

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第三名

030203

蝦兵蟹將—讓「磷」不再有問題

學校名稱：高雄縣立林園中學(附設國中)

作者： 國一 黃韶偉 國一 曾怡萍 國一 林昱萱 國一 王晉偉	指導老師： 李岳澤
---	------------------

關鍵詞：磷酸鹽 、 幾丁質 、 優氧化

壹、摘要

蝦蟹殼主要由幾丁質、蛋白質、礦物質三種成分組合而成，重量大約各佔三分之一，本實驗以蝦蟹殼為原料，經由洗淨、乾燥、磨碎之後，再以強酸強鹼處理，分離出幾丁質，幾丁質再經高濃度強鹼反應，製得幾丁聚醣，由於幾丁聚醣可溶於弱酸，因此其應用性較為廣泛。實驗中將幾丁聚醣溶於醋酸溶液，並使用培養皿為模具，製作幾丁聚醣薄膜，探討幾丁聚醣薄膜對於不同濃度及不同 pH 值的磷酸鹽類的吸附情形，以及單片幾丁聚醣薄膜對於磷酸鹽類的最大吸收量，最後再以真實水體進行測試。實驗的證明可以得知幾丁聚醣薄膜在 pH=5.5 的環境下對於磷酸鹽的吸附有顯著的效果，約可以吸附 0.154mg P /0.2g 幾丁聚醣(單片)，有助於水質優養化的改善！

貳、研究動機

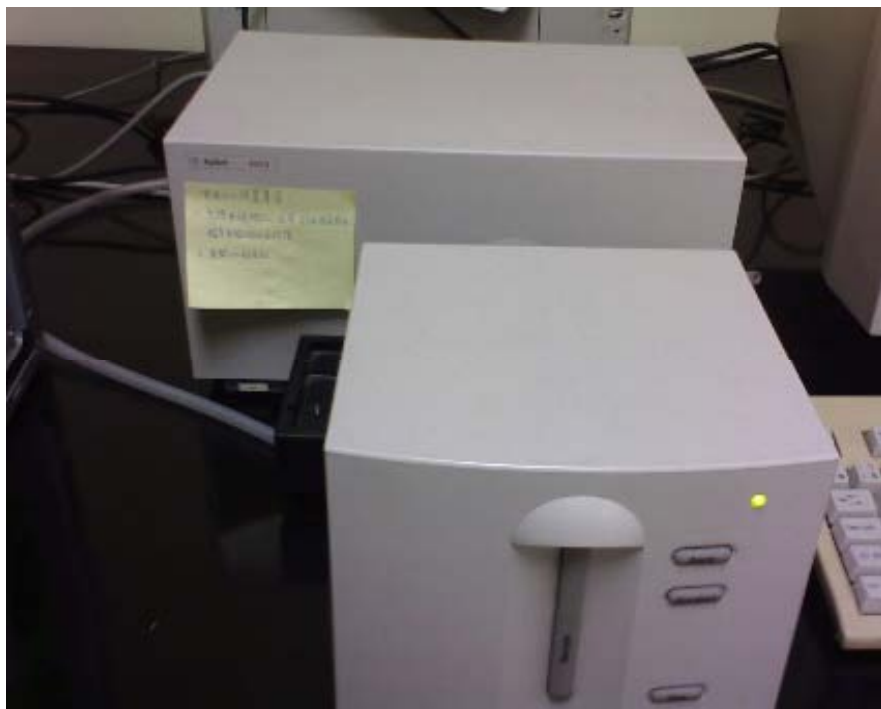
近幾年來生物科技成為大家熱門討論的議題，有一次看見電視購物在賣甲殼素膠囊，聽說是減肥用品，於是就和同學討論和看書上網找甲殼素的資料，我們就得知螃蟹的殼中具有豐富的幾丁質，沒想到螃蟹的殼還有這麼多好處，而且它可以用來保護螃蟹。發現許多文獻指出幾丁質經強鹼反應後會轉換成幾丁聚醣，它可以藉由結構的關係吸附金屬離子(正電)。又因為酸化後會有很強的正電，且可以吸附負離子，是一個很好的吸附材料。近年來河川家庭廢水、牲畜排泄物及水庫上游過度使用化學肥料進而污染河川，導致優養化嚴重。至去年第二季全台已經七座水庫優養化，嚴重威脅民生用水安全！而磷酸鹽是導致優養化的主要原因，於是我們大家想嘗試使用幾丁聚醣薄膜來進行水庫水質淨化，吸附水中磷酸鹽，使的水質不再優養化。

參、研究目的

- 一、探討幾丁聚醣薄膜對於不同濃度磷酸鹽的吸附情形
- 二、探討不同 pH 值下，幾丁聚醣薄膜對於磷酸鹽的吸附情形
- 三、探討單片幾丁聚醣薄膜對於磷酸鹽類的最大吸附量
- 四、探討幾丁聚醣薄膜對於真實水體中磷酸鹽的吸附情形

肆、研究設備及器材

1. HP Diode Array 8453A 紫外光-可見光 光譜儀



2.鹽酸

3.氫氧化鈉

4.pH 計

5.蒸餾水

6.幾丁聚醣(蝦蟹殼製成)

7.醋酸

8.培養皿

9. 50ml、100ml、250ml 量瓶數個

10.瓷抽氣漏斗及抽氣裝置

11.鉬酸銨

12.維生素 C

13.硫酸

14.酒石酸銻鉀

15.磷酸二氫鈉

16.50ml、100ml、250ml、500ml、燒杯數個

17.濾紙

18.UV 石英 cell

19.1ml、5ml、10ml 吸量管及安全吸球

20.電子天平

伍、研究過程或方法

一、研究方法：

(一) 吸附的基本原理 利用固體表面力的作用，將溶液中某些成分吸著並固定於固體表面之現象，稱為吸附，屬於一種質傳過程。吸附一般可分為物理吸附與化學吸附：

- 1.物理吸附：在吸附過程中物質不發生化學反應，所以吸附能小，被吸附的物質很容易脫離，例如使用正電基團吸引負電基團。
- 2.化學吸附：在吸附過程中不僅有引力，還運用化學鍵之作用力，所以吸附能較大，要將被吸附的物質除去需要較高的溫度，而且被吸附的物質由於是化學變化，不再是原來的物質。例如:使用沉澱法進行吸附作用

(二) 比色法介紹

1.原理

有色物質能吸收可見光的某一波長，因此將試料配製成有色溶液而投射以色光，測定其吸收度並與標準溶液的吸收度對照，即可獲得試料的濃度，由此濃度可算出某一成分在試料中的含量。比色法就是對試料溶液投射吸收率最大的單色光，然後以光電儀器測定其吸收度或穿透度，再與標準溶液的檢量線對照，可測知試料溶液的濃度。

2.檢量線的製作

利用已知濃度的 5 個（至少 4 個）或更多個標準液，於特定條件下測出吸收度與濃度關係之曲線，並以線性迴歸求出一條直線，此直線稱為檢量線，而後測未知濃度的樣品時，可先測其吸收度（或其它參數）再由先前求出的檢量線上找出濃度，此法在化學分析上應用甚廣，但應注意樣品之濃度不能超過最大濃度之標準液

(三)磷酸鹽類的測定

正磷酸鹽與鉬酸銨（Ammonium molybdate）和酒石酸銻鉀（Antimony potassium tartrate）酸性環境下反應成錯合物，接著此錯合物被維生素 C 溶液（Ascorbic acid solution）還原為另一藍色高吸光度之產物，於 880 nm 波長量測其波峰吸光值並定量水樣中之磷化物含量。

二、研究過程：

(一)、幾丁聚醣製備：以蝦及蟹外殼為原料，經高溫高濃度的鹼液和酸液加工處理而得，步驟大概包含三大部分：(1)鹽酸去除碳酸鈣；(2)高溫熱鹼去蛋白質；(3)高濃度鹼液去乙醯基反應，並放置多天後經純水多次洗淨至中性，最後以 60℃ 烘乾後備用。



(收集螃蟹、蝦子殼)



60℃ 烘箱烘乾



粉碎機粉碎



加入 2M 左右鹽酸靜置多日去除碳酸鈣



經純水洗淨多次後至中性





加入氫氧化鈉 2.5N 溶液進行熱鹼去蛋白質反應兩天，如水不夠要記得加水



經純水洗淨多次後至中性，得到幾丁質



將製得的幾丁質加入 6N 氫氧化鈉強鹼溶液進行反應成幾丁聚醣，並在強鹼中靜置兩個星期



經純水洗淨多次後至中性，得到幾丁聚醣，50°C 烘乾備用



(二)、幾丁聚醣薄膜製備：

將上步驟分離出來的幾丁聚醣取 5g 溶入 250ml 0.1M 醋酸中，充分攪解成糊狀。

拌至溶



並吸取 10ml 滴入一個培養皿中成模，大約可做 25 片圓形薄膜，並自然陰乾一個禮拜備用。



(三)、檢量線製作

- 1、配置磷標準液：取 0.0694g 的 $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 溶於 250ml 水中，配成 0.5ppm 磷標準液
- 2、配置顯色劑：50ml 5N 硫酸 + 5ml 酒石酸銻鉀 + 15ml 鉬酸銨 + 30ml 維生素 C \longrightarrow 配成 100ml 的鉬藍顯色劑(如右圖)



※ 鉬酸銨：溶解大約 2g 的鉬酸銨溶於純水中，配成 50ml
※ 5N 硫酸：緩慢將 35ml 的硫酸加入 180ml 純水中(要注意安全,此為放熱反應)，冷卻稀釋至 250ml。
※ 維生素 C 溶液：溶解 0.9g 的維生素 C 於純水中，稀釋至 50ml
※ 酒石酸銻鉀：取 0.8066g 溶解於純水中,配成 250ml
維生素 C 不穩定，故一兩天顯色劑溶液如沒用完，必須要重新配製
酒石酸銻鉀與鉬酸銨必須冰在冰箱保存
◎參考行政院環保署環境檢驗方法-水中磷檢測方法－分光光度計／維生素 C 法
<http://www.niea.gov.tw/niea/WATER/W42752B.htm>

- 3、將 50ppm 磷標準液吸取 4ml 加水稀釋成 100ml 2ppm 的磷溶液
- 4、依照稀釋的方法配製 1ppm、0.8ppm、0.5ppm、0.2ppm、0.1ppm、0.05ppm 各 50ml 的磷溶液，並在每個溶液中加入 8ml 的鉬藍顯色劑
- 5、利用分光光度計,依各濃度放入 UV 石英 cell 中，讀取 880nm 吸收度
- 6、利用 excel 進行線性迴歸，製成磷檢量線

(四)、使用 0.5ppm 磷標準液測試幾丁聚醣(0.2g)與幾丁聚醣薄膜(0.2g/ CH_3COOH)對於磷酸鹽的吸附情形

(因為結果是幾丁聚醣薄膜可以吸收，幾丁聚醣粉末無法吸收，故選擇幾丁聚醣薄膜繼續實驗)

(五)、測試不同濃度對於幾丁聚醣薄膜吸附的情形：

- 1、測試 0.1ppm 磷標準液對於單片幾丁聚醣薄膜吸附的情形
 - (1).配置 0.1ppm 磷溶液 50ml，通過下圖的裝置進行短時間過幾丁聚醣薄膜(放置在抽濾漏斗中)吸附，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。



(2).0.25ppm、0.5ppm、1ppm 也依照 a 步驟進行實驗。

(六)、固定濃度下，利用鹽酸及氫氧化鈉溶液測試不同 pH 值對於幾丁聚醣薄膜吸附的情形。

1、將 0.5ppm 磷標準液 50ml 加入鹽酸或氫氧化鈉調配成 pH=1.2、pH=1.9、pH=3、pH=5.1、pH=6、pH=10、pH=11.6 進行過幾丁聚醣薄膜的吸附，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。

(七)、尋找出單片幾丁聚醣薄膜對於磷酸鹽類的最大吸附量。

1、將幾丁聚醣薄膜分別放入 50ml 的 0.5ppm、1ppm、2ppm、3ppm、4ppm 浸泡 40min 後，將膜取出，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。

(八)、幾丁聚醣薄膜對於真實水體中磷酸鹽的吸附的情形

1、真實水體添加磷標準液(1ppm 磷標準液)

(1) 空白實驗: 30ml 去離子水，加入 1ml 50ppm 磷標準液，加入去離子水至 50ml，配成相當於有 1ppm 磷標準液濃度的去離子水 50ml，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。

(2) 真實水體(高師大廢水池,98/05/15 下午 4:30)，約 30ml 真實水體，加入 1ml 50ppm 磷標準液，加入真實水體至 50ml，配成相當於有 1ppm 磷標準液濃度的真實水體 50ml，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。

(3) 真實水體(高師大廢水池,98/05/15 下午 4:30)，約 30ml 真實水體，加入 1ml 50ppm 磷標準液，加入真實水體至 50ml，配成相當於有 1ppm 磷標準液濃度的真實水體 50ml，通過抽濾裝置進行短時間過幾丁聚醣薄膜(放置在抽濾漏斗中)吸附，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。

2、真實水體無添加

(1) 真實水體(高師大廢水池,98/05/15 下午 4:30)，取真實水體 50ml，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。

(2) 真真實水體(高師大廢水池,98/05/15 下午 4:30)，取真實水體 50ml，通過抽濾裝置進行短時間過幾丁聚醣薄膜(放置在抽濾漏斗中)吸附，加入 8ml 鉬藍顯色劑，利用分光光度計，放入 UV cell 中讀取 880nm 吸收度。



高雄師大燕巢校區廢水池

陸、研究結果

一、 0.05ppm 磷標準液加入鉬藍進行 400nm~900nm 波長掃描吸收情形

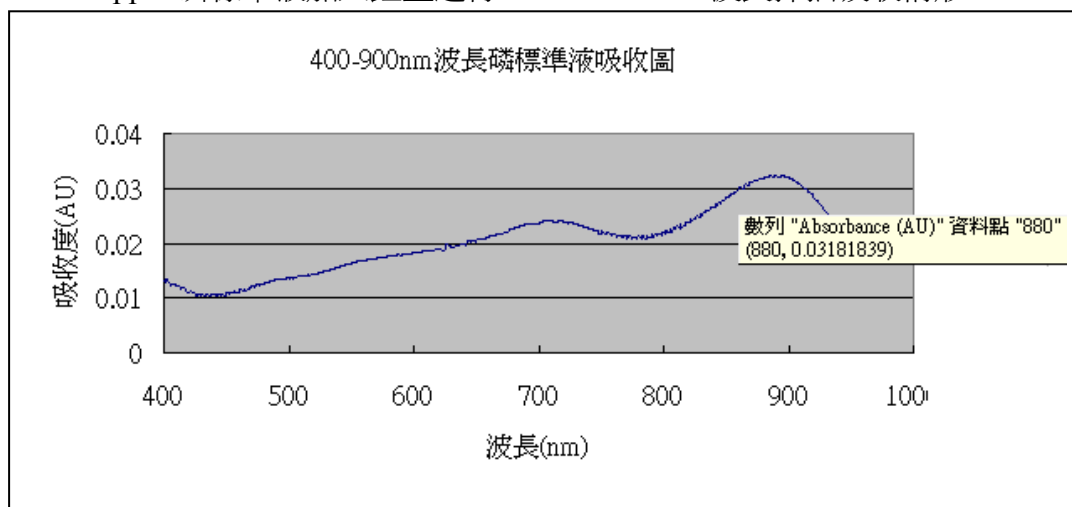


圖 1-1 大約在 880nm 左右有一個最大吸收峰

二、磷濃度檢量線

磷濃度(ppm)	吸收度(au)
0.05	0.031818
0.1	0.068589
0.2	0.148806
0.5	0.345951
0.8	0.555861
1	0.664161

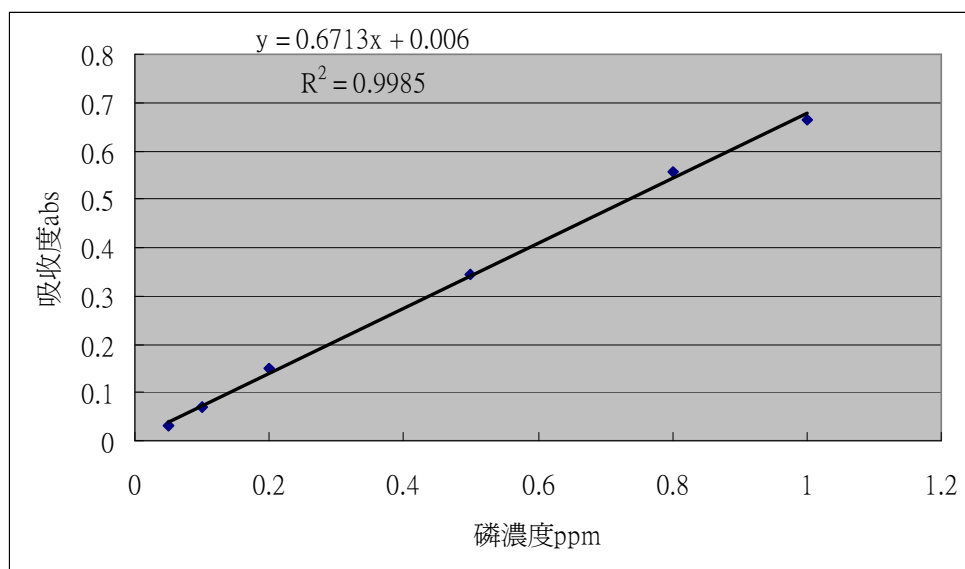
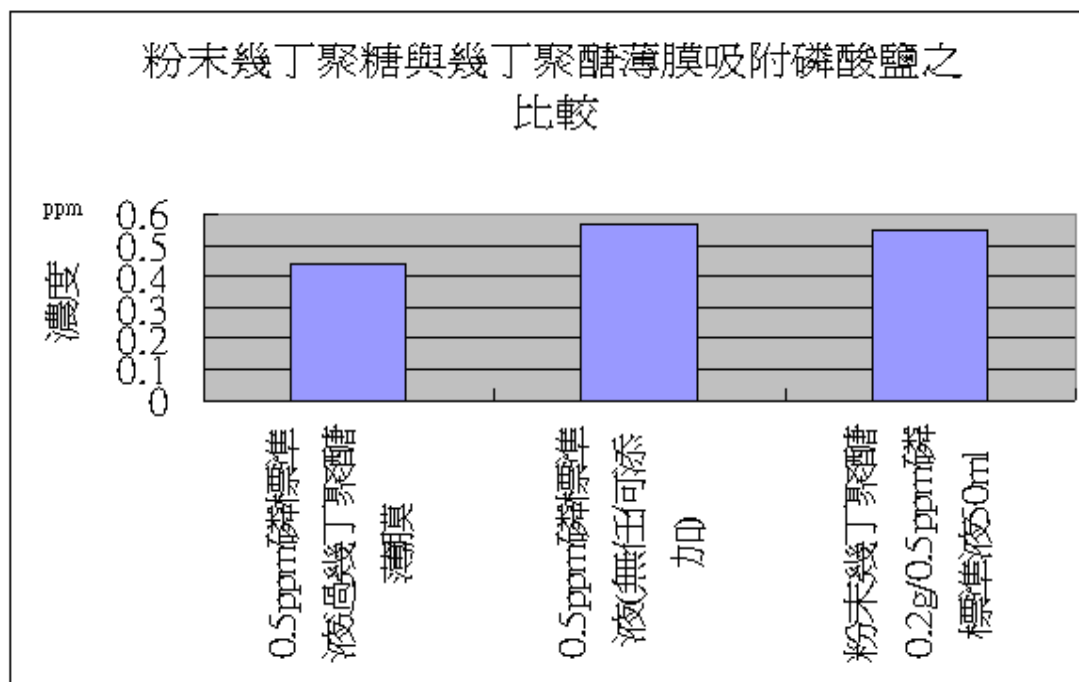


圖 1-2 (光譜儀：HP Diode Array 8453A 紫外光-可見光 波長：880 nm)

三、使用 0.5ppm 磷標準液測試幾丁聚醣(0.2g)與幾丁聚醣薄膜(0.2g/CH₃COOH)對於磷酸鹽的吸附情形

	吸收度	濃度
0.5ppm 磷標準液過幾丁聚醣薄膜	0.301186	0.439722
0.5ppm 磷標準液(無任何添加)	0.386337	0.566567
粉末幾丁聚醣 0.2g/0.5ppm 磷標準液 50ml	0.374563	0.549028

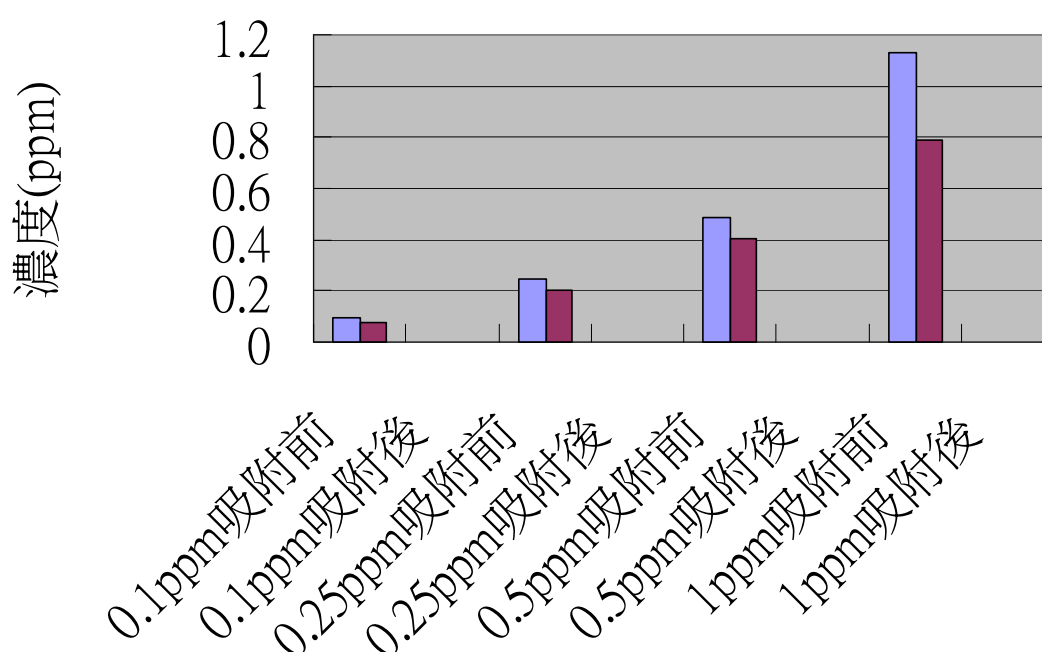


結果：可以發現幾丁聚醣薄膜才能吸附磷酸鹽類，而粉末狀與不添加時的濃度相似，並無吸附的情形。

四、 0.1ppm、0.25ppm、0.5ppm、1ppm 等濃度磷標準液通過幾丁聚醣薄膜吸附情形

磷標準液	吸收度	濃度		吸附率
0.1	0.068218	0.092682	吸附前	21 %
	0.055558	0.073823	吸附後	
0.25	0.17019	0.244585	吸附前	19.2%
	0.140253	0.199989	吸附後	
0.5	0.33259	0.486503	吸附前	18.3%
	0.275961	0.402146	吸附後	
1	0.772674	1.133136	吸附前	30 %
	0.543886	0.792322	吸附後	

幾丁聚醣對於不同磷濃度吸附的情形



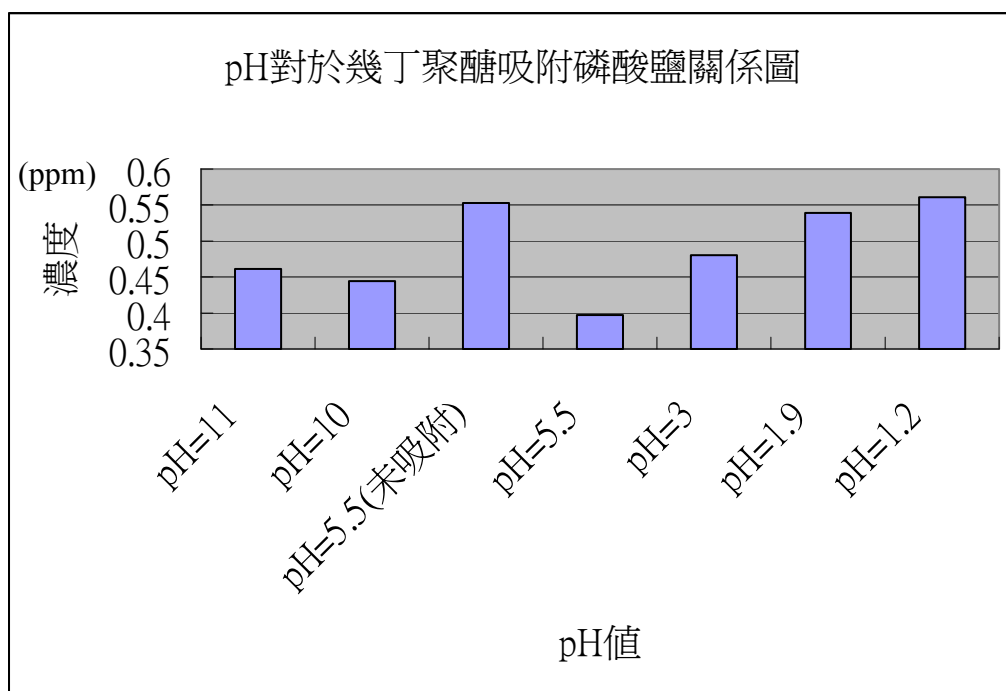
五、探討 pH 值對於幾丁聚醣薄膜吸附磷酸鹽類之影響探討
(以 0.5ppm 的磷標準液進行實驗)

(一)、利用鹽酸進行 pH 值的控制，進行吸附(5.5 為原先溶液的 pH 值)

	吸收度	吸附後濃度	pH 值	備註
0.5ppm	0.377546	0.553472367	5.5	未吸附
	0.271943	0.39616118	5.5	吸附過模
	0.328589	0.480543721	3	吸附過模
	0.367981	0.539223894	1.9	吸附過模
	0.38229	0.560539252	1.2	吸附過模

(二)、利用 6M NaOH 進行 pH 值的控制，進行吸附(5.5 為原先溶液的 pH 值)

	吸收度	吸附後濃度	pH 值	
0.5ppm	0.360643	0.528292865	5.5	未吸附
	0.285739	0.416712349	5.5	吸附過模
	0.305056	0.445487859	10	吸附過模
	0.315863	0.461586474	11.5	吸附過模



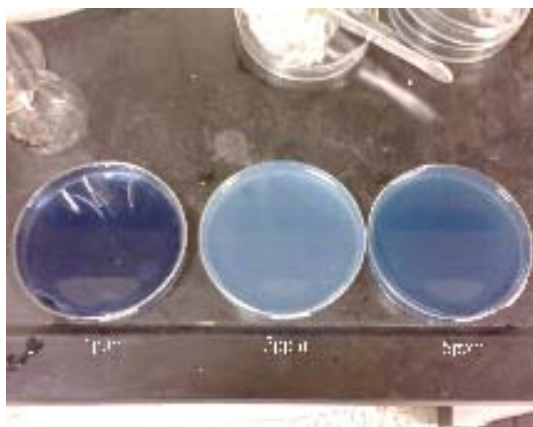
由上列數據可以知道，要使幾丁聚醣吸附磷酸鹽類最好的 pH 值是 5.5 左右。

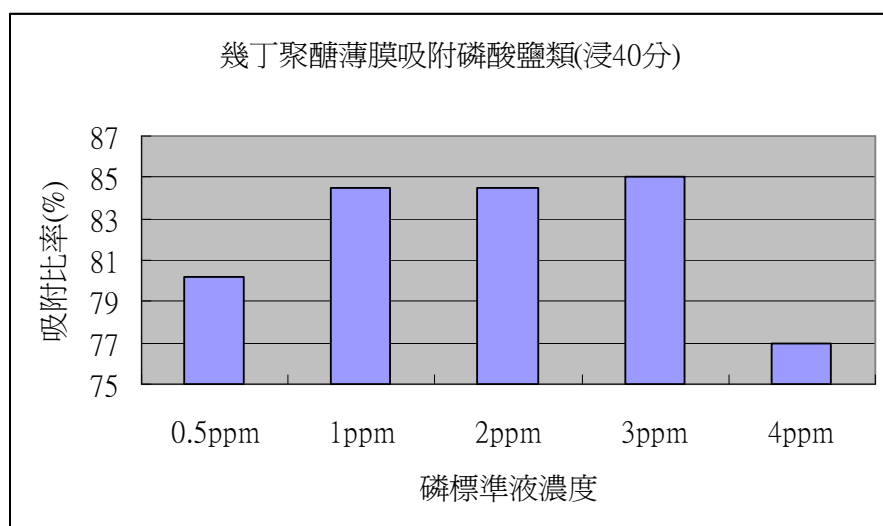
六、測試單片幾丁聚醣薄膜對於磷酸鹽類的吸附最大量

(一)、將單片幾丁聚醣薄膜放入 50ml 0.5ppm 磷標準液中，經過 40 分鐘吸附後，加入 8 ml 鉬藍顯示劑，並在 880nm 的波長下，讀取吸收度

原先濃度	吸收度	吸收後濃度 ppm	薄膜吸收濃度 ppm	吸收比率	
0.5ppm	0.071971	0.098273499	0.401727	80.2%	模浸 40min
1ppm	0.110007	0.154933711	0.845066	84.5%	模浸 40min
2ppm	0.212921	0.308239237	1.691761	84.5%	模浸 40min
3ppm	0.307844	0.449640995	2.550359	85 %	模浸 40min
4ppm	0.622984	0.919088336	3.080912	77 %	模浸 40min

5ppm 以上無法進行，幾丁聚醣薄膜已經被磷標準液破壞了，導致溶液出現混濁!(如下圖)





七、幾丁聚醣薄膜對於真實水體中磷酸鹽的吸附的情形

(一)、真實水體添加磷標準液(1ppm 磷標準液)

真實水體(2009/05/15 下午三點四十)高師大燕巢校區 廢水池(抽濾過模)			
水體	吸收度	濃度	備註
添加 1ppm P(高師大水體)	0.937955	1.388283927	未過模
添加 1ppm P(高師大水體)	0.829615	1.226895576	過模
添加 1ppm P(純水)	0.698354	1.031363027	

發現真實水體中有磷酸鹽存在，而薄膜有助於減少水中磷酸鹽，但是此偵測法僅能偵測 1ppm 以下，所以要繼續做真實水體無添加的測試。

(二)、真實水體無添加

真實水體(2009/05/15 下午三點四十)高師大燕巢校區 廢水池(抽濾過模)			
水體	吸收度	濃度	備註
高師大水體	0.533748	0.786158201	未過模
高師大水體	0.451163	0.663135707	過模

發現真實水體經過幾丁聚醣薄膜後，水中磷酸鹽類有減少的情形。

柒、討論

一、以醋酸溶解幾丁聚醣製薄膜的過程中，原先有嘗試使用烘箱烘乾，但發現溫度如果太高，薄膜較脆；反倒是如果常溫下陰乾，薄膜的彈性較好；而幾丁聚醣在溶於醋酸中時容易有氣泡，可以使用超音波震盪器將氣泡震出

二、本實驗使用鉬藍顯色劑，這個檢測磷酸鹽類的方法適用於 1ppm 以下磷酸鹽溶液，如果超過 1ppm 的濃度，顯色後吸收度會超過 1 au(吸收率 90%)，出現不準的情形，如果磷濃度太高時要稀釋才能檢測。

三、在檢測吸收度時，都要做空白的 blank (50ml 水+8ml 顯色劑)。

四、在粉末的幾丁聚醣與薄膜狀的幾丁聚醣同時進行磷酸鹽的吸附，結果發現粉末狀的幾丁聚醣無法吸收，但是薄膜狀的可以吸收。經討論的結果，可能因為薄膜狀的有經過醋酸酸化的過程，使的薄膜的帶正電性更高，更能吸引負電的磷酸鹽類。

五、瞬間利用抽濾裝置進行過膜的程序，單片幾丁聚醣大約吸附 18~30%的磷酸鹽

六、在實驗的過程中可以發現，在強酸的環境下，幾丁聚醣薄膜會遭到破壞，效果不是很好；在鹼性的環境下，因為幾丁聚醣是融於醋酸中，會導致酸鹼中和效應，效果也不是很好
——> 發現 (pH=5.5)環境下的溶液吸附效果最好

七、實驗的過程中發現如果使用抽濾裝置來過膜，這膜很容易因為壓力的關係，用沒多久就破了，未來可能要應用於磷酸鹽吸附，必須要進行改質，強化材質的韌性。

八、實驗發現，單片幾丁聚醣薄膜在 1~3ppm 的環境下都約可以吸附 85%，剩下的 15%可能是因為進行動態平衡的關係，無法全部吸附。但是當超過 4ppm 後，吸附率降低為 77%，可能已經吸附飽和，猜測 3-4ppm 為最大的吸附的濃度，當超過 5ppm 時幾丁聚醣薄膜竟然會被磷酸鹽溶液破壞，溶液出現混濁情形，此時無法再測吸收度。

九、幾丁聚醣薄膜吸附磷酸鹽類後，嘗試要把磷酸鹽類脫附出來，使的薄膜可以重複使用，但是膜不耐酸也不耐鹼，不管加酸或加鹼狀況都不佳，最後放棄。

十、實驗發現，幾丁聚醣薄膜對於真實水中的磷酸鹽確實有減少的情形，約 15.6%的吸收率

真實水體中磷酸鹽的吸收率=
$$\frac{0.7861-0.6631}{0.7861} \times 100\% = 15.6\%$$
，真實水體中可能有其他帶負電的離子存在，實際上可能還有吸附其他的離子。

捌、結論：

一、幾丁聚醣薄膜對於磷酸鹽類最好的吸附條件為(pH 5.5)、單片(0.2g 幾丁聚醣)最大吸附量約 3.08ppm 磷/50ml 磷溶液，3.08ppm 磷酸鹽溶液在幾丁聚醣溶液中浸泡 40min，約可以去除 85%的磷酸鹽。

二、傳統的低濃度磷酸鹽去除法為加入大量污泥，飽和吸附量僅約 0.042 mg 磷/1g 污泥，磷的吸附效果低，且經 52 小時才能平衡。即使鹼洗後，能提高到 1.2 mg 磷/1g 污泥(參閱張鈞維(民 95)以淨化汙泥及鐵氧化物吸附劑去除水庫水體含磷之研究，成功大學環境工程學系碩士論文。)，但如果使用單片幾丁聚醣薄膜(0.2g)，實驗所得吸附量為 3.08ppm 磷/50ml 酸鹽溶液，換算起來，約吸附 0.154mg 磷/0.2g 幾丁聚醣，而只要約 40 分鐘即可達成。

三、表 2-2 台灣主要水庫 2007-2009 平均總磷濃度

水庫名稱	總磷(μg/l)	水庫名稱	總磷(μg/l)
新山水庫	12.4	蘭潭水庫	11.8
寶山水庫	22.9	仁義潭水庫	14.6
明德水庫	12.9	白河水庫	21.6
翡翠水庫	14.0	曾文水庫	21.9
石門水庫	24.9	烏山頭水庫	19.7
永和山水庫	9.1	南化水庫	38.1
鯉魚潭水庫	13.9	阿公店水庫	56.9
德基水庫	6.6	澄清湖水庫	28.3
霧社水庫	8.8	鳳山水庫	723.2
日月潭水庫	7.2	牡丹水庫	20.8

資料來源行政院環保署環境監測資料庫
(<http://edb.epa.gov.tw/envdb2/>)

台灣水庫以鳳山水庫優養化最為嚴重，(最高為鳳山水庫達 0.7ppm 磷)，如果能利用幾丁聚醣來吸附磷酸鹽類，能使水質更加乾淨。幾丁聚醣為天然蝦蟹殼萃取出來的一種醣類，具污染性低，毒性低的特性，如果能用來取代傳統使用的污泥吸附法，薄薄的一片就可吸附 3.08ppm 的磷/50ml 磷酸鹽溶液，我們認為極具參考價值。

四、由於在磷酸鹽高濃度的環境下，幾丁聚醣薄膜並不穩定，所以無法得知最大的單片薄膜吸附量，但是實驗的結果知道一片幾丁聚醣薄膜可吸附到約 0.154mg 磷，也極具應用性價值。

五、雖然幾丁聚醣薄膜對於磷酸鹽有好的吸附情形，但是它也有許多的缺點待改進，譬如韌性不足易破，耐酸鹼不佳等缺點，如能混和其他物質進行改質，成爲一種複合的吸附材料，在水質淨化上會有更好的表現。

六、未來可能要結合幾丁聚醣粉末吸附鐵離子、銅離子(金屬螯合)的方式進行一層幾丁聚醣粉末一層幾丁聚醣薄膜的吸附管柱，就可以使的學校實驗室廢水、工業廢水、家庭廢水中不管是金屬離子，或者是帶負電的磷酸鹽類都可以一網打盡。

柒、參考資料

- 一、行政院環保署環境檢驗方法-水中磷檢測方法－分光光度計 / 維生素 C 法
<http://www.niea.gov.tw/niea/WATER/W42752B.htm>
- 二、行政院環保署環境監測資料庫 (<http://edb.epa.gov.tw/envdb2/>)
- 三、翰林國一自然第六章環境汙染
- 四、曾鶯芳(民 97) 以相對電壓探討 Chitosan/PVA 薄膜去除水中餘氯之效能，國立高雄師範大學化學教學碩士論文
- 五、吳俊彥、陳信瑋(民 93)，包埋酵母菌的幾丁球珠對含銅、鐵、鋅、鉛離子之廢水處理及應用，臺灣 2004 年國際科學展覽會
- 六、殷士閔(民 92)利用奈米級的二氧化鈦〈TiO₂〉在紫外光降解幾丁聚醣的研究，臺灣 2003 年國際科學展覽會
- 七、張鈞維(民 95)以淨化汙泥及鐵氧化物吸附劑去除水庫水體含磷之研究，國立成功大學環境工程學系碩士論文。

【評語】 030203

學生臨場反應佳，實驗設計能表現科學探究精神，做成薄膜
吸附磷酸鹽的實驗頗具創意，本作品可應用於環保問題，具
前瞻性。