M)
0.5	0.004	0.01488	0.0744	0.053763441	-2.397940009	-1.128427064
1.0	0.009	0.02973	0.14865	0.060544904	-2.045757491	-0.827835086
2.0	0.02	0.0594	0.297	0.067340067	-1.698970004	-0.527243551
5.0	0.06	0.1482	0.741	0.08097166	-1.22184875	-0.130181792
10.0	0.22	0.2934	1.467	0.149965917	-0.657577319	0.166430114





圖六(10)：薑黃幾丁膜之不同濃度對 Cu^{2+}吸附效果之影響，**Freundlich 等溫吸附曲線（左）、Langmuir 等溫吸附曲線（右）**

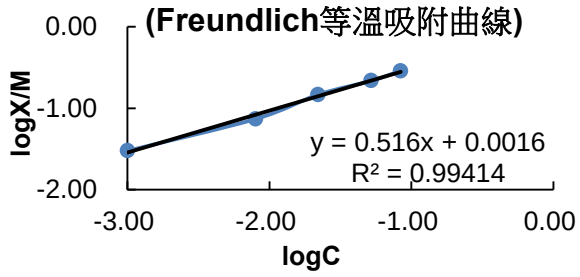
[討論]

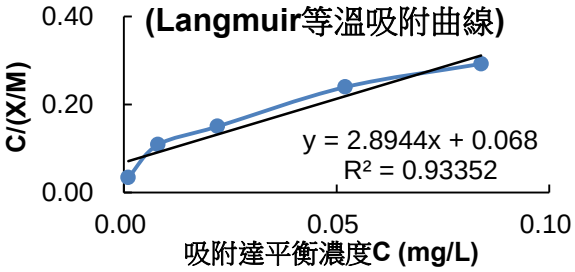
由實驗結果可知，1.0~10.0ppm Cu^{2+}之 Langmuir 等溫吸附曲線，R^2 值 0.996；由 Freundlich 所求得的圖形，R^2值 0.9828。兩者 R^2值沒有太大差距，但 Langmuir 等溫吸附式更為符合，此現象可能與 Cu^{2+}以螯合進行吸附有關，較偏向化學吸附的 Langmuir 等溫吸附式。由 Langmuir 求得最大吸附量為 2.32mg。

2. Cr^{6+}

[實驗結果] 表六(2)：Cr^{6+} 吸附表格

初濃度 (mg/L)	平衡濃度 C(mg/L)	被吸附重量 X(mg)	X/M (mg/g)	C/(X/M)	log C	log (X/M)
0.2	0.001	0.00597	0.02985	0.033500838	-3	-1.525055665
0.5	0.008	0.01476	0.0738	0.108401084	-2.096910013	-1.131943638
1.0	0.022	0.02934	0.1467	0.149965917	-1.657577319	-0.833569886
1.5	0.052	0.04344	0.2172	0.239410681	-1.283996656	-0.663140179
2.0	0.084	0.05748	0.2874	0.292275574	-1.075720714	-0.541513236





圖六(11)：薑黃幾丁膜之不同濃度對 **Cr^{6+}**吸附效果之影響，**Freundlich 等溫吸附曲線（左）、Langmuir 等溫吸附曲線（右）**

[討論]

由實驗結果可知，0.5~2.0ppm Cr^{6+}之Langmuir等溫吸附曲線，R^2值0.9335；而由Freundlich所求得的圖形呈現高度正相關，R^2值0.9941。此現象與先前探討的吸附機制相符合。主要以靜電引力進行吸附的Cr^{6+}，較偏向物理吸附Freundlich等溫吸附式。由Freundlich求得最大吸附量為1.00mg。

表六(3)：薑黃幾丁膜實驗整理

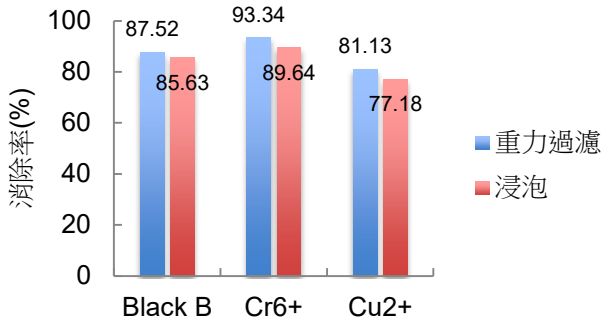
單片消除之最佳條件	時間 (min)	消除率 (%)	溫度 (℃)	pH 值
Black B	**60**	**98.06%**	**20**℃	**7**±0.2
Cr^{6+}最佳條件	**90**	**95.78%**	**20**℃	**3**±0.2
Cu^{2+}最佳條件	**120**	**99.34%**	**20**℃	**7**±0.2

七、薑黃幾丁膜之不同方式用以吸附及降解效果

[理由]雖然浸泡法效果好但費時，所以嘗試以薑黃幾丁膜過濾溶液，以增加吸附重金屬離子與降解有機物的效率。

(一)探討「重力過濾法」對 Black B 之降解與 Cu^{2+}、Cr^{6+}之吸附效果

[實驗結果]



圖七(1)：30 分鐘重力過濾法和浸泡法對 Cr^{6+}、Cu^{2+}之吸附與 Black B 之降解效果

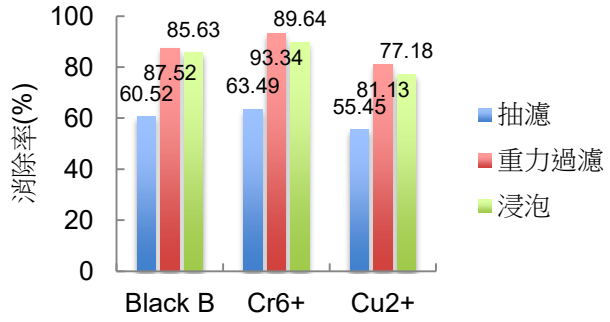
[討論]

1. 優點：有機降解以及金屬吸附經過一次重力過濾都比浸泡法達平衡時的效果要好。主要是因為溶液少量多次與膜接觸增加其降解或吸附效果。
2. 缺點：若要達到很好的降解或吸附效果仍需長時間。

(二)探討「抽濾法」對 Cr^{6+}、Cu^{2+}之吸附與 Black B 之降解效果

[理由]因為重力自然過濾法效率仍不佳，因此我們改良以外力抽濾的方式進行。

[實驗結果]



圖七(2)：抽濾法、30 分鐘重力過濾法和浸泡法對 Cr^{6+}、Cu^{2+}之吸附與 Black B 之降解效果

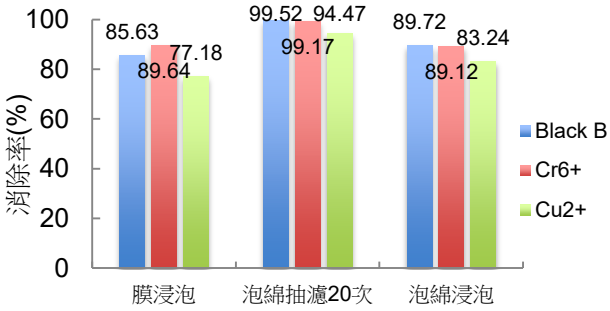
[討論]

1. 優點：使待淨化之污水通過薑黃幾丁聚醣膜之速率大為提升
2. 缺點：當片數太少時，抽濾速率由於過快，薑黃幾丁聚醣膜尚未降解Black B或使鉻、 銅螯合於其上，但溶液卻已通過，淨化效果不佳，且若力道不慎，亦使膜容易破裂；當片數太多時，卻無法抽濾。

(三)探討「薑黃幾丁泡綿針筒法」 Cr^{6+}、Cu^{2+}之吸附與 Black B 之降解效果

[理由] 因為重力過濾法和抽濾法效果都不佳，可行性不高。為了有效發揮吸附能力，試著另尋其他材料結合吸附劑。發現將薑黃幾丁聚醣黏附在多孔性泡綿（黏附的薑黃幾丁聚醣約 0.4g，相當於 2 片膜）上，效果極佳，因此下面改良實驗皆以此方式進行。

[實驗結果]



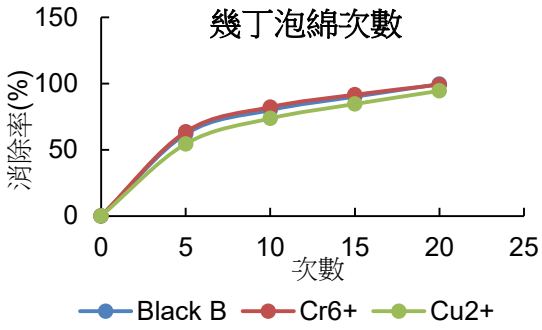
圖七(3)：膜浸泡、泡綿抽濾、泡綿浸泡對 Cr^{6+}、Cu^{2+}之吸附與 Black B 之降解效果

[討論]

比較膜浸泡、泡綿抽濾、泡綿浸泡對 Cr^{6+}、Cu^{2+}之吸附與Black B之降解效果，**泡綿抽濾20次**效果優於**泡綿浸泡法**優於**膜浸泡法**。

(四)探討抽濾次數對「薑黃幾丁泡綿針筒法」之吸附與降解效果影響

[實驗結果]



←圖七(4)：抽濾次數對「幾丁聚醣多孔性泡綿針筒法」吸附 Cr^{6+}、Cu^{2+}與 Black B 之降解之效果

[討論]

抽濾次數越多，消除率愈高。抽濾20次，Black B消除率99.52%；Cr^{6+}消除率99.17%；Cu^{2+}消除率94.47%。

(五)探討濃度對「薑黃幾丁泡綿針筒法」之吸附效果影響

[實驗結果]

表五：濃度對「幾丁聚醣泡綿針筒法」之吸附效果(註：抽濾 20 次)

污染物種類	Black B			鉻離子溶液			銅離子溶液		
原濃度(ppm)	10	30	50	0.5	1.0	2.0	2.0	5.0	10.0
消除率(%)	99.73	99.60	99.52	99.56	99.29	99.17	98.13	96.54	94.47

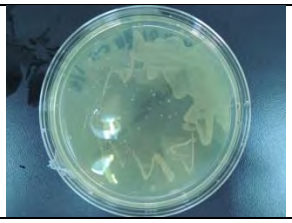
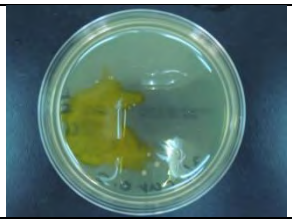
[討論]

1. 濃度愈低，消除率越高。且三者最終消除率都極高。
2. 優點：與膜浸泡法比較，泡綿與溶液的接觸面積較大，所以吸附量大幅提升。泡綿浸泡法仍然耗時；改以抽濾的方式，不但效率高，且溶液重覆接觸大面積幾丁聚醣，吸附效果極佳。
3. 缺點：濃度越高，所需抽濾次數越多，費力不便。

八、薑黃之抑菌效果：探討時間、光、濃度對抑菌效果之影響

(一)探討薑黃濃度對抑菌效果之影響

[實驗結果]

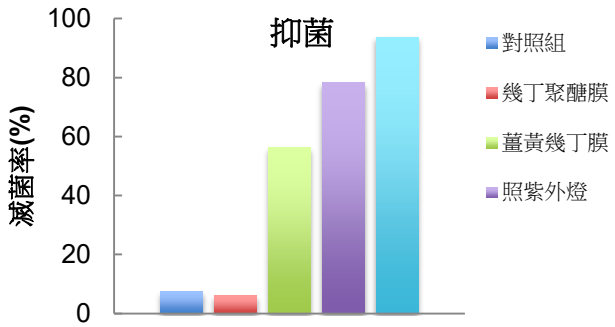
無抑菌處理	薑黃素液體抑菌處理	薑黃幾丁+紫外光抑菌處理
		

[討論]

由上照片可知，薑黃液具有極佳之滅菌效果，幾乎皆無殘留菌落數，僅需加入100μl之薑黃液，即可發揮如此功效。

(二)探討薑黃幾丁聚醣複合材料之滅菌效果

[實驗結果]



圖八(1)：薑黃幾丁聚醣複合材料之滅菌效果

[討論]

1. 加入幾丁聚醣膜與否，幾乎不影響菌落數之變化，幾丁聚醣膜無法達到抑菌之功效。
2. 將幾丁聚醣加入薑黃液所配置出之薑黃幾丁聚醣膜，則可達到約50%之滅菌率。
3. UV燈亦具有極佳之滅菌效果，因此我們將薑黃幾丁聚醣膜加入菌液後照UV燈，滅菌立極佳，約可達到近90%之滅菌率。

九、自行設計一套簡易有效的「有機物降解暨重金屬離子吸附之自動檢測循環系統」

(一)設計製作重金屬離子吸附與有機物降解暨檢測系統

[系統演進過程]

薑黃膜浸泡法(太耗時)

⇩ 增加時間效率

重力過濾法(仍太耗時)

抽濾法(力道過大，膜易破)

⇩ 增加時間效率
找尋不易破之材質

改使用多孔性泡綿+抽濾裝

⇩ 結合

抽濾多次費力，加入「循環」概念

新增檢測裝置，加入「即時監測」概念

第三代-自製循環暨檢測系統

[討論]

【製作理由】
抽濾裝置重複多次後淨化水質的效果極佳，但重複抽濾卻太過繁瑣，因此加入『循環』的概念。將裝一沉水幫浦增進效率，多孔式泡棉增加待淨化之液體與薑黃幾丁聚醣之接觸面積，而由前實驗結果可知，照紫外燈對降解Black B有顯著效果，因此加裝一紫外燈，且照射液體面積大，淨化效率高，另外，檢測箱之蓋子使用全新3D列印技術，精密的接合橡皮管，絕對無外露液體之缺點。而加裝光電二極體則為了『及時監控』淨化污水之情況。

【比較文獻、前述實驗與此裝置所使用之媒材】

1.循環系統：泡棉針筒法之簡易抽濾裝置

適合作為實驗研究及教學實驗，但操作繁瑣、費時且會接觸到樣品，污染試液。

⇩

以污水箱用橡皮管連結此裝置，並於其中加裝沈水馬達，增進循環與攪拌效率

2.即時檢測系統：文獻中使用之光敏電阻與此裝置之光電二極體

光敏電阻雖然成本較低但不穩定，數值容易變化浮動

⇩

使用光電二極體，依然成本不高且擁有較穩定之優點

【光電二極體作用原理】

光電二極體(photodiode) 是一種能夠將光根據使用方式，轉換成電流或者電壓訊號的光探測器。透過一高能量之光子穿越溶液，撞擊二極體後產生光電流，電流訊號再轉換為電壓，電壓差值成正比關係。若為濃度較大之液體，則光子不易穿越溶液中之粒子撞擊至二極體，產生之電流較小且電壓亦較小，由此可知，溶液濃度愈高，則測出之電壓會較小。

【系統優點】

(1)改善應用實驗中抽濾法常使膜易破掉之缺點，使用多孔性泡綿使接觸面積變大，提升其淨水速率。
(2)製成循環系統，省時又省力，並且兼顧原有的降解和吸附效果。
(3)自製可拆解式多孔性泡綿，可替換且不造成多餘的資源浪費，環保而節省資源。
(4)即時監測，能使立即瞭解當時水中離子濃度，進一步可減少系統運轉時間，節省能源。
(5)整套系統成本低廉而品質優良，可廣為推廣。

(二)自製簡易分光光度儀，Black B 、$Cr^{6+}_{(aq)}$、$Cu^{2+}_{(aq)}$ 吸光度分析法之建立

[實驗結果]

1. Black B

表九(1)：利用簡易分光光度儀(紅)，在不同濃度時所測得之吸收度

濃度(ppm)	**0.00**	**10.00**	**30.00**	**50.00**	**70.00**	**90.00**	**100.00**
吸收度(A)	0.000	0.017	0.041	0.066	0.094	0.129	0.139

2. $Cu^{2+}_{(aq)}$

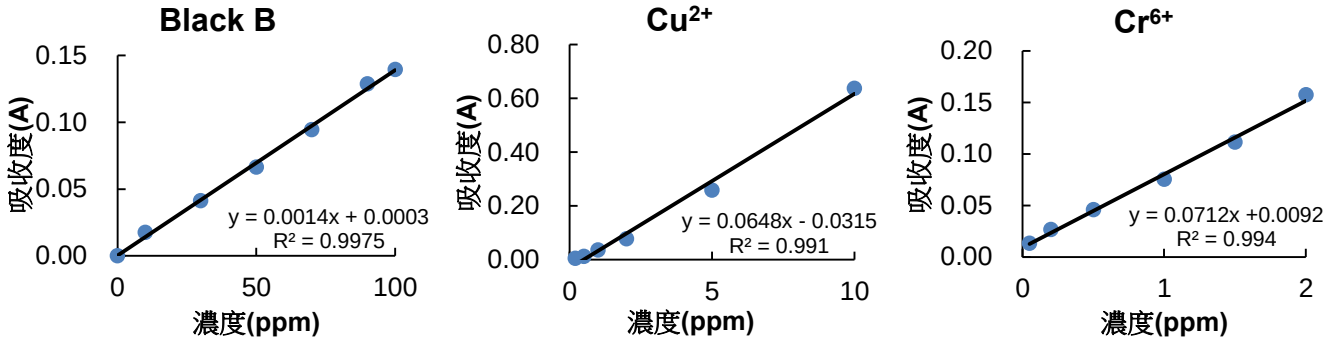
表九(2)：利用簡易分光光度儀(藍)，在不同濃度時所測得之吸收度

濃度(ppm)	**0.00**	**0.20**	**0.50**	**1.00**	**2.00**	**5.00**	**10.00**
吸收度(A)	0.000	0.004	0.012	0.035	0.077	0.257	0.637

3. Cr^{6+}

表九(1)：利用簡易分光光度儀(綠)，在不同濃度時所測得之吸收度

濃度(ppm)	**0.00**	**0.05**	**0.20**	**0.50**	**1.00**	**1.50**	**2.00**
吸收度(A)	0.000	0.013	0.027	0.046	0.075	0.111	0.157



圖九 (1)：Black $B_{(aq)}$、$Cu^{2+}_{(aq)}$、$Cr^{6+}_{(aq)}$之檢量線

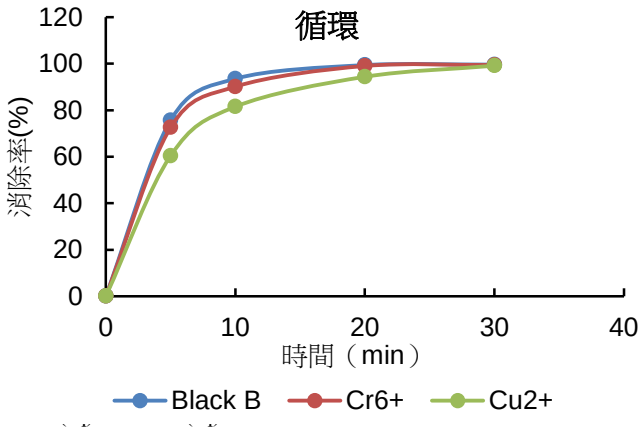
[討論]

比較各 LED 燈後，以 Black B 紅光、Cu^{2+}藍光、Cr^{6+}綠光，均為其濃度與電阻值呈線性關係之最佳條件，以所測出之電阻值建立一檢量線，作為此後分析濃度之方法。

(三)探討自製『簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統』

對 Black B、Cr^{6+}、Cu^{2+}之吸附效果

[實驗結果]



[討論]

薑黃複合材料不論降解 Black B 或吸附 **Cr^{6+}**或 **Cu^{2+}**效果俱佳。而且循環系統兼具浸泡法和抽濾法之優點，

Cr^{6+} 吸附 20 分鐘消除率約為 99.03%，

Cu^{2+}吸附 30 分鐘消除率 94.38%，

Black B 降解 30 分鐘消除率 99.41%。

陸、結論

一、薑黃素降解 Black B 實驗

照紫外燈、將 pH 值控制 7.0 以上，可達到薑黃液降解 Black B 之最佳效果。

二、薑黃幾丁聚醣膜降解 Black B 實驗

2 片 0.2ppm 薑黃幾丁聚醣膜於常溫，照紫外燈下，60 分鐘時消除率可達 98.47%，效果極佳。

三、薑黃幾丁聚醣膜吸附 Cu^{2+}、Cr^{6+}實驗

2 片 0.2ppm 薑黃幾丁聚醣膜於常溫，照紫外燈下，對 Cr^{6+}、Cu^{2+} 60 分鐘時，消除率分別為 93.67%與 95.63%。

四、薑黃幾丁聚醣複合材料之應用：

改良傳統膜浸泡法，以多孔式泡綿增加接觸溶液表面積，加上自製抽濾裝置，使淨水效果與效率達最好。

勝

表三：薑黃幾丁聚醣複合材料應用研究整理

消除方式	薑黃幾丁膜浸泡	重力過濾法	薑黃幾丁膜抽濾法	薑黃幾丁泡綿抽濾法
Black B 消除率 (%)	46.52%	87.52%	60.52%	99.52%
Cr^{6+}消除率 (%)	80%	93.34%	63.49%	99.17%
Cu^{2+}消除率 (%)	77.18%	81.13%	55.45%	94.47%

五、自行研發『簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統』：

1.綜合薑黃與幾丁聚醣的吸附研究與改良，加上 LED 燈與光電二極體的檢測裝置，利用電壓值與濃度的變化，研發一簡易的『重金屬離子吸附與有機物降解暨檢測的自動循環系統』。

2.系統對 2.0ppm 之 $Cr^{6+}_{(aq)}$循環 20 分鐘消除率為 99.41%，10.0ppm 之 $Cu^{2+}_{(aq)}$循環 30 分鐘 消除率為 94.38%，50.0ppm 之 Black $B_{(aq)}$循環 30 分鐘消除率 為 99.03%

3.本系統兼具薑黃幾丁膜之優點「全天然、無毒、生物可分解」更擁有「高效率、低成本、即時檢測」之特點確實達成本研究之目標有效吸附金屬離子與降解有機物

六、總結：

本實驗結合了薑黃素與幾丁聚醣，製成新式『全天然、無毒、生物可分解』污水處理複合材料，解決了以往薑黃素在水中與重金屬離子螯合卻無法分離淨化之缺點，且加上薑黃素亦可降解有機物之優點，自行設置一組『簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統』。

簡易分解有機物及吸附重金屬離子之自動循環系統

類別	有機色素	金屬離子	抑菌
優點	有效率降解有機色素，且不殘留本身色素，確實淨化污水	有效率吸附金屬離子，搭配簡易檢測系統，即時處理污水問題。	簡便，全天然、無毒，有效淨化水質。
改善	改善薑黃素將解完有機色素卻無法完全降解本生使污水呈淡黃色之缺點	改善原本薑黃素能在水中與金屬螯合卻無法清除之缺點	

更快速，更有效，即時檢測污水淨化程度

柒、未來展望

由此實驗發現了一種『**全新的污水處理方式-薑黃幾丁聚醣膜**』，具備了天然、無毒性之極大優點，且**不造成任何環境污染**，**生物可分解**之環保材料，未來不僅可以更廣泛的運用在大型污水處理廠，更可以居家使用，人人皆可在家自行製作。另外，亦可推廣出『**新式薑黃 bar**』，只要放入水裡，可達到『**清除有機色素、清除重金屬離子、抑菌**』三合一的極佳效果，並且薑黃素只要與複合材料結合後，便不會溶出，不僅可淨水，也不會殘留薑黃素顏色與氣味。

捌、參考資料

1. 行政院環境保護署(民 88 年)。放流水處理技術檢討-放流水標準平均值管制(計畫編號：EPA-88-U1G1-03-012))。
2. 李宜娟, (民 92 年), 以職場勞工與動物實驗課程探討鉻(VI/III)暴露下尿中鉻之排除情形與動力學。國立成功大學環境醫學研究所碩士論文,
3. 張貴錢, (民 92 年), 利用奈米零價鐵粉處理受鉻污染水體之研究, 元智大學化學工程學系碩士論文,。
4. 陳秋炳主編,高二基礎化學(二). 台南市：翰林出版事業股份有限公司出版, (民 105 年).
5.2012 高雄市第 52 屆中小學科學展覽會高中化學科第一名， 結合幾丁聚醣及聚麩胺酸對重金屬離子吸附之研究－自製簡易吸附暨檢測之循環系統作品說明書
6. Karayannis, M.I.; Samios, D.N. and Gousetis, C.H.P., (1977), *Analytica Chimica Acta*, 93, P.275.
7. Muzzarelli, R. A. A., Rocchetti, R., (1985), "Determination of the degree of acetylation of chitosans by first derivative ultraviolt spectrophotometry.", *Carbohydrate Polymer.,*5, P.461.
8. Poulicek, M., Voss-Foucart, M. F., Jenuianx, C., (1986), Chitinoprotein Complexes and Mineralization in Mollusk Skeletal Structures, In Chitin and Chitosan, Proceedings of the Third International Conference on Chitin and Chitosan, New York, USA., 7.
9. Udaybhaskar, P., Lyengar, L., Rao, A. V. S., (1990), "Hexavalent chromium interaction with chitosan.", *J. Appl. Ploym. Sci.,* 39, P.739.
10. Liu Ming Han, (2001). Investigation on the Adsorption of Mercury Chloride by Powdered Activated Carbon
11. Saifuddin M. Nomanbhay, Kumaran Palanisamy, (2005), "Removal of heavy metal from industrial wastewater using chitosan coated oil palm shell charcoal.", *Electronic Journal of Biotechnology.*, 8, .43-50
12. Industrial Membrane Separation Technology Authors: **Scott**, K., **Hughes**, R.
13. Comparison for Chemical, Electro-coagulation and Fenton process for treating wastewater from Latex Coating process
14.Rivas,F.J., Beltran,F.J., Frades, J., Buxeda, P., (2001). "Oxidation of p-hydroxybenzoic acid by Fenton's reagent." *Wat. Res, 35(2), 387-396*
15. A. Fujishima, K. Honda, (1972). Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature 238* P.37-38.
16. Wanninger, S., Lorenz V., Subhan, A., Edelmann, Frank. T., (2015), "Metal complexes of curcumin – synthetic strategies, structures and medicinal applications" *Chem. Soc. Rev.*, **44**, 4986-5002.
17.Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. Volume 10, Issue 2, June 2009, Pages 81–95
18.Molecules 2014 ,The Chemistry of Curcumin : From Extraction to Therapeutic Agent
19.Metal complexes of curcumin-synthetic strategies, structures and medicinal applications
20.IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology(IOSR-JESTFT) ISSN:2319-2402, ISBN:2319-2399. Volume 1, Issue 3 (Sep-Oct. 2012), PP01-16
21.Preparation and Characterization of Chitosan-Sodium Tripolyphosphate- Curcumin Nanoparticles

【評語】050209

本實驗是結合薑黃素與幾丁聚醣、來消除有機污染物、重金屬和細菌、來達到淨化水質的目的、同時也製作了檢測的系統。結合薑黃素和幾丁聚醣膜，循序漸進探討並研發分解有機物及吸附重金屬的自動循環系統，结合理論和實務應用、內容詳細完整、值得嘉許。

另外能夠將化學反應以化工程序概念設計出連續操作的雛型機，有相當應用的潛力、自製簡易光度計也是重要的成果、報告的撰寫和圖表品質也相當優秀。

此工作既然為清除污染物之用、作者該將經濟的可行性和將規模的放大也列入考量。

作品海報

研究動機與目的

現代工業蓬勃發展，有機物和重金屬離子產生和排除儼然成為環境保護的重要課題。我們從文獻中發現薑黃素**『在紫外燈照射下產生超氧陰離子可降解』**及**『螯合金屬離子』**之功效，因此本實驗便試著以薑黃素來研發出一種**效率高、環保且無污染**全新的污水處理方式，不僅可降解有機物，亦可吸附重金屬離子，進而達成淨水之目的。

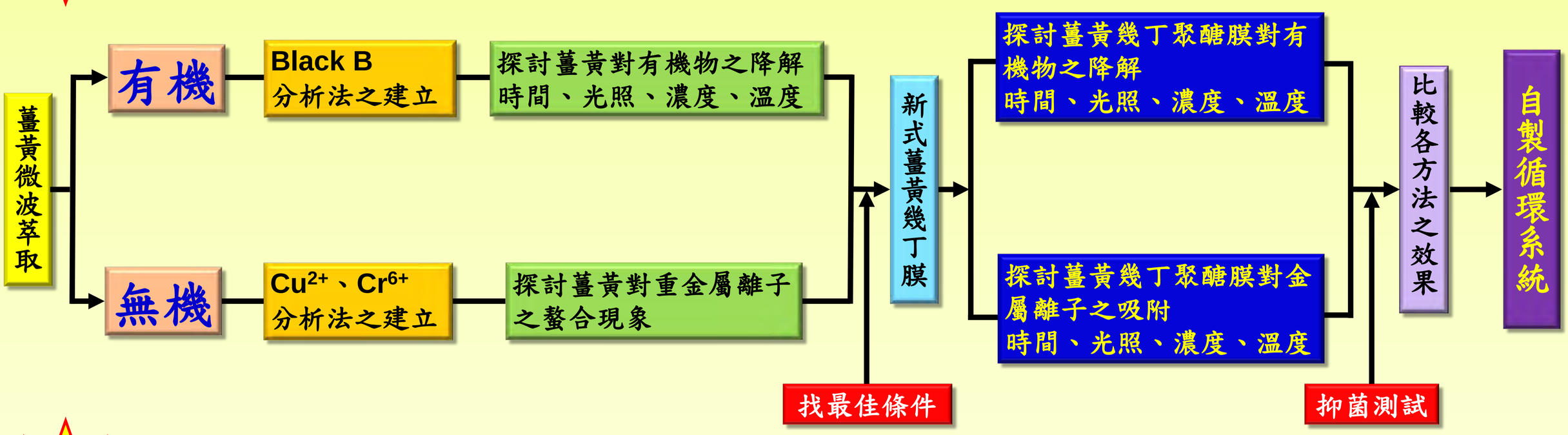
本研究首先找出薑黃素降解有機物之最佳條件，並證實其的確具有螯合重金屬離子之功效，以此為基礎並結合幾丁聚醣，達到淨水之目的。並比較不同方法，找出消除率最佳之薑黃幾丁聚醣泡棉針筒法，研發出**『全天然、無毒、生物可分解』**且**『高效率，低成本，即時檢測』**全新薑黃幾丁聚醣環保材料-自製有機物降解暨重金屬離子吸附之自動檢測循環系統(以下簡稱：新式污水處理系統）。

實驗器材

儀器：HPLC、家用微波爐、超音波震盪儀、恆溫培養箱、震盪培養機、高壓蒸氣滅菌釜、無菌操作台、pH測量儀、分光光度計。

藥品：乙醇、幾丁聚醣、 Black B有機染料、硫酸銅、重鉻酸鉀、硝酸鐵、 LB培養液、 薑黃素。

實驗流程



實驗原理與結果

一、Black B $_{(aq)}$ 、鉻離子$Cr^{6+}_{(aq)}$、銅離子$Cu^{2+}_{(aq)}$分析法之建立－比色法

吸光度Y → 樣品濃度X → 消除率

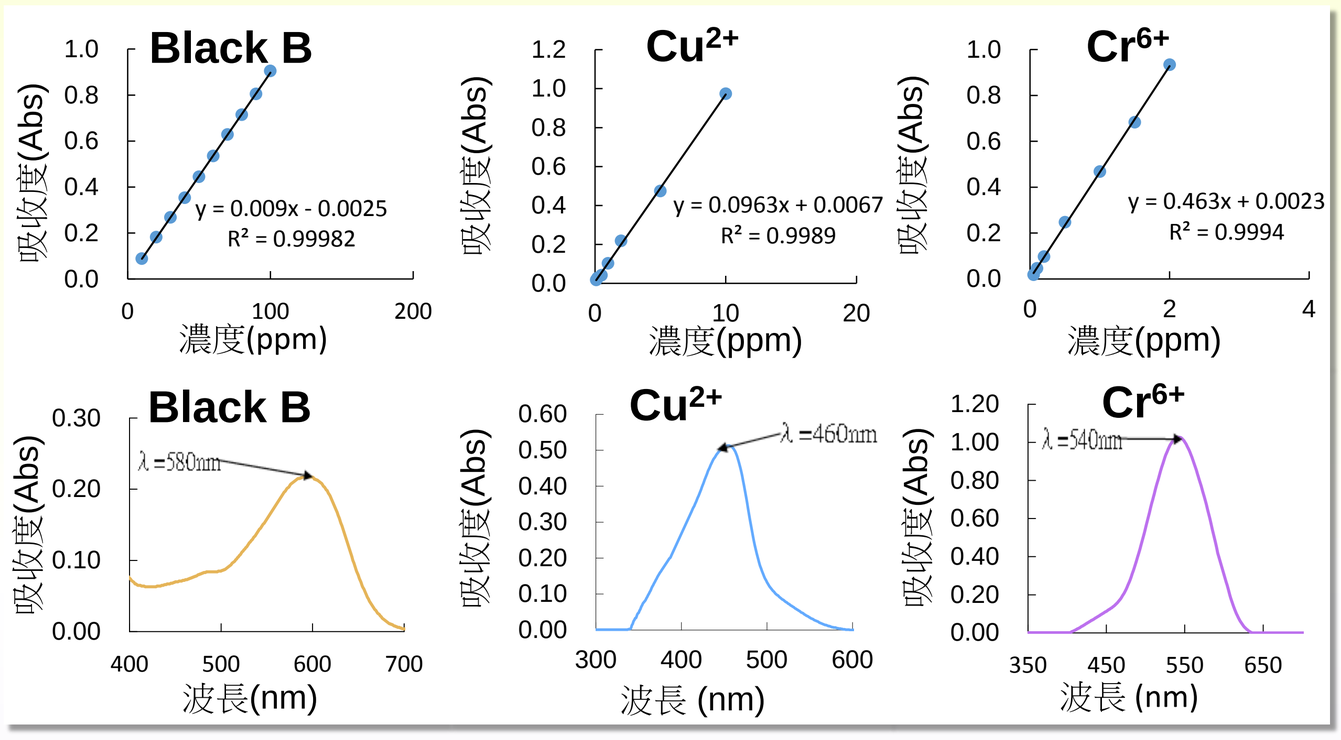
將吸光度Y 帶入校正曲線

$$\frac{\text{原濃度-樣品濃度X}}{\text{原濃度}} \times 100\%$$

【自製新式污水處理系統】

利用低成本光電二極體，以LED燈(由溶液顏色不同而進行調整燈色)照射溶液。

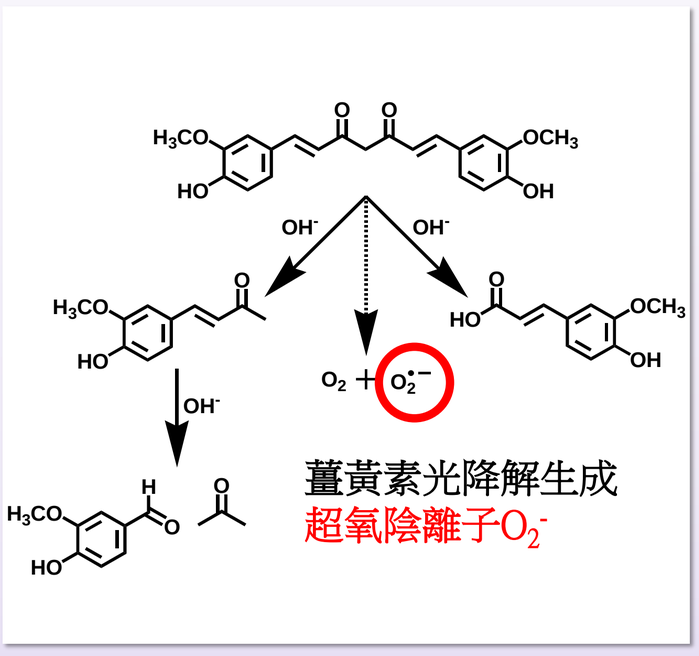
隨著測得電壓值的變化，可推知溶液不同的吸收度，進而得其濃度。反應槽的溶液回流後，接上一自製檢測裝置，讓循環的濾液能達成即時檢測的目標。



圖： Black B $_{(aq)}$、鉻離子$Cr^{6+}_{(aq)}$、銅離子$Cu^{2+}_{(aq)}$之檢量線與波長對吸收度作圖

二、薑黃素對Black B之降解

薑黃素對Black b之降解原理

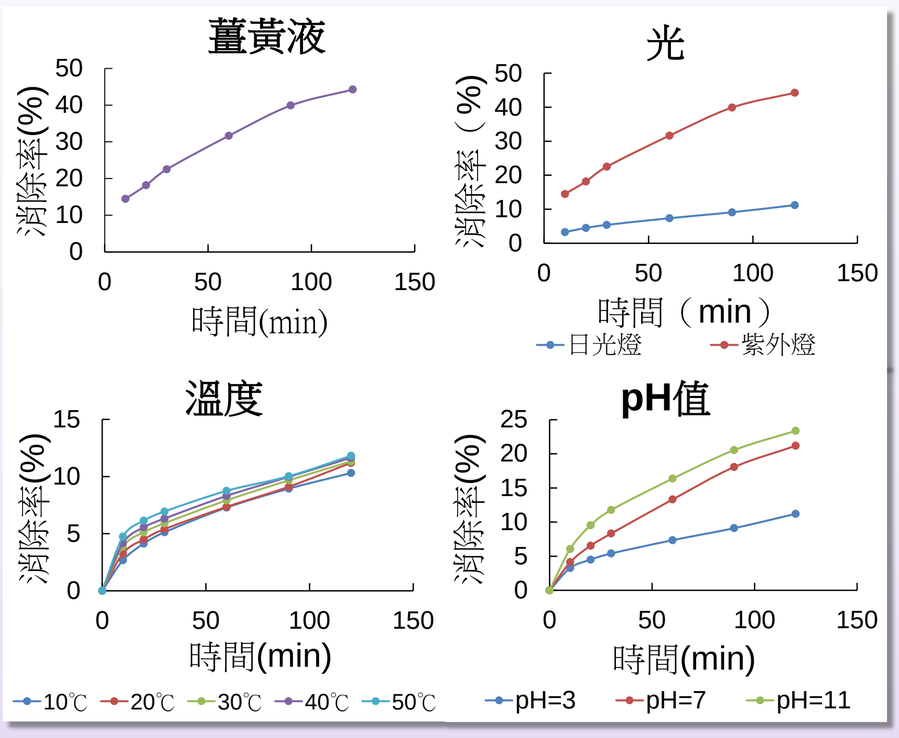


圖： 薑黃素降解原理圖

表： 薑黃素對Black B $_{(aq)}$降解消除率

時間	薑黃降解Black B反應達120分鐘，消除率達44.24%。
光	照日光燈120分鐘消除率僅11.2%；紫外燈則可達44.24%。
溫度	溫度愈高降解效果略較佳，但溫度並非主要影響降解效果之因子。
pH值	pH值並非主要影響降解效果之因子。

薑黃素對Black b之降解結果



圖：薑黃液對 Black B $_{(aq)}$降解消除率圖

三、薑黃素對重金屬離子之螯合

薑黃素對重金屬離子之螯合結果

表：薑黃液對金屬螯合

薑黃溶液 (ml)	0.5 ~ 2.0	2.5	3.0
1ml Cu^{2+}	亮黃色沈澱	橘色澄清	橘色澄清
1ml $Cr_2O_7^{2-}$	亮黃色沈澱	橘色澄清	橘色澄清
1ml Fe^{3+}	紅褐色沈澱	血紅色澄清	血紅色澄清
1ml Ni^{2+}	亮黃色沈澱	橘色澄清	橘色澄清

薑黃素對重金屬離子之螯合照片

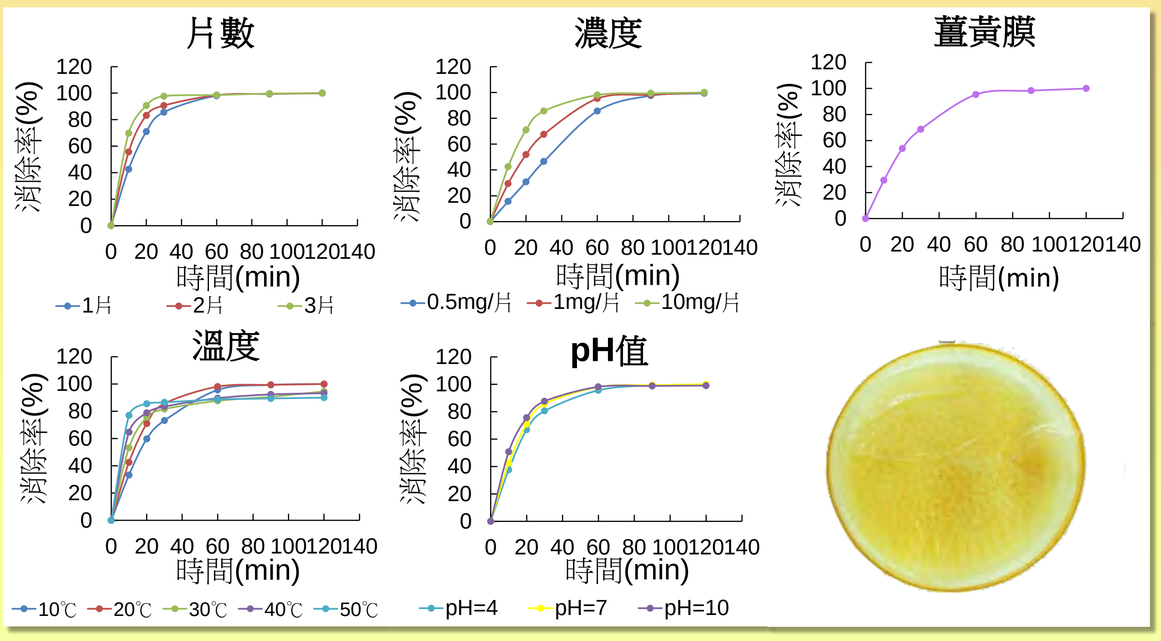
圖：薑黃液對金屬螯合圖

四、結合薑黃幾丁聚醣降解有機物能力探討

【薑黃幾丁聚醣膜製作理由】

為了解決薑黃素加入水中，即便可降解色素和螯合離子，但水將因薑黃素而呈黃色，淨水完後依然無法直接使用，所以將幾丁聚醣作為一承載薑黃素之環保載體，讓幾丁聚醣以氫鍵將薑黃素鎖住，實驗發現薑黃素不再被溶出，具優良淨水效果。

薑黃幾丁聚醣膜降解有機物結果



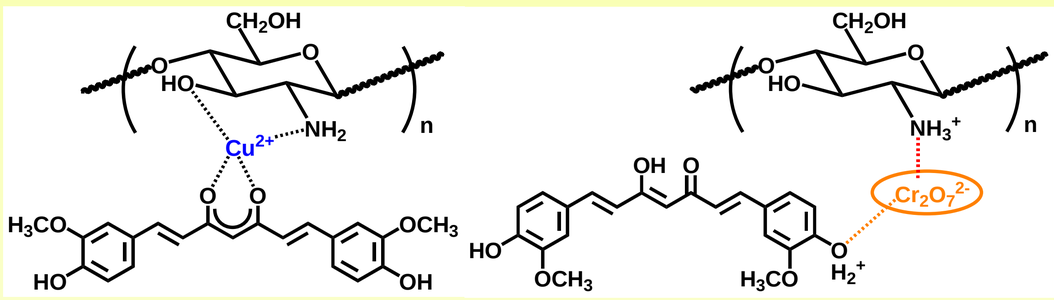
圖：薑黃幾丁膜降解Black B

表：Black B 降解條件

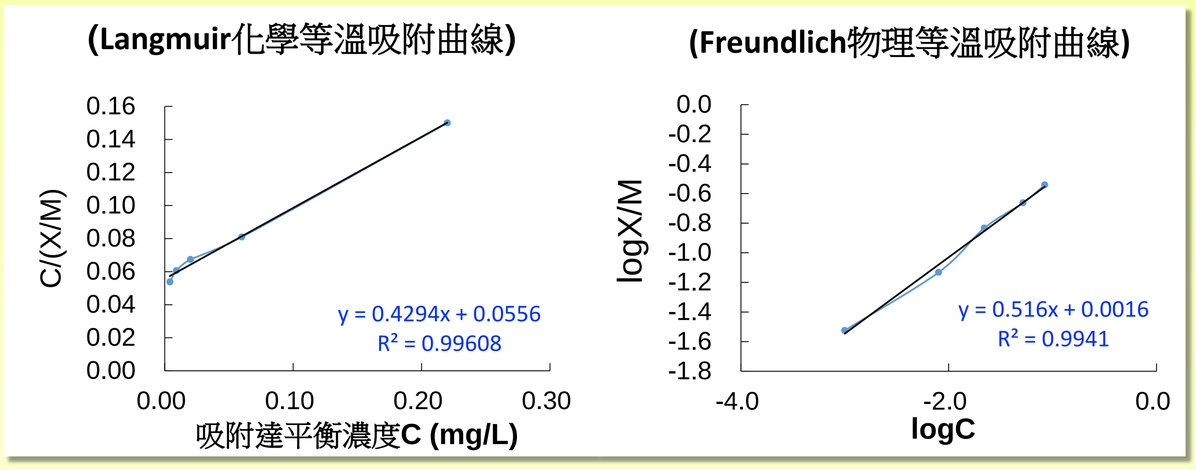
時間	Black B在紫外燈照射下，一小時消除率爲98.06%。
片數	三片薑黃幾丁聚醣膜於30分鐘時消除率即達97.69%。
濃度	10mg/片之薑黃幾丁聚醣膜降解Black B至120分鐘，消除率99.95%
溫度	並非影響降解效果之重要因子，但以20度為最佳。
pH值	並非影響降解效果之重要因子，但鹼性環境下效果略較佳。

五、結合薑黃幾丁聚醣吸附重金屬離子能力探討

薑黃幾丁聚醣膜吸附原理

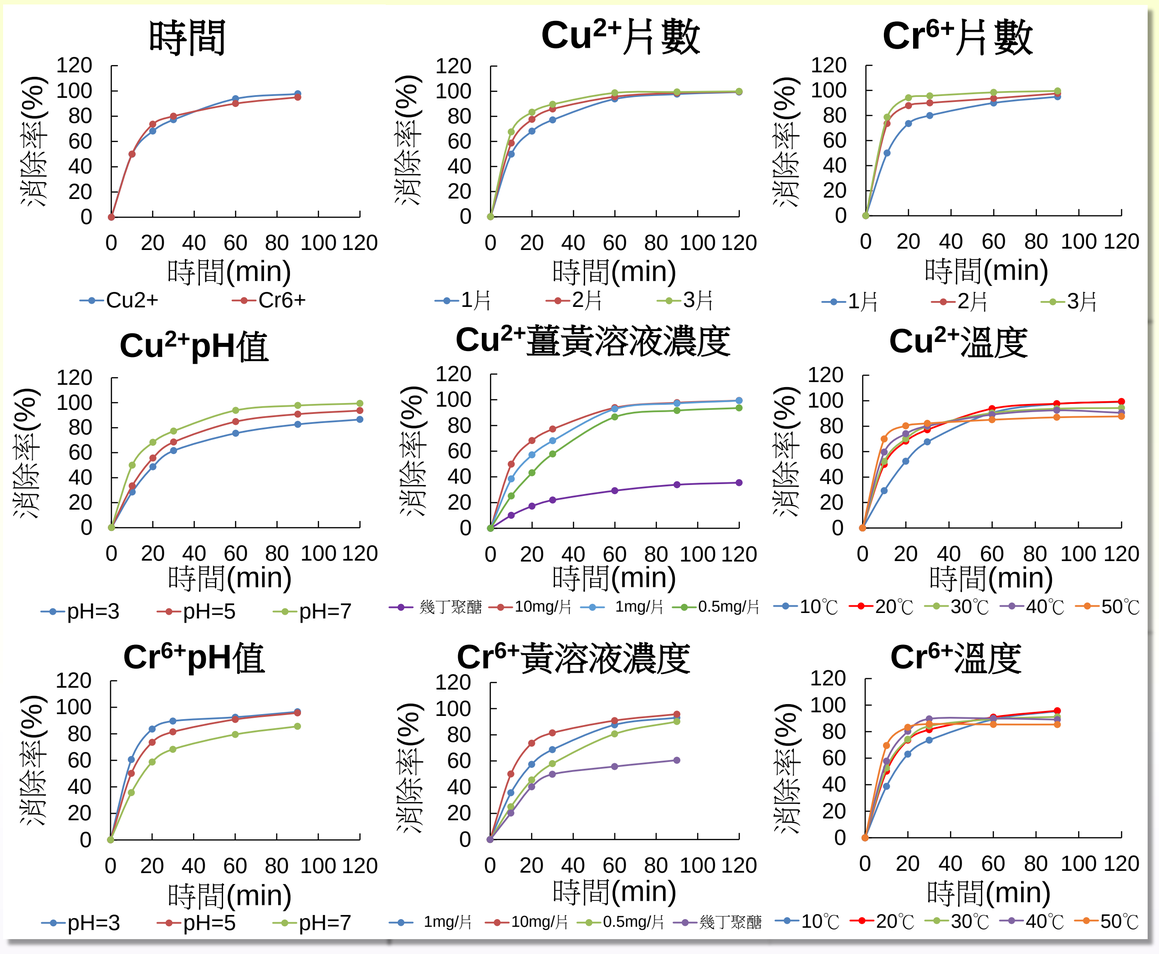


圖：薑黃幾丁膜吸附原理



圖：Cu^{2+}較偏向Langmuir化學等溫吸附式；
Cr^{6+}較偏向Freundich物理等溫吸附式。

薑黃幾丁聚醣膜吸附重金屬離子結果



圖：薑黃幾丁膜吸附金屬

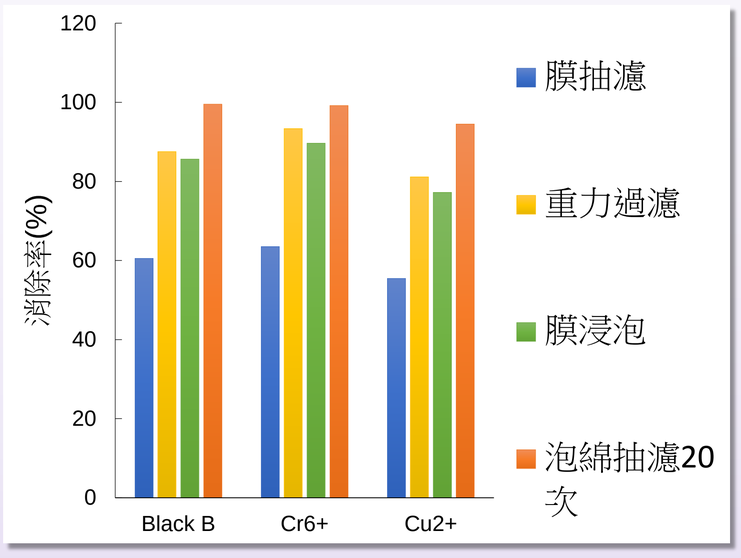
表：重金屬離子吸附條件

時間	時間越長對Cu^{2+}、Cr^{6+}的吸附效果越佳。
片數	片數越多，消除效果越佳。
薑黃溶液濃度	薑黃含量越高之膜，吸附效果越佳。 10mg/片的薑黃幾丁聚醣膜，90分鐘時對Cu^{2+}消除率為97.14%； Cr^{6+}的消除率 95.18%； 未加薑黃的幾丁聚醣膜，Cu^{2+}消除率僅33.90%；Cr^{6+}消除率僅60.61%。
溫度	非影響吸附效果之重要因子。
pH值	非影響吸附效果之重要因子。

六、薑黃幾丁膜之不同方式用以吸附及降解效果

薑黃膜浸泡法 —太耗時→ 重力過濾法 —仍太耗時→ 薑黃膜抽濾法 —力道過大，膜易破→ 改使用多孔性泡綿＋抽濾裝置 → 自製循環兼檢測系統

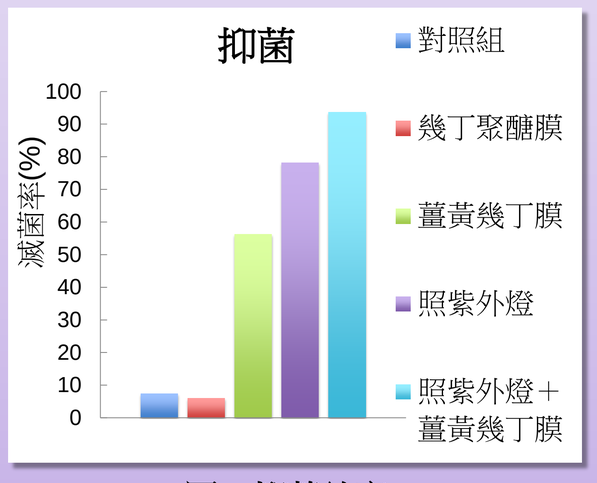
增加時間效率　再次增加時間效率　找尋不易破之材料　加入循環與即時檢測的概念



圖：不同方式的消除效果

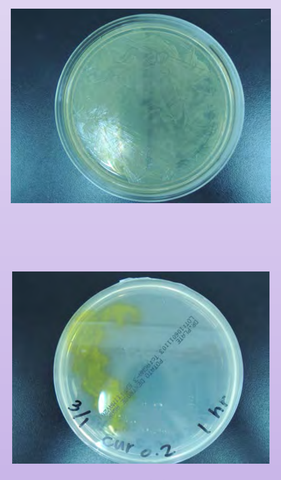
幾丁泡綿抽濾20次消除率為：Black B為99.52%、Cu^{2+}為94.47%、Cr^{6+}為99.17%

七、薑黃之抑菌效果

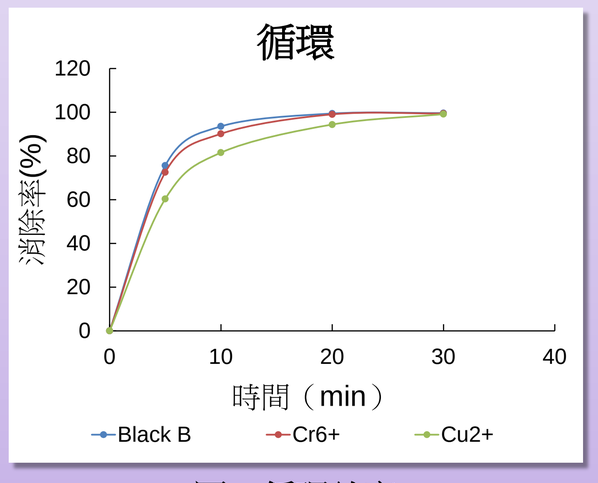


圖：抑菌效率

1.薑黃素確實具極佳之抑菌力，僅需100ul薑黃液，培養皿則幾乎無菌落生長。
2.照紫外光下，放入薑黃幾丁聚醣膜，滅菌力極佳，可達到約90%的滅菌力。

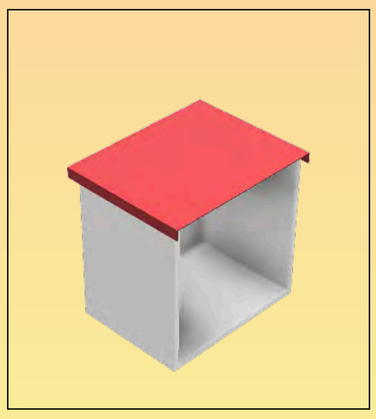


圖：抑菌照片

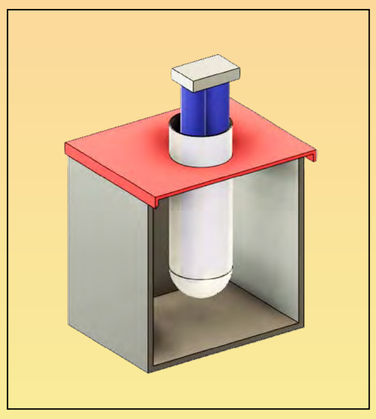


圖：循環效率

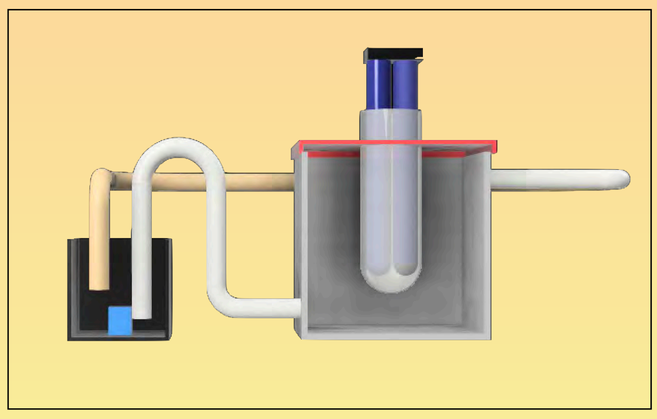
八、自行設計一套簡易有效的「有機物降解暨重金屬離子吸附之自動檢測循環系統」



加裝紫外燈

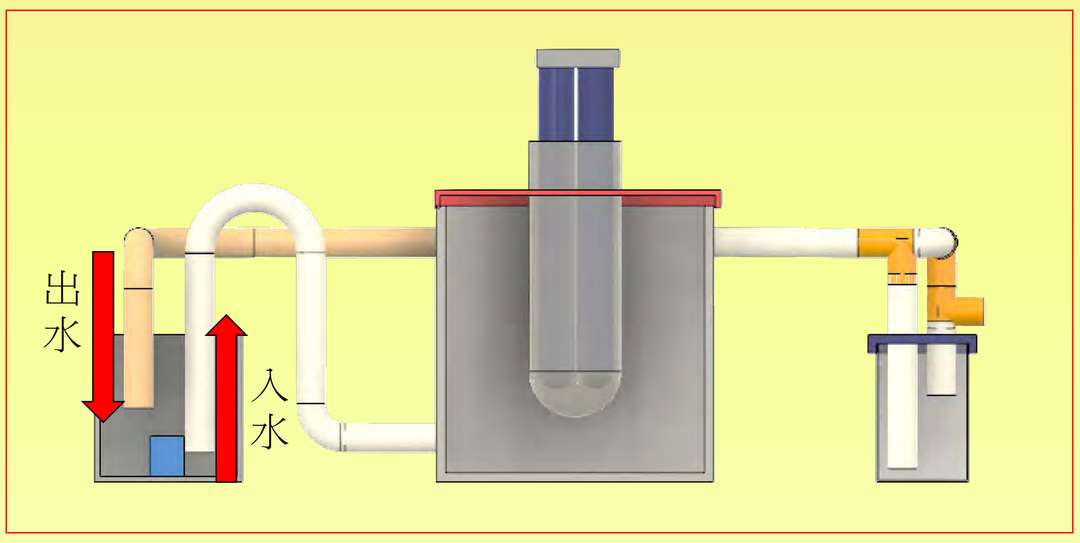


加裝循環系統

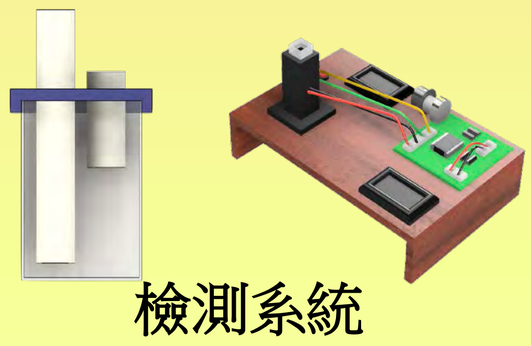


第一代簡易系統　　第二代紫外燈系統　　第三代循環系統

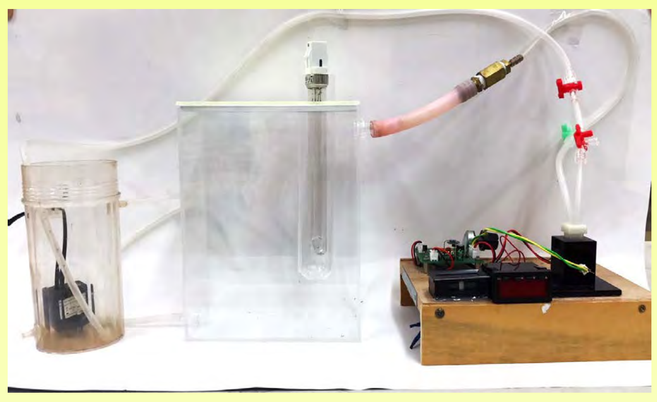
加裝檢測系統



第四代即時檢測系統



檢測系統



結論

(1)薑黃液最佳條件：120分鐘、照紫外燈Black B消除率可達44.24%

(2)薑黃幾丁聚醣膜浸泡法最佳條件：三片10mg/片的薑黃幾丁膜、60分鐘、照紫外燈
Black B消除率98.56%；Cu消除率98.69%；Cr消除率98.47%

勝

表：不同方法於**30**分鐘內的消除率

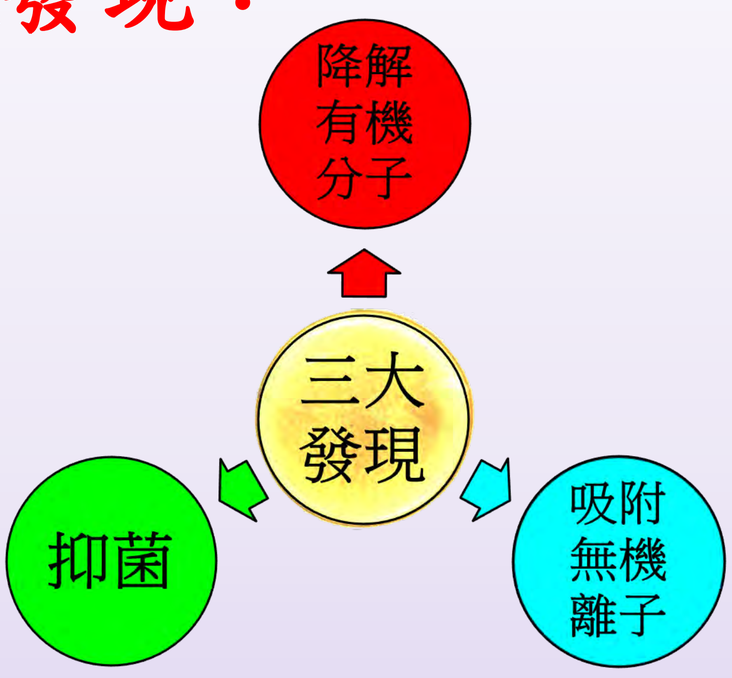
消除種類	薑黃液	薑黃幾丁膜浸泡法	重力過濾法	薑黃幾丁膜抽濾法	薑黃幾丁泡綿抽濾法
Black B消除率 (%)	22.5%	46.52%	87.52%	60.52%	99.52%
Cr^{6+}消除率 (%)	可沉澱	80.11%	93.34%	63.49%	99.17%
Cu^{2+}消除率 (%)	可螯合	77.18%	81.13%	55.45%	94.47%

(3)自製消除有機物與重金屬離子檢測循環系統：
系統對Black B循環30分鐘消除率為99.61%、$Cu^{2+}_{(aq)}$ 消除率為99.13%、 $Cr^{6+}_{(aq)}$消除率為99.42% 。

表：系統演進與改良

	第一代	第二代	第三代	第四代
優點	簡便	提升降解吸附速率	循環效果佳	淨化效果極佳、可即時檢測
缺點	效率較低	污水無法攪拌、缺少循環功能	無法即時檢測	無

三大發現：

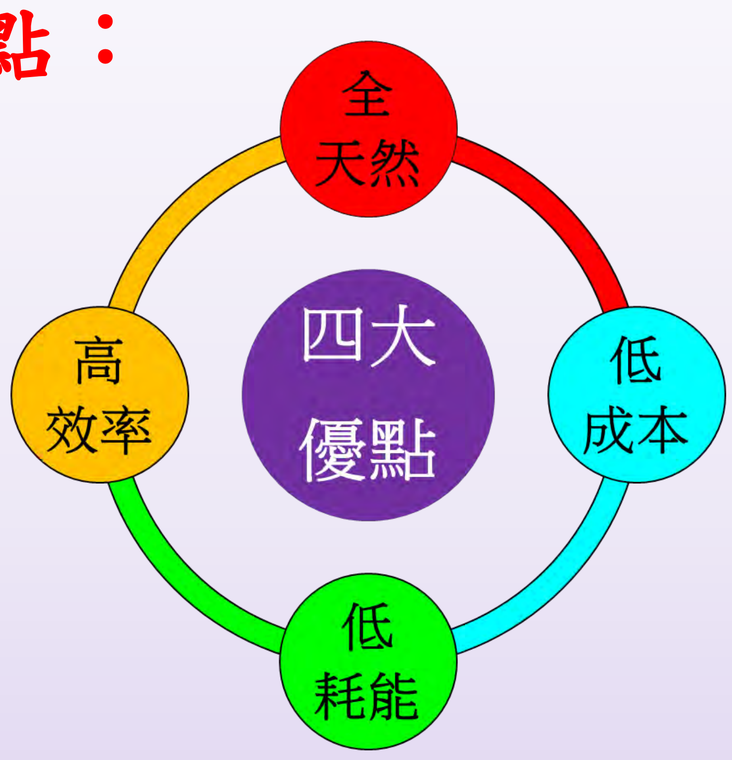


1.降解有機分子 → 30分鐘內Black B消除率98%

2.吸附重金屬離子 → 30分鐘內Cu、Cr消除率分別為90%和95%

3.抑菌 → 1小時內滅菌力達90%

四大優點：



1.全天然 → 薑黃素、幾丁聚醣均可被生物分解

2.低成本 → 薑黃幾丁聚醣膜成本不到二元，檢測系統千元

3.低耗能 → 消除率達99%，耗能0.1度電，換算費用0.5元

4.高效率 → 循環30分鐘，有機物、重金屬離子消除率99%

參考資料

1. 陳秋炳主編,高二基礎化學(二). 台南市：翰林出版事業股份有限公司出版, (民105年).
2. Comparison for Chemical, Electro-coagulation and Fenton process for treating wastewater from Latex Coating process
3. Bagchi, A.,(2012)." Extraction of Curcumin", *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology,*1(3), 1-16.
4. Wanninger, S., Lorenz V., Subhan, A., Edelmann, Frank. T., (2015), "Metal complexes of curcumin – synthetic strategies, structures and medicinal applications" *Chem. Soc. Rev.*, **44**, 4986-5002.
5.Molecules 2014 ,The Chemistry of Curcumin : From Extraction to Therapeutic Agent
6.Metal complexes of curcumin-synthetic strategies, structures and medicinal applications
7.Preparation and Characterization of Chitosan-Sodium Tripolyphosphate- Curcumin Nanoparticles