

二零一一年香港學生科學比賽  
Hong Kong Student Science Project Competition 2011

學校代表：聖公會李炳中學 S.K.H. Li Ping Secondary School

B類項目：科學現象的調查或科學理論的應用

參賽作品：水重生 - M.C.F. (Man-made Ceramic Filter)



組員：吳榕 (S.4F)，陳浚彥(F.6B)，翁芷茵(S.4B)，李桂虹(S.4E) 及陳哲慧(S.4D)

# 鳴謝

在此我們特別感謝：

香港科技大學生命科學部的羅振鈞教授為我們提供標準  $10^9/100\text{ml}$  的無害大腸桿菌的樣本。

另外感謝：

本校的陳家榮老師及勞惠昌老師在此實驗過程中的指導和提供意見。林國威老師，溫國峰老師和陳德寶老師為我們提供儀器及場地。

# 目錄

i)	鳴謝
①	背景及目標
②	研究方法
③	第一階段
3.1.1	以物理性質淨水處理的材料成份和其原理
3.1.2	以化學性質淨水處理的方法和其原理
3.2	實驗步驟
3.3	實驗結果
3.4	實驗分析
④	第二階段
4.1	重點分析人造陶器的淨水處理效能
4.2	實驗步驟
4.3	實驗結果
4.4	實驗分析
⑤	第三階段
5.1	研究並優化人造陶器的淨水處理
5.2	實驗步驟
5.3	實驗結果
5.4	實驗分析
⑥	總結及展望
⑦	參考資料

## (1) 背景

現今科技發達，相信世界各地都研究出不同的高科技產品以改善我們的日常生活，無論在衣食住行都為人們帶來不少的方便。然而，現時的科技均需較高的成本，並對環境造成較大的破壞，所以未必能為未發展或發展中國家提高生活素質。就飲水問題為例，地球上水的總儲量為 138.6 億立方公里，淡水只佔 0.9%，而其中人類比較容易利用的淡水資源約佔全球淡水總儲量的 0.3%（全球總儲水量的十萬分之七）。而對人類生活最密切的湖泊，河流和淺層地下的淡水僅佔淡水總儲量的 0.02%。原因可能是水中含菌量過高或含有大量雜質等其他問題。而這些問題往往都可能需要高昂的資金去淨化未達標的飲水，對第三世界的經濟造成一定的負擔。

如果可以找出一種有效而成本相對較低的方法去提高飲水質量，這些國家便可以將節省的資金轉用其他的發展，以加快推動全球經濟的發展，這次研究將會主要集中在如何降低水中的細菌數量，令飲水更加安全。我們將以大腸桿菌作為指標模擬一般水質的環境，根據濾水前後的含菌量、酸鹼值、透光性、導電性進行比較分析，選取某種合適的物料或方法重點探究及優化，希望取得一個既方便有效，成本又不高的淨水方法。

## 目標

找出簡單而有效的物料或方法為處理標準的飲用水，再加以優化其濾水速度和成效。

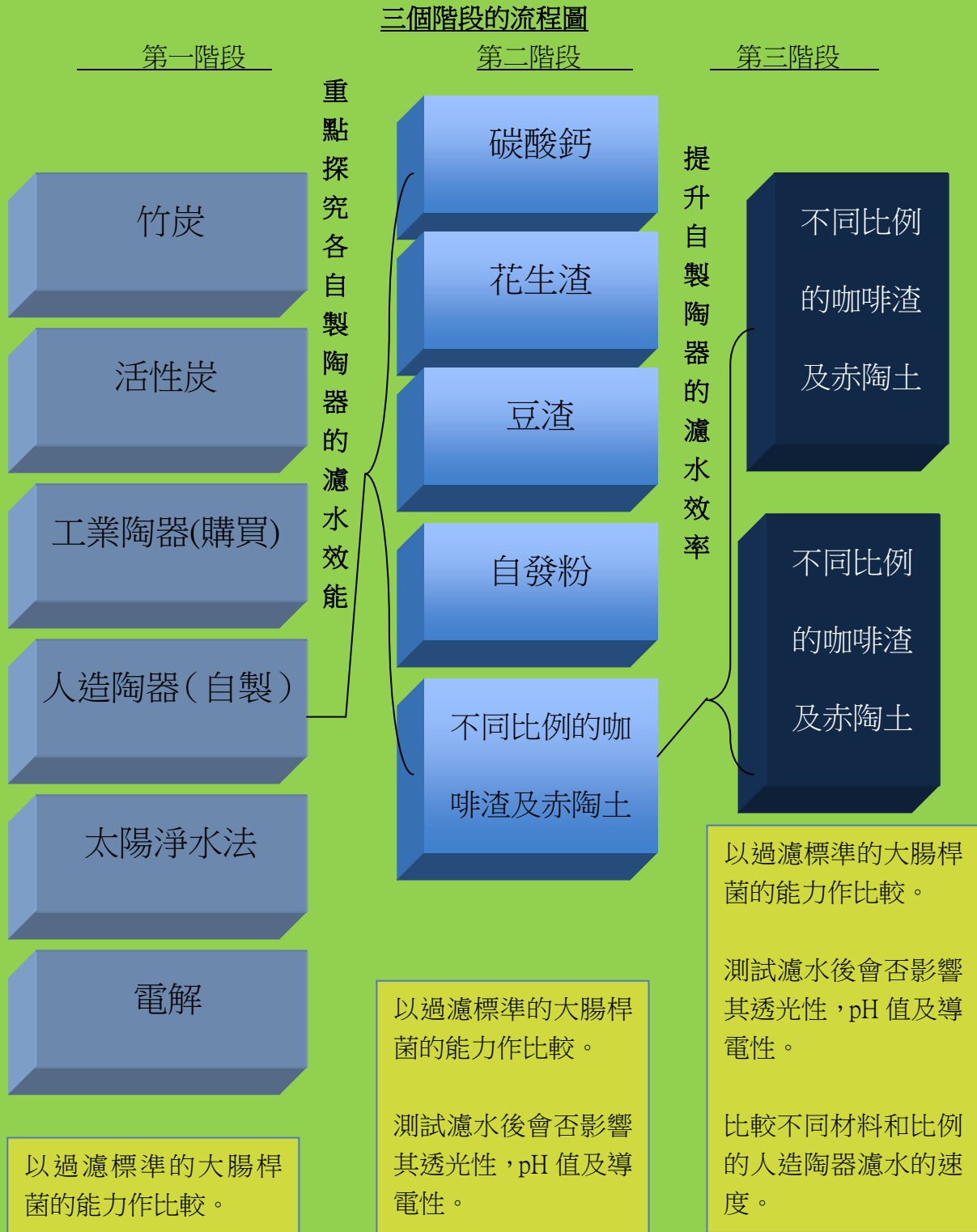
## (2) 研究方法

本組分三階段進行是探究實驗

第一階段：整體比較不同淨水處理效能（物理性質及化學性質）

第二階段：重點分析人造陶器的淨水處理效能

第三階級：研究並優化人造陶器的淨水處理



### (3) 第一階段：整體比較不同淨水處理方法（物理性質及化學性質）

現今淨水處理主要分兩類方法進行：一類是以物理性質阻隔並過濾雜質和微生物；另一類則以化學性質，破壞並殺死微生物組織，本組分別從這兩類淨水處理進行探究。

#### (3.1.1) 以物理性質淨水處理的材料成份和其原理

方法	淨水的原理
竹炭	竹炭分子結構呈六角形，質地堅硬，細密多孔，吸咐力強，具有吸咐功能，會釋放微量元素，殺害病菌。
活性炭	活性炭是一種很細小的炭粒，有很大的表面積，而且炭粒中還有更細小的孔，由於炭粒的表面積很大，所以能與氣體（雜質）充分接觸。當這些氣體（雜質）碰到毛細管被吸咐，起淨化作用。
工業陶器 <sup>[1]</sup> （購買）	陶器材料的成份主要是氧化矽、氧化鋁、氧化鉀、氧化鈉、氧化鈣、氧化鎂、氧化鐵、氧化鈦等，表面存在微小的孔，阻隔或吸咐較大的物質，起淨水作用。
人造陶器 <sup>[1]</sup> （自製）	陶器中擁有極微小的空隙，結構緊密，能夠阻隔較大的物質；主要由赤陶土製成，較堅固的與可塑的外觀。

#### (3.1.2) 以化學性質淨水處理的方法和其原理

方法	淨水的原理
太陽淨水法 <sup>[2]</sup>	波長 200 nm 至 290 nm 的紫外線能穿透細菌、病毒的細胞膜，給核酸（DNA）以損傷，使細胞失去繁殖能力，達到快速殺菌的效果。波長 200 nm 以下的短波長紫外線能分解 O <sub>2</sub> 分子，生成的 O*與 O <sub>2</sub> 結合產生臭氧 O <sub>3</sub> ，紫外線和臭氧具有強的氧化分解包括惡臭在內的有機分子的能力，UV/O <sub>3</sub> 並用的相乘作用在空氣淨化處理中發揮強大威力。
電解 <sup>[3]</sup>	利用微量的直流電將自來水進行電解，使水中的氯離子游向陽極，並在陽極氧化，形成微量的氯氣可作殺菌之用。  陽極上的化學反應：  $2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$

### (3.2) 實驗步驟

注意事項: (1) 以下實驗均以 75%酒精消毒後進行;

(2)實驗中需穿戴安全眼鏡及實驗袍。

#### A. 比較不同濾液的大腸桿菌群落數目

##### A<sub>1</sub>: 大腸桿菌稀釋過程:

1. 使用手動可調式移液管從大腸桿菌含量為  $10^9/100\text{ml}$  的標準原液 (圖 A)中抽取 1ml，並加入 9ml 去離子水。
2. 將該混和液充分晃動使之均勻，並記錄為  $10^8/100\text{ml}$ 。
3. 重複以上步驟 (1 - 2)，直至將大腸桿菌被稀釋至  $10^1/100\text{ml}$ 。(圖 B)



(圖 A)

(圖 B)

##### A<sub>2</sub>: 過濾細菌與培養細菌

1. 使用手動可調式移液管取 1ml 稀釋的大腸桿菌 ( $10^1/100\text{ml}$ )。
2. 並與 1ml 的 PBS (磷酸鹽緩衝液)，及 98ml 去離子水混合。
3. 將上述 100ml 溶液放置各不同材料或成份的過濾裝置中。
4. 經過 24 小時後，收集各過濾裝置的濾液
5. 將濾液用過濾器將樣本過濾，大腸桿菌因體積較大而被直徑為  $0.2\ \mu\text{m}$  的濾紙阻隔，然後將濾紙放在瓊脂碟內，置於  $42^\circ\text{C}$  恆溫鍋爐內培養 24 小時。(圖 C)



圖 C: 步驟 5 的流程

##### A<sub>3</sub>: 計算不同濾液的大腸桿菌群落數目

1. 收集經 24 小時恆溫鍋爐培養的瓊脂碟。
2. 觀察並記錄瓊脂碟上大腸桿菌群落數目。

## B. 製作陶器

根據文獻，我們模擬實驗，並設計與使用咖啡渣及赤陶土進行實驗。

### B<sub>1</sub>: 製作陶器方法

1. 咖啡渣與赤陶土以體積比例 1:1 揉合。
2. 使用盤條法、手捏法或模型法，徒手將陶器成型。(圖 D)
3. 讓各陶器陰乾三天。
4. 把各陶器放進 850°C 窯燒製。



(圖 D)

### B<sub>2</sub>: 消毒及清洗陶器

1. 用 75% 酒精擦拭各陶器。
2. 使用去離子水浸泡並沖洗各個陶器。(圖 E)
3. 將陶器陰乾。(圖 F)



(圖 E)



(圖 F)

## C. 竹炭 (購買)

1. 用去離子水將竹炭反復沖洗，直至沖洗後的水不再渾濁。
2. 使用 75% 酒精消毒，使用去離子水浸泡並沖洗及陰乾。
3. 把竹炭放在過濾儀器上 (圖 G)，預備進行過濾效能測試。
4. 進行步驟 A<sub>2</sub>(3 - 5)。



(圖 G)



#### D. 活性炭 (購買)

1. 用去離子水將活性炭反復沖洗，直至沖洗後的水不再渾濁。
2. 使用 75%酒精消毒，使用去離子水浸泡並沖洗及陰乾。
3. 把活性炭放在過濾儀器上(圖 H)，預備進行過濾效能測試。
4. 重覆進行步驟 A<sub>2</sub>(3 - 5)。



(圖 H)

#### E. 工業陶器 (購買)

1. 用去離子水將工業陶器反復沖洗，直至沖洗後的水不再渾濁。
2. 使用 75%酒精消毒，使用去離子水浸泡並沖洗及陰乾。
3. 把工業陶器放在過濾儀器上(圖 I)，預備進行過濾效能測試。
4. 進行步驟 A<sub>2</sub>(3 - 5)。



(圖 I)

#### F. 太陽淨水法

1. 將以 PET 成分製造的塑膠瓶先用 75%的酒精進行消毒，及後用去離子水再清洗。
2. 把有大腸桿菌 ( $10^4/100\text{ml}$ ) 的樣本倒進塑膠瓶，然後拿到太陽下，利用 UV 淨水六小時。(圖 J)
- 3 記錄每小時 UV 的讀數。
4. 樣本被照曬後，進行步驟 A<sub>2</sub>(3 - 5)。



PET 膠樽  
(載有  $10^4$  大腸桿菌  
的 100ml 污水)

(圖 J)

### G.電解

- 1.用 6 個燒杯盛有大腸桿菌（ $10^4/100\text{ml}$ ）的樣本，然後分別插入兩根碳棒(圖 K)
- 2 將 6 個樣本預設不同的電壓，電流及電解時間。如下表

	電壓 (V)	電流 (mA)	電解時間 (小時)
樣本 1	1.2	0.56	2
樣本 2	1.2	0.56	4
樣本 3	3	4.3	2
樣本 4	3	4.3	4
樣本 5	6	65	2
樣本 6	6	65	4



(圖 K)

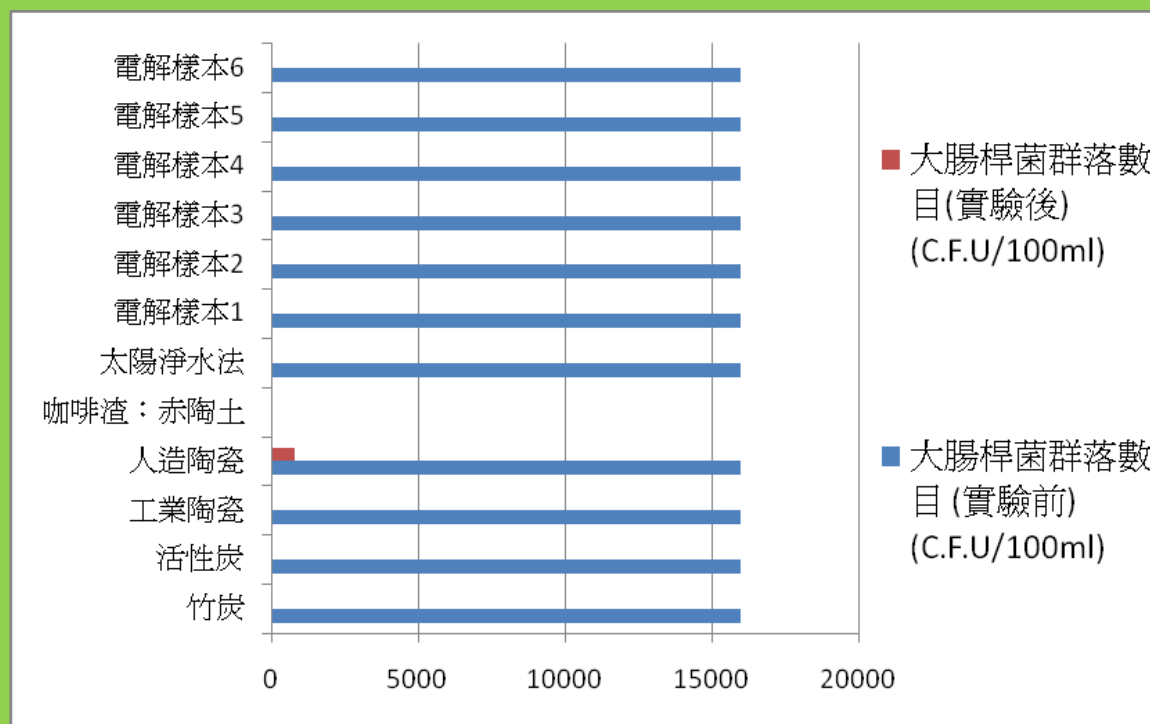
3. 各樣本電解後，進行步驟 A<sub>2</sub>(3 - 5)。

### (3.3) 實驗結果

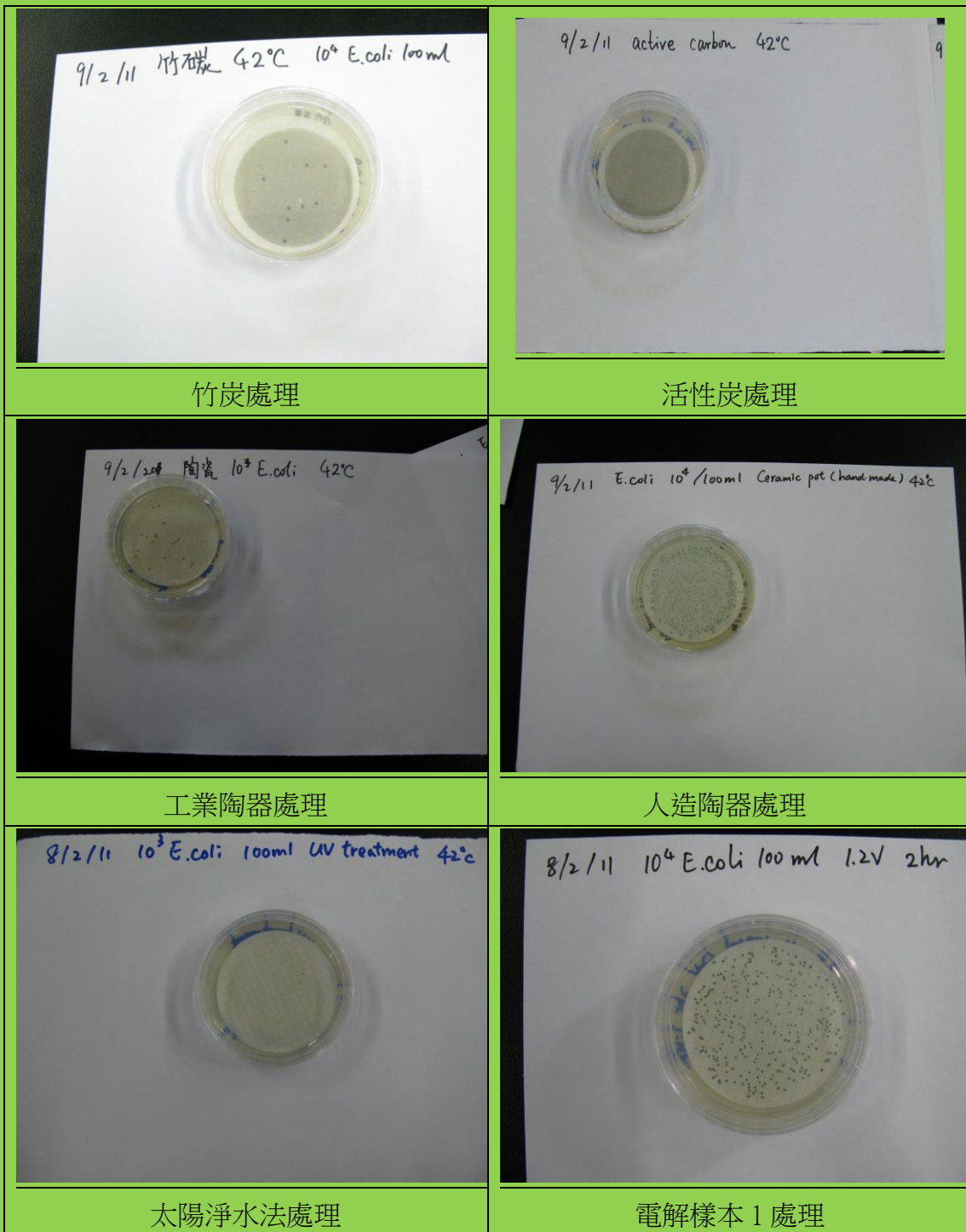
#### 第一階段

	大腸桿菌群落數目 (C.F.U/100ml) (實驗前)	大腸桿菌群落數目 (C.F.U/100ml) (實驗後)
竹炭	~16000	9
活性炭	~16000	0
工業陶器	~16000	0
人造陶器 (咖啡：赤陶土) = 1：1	~16000	~800
太陽淨水法	~16000	0
電解樣本 1	~16000	0
電解樣本 2	~16000	0
電解樣本 3	~16000	0
電解樣本 4	~16000	0
電解樣本 5	~16000	0
電解樣本 6	~16000	0

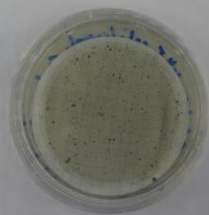
各方法處理大腸桿菌 ( $10^4/100\text{ml}$ ) 的效能



各淨水方法處理後的大腸桿菌 ( $10^4/100\text{ml}$ ) 數量

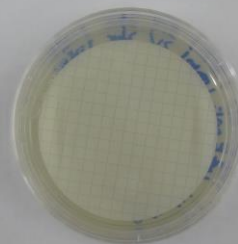


9/2/11  $10^4$  E.coli 100ml carbon 1.2V 4hr 42°C



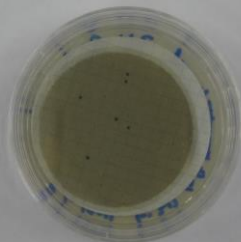
電解樣本 2 處理

8/2/11  $10^4$  E.coli 100ml 3V 2hr 42°C



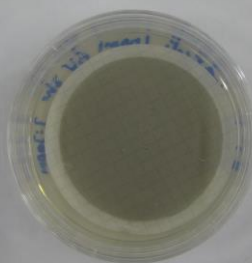
電解樣本 3 處理

8/2/11  $10^4$  E.coli 100ml 3V 4hr 42°C



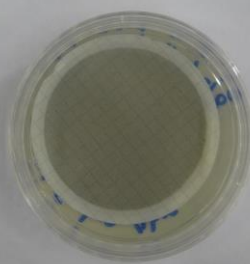
電解樣本 4 處理

8/2/11  $10^4$  E.coli 100ml 6V 2hr 42°C



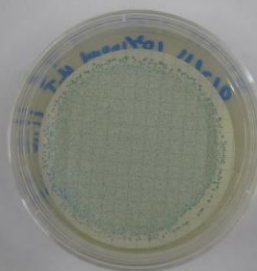
電解樣本 5 處理

8/2/11  $10^4$  E.coli 100ml 6V 4hr 42°C



電解樣本 6 處理

8/2/11  $10^2$  E.coli 100 ml U.T 42°C



未經任何處理 (對照)

### (3.4) 實驗分析

由實驗結果可知化學性質淨水處理的方法是能夠有效殺菌的，但以物理性質處理(竹炭和人造陶器)並非十分有效。竹炭失敗的原因可能是不能均勻或徹底的過濾，而人造陶器失敗的原因可能是製作陶器的材料和比例並不適合。綜合各種處理飲水的方法，人造陶器雖然不太有效，但它是最適合第三世界國家使用。原因是陶器所需的資源很少，而且在燒製以後隨時隨地都能使用，能夠有效減低處理飲水的成本。故希望可以在改良以後能夠將其效果提升。

## 第二階段

### (4.1) 重點分析人造陶器的淨水處理效能

基於第一階段的實驗結果，我們改良實驗，並設計與使用新的材料（碳酸鈣、花生渣、豆渣和不同比例的咖啡渣）來製作陶器。在實驗中找出比較適合的材料和比例以提升淨水效率。

#### (4.1.1) 比較淨水效能的測試項目

根據國家衛生部頒發《生活飲用水衛生標準》<sup>[4]</sup>中對生活飲用水有（渾濁度、pH 值、菌落總數、各種金屬及有毒物質的限制）。因此我們以上述標準進行下列測試：

- (i) 透光性（透光性越高，雜質越少；從而測驗渾濁度）
- (ii) pH 值（pH 值過高或過低代表過酸或過鹼，不適宜食用）
- (iii) 大腸桿菌的群落：（大腸桿菌對人身體有害）
- (iv) 導電性（確保處理後的水中的金屬離子不會超過限制）

## (4.2) 實驗步驟

### A. 比較不同濾液的大腸桿菌群落數目

參考第一階段的實驗步驟 A 部分。

### B. 製作陶器

#### B<sub>1</sub>: 製作陶器方法

1. 根據下表的材料及比例製作不同的陶器。

材料	比例 (材料:赤陶土)
碳酸鈣 (圖 M)	1: 1
花生渣	1: 1
豆渣	1: 1
自發粉 (圖 N)	1: 1
咖啡渣 <sub>1</sub> (圖 O)	1: 1
咖啡渣 <sub>2</sub>	1: 2
咖啡渣 <sub>3</sub>	2: 1
咖啡渣 <sub>4</sub>	1: 3



圖 M



圖 N



圖 O

2. 重覆第一階段 B<sub>1</sub> 的步驟 ( 2 - 4 )。



### C. 透光性

1. 利用去離子水調節透光計。
2. 把透光計放進處理後的水中，並記錄有關數值。(圖 P)



(圖 P)

### D. pH 值

1. 利用緩衝溶液 (pH 4 和 pH 9 ) 調節 pH 計。
2. 把 pH 計放進處理後的水中，並記錄有關數值。(圖 Q)



(圖 Q)

### E. 導電性

1. 利用標準氯化鈉溶液調節導電計。
2. 把導電計放進處理後的水中，並記錄有關數值。(圖 R)



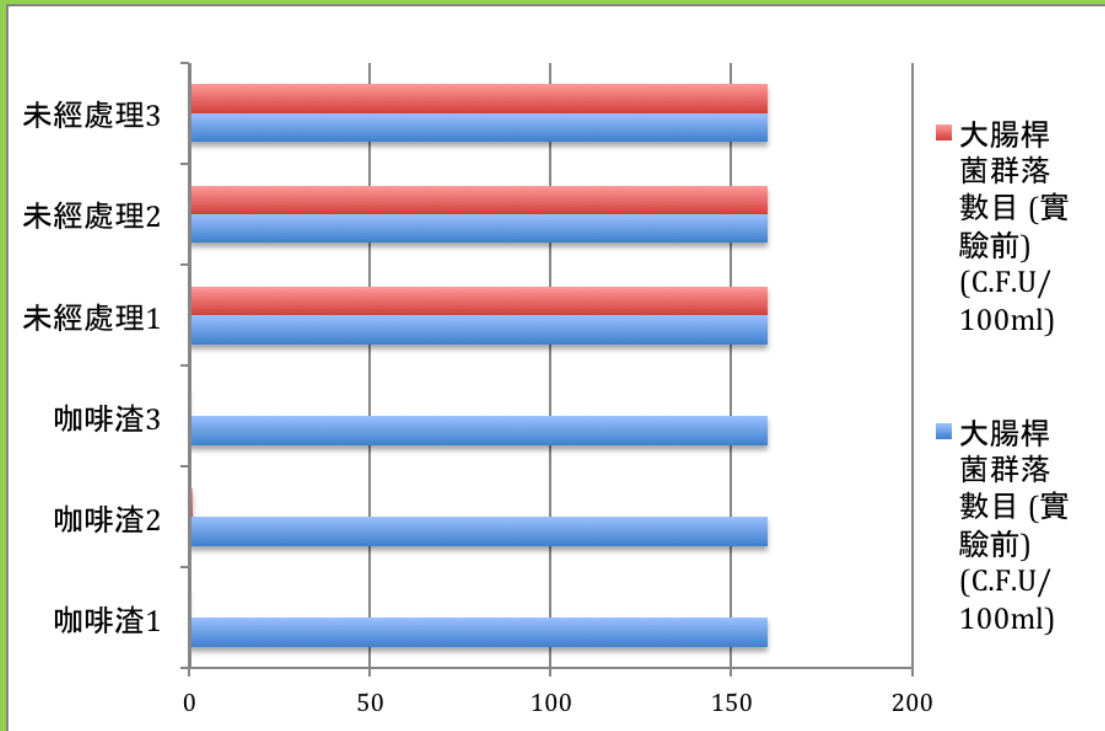
(圖 R)

### (4.3) 實驗結果

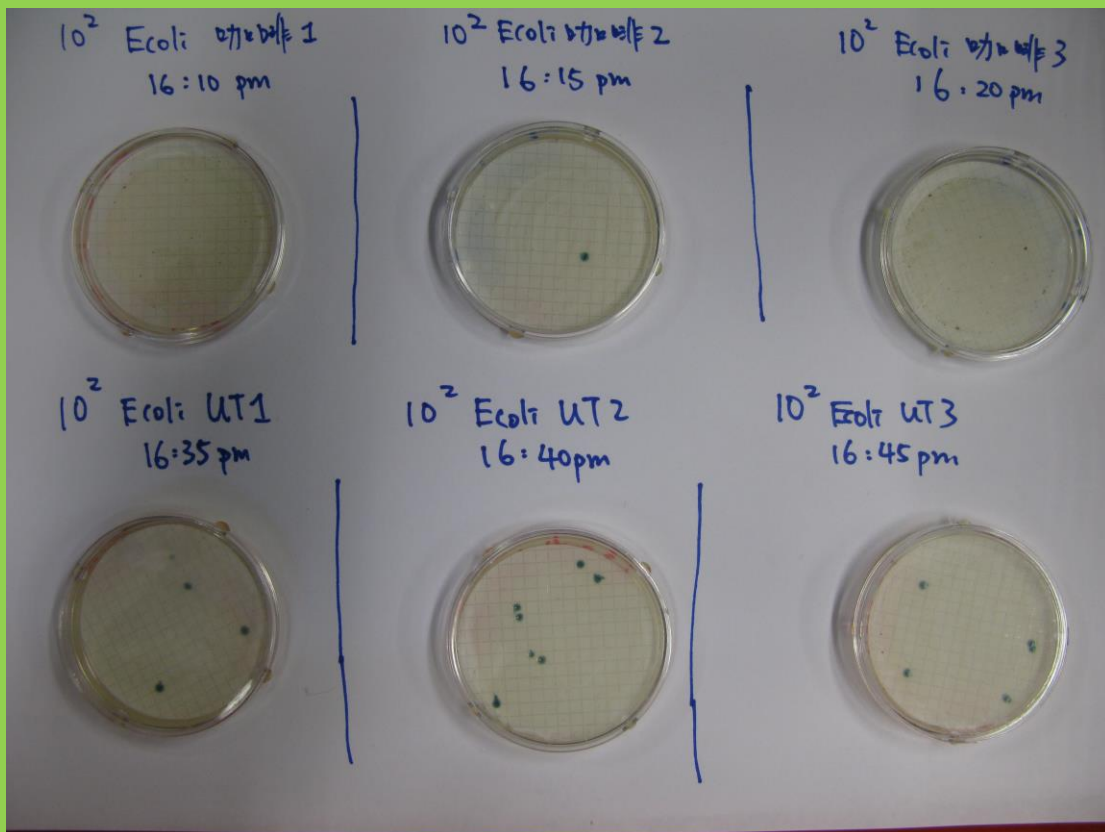
#### 第二階段

材料	比例 (材料:泥)	大腸桿菌群 落數目 (C.F.U/100ml) (實驗前)	大腸桿菌群 落數目 (C.F.U/100ml) (實驗後)	透光性	pH 值	導電性 us/cm
碳酸鈣	1 : 1	未能成功進行				
花生渣	1 : 1					
豆渣	1 : 1					
自發粉	1 : 1					
咖啡渣 <sub>1</sub>	1 : 1	160	0	100	8.8	2664
咖啡渣 <sub>2</sub>	1 : 2	160	1	100	8.1	2664
咖啡渣 <sub>3</sub>	2 : 1	160	0	100	8.1	1730
咖啡渣 <sub>4</sub>	1 : 3	未能成功進行				
未經 處理 <sub>1</sub>		160	160	100	8.0	2664
未經 處理 <sub>2</sub>		160	160	100	7.9	2664
未經 處理 <sub>3</sub>		160	160	100	7.9	2664

各陶器處理大腸桿菌 ( $10^2/100\text{ml}$ ) 的效能



各樣本陶器濾水後的大腸桿菌 ( $10^2/100\text{ml}$ ) 數量



#### (4.4) 實驗分析

根據以上實驗，在製作過程中花生渣、豆渣顆粒太大與泥土未能混合均勻，導致製作不成；碳酸鈣在燒制時溫度太低，無法形成足夠多及大的孔隙，導致水不能正常過濾；咖啡渣<sub>4</sub>和自發粉燒制形成的孔隙過小，都無法正常的濾水。然而使用咖啡渣製作的陶器成功地濾水，並且不會改變其透光性、酸鹼值和導電性。但其濾菌效果仍未理想。因此我們將改良製作方法與尋找新材料製作陶器。

## 第三階段

### (5.1) 第三階級：研究並優化人造陶器的淨水處理

我們將於這階段改良製作陶器方法（磨粉）及以新材料（茶葉渣）來製作，並提高其濾水速度。

## (5.2) 實驗步驟

### A. 比較不同濾液的大腸桿菌群落數目

參考第一階段的實驗步驟 A 部分

### B. 製作陶器

B<sub>1</sub>: 製作陶器方法

1. 根據下表的材料及比例製作不同的陶器。

樣本	材料	比例 (材料：赤陶土)
樣本 1	茶	2 : 1
樣本 2	茶	1 : 1
樣本 3	茶	1 : 2
樣本 4	茶	1.5 : 1
樣本 5	茶	1 : 1.5
樣本 6	咖啡渣	1 : 2
樣本 7	咖啡渣	2 : 1
樣本 8	咖啡渣	1.5 : 1
樣本 9	咖啡渣	1 : 1

2. 將上述的材料及赤陶土徹底磨成粉末及均勻混合。

3. 重覆第一階段 B<sub>1</sub> 的步驟 ( 2 - 4 )。

### C. 透光性

參考第二階段的實驗步驟 C 部分。

### D. pH 值

參考第二階段的實驗步驟 D 部分。

### E. 導電性

參考第二階段的實驗步驟 E 部分。

### F. 量度陶器底部的厚度

1. 利用 2 支竹籤量度各陶器內深及其高度。
2. 計算上述的差距,從而找出陶器底部的厚度。(圖 S)



(圖 S)

### G. 過濾速度

1. 將含菌的水注入各陶器。
2. 使用秒錶量度各陶器過濾速度。

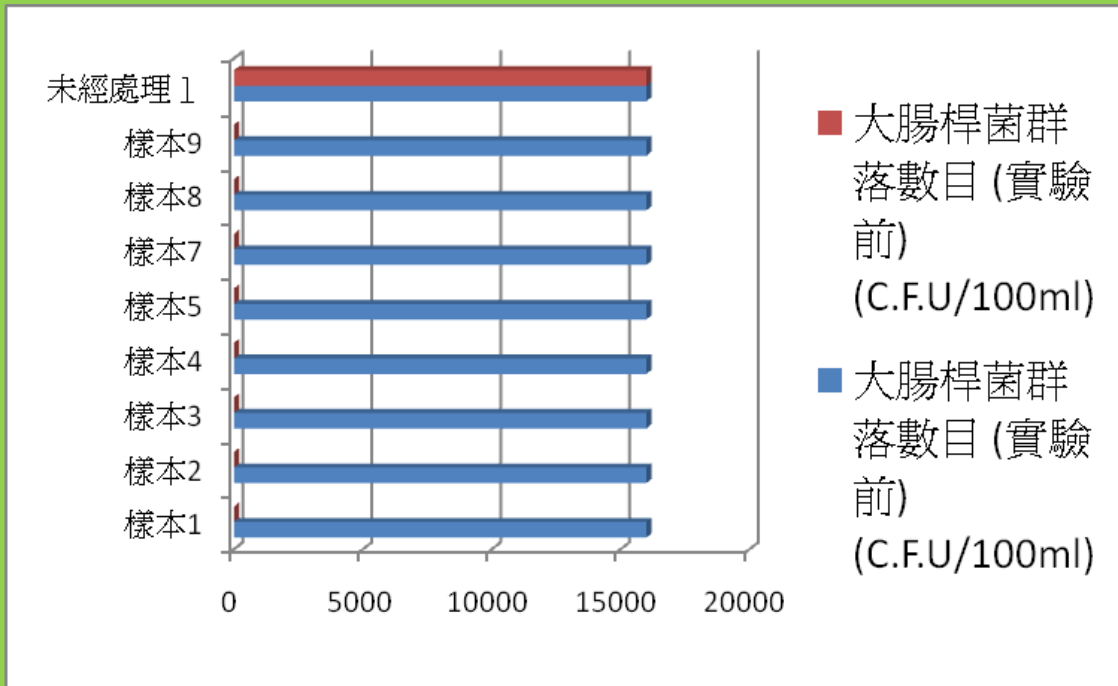
### (5.3) 實驗結果

#### 第三階段

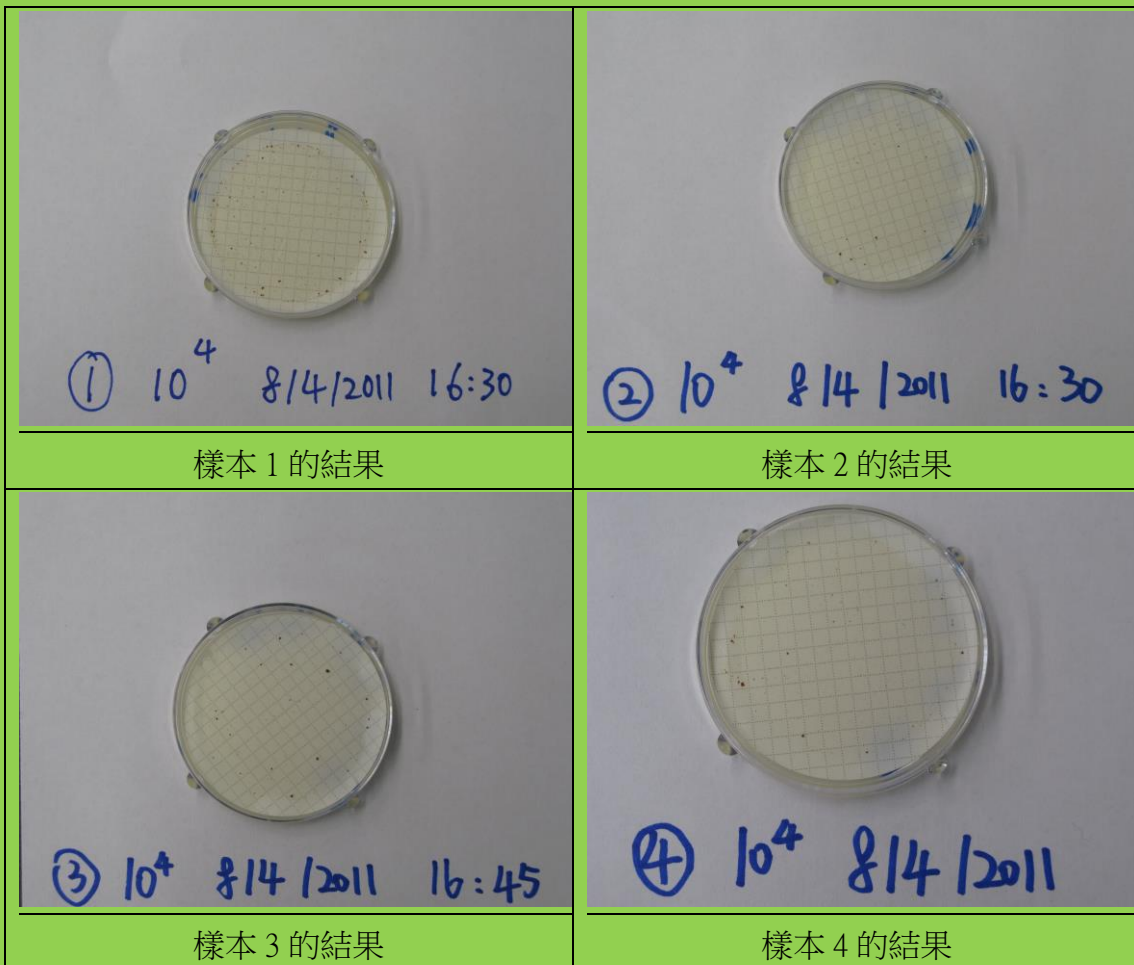
材料	大腸桿菌群 落數目 (C.F.U/100ml) (實驗前)	大腸桿菌群落 數目 (C.F.U/100ml) (實驗後)	透光性 (%)	pH 值	導電性 (us/cm)
樣本 1	16000	0	100	7.8	1496
樣本 2	16000	0	100	8.0	1513
樣本 3	16000	0	100	8.0	2099
樣本 4	16000	0	100	7.8	1649
樣本 5	16000	0	100	7.9	1602
樣本 6	16000	未能成功進行			
樣本 7	16000	0	100	7.9	2188
樣本 8	16000	0	100	7.9	2221
樣本 9	16000	0	100	7.8	2110
未經處理 <sub>1</sub>	16000	16000	100	7.5	2221

材料	過濾水的速度 (s/100ml)	陶器的厚度 (mm)
樣本 1	476	9.5
樣本 2	524	11.5
樣本 3	930	11
樣本 4	502	10
樣本 5	676	8
樣本 6	未能成功進行	
樣本 7	~18000	11
樣本 8	~65000	10
樣本 9	~18000	12

各陶器處理大腸桿菌 ( $10^4/100\text{ml}$ ) 的效能



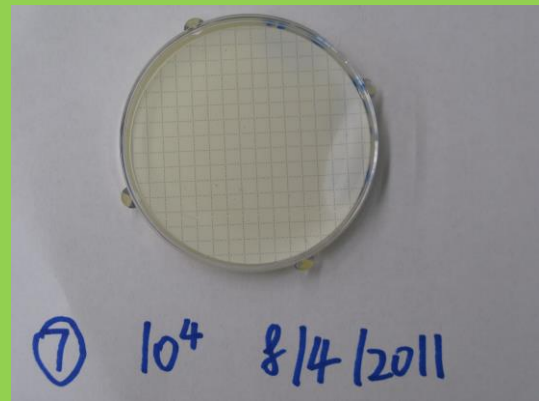
各樣本陶器濾水後的大腸桿菌 ( $10^4/100\text{ml}$ ) 數量







樣本 5 的結果



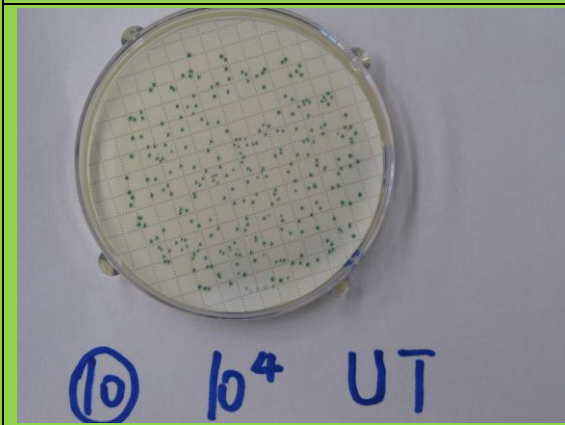
樣本 7 的結果



樣本 8 的結果

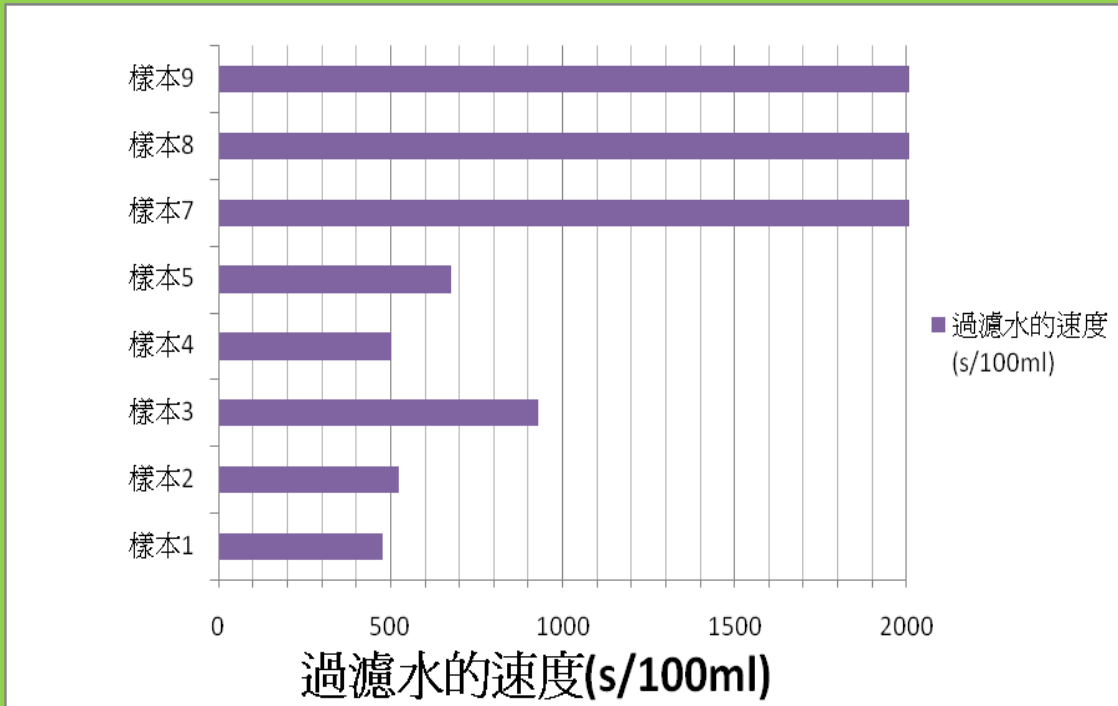


樣本 9 的結果

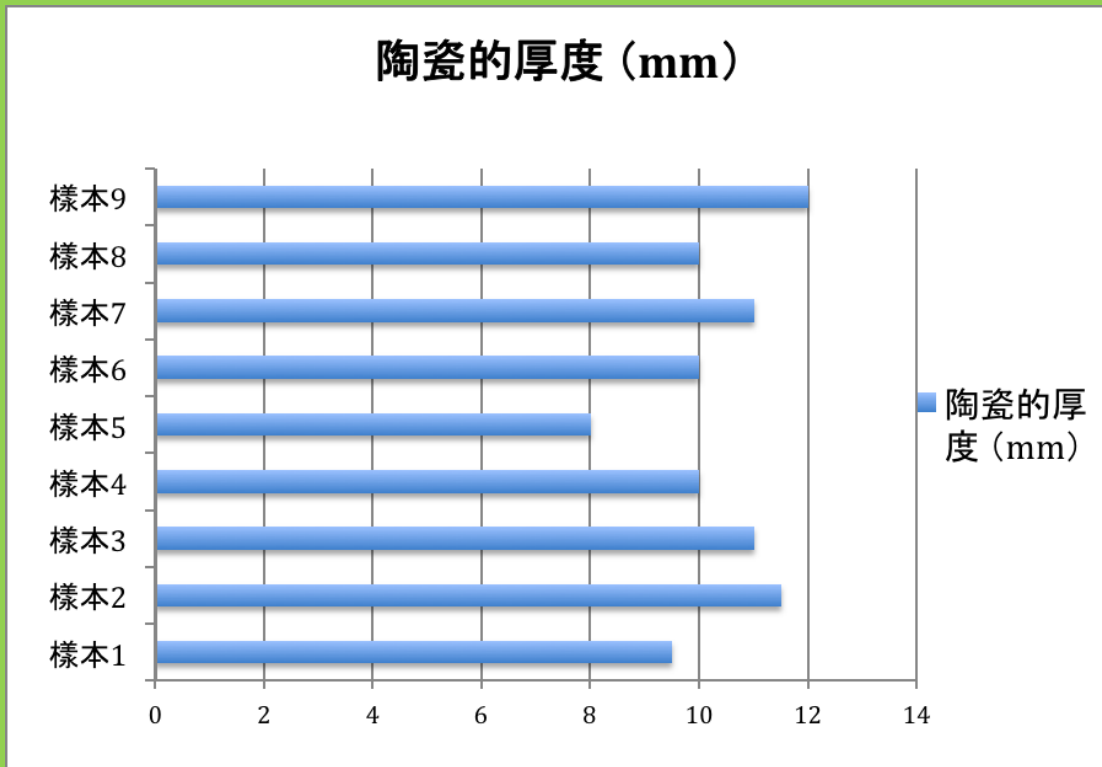


未經任何處理 (對照)

### 各陶器過濾水的速度



### 各陶器底部的厚度



#### (5.4) 實驗分析

從實驗結果顯示，將材料及赤陶土徹底磨成粉末能將燒製陶器時形成的空隙更均勻地分佈，令細菌於濾水過程中完全被隔開。所有陶器在濾水後均沒有影響水的透光性、酸鹼值和導電性。即使用茶葉渣和咖啡粉製作的陶器過濾細菌的效能及其底部厚度相若，但用茶葉渣製作的陶器有更快的過濾速度 (473s/100ml)。由此可見，茶葉渣比咖啡渣更適合用作製造陶器的材料。

## (6) 總結及展望

透過比較以不同方法處理後原水的大腸桿菌的群落（含菌量），透光性（雜質含量），導電性（金屬離子含量）和酸鹼值，我們發現人造陶器處理原水的效果是最好的。原因是它成本低之餘，亦有不俗的濾水功能。人造陶器的濾水原理是利用陶器於燒製時留下的極少空隙阻隔細菌及雜質。於是我們探究不同的材料比例，製成陶器淨水的效果並加以優化。

結果我們成功阻隔大腸桿菌並且能夠不影響水的透光性，導電性和酸鹼值。更重要的是相比起文獻提出以咖啡渣和赤陶土製造陶器，我們發現以茶渣代替咖啡渣製造的陶器不但具有相同的效果，而且它們過濾速度更快，效能更高。

展望本研究產品(以茶渣製造的陶器)可於第三世界國家和落後地區使用，協助他們處理原水問題。而在一些較富裕的國家，它亦可以配合到不同的濾水系統中，例如魚池淨水系統等，提升它的實用性和覆蓋性。

## (7) 參考資料

- [1] Angela R. Bielefeldt, Kate Kowalski, R. Scott Summers. (2009). Bacterial treatment effectiveness of point-of-use ceramic water filters, Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, University of Colorado at Boulder, 428 UCB, Boulder, CO 80309-0428, USA
- [2] M.D. Preez & K.G. Mcuigan & R.M.Conroy. (2010). Solar disinfection of drinking water in the prevention of dysentery in South Africa children aged under 5 years: The role of participant motivation, Natural Resources and the Environment, CSIR
- [3] C.Q.M (2007) SR-CL Water Purification by Electrolytic Chlorination, Ticat Yohuch, D.N Hameraz Israel
- [4] 《生活飲用水衛生標準》，(2009)，國家衛生部，中華人民共和國