

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

佳作

030805

難民救星～全自動水質淨化系統

學校名稱：高雄市立鳳西國民中學

作者： 國一 黃楚棋 國一 王芊驊 國一 李禹翰	指導老師： 張簡士鼎 許黃亮捷
-----------------------------------------------	-------------------------------

關鍵詞：過濾、淨水、濾材

摘要

在非洲有 60%的病人因飲用水的問題患病，導致每年有 180 萬名兒童死亡。為了改善水質我們尋找適合的濾材比較過濾成效，並製作過濾器比較淨化效果，除了最基本的改善水質外，我們也努力的研究如何降低成本、加強淨水效能、操作方便性及實用性來製作淨水系統，希望藉此能幫助到許多無乾淨水源飲用的可憐難民。

壹、研究動機

曾經在 Discovery 節目頻道及新聞報導上看到非洲人民的生活照片，許多人骨瘦如柴、肚子大大的、肋骨清晰可見。人們日日步行數十公里，僅為了一桶不盡乾淨的水；將汗水喝下肚受寄生蟲所苦的非洲居民更是多到數不清。我們希望研發出經濟又有效的淨水系統，使非洲人民改善飲水問題。

貳、研究目的

- 一、探討非洲地區人民飲用水對健康的影。
- 二、探討自製過濾器的淨水效果。
- 三、探討過濾後的淨化水飲用的可行性。
- 四、探討減少濾材汙損消耗的可行性。
- 五、探討太陽能全自動淨水系統的可行性。

參、研究器材和設備

材料類：寶特瓶、塑膠杯、塑膠整理箱、過濾棉、麥飯石、活性炭、珊瑚石、細砂、純水、泥沙、木屑、豆漿、食用色素、氣球棍、鐵釘、塑膠軟管、打氣筒

器材類：剪刀、尖嘴鉗、酒精燈、熱熔膠、矽利康

設備類：太陽能板、打氣幫浦、沉水馬達、NO₂ 指示劑、NO₃ 指示劑

肆、研究過程

一、探討非洲地區人民飲用水對健康的影響。

根據國際衛生組織報導及相關資訊指出：

1. 非洲缺水的問題，主要是氣候因素。非洲大陸位在南、北迴歸線之間，導致地區終年炎熱、乾旱。再加上近幾年人口快速成長，過度放牧與灌溉農業導致環境退化、湖泊萎縮、河流水位下降、降雨減少等。在非洲，不只水源難以獲得，他們還深陷水污染之苦。當地的水源取自開放的湖泊、河川，這些水常受到排泄物、工業用水汙染，人們經常因為飲用水喪失性命。據統計，全球每年有 180 萬名因飲用水問題死亡的兒童，這當中有一半都來自非洲。(預見雜誌 2015-10-02)
2. 血吸蟲病又俗稱大肚病，染病的人會出現肝脾腫大、腸壁纖維化、肝硬化和腹水的情形。如果感染的是兒童，甚至會出現發育不良和智力減退的狀況。造成寄生蟲病惡化的主因是淡水蝦的消失。過去淡水蝦每年都會到河口產卵，待幼蟲孵化後會自行回到上游生活。淡水蝦會捕食蝸牛，自然就抑制了血吸蟲的問題。然而，非洲西部河流塞內加爾河迪亞曼水壩建設完成後卻阻擋了淡水蝦的去路，不僅讓淡水蝦就此在塞內加爾河消失，也讓血吸蟲病以極快的速度蔓生滋長。史丹福大學的索科洛博士(Susanne Sokolow)也曾經對塞內加爾河的情況表示：「在有水壩的地方，血吸蟲病就會增加。而且跟那些捕食者(此處指淡水蝦)沒有消失的河域比起來，血吸蟲病的感染者至少比平均數增加一倍。」水源狀況不改善難以杜絕感染。
3. 目前血吸蟲病可以靠大量撲殺蝸牛跟用吡喹酮(praziquantel)治療來解決。然而，索科洛博士認為這樣終將是治標不治本的方法。一方面是撲殺蝸牛所使用的殺螺劑(Molluscicides)，也是另一種生態破壞；另一方面，吡喹酮雖然能將人體內 98%-99%的寄生蟲清除乾淨，但村民卻因為無法取得乾淨水源，只能繼續使用受汙染的河水，進而不斷地面臨重複感染的循環。索科洛博士表示他們已經在和地理、生態、經濟學家一同努力，並說：「目前全世界有超過 2 億 6,000 萬人受血吸蟲病所苦。其中有 1 億 1,400 萬人是孩童，就算是使用最便宜的藥劑，相關花費仍是不可計量的。」

全球至少有 **7.5** 億人口缺乏安全的飲用水，
 等於大約每10人中有1人為水所苦，
 而其中，有 **3.4** 億人口位在非洲



非洲居民每年花 **400** 億小時 走路去取水

非洲有 **60** %病人 是因飲水問題而生病

在非洲每小時有 **115** 人 因不乾淨水源或惡劣衛生環境喪生

每年有 **180** 萬名非洲兒童 因飲水導致的疾病而死亡

統計資料來源：charity:water, 2015, UN Water, 2013, 聯合國環境規劃署(UNEP), 2010, 世界水資源論壇, 2012, 聯合國環境規劃署(UNEP), 2010, 世界水資源論壇, 2012

下圖為非洲用水現況（圖一～六）



（圖一）不乾淨的井水



（圖二）就地飲用



(圖三) 不乾淨的水源



(圖四) 得了大肚病的孩子



(圖五) 千里迢迢取水



(圖六) 生病的病人

從上述文章及報導得知：

1. 非洲地區的環境衛生普遍不佳，水資源取得不易。
2. 許多人得大肚病，大多是因為喝了含有寄生蟲的未淨化水。
3. 使用殺螺劑雖然能有效的殺死水中寄生蟲，卻同時也污染了水源，造成另一種的環境汙染及破壞。
4. 非洲有 60%的人因水源生病；平均每年有 180 萬非洲兒童；每小時有 115 人因飲用未淨化水喪生。

在台灣常見的過濾方式：

為了改善非洲人民飽受水資源汙染所苦的問題，所以我們先探究台灣地區常見的過濾方式，尋找非洲地區可行辦法。

1. 天然的過濾方式：山泉水在台灣四處可見，主因是本島山多，崎嶇地形使地下水與地表接觸的機會多，山泉水更有機會湧出。相較自來水，這些經過地底岩層過濾的山泉水多半帶有豐富的碳酸鈣、碳酸鎂等礦物質，硬度通常較高。一般較為沁涼，飲用起來沒有消毒水的味道，且不像河水、井水有眾多水生動、植物棲生，口感較甘甜，早年即為各地居民仰賴的水源。
2. 自來水過濾方式：篩欄→混凝池、沉澱池→過濾池→配水池→加氯消毒。篩欄：用來篩欄各種大型體積物質，如樹枝、破布、保特瓶等。混凝池、沉澱池：加入混凝劑，並使混凝劑與水迅速混合，使混凝劑與水中細小的物質聚在一起成為較大的物質，很快的在沉澱池中沉澱下來。過濾池：經混凝沉澱無法去除之微小顆粒物質，可經由過濾池濾除。配水池：經過濾後之清水儲存的地方。加氯消毒：為避免病菌滋生，用氯氣殺菌。
3. RO 逆滲透原理方式：家庭所使用逆滲透飲水機即是在原水端加壓，使純淨水分子得以穿透薄膜產生純水，同時阻止各種雜質及有害物質穿透薄膜，並將這些含有雜質的廢水予以排放。一般每造 1 份純水約會排放 3~5 份廢水，水源品質愈差則廢水比例愈大。逆滲透就是在半透膜二側不同濃度溶液尚未達到平衡時，若在濃度較高的一方施予一壓力，則濃度較低一側水分子滲透移動的速度，會因壓力逐漸增大而減緩。當此壓力達到某一程度時，溶液滲透現象將會停止，此時的壓力可稱為該薄膜 (Membrane) 的「滲透壓力」 (osmotic pressure)。如果再持續增加該側壓力，則水分子會與一般滲透方向反流動，而自高濃度一側流向低濃度一側，這種現象即稱為「逆滲透」。

研究後得知:

1. 天然過濾方式：首先必須符合地理條件，若無地理上的優勢，就無法運用。
2. 自來水廠的過濾方式：雖能有效的處理大量的水源，但人力、管線、設備與技術層面較高，難以在基礎建設普遍落後的地區實施，所以也不適用。
3. RO 逆滲透裝置：是目前台灣居民家中非常普遍的設備。RO 過濾器的上入水口大多連接自來水管線，水源是已經經過處理的自來水，若直接用於未處理過的生水，過濾器容易阻塞，不適用。

二、探討自製過濾器的淨水效果。

我們希望以不破壞環境的方法，利用過濾的原理方式淨化水源，找出合適的濾材

製作過濾器。

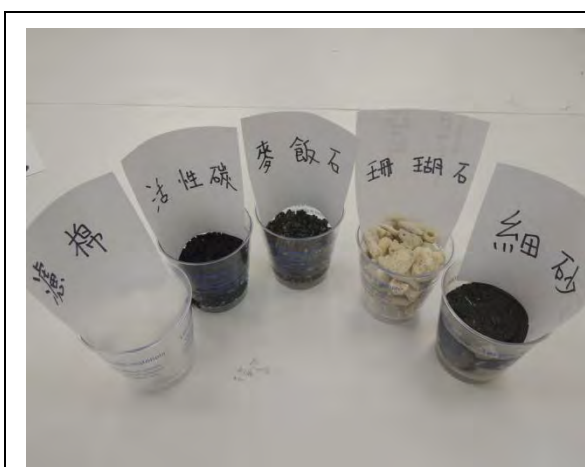
(一) 自製簡易過濾槽及各種不同濾材的過濾成效比較

實驗說明:

1. 利用不要的塑膠杯製作簡易的濾水杯，在此我們稱為濾槽；可以做為水源淨化的物質，我們稱為濾材。
2. 為了讓水源可以通過濾材並對水質淨化，所以我們在濾槽內穿孔，使水源順利通過流出。
3. 為了找出常見的過濾材料中，最適合作為過濾的物質，所以我們收集了五種不同的濾材，包括濾棉、活性炭、麥飯石、珊瑚石和細沙等，進行過濾實驗。
4. 將污水倒入裝有濾材的濾槽上方，因受地心引力影響污水便會通過濾材流往下方，最後由濾槽孔流出。此實驗我們以目視觀察混濁程度及過濾速度定義過濾成效。

實驗步驟:

1. 以塑膠水杯作為濾槽；並利用酒精燈加熱鐵絲，在每個塑膠水杯上各穿 10 個小孔。
2. 收集五種不同濾材包括濾棉、活性炭、麥飯石、珊瑚石和細沙，並將五種濾材分別裝進濾槽內，倒入目視渾濁的實驗污水。
3. 本實驗採目視觀察、記錄過濾成效。(表一)



(圖七) 各種濾材放置濾槽



(圖八) 將污水倒入濾槽

(●透明無色；▲透明但有點濁；X混濁)

表一、不同濾材的過濾成效紀錄。

效果 水源	濾材	濾棉	活性炭	麥飯石	珊瑚石	細沙
清水		X	●	▲	X	X
泥沙水		X	●	▲	X	X
染色水		X	●	▲	X	X
豆漿水		X (阻擋異物)	●	▲	X	X
結果	活性炭效果最好					

從表一、不同濾材的過濾成效紀錄得知：

1. 過濾效果排行依序為活性炭 > 麥飯石 > 細沙 > 珊瑚石 > 濾棉。
2. 濾棉過濾效果雖差，但能夠有效阻隔異物流入過濾槽。
3. 我們選用活性炭、麥飯石、濾棉作為過濾器的濾材。

(二)濾材過濾水飼養魚隻

我們將選用的濾材裝在塑膠箱內作為濾槽，並且利用沉水馬達將汙水打入濾槽內進行過濾循環養殖。探究原本無法養殖魚類的汙水，經過淨化後是否能讓魚隻生存。

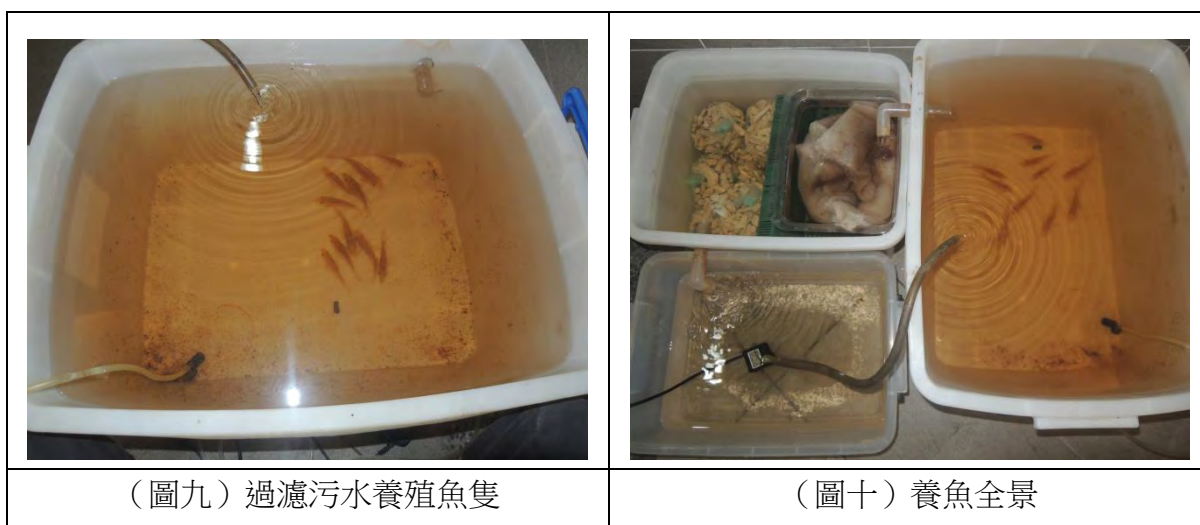
實驗說明:

1. 測試水質是否能有效淨化，若水質不好魚隻則無法健康生存。
2. 沉水馬達是一種插電後放置水中的抽水裝置，我們利用此裝置將汙水自動抽取至濾槽循環過濾。
3. 觀察記錄魚隻的生活情況。

實驗步驟:

1. 取三個塑膠整理箱尺寸(大、中、小)；作為魚池、濾水池、靜水池。
2. 在整理箱上穿洞，並用塑膠水管相互連接。
3. 在靜水池裝置沉水馬達，通電後沉水馬達便能將水揚起，把淨化後的水打入魚池。
4. 將濾材置於濾水池，由上至下依序為(濾棉、麥飯石、活性炭)。

5. 池中飼養 10 隻吳郭魚苗作為檢測。



(圖九) 過濾污水養殖魚隻

(圖十) 養魚全景

表二、過濾後的汙水養魚紀錄。(單位：隻)

魚 量 時 間	水 源	泥沙水	染色水	豆漿水	備註
三天		10	10	10	第一天魚隻不進食
一星期		10	10	10	長出藻類
二星期		10	10	10	長出更多藻類
備註		濾棉損耗較嚴重，稍有阻塞。	容易過濾	較難過濾	

從表二、過濾後的汙水養魚紀錄得知:

三種汙水(泥沙水、染色水、豆漿水)淨化後養殖，魚隻全數存活，過濾效果不錯。若給人體飲用短期間內或許不會對人體造成傷害，詳細的水質研究我們後續進行。

(三)自製過濾器→傳統式。

學校上課時老師曾提及簡易過濾的方式是將一個底部有孔的容器內部放入濾材，倒入汙水後會因地心引力的作用，水會由上層流往下層達到淨化的作用。容器越高裝填的濾材就越多，淨化效果也會愈佳。

實驗說明:

1. 我們將濾材裝入切開的寶特瓶內，由上往下分為三層。第一層為過濾棉；第二層為麥飯石；第三層為活性炭。利用地心引力牽引水往下流，使欲淨化的水通過濾槽，層層過濾達到淨水的效果。在這此我們稱為傳統過濾器。
2. 燒杯放置出水口的下方，並用碼表計時一分鐘可淨化出多少的水量。
3. 本實驗採目視觀察、記錄過濾成效。

製作過程:

1. 將寶特瓶切開，以倒放的方式裝置，瓶口朝下。
2. 利用酒精燈加熱鐵釘，在寶特瓶蓋上穿 10 個小孔作為出水孔。
3. 瓶內裝入濾材分為三層(過濾棉、麥飯石、活性炭)。
4. 將污水倒入過濾瓶內，並觀察記錄淨水效果。(表三)



表三、肉眼觀察簡易傳統式過濾器水質檢測紀錄

傳統式 污水	泥沙水	染色水	腐壞豆漿水
過濾效果	●	●	●
過濾速度 毫升/分	292	332	316
平均過濾速度 毫升/分	313		
備註	流速緩慢，會有積水情形發生		

(●透明無色；▲透明但有點濁；X 混濁；)

由表三、肉眼觀察簡易傳統式過濾器水質檢測紀錄得知:

1. 傳統的過濾方式雖然能有效的淨化水源，但濾材的更換、加裝、清洗實在非常的不便。
2. 過濾的過程中我們發現傳統式過濾器的淨水速度緩慢，平均每分鐘只能過濾 313 毫升的水量；每小時過濾約 18.7 公升。若一次倒入太多水，還會導致水源外漏。
3. 傳統過濾器若要放置較多濾材，最終會形成高塔狀，重心不穩固。

(四) 自製過濾器→氣動式過濾器

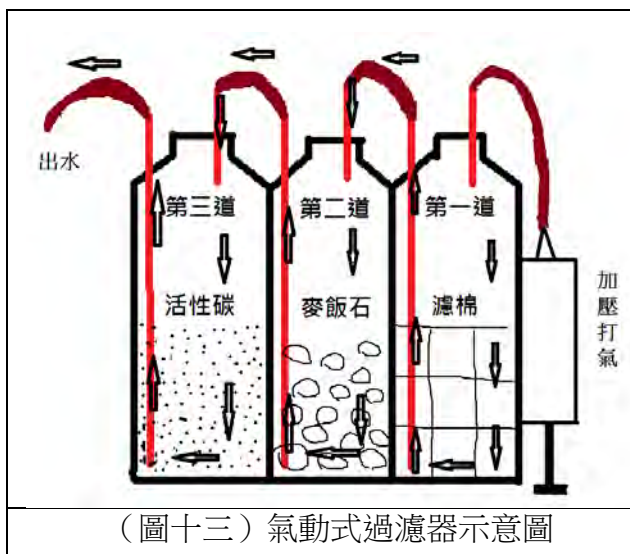
由上述實驗我們知道傳統式過濾器的許多缺點，若將廢棄的寶特瓶作為濾瓶，每個濾瓶都放滿濾材並且相互連接，利用加壓打氣的方式，當濾瓶內的氣壓大於水壓，水便會在濾瓶內流動。

實驗說明:

1. 為了改善傳統式過濾器淨水速度緩慢及濾材更換、加裝、清洗不易的問題，我們設計了氣動式過濾器。
2. 將濾材分別裝入廢棄的寶特瓶內，在此我們統稱為濾瓶；由入水口至出水口依序排列為第一瓶→第二瓶→第三瓶。
3. 利用加壓打氣的方式將空氣注入過濾器內，當氣壓大於水壓時，濾瓶內的水便會被空氣由第一瓶推向第二瓶、第三瓶，最後流出。
4. 若想增強過濾效果可自行串接濾瓶，串接愈多效果愈好。
5. 以肉眼目視觀察淨化後水質的澄清度判定淨水效果並加以記錄。(表四)

製作過程：

1. 將鐵釘利用酒精燈加熱，在寶特瓶及寶特瓶蓋上穿洞，此洞為比氣球棍還小的孔。
2. 氣球棍裁剪成適當的長度後，點上熱熔膠，再壓進穿好孔的寶特瓶中，使其能與洞口密合，作為水管來使用。
3. 寶特瓶內填入濾材後瓶蓋鎖緊，氣球棍以軟管連接。
4. 測試氣密效果，漏氣的部分以熱熔膠或矽利康膠補強。
5. 過濾器為三道濾瓶組成。第一道濾棉；第二道麥飯石；第三道活性碳。



(圖十三) 氣動式過濾器示意圖



(圖十四) 氣動式過濾器 裝有濾材

表四、氣動式過濾器簡易水質檢測記錄。

氣動式過濾器 \ 污水	泥沙水	染色水	腐壞豆漿水
過濾效果	●	●	●
過濾速度 毫升/分	1154	1560	1271
平均過濾速度 毫升/分	1328		
備註	方便拆卸、組裝濾瓶		

(效果●透明無色；▲透明但有點濁；X混濁)

由表四、氣動式過濾器水質檢測紀錄得知:

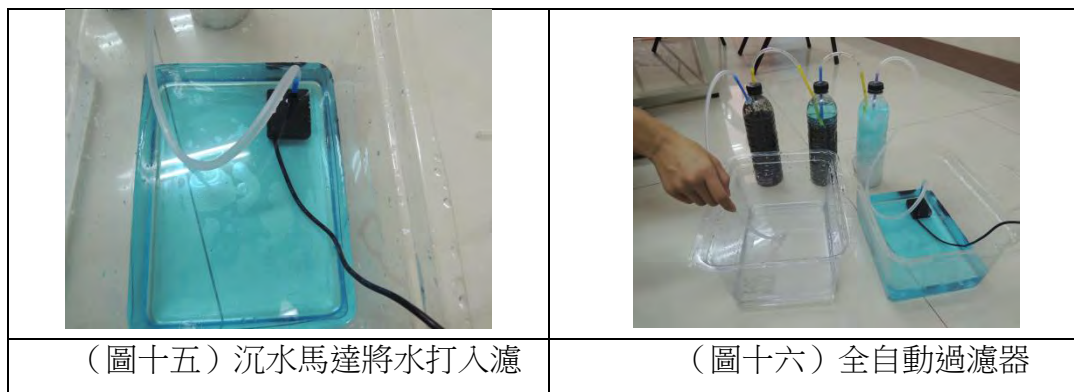
1. 氣動式過濾器能有效的淨化泥沙水、染色水、腐壞豆漿水，過濾效果不錯。
2. 平均每分鐘可過濾 1328 毫升的水，換算起來每小時可過濾 79.68 公升的水量；但手動加入水源仍非常不便。
3. 氣動式過濾器可拆卸分解，還可隨意的增加濾瓶，加強濾效果。方便組裝、拆卸、清洗，機動性高。

(五) 自製過濾器→全自動過濾器

氣動式過濾器雖然能有效的增加過濾速度，但每次濾瓶內的水過濾完後必須打開瓶蓋再次的倒入水源鎖上蓋子才可繼續使用，不夠便利。所以我們希望加裝沉水馬達 改為自動抽水，克服人工加水的不便。

實驗說明:

沉水馬達是一種裝置在液面下的抽水裝置，通電後可以將水揚起。(圖十五)(圖十六)我們用現有的沉水馬達(出水量每小時 200 公升)代替氣動式過濾器的打氣筒。當馬達運轉產生水壓，便能將汙水打入濾瓶內並且層層過濾，最後由出水口流出達到淨化水質的效果。此實驗記錄如下:(表五)(表六)



表五、全自動過濾器簡易水質檢測記錄

汙水	泥沙水	染色水	腐壞豆漿水
氣動式過濾器			
過濾效果	●	●	●
過濾速度 毫升/分	1035	1267	1158
平均過濾速度 毫升/分	1153		
備註	流速緩慢，會有積水情形發生		

(效果●透明無色；▲透明但有點濁；X混濁)

表六、三種過濾器比較

汙水	傳統式	氣動式	全自動
過濾器種類			
平均過濾速度 公升/時	18.70	79.68	69.18
操作方便程度	不便	不便	方便
操作方式	手動	手動	自動
效果			※

(※：效果佳)

由表五、全自動過濾器水質檢測記錄及表六、三種過濾器比較得知:

1. 氣動式過濾器能有效的淨化泥沙水、染色水、腐壞豆漿水過濾效果不錯。
2. 平均每分鐘可過濾 1153 毫升的水，每小時可過濾高達 69.18 公升的水量，與

氣動式過濾器濾水效果相差不遠。

3. 與氣動式過濾器相比，加裝沉水馬達的全自動過濾器不須手動加水也不必加壓打氣，只要插電即可運作。
4. 與氣動式過濾器相同，加裝沉水馬達的全自動過濾器可拆卸分解，還可輕鬆的加裝濾瓶增強過濾效果，組裝、拆卸、清洗方便機動性能高。

(六)濾材的清洗

若過濾器只使用一次性濾材，汙損後換上新的濾瓶，不僅無法再次使用也相當的浪費，所以我們嘗試清洗濾材來測試濾材重複使用的可能性。

一般來說在不破壞環境的情況下恢復濾材活性有以下幾種方法 1.清水洗淨法、2.曝曬再生法、3.加熱再生法、4.蒸氣脫附再生法。

實驗說明:

1. 清水洗淨法：以清水清洗濾材表面的汙染物，洗淨後使濾材恢復吸附能力。
2. 曝曬再生法：藉由日照使濾材膨脹，將內部的水份及氣體排出，恢復濾材吸附性能力。
3. 加熱再生法：加熱的過程中使濾材表面的汙染物分子脫離濾材，加快濾材恢復吸附能力。
4. 蒸氣脫附：利用水分子撞擊濾材，將濾材內的汙染物與氣體帶離，恢復濾材吸附能力。



(圖十七) 加熱再生法



(圖十八) 蒸氣脫附法

表七、不同清洗方式比較

還原 \ 濾材	濾棉	麥飯石	活性炭
清水洗淨法	X	●	●
曝曬再生法	X	●	●
加熱再生法	X	●	●
蒸氣再生法	X	●	●

(●可還原；X無法還原)

由表七、不同清洗方式比較發現:

1. 濾棉是最不容易清洗的，無法重複利用
2. 四種方式對麥飯石及活性炭皆能有效地恢復吸附能力，但曝曬再生法還原效果最差，不建議單純使用曝曬再生法。
3. 麥飯石及活性炭經過清水洗淨法、加熱再生法或蒸氣再生法後，再利用曝曬再生法可增強還原效果。
4. 在落後地區可蒸氣再生法可能不易實施，所以可以採用清水洗淨法結合曝曬再生法或加熱再生法結合曝曬再生較容易實施
5. 氣動式過濾器與全自動過濾器只要準備兩組濾材，就可以輪流替換使用。

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論:

1. 我們選用過濾棉、麥飯石、活性炭作為過濾器的濾材實屬有效。
2. 經過淨化的汗水非常適合魚類生存，證明淨化效果良好。
3. 傳統過濾器及氣動式過濾器兩種都能夠有效的淨化汗水；兩種皆必須手動加入水源十分不便。
4. 若不計裝水時間，傳統過濾器每小時約可淨化出 18.7 公升的水；氣動式過濾器每小時可過濾 79.68 公升的水，比傳統式過濾器淨水速度快了許多。
5. 傳統式過濾器濾材的更換、加裝、清洗不易；氣動式過濾器就沒有這些問題；但在加入汗水的過程中兩種方式都不便利。
6. 全自動過濾器可以克服手動倒入汗水及加壓打氣的麻煩，不會有操作不便的

問題。每小時可過濾高達 69.18ml 的水量且在濾材的更換、加裝、清洗也是相當方便快捷；但需要電力的輸入才能啟動。

7. 清水洗淨法與加熱再生法結合曝曬再生法較容易實施，可以有效的清洗麥飯石及活性碳，還原吸附能力。濾棉無法清洗，所以汙損後必須更換。

三、探討過濾後的淨化水飲用的可行性。

前次實驗我們只是簡單的以目測進行水質測定，但無法確定是否為可以飲用的水源，非洲許多人之所以得了大肚病最主要的原因就是喝了含有血吸蟲的汙水，這些肉眼看不見的危險比起看的見的要恐怖的多。血吸蟲，又名裂體吸蟲，屬扁形動物門，主要指所有歸類在裂體屬下 19 個同屬的物種。其中有 6 種可以寄生人類主要者有三種，分別流行於中東、亞洲和南美洲地區，分布範圍較廣，且是可以感染人類的主要三種血吸蟲；吸血蟲成蟲體長為 1~2 公分，卵為 112~180 μm 。為了方便實驗操作，我們拆卸雷射筆取出內部的凸透鏡(在此我們稱為雷射鏡頭)。我們將用手機與雷射鏡頭結合觀察並拍照記錄實驗結果。根據放大倍率公式計算雷射鏡頭放大倍率為 31.25 倍，手機相機倍率 4 倍，結合後約放大 125 倍。(高市 56 屆科展作品看不見的秘密~手機顯微鏡與觀測台鏡架的非凡組合)

(一) 微生物檢測：過濾微生物→輪蟲

因微生物非常細小，無法用肉眼判斷。我們利用複式顯微鏡觀察水質淨化的情形； μm 表示微米。

輪蟲，是輪形動物門的一群小形多細胞動物。剛孵化體長為 94~163 μm 。多數輪蟲身體由頭、軀幹和足三部分組成（有的無足，在前端有纖毛，形似轉輪而得名。分佈廣，多數自由生活，有寄生的，有個體也有群體。廢水生物處理中的輪蟲為自由生活的。身體為長形，分頭部、軀幹及尾部，形如車輪故叫輪蟲。輪盤為輪蟲的運動和攝食器官，咽內有一個幾丁質的咀嚼器。軀幹呈圓筒形，背腹扁寬，具刺或棘，外面有透明的角質甲臘。尾部末端有分叉的趾，內有腺體分泌粘液，藉以固著有其他物體上。雌雄異體。卵生，多為孤雌生殖。

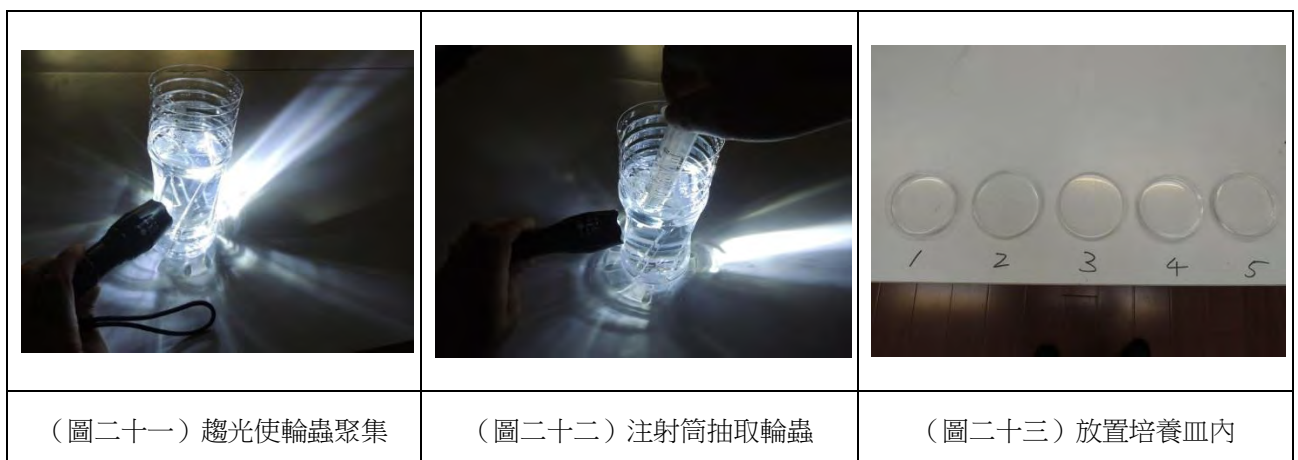
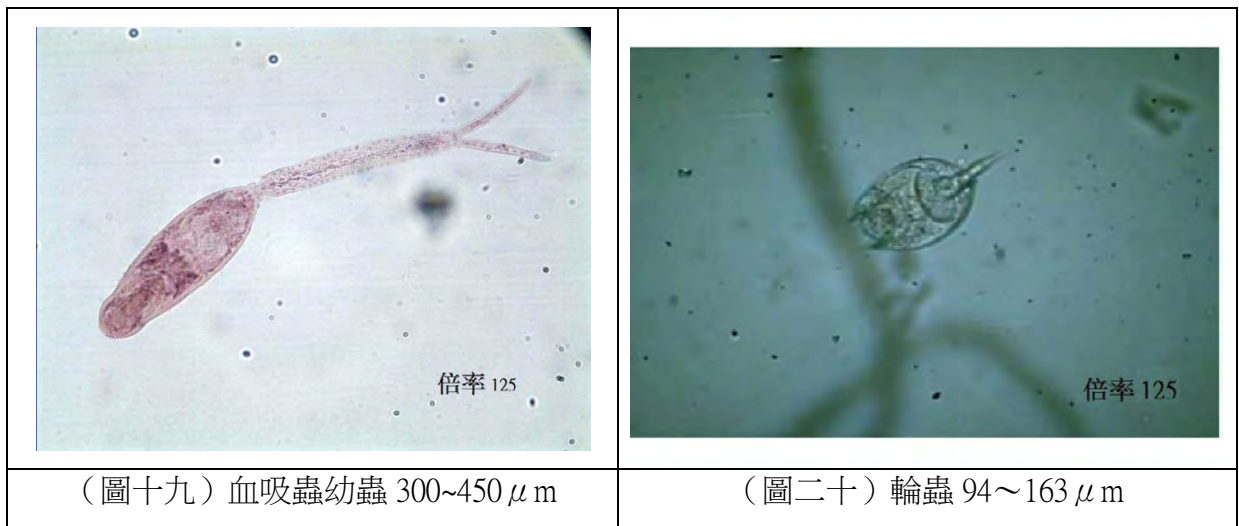
實驗說明:

1. 根據水族館資料 1c.c.的蟲卵約可孵出 10000 隻的輪蟲。
2. 將含有已孵化輪蟲約 10000 隻的水倒入濾瓶內過濾。剛孵化輪蟲體長約 94~163 μm 。

3. 吸血蟲成蟲體長為 1~2 公分，卵為 112~180 μm 。
4. 血蟲卵與剛孵化輪蟲大小差不多，若過濾器能將其濾除，代表也能濾除血吸蟲。

操作步驟：

1. 我們將 1c.c 的輪蟲卵加入裝水 500c.c.的寶特瓶內。
2. 孵化後將輪蟲倒入濾瓶內進行過濾。
3. 因為輪蟲有趨光性，為求較精準的過濾數據，我們將過濾後的輪蟲水在暗室利用手電筒聚光十分鐘，再用注射筒分別抽取至五個培養皿內，並利用手機顯微鏡觀察拍攝實驗結果。



表八、過濾微生物-輪蟲過濾紀錄

情 況	微生物	輪蟲
處理	體長	94~163 μ m
	倒入數量	約 10000
	過濾後	無
	備註	大小相近的血吸蟲也可濾除

實驗後發現:

1. 將充滿輪蟲的水(約 10000 隻) 倒入濾瓶內過濾，淨化後輪蟲完全無殘留，濾除率達 100%。
2. 過濾器能完全濾除輪蟲，表示引起非洲居民大肚症的血吸蟲也能完全濾除；淨化效果極佳。
3. 過濾顆粒效果達 0.2 微米以下。

(二) 水中有機物質檢測 看不見的水中汙染物往往對人類傷害很大，而看似清澈的水中，可能有許多有機質，其中最常見的有機物質就是(NO₃)硝酸鹽與(NO₂)亞硝酸鹽。根據國內飲用水的規定每公升的飲用水 NO₂ 不得超過一毫克/公升；NO₃ 不得超過十毫克/公升。這些有機質不但對人體造成莫大的傷害，同時還會儲存在植物、動物體內，造成生物毒素累積的循環，影響生態破壞環境。

實驗說明:

1. 硝酸根 (NO₃⁻) 和亞硝酸根 (NO₂⁻) 皆為天然形成的離子且是氮循環的一部分。硝酸鹽(例如：硝酸鉀和硝酸銨)為常見的含氮肥料。
2. 亞硝酸鹽易氧化成硝酸鹽。因此硝酸鹽更常見於地下水及地表水中。
3. 土壤中的硝酸鹽化合物通常易溶於水，易流入地下水中。
4. 可能經由正常飲食中暴露在硝酸鹽及亞硝酸鹽中。如花椰菜、菠菜、綠甘藍、甜菜和根菜類蔬菜自然含更多硝酸鹽。
5. 可能藉由受含氮肥料(如：硝酸鉀及硝酸銨)污染的土壤或水質暴露到高劑

量的硝酸鹽/亞硝酸鹽。

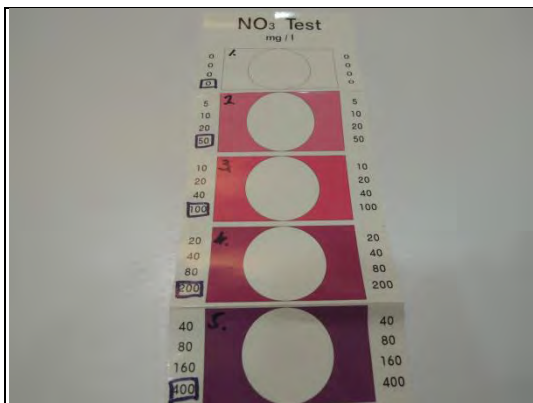
6. 過量的硝酸鹽和亞硝酸鹽會導致急性後天變性血紅素症。血紅蛋白負責從肺部運送氧至身體組織，並將組織生成的二氧化碳帶回肺部排出。
7. 變性血紅素症其實就是血液中含有過多的高鐵血紅蛋白，此病症會導致四肢軀幹缺氧變藍(發紺)、無力和心臟快速跳動的症狀。更嚴重會導致中樞神經系統衰退、噁心等狀況。最後進入昏睡狀態、輕度失去意識、昏迷甚至死亡。
8. 母親暴露在環境中的硝酸鹽及亞硝酸鹽可能有更高的風險引發懷孕併發症，如貧血、流產、早產或子癲前症。
9. DHHS、IARC 及 U.S. EPA 尚未將硝酸鹽及亞硝酸鹽歸為對人類具致癌性一物。
10. 胎兒時期患有變性血紅素症可能會對嬰幼兒造成嚴重的問題。新生嬰兒血液中主要還是以對氧親合力較低的胎兒血紅蛋白占多數。因此，四個月以下的新生兒，特別是早產兒對此暴露因子更敏感。懷孕近 30 週的準媽媽和胎兒可能會對硝酸鹽及亞硝酸鹽的毒性更加敏感。
11. 透過以下方式減低家庭暴露：避免接觸到受高劑量硝酸鹽及亞硝酸鹽污染的水質、土壤及食物，監控充滿噴灑含氮肥料區域內的井水。
12. 目前還尚未有例行性的醫學檢測能測出體內硝酸鹽及亞硝酸鹽的值。不過倒是可經由驗血測出是否患有變性血紅素症。

NO₃(硝酸鹽)檢測

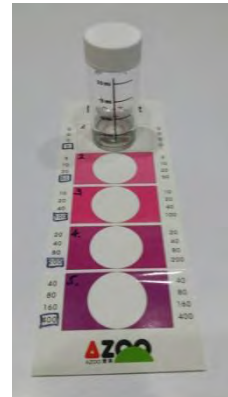
實驗步驟:

1. 利用 NO₃ 指示劑測量水中硝酸鹽濃度 mg / L；NO₃ 指示劑對照表分為五個顏色由淺至深，每個顏色不同的硝酸鹽含量，每公升含有的硝酸鹽依序為(0、50、100、200、400)mg / L。
2. 將欲檢測的水源倒入氣動式過濾器內進行過濾，淨化後利用 NO₃(硝酸鹽)指示劑對水質進行檢測。
3. 取 10cc 水溝汙水加入 NO₃ 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的水溝汙水加入 NO₃ 指示劑進行測定(實驗組)。

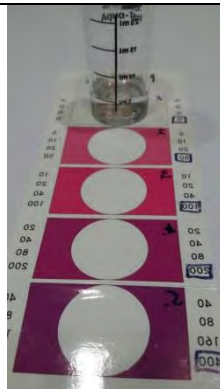
- 取 10cc 腐壞豆漿水加入 NO₃ 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的腐壞豆漿水加入 NO₃ 指示劑進行測定(實驗組)。
- 觀察記錄指示劑變化情形。



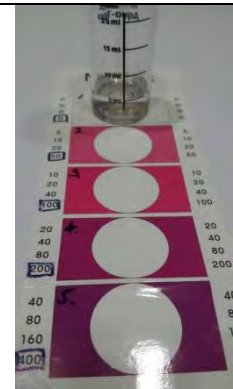
(圖二十四) NO₃ 指示劑對照表



(圖二十五) NO-純水



(圖二十六) NO₃-水溝汙水(左對照組、



(圖二十七) NO₃-腐壞豆漿水(左對照組、右實驗組)

表九、NO₃ 水質檢測(NO₃)mg/L

含 處理	水源 量	純水	水溝汙水	腐壞豆漿水
		過濾前	0	100 ↑
過濾後		0	0	0
備註	過濾後三種水質測得的數值皆為 0；淨化效果極佳			

實驗後發現：

- RO 純水加入 NO₃ 指示劑其對照數值為 0 毫克。
- 原先腐壞豆漿水加入 NO₃ 指示劑(對照組)為最嚴重的紫爆等級，每公升含 400

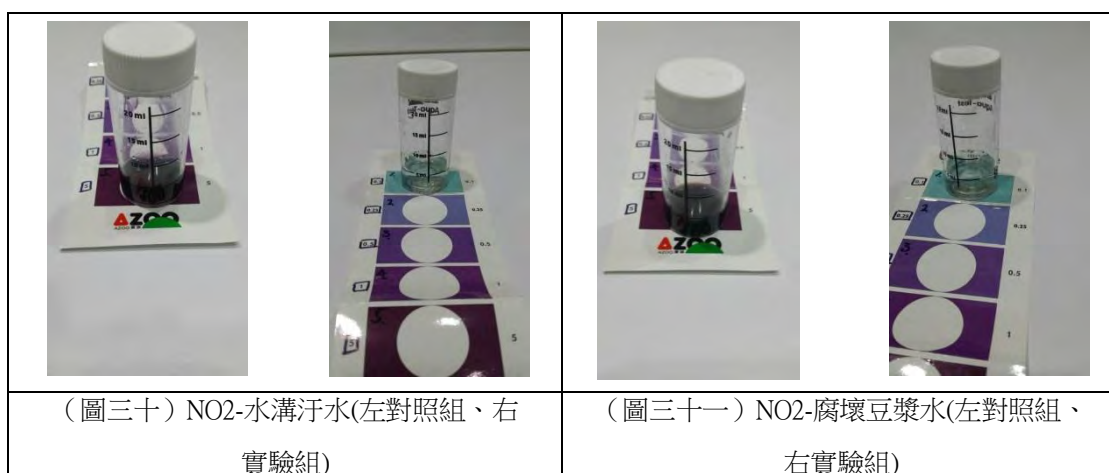
毫克以上的 NO₃；淨化後的腐壞豆漿水(實驗組)每公升 0 毫克，為乾淨水質。

3. 原先水溝汙水加入 NO₃ 指示劑(對照組)為第二高的深紫等級，每公升 100 毫克以上的 NO₃；淨化後的水溝汙水(實驗組)每公升 0 毫克，為乾淨水質。

NO₂(亞硝酸鹽)檢測

實驗步驟:

1. 利用 NO₂ 指示劑測量水中亞硝酸鹽濃度 mg / L；NO₂ 指示劑對照表分為五個顏色由淺至深，每個顏色不同的亞硝酸鹽含量，每公升含有的亞硝酸鹽依序為 (0~0.1、0.25、0.5、1、5)mg / L。
2. 欲檢測的水源倒入氣動式過濾器內進行過濾，淨化後利用 NO₂(亞硝酸鹽)指示劑對水質進行檢測。
3. 取 10cc 水溝汙水加入 NO₂ 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的水溝汙水加入 NO₂ 指示劑進行測定(實驗組)。
4. 取 10cc 腐壞豆漿水加入 NO₂ 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的腐壞豆漿水加入 NO₂ 指示劑進行測定(實驗組)。
5. 觀察記錄水質變化情形。



表十、NO₂ 水質檢測 (NO₂)mg/L

含 處理 量	水源	純水	水溝汙水	腐壞豆漿水
過濾前		0~0.1	5 以上	5 以上
過濾後		0~0.1	0~0.1	0~0.1
備註	NO ₂ 指示劑粉末本身為極淺的藍色，因此測得的數值無法為零			

實驗後發現

1. RO 純水加入 NO₂ 指示劑其對照數值 0~0.1 毫克。
2. 腐壞豆漿水加入 NO₂ 指示劑(對照組)為最嚴重的等級，每公升含 5 毫克以上的 NO₂；淨化後的腐壞豆漿水(實驗組)每公升 0~0.1 毫克，為乾淨水質。
3. 水溝汙水加入 NO₂ 指示劑(對照組)為第二高的等級，每公升含 5 毫克以上的 NO₂；淨化後的水溝汙水(實驗組)每公升 0~0.1 毫克，為乾淨水質。
4. 每日每公斤從硝態氮攝入的硝酸鹽為 1.6 微克。

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論:

1. 全自動過濾器能濾除引發大肚症的血吸蟲，連大小僅 112~180 μ m 的血吸蟲蟲卵也能除去；過濾顆粒效果達 0.2 微米以下。
2. 原本在 NO₂、NO₃ 指示劑下呈現過量超標的水溝汙水及腐壞豆漿水；經過淨化後測出的數據為零，水質淨化效果相當不錯。
3. 由過濾器淨化後的水質符合標準，適合飲用。

四、探討減少濾材汙損消耗的可行性。

過濾系統在淨化水質的過程中，濾材會阻擋汙染物讓流出的水變乾淨，但經過一段時間後濾瓶內的汙染物越積越多，使得過濾效能降低，此時必須清洗或更換濾材才能恢復效能；若水源雜質較多或汙染嚴重，更會減少濾材的使用壽命。

(一) 雜質抹除機

我們利用現有的打氣幫浦製作了一個可以降低水中雜質的機器，在此我們稱為雜質抹除機。當打氣幫浦打氣時會在水中產生大量的氣泡；當氣泡不斷的由底部

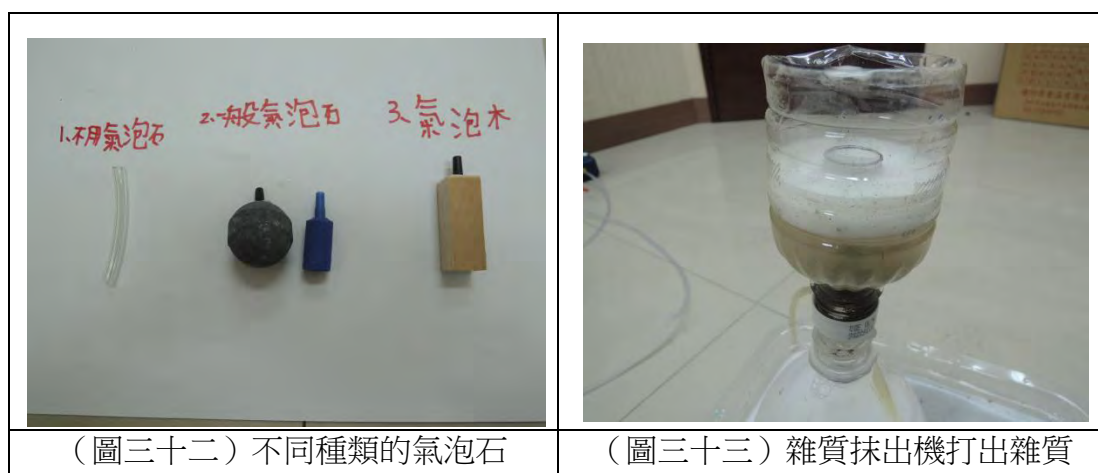
向上浮起，水中的雜質也會因氣泡不斷的沖擊跟著氣泡向上，最後流至雜質儲存杯。

製作過程:

1. 兩支廢棄的寶特瓶在適當位置切開；一個作為雜質抹除機瓶身，另一個作為雜質儲存杯。
2. 雜質抹除機瓶口裝入一段塑膠管，並且與穿孔的寶特瓶蓋黏合。
3. 塑膠軟管一端連接氣泡石，另一端連接打氣幫浦，並將泡石放置瓶內。

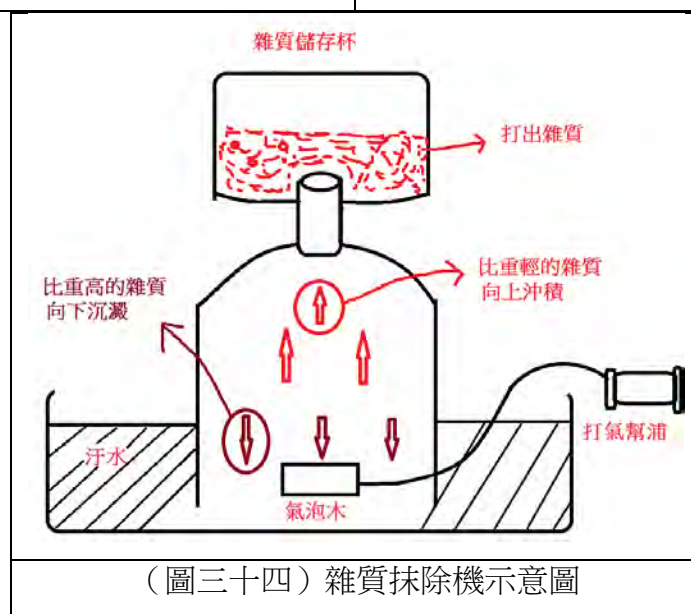
實驗說明:

1. 利用木屑(比重輕)、泥沙(比重較高)混和做為水中雜質。
2. 氣動幫浦打氣產生氣泡，將水中的污染物利用不斷產生的氣泡，沖擊、堆積至上方分離污染物。
3. 研究不同氣泡石所產生的氣泡大小、數量多寡及擴散效果。
4. 雜質抹除機結合不同氣泡石，測試雜質抹除污染物的效果。



(圖三十二) 不同種類的氣泡石

(圖三十三) 雜質抹出機打出雜質



(圖三十四) 雜質抹除機示意圖

表十一、氣泡種類記錄表

情 形	氣泡	氣泡大小	氣泡數量	氣泡擴散性
不用氣泡石		大	少	小
一般氣泡石		中	中	小
氣泡木		小	多	大

表十二、不同氣泡分離雜質成效記錄

情 形	氣泡石	不用氣泡石	一般氣泡石	氣泡木
木屑		X	X	●
泥沙		▲	▲	▲
效果				※
備註 1.	木屑與氣泡在水中上下滾動			
備註 2.	因泥沙密度較高、較重，所以都沉澱至底部			

(●分離到儲存杯；X 無法分離；▲沉沉水澱；※效果佳)

實驗後發現：

1. 不用氣泡石打出的氣泡顆粒大、數量少、擴散度不佳。
2. 一般氣泡石打出的氣泡顆粒中、數量普通、擴散度不佳。
3. 利用氣泡木打出的氣泡顆粒細小、數量很多、擴散度極佳。是效果最好的氣泡石。

由表十一、表十二紀錄得知：

1. 雜質抹除機的打氣幫浦，若不使用氣泡石或一般氣泡石，產生的氣泡不夠多、擴散度不佳，無法將雜質分離。
2. 使用氣泡木，產生的氣泡非常多、擴散度極佳。可以將雜質分離，且將較輕的雜質沖擊至上方雜質儲存杯。
3. 密度較高或較重的雜質會沉積在水底，不會殘留在雜質抹除機內，不影響功能。

(二) 全自動過濾器結合雜質抹除機

全自動過濾器的沉水馬達若直接放置汙水池內抽取汙水，可能使沉水馬達進水孔阻塞，導致馬達燒毀。所以我們將沉水馬達放置於雜質抹除機內，防止馬達阻塞

的情形發生。

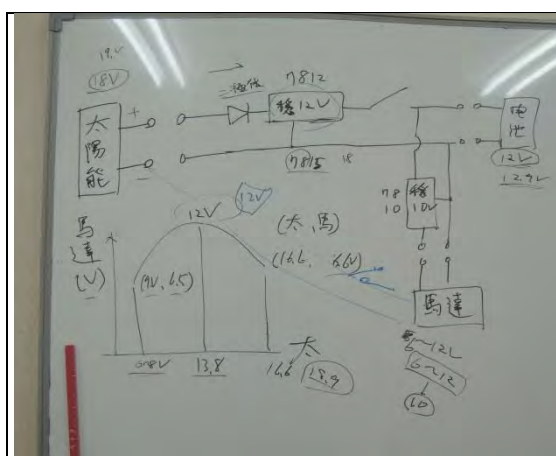
綜觀上述實驗結果可獲致結論：

1. 雜質抹除機結合氣泡木打氣，產生的氣泡多、擴散度極佳，並且能將水中雜質分離，比重較輕的雜質沖擊至上方雜質儲存杯；比重較高的雜質會往水底沉澱，不會殘留在雜質抹除機內影響功能。
2. 將全自動過濾器的沉水馬達置於雜質抹除機內，可有效防止馬達阻塞的情形發生。

五、探討太陽能全自動淨水系統的適用性。全自動過濾器雖然能有效的增加過濾速度，效果。但需利用電力設備在野外或落後地區便無法使用。所以我們希望加裝太陽能板使自動抽水淨化可以在無電力情況下運作。晴天使用太陽能全自動淨水系統；若陰雨天則採用手動的氣動式淨水系統。

(一)加裝太陽能板與沉水馬達

1. 我們在拍賣網站上購買 18v20w 的太陽能板，並請專業人員指導自製電路板，結合鉛酸蓄電池連接全自動過濾器（沉水馬達每小時揚水量 200 公升）與雜質抹除機製成太陽能全自動淨水系統。（圖三十八）
2. 日照時可以直接啟動太陽能全自動淨水系統，也可切換開關將太陽能充電至鉛酸蓄電池；無日照時可使用氣動式過濾器及電池啟動模式淨水。



(圖三十五) 電路圖



(圖三十六) 電路板



(圖三十七) 過濾器連接



(圖三十八) 太陽能全自動淨水系統完成圖

(二) 太陽能的適用性

非洲地理位置：

1. 因非洲地理位置位於赤道周圍，赤道的緯度被定義為 0° ，與兩條極圈及兩條回歸線（北回歸線和南回歸線）組成地球表面五條重要的緯線，而赤道又是其中唯一一個大圓。地球赤道在天球上的投影則是天球赤道。
2. 在太陽的季節性視運動中，每年經過赤道兩次，分別在春分、秋分。此時太陽光在赤道處與地球表面垂直，即直射赤道。由於太陽幾乎全年都垂直地升落，赤道上看到的日出和日落是地球表面最快的。赤道上的晝長（日出到日落）也幾乎全年保持不變；由於大氣折射，以及日出日落是太陽的邊緣而非中心觸及地平線的緣故，每天的白晝都比夜晚長約 14 分鐘。

非洲季節形成：

1. 冬至時的季節示意圖。當天無論哪個時刻，北極都處於黑夜，而南極都處於白晝（參見極夜）。除了波動角度之外，地球大氣對光線的耗散也在角度小時更大。
2. 地球繞太陽公轉的同時，以傾斜於公轉平面的自轉軸進行自轉，這形成了四季。隨著地球在其軌道上的位置變化，一年內北半球和南半球交替偏向或遠離太陽。太陽直射點位於偏向太陽的半球，而該半球因獲得更多日照而處於夏季，遠離太陽的半球則為冬季（見至點）。在二分點，地軸相對太陽並不傾斜，太陽直射赤道，地面各處晝長均為約 12 小時。

(三) 計算每日約可淨化的水量

1. 人體每日所需飲水的量 根據每日飲水量公式計算：

健康成年人(不論體重 50 公斤或 70 公斤)水份攝取量為 2000c.c.，最少每日也要

1500c.c，兒童應攝取 1200c.c.至 1500c.c。

2. 太陽能全自動淨水系統平均光照日淨水量

非洲地區一日光照 12 小時，若取其光線最為充足的 8 小時來計算太陽能全自動淨水系統淨化水量；平均每分鐘可過濾 1153 毫升的水，每小時可過濾高達 69.18 公升的水量，8 小時就能過濾出 553.44 公升的乾淨水源。

3. 太陽能全自動淨水系統若被廣泛推廣可受惠人口

根據計算結果太陽能全自動淨水系統一日可淨化 553.44 公升的水；若以每人每天須飲用 1500c.c.的淨水，約可幫助 368 人。

(四)太陽能全自動淨水系統製造所需經費

UNHCR 目前經費主要來源，乃靠世界各國政府及非政府機構的捐款。其中以歐洲共同經濟市場(EEC, Eropian Economic Commission) 的捐款最多，UNHCR 的每年救援預算約有四億一千九百萬美元，而目前全世界的難民約有一千四百七十八萬人，亦即每個難民每估月平均可獲得台幣約六十元的救援。若使用有效而廉價的濾水設備改善當地的飲用水，將可以大大減少醫療上的支出。

表十三、太陽能全自動淨水系統製造花費金額

設備類/元	太陽能板	沉水馬達	打氣幫浦	打氣筒	寶特瓶	設備類加總
	820	250	200	30	0	1300
耗材類/元	過濾棉	活性碳	麥飯石			耗材類
	5	60	50			115
太陽能全自動淨水系統/元						總金額 1415

表十四、現有過濾器與太陽能全自動淨水系統 CP 值比較

品項	品名	淨水量	流速	過濾方式	過濾效果	售價／元
	WATOTEC 水科技個人 攜帶式淨水 器	100 公升	0.2 公升／ 分鐘	水往下流	未標示	1290
	LifeStraw 淨 水吸管	可過濾多 達 1000 公 升水量	未標示	口吸	0.2 微米	530
	MSR 美國 陶 瓷濾心濾水器	最多 2000 公 升（依水 的混濁度 而不同）	1 公升／分 鐘	加壓	未標示	4675
	M.W 軍用級 吸管型濾水 器	1000 公升	未標示	口吸	0.05 微米	3140
	太陽能全自動淨 水系統	16000 公升 以上	1.3 公升／分 鐘	全自動	0.2 微米以 下	
補充	太陽能全自動淨水系統還未測量出總淨水量，目前實驗只到 16000 公升，還可繼續過濾，所以淨水量 16000 公升以上。					

由表十三、現有過濾器與太陽能全自動淨水系統 CP 值比較得知：

- 市面上常見的攜帶型過濾器過濾方式大致分為三種方式：1.水往下流 2.口吸 3.加壓；淨水量從 100~2000 公升不等；水往下流方式流速過慢，口吸方式只能單人使用，只有加壓方式的 MSR 美國 陶瓷濾心濾水器比較符合我們的需求。

2. 過濾效果有標示的雖然都在 0.2 微米以下，但售價、淨水量、流速卻有非常大的差距，與自製太陽能全自動淨水系統相比，自製太陽能全自動淨水系統一日就可淨化 553.44 公升的乾淨水源供 368 人飲用
3. MSR 美國 陶瓷濾心濾水器價格上偏高、淨水量最多 2000 公升、手動加壓方式操作不便，相較於太陽能全自動淨水系統造價較為便宜、淨水量 16000 公升以上、自動操作；太陽能全自動淨水系統價格、淨水量、操作方式皆優於 MSR 美國 陶瓷濾心濾水器 CP 值較高。

綜觀上述研究可獲致以下結論：

1. 天氣晴使用太陽能全自動淨水系統；陰雨天可使用氣動式淨水系統，任何天氣都能正常運作。
2. 在晴天的狀況下，太陽能全自動淨水系統每天能過濾出 553.44 公升的乾淨水源。提供 368 人飲用。
3. 太陽能全自動淨水系統造價僅 1415 元，若大量生產價格還可再低。
4. 以目前聯合國救助金 60/人，只要提供 1/15 的經費便能利用太陽能全自動淨水系統幫助當地改善飲用水。
5. 太陽能全自動淨水系統若被世界推廣，可幫助許多飽受水污染的難民得以安心飲水。

伍、結論

在製作及實驗測試將近六個月的過程中我們對非洲飲用水及太陽能全自動淨水系統的應用有深刻體會的看法，因此在研究中我們提出的結論如下：

- 一、非洲有 60% 的人因水源生病；平均每年有 180 萬非洲兒童；每小時有 115 人因飲用不乾淨的水源喪生。
- 二、非洲許多人得大肚病，大多是因為喝了含有血吸蟲的水源。
- 三、傳統過濾器及氣動式過濾器兩種都能夠有效的淨化汙水；雖然氣動式過濾器淨水速度快，但兩種皆必須手動加入水源不夠方便。
- 四、全自動過濾器可以克服手動倒入汙水及加壓打氣的麻煩，不會有操作不便的問題。每小時可過濾高達 69.18ml 的水量，且在濾材的更換、加裝、清洗

也是相當方便快捷；但需要電力的輸入才能啟動。

- 五、全自動過濾器能濾除引發大肚症的血吸蟲，連大小僅 112~180 μm 的血吸蟲蟲卵也能除去；過濾顆粒效果達 0.2 微米以下。
- 六、NO₂、NO₃ 指示劑下呈現過量超標的水溝汙水及腐壞豆漿水；經過淨化後測出的數據為零，水質淨化符合標準，適合飲用。
- 七、雜質抹除機結合氣泡木打氣，產生的氣泡多、擴散度極佳，並且能將水中雜質分離，比重較輕的雜質沖擊至上方雜質儲存杯；比重較高的雜質會往水底沉澱，全自動過濾器的沉水馬達置於雜質抹除機內，可有效防止馬達阻塞的情形發生。
- 八、日照時可直接啟動太陽能全自動淨水系統，也可切換開關將太陽能充電至鉛酸蓄電池；無日照時可使用氣動式過濾器及電池啟動模式淨水，任何時段都能正常運作。
- 九、太陽能全自動淨水系統一天約可幫助 368 人。
- 十、根據 UNHCR 國際救援組織指出，每年救援預算約有四億一千九百萬美元，每個難民每估月平均可獲得台幣約六十元的救援；太陽能全自動淨水系統造價與每 368 人可得新台幣 22080 元相比僅總額的 1/15.6 倍。

陸、討論

1. 非洲對我們來說距離太過遙遠，所以與許多資料與數據我們引用具有公信力的報導、文章。
2. 太陽能板、沉水馬達、打氣幫浦若使用更高階的種類結合微電腦控制設備，應該能在大大提升淨水效能。但考量研究經費及推廣設備的可行性因此為有進一步的延伸。
3. 太陽能全自動淨水系統在淨化水量及水質上，不但方便快捷，還可自行加裝更多的濾瓶及濾材。但在濾材的使用壽命我們目前還沒有深入研究，可在後續研究進行。

柒、參考資料及其他

經濟部水利署全球資源網:

<http://www.wra.gov.tw/lp.asp?CtNode=8383&CtUnit=1740&BaseDSD=7>

聯合國難民救助總署 (UNHCR)

<http://proj1.sinica.edu.tw/~suchu/cow/Care/book-care/care-p136.html>

預見雜誌

<https://journal.eyeprophet.com/%E8%A1%A3%E7%B4%A2%E6%AF%94%E4%BA%9E-%E7%84%A1%E4%B8%AD%E7%94%9F%E6%9C%89%E7%9A%84%E7%B1%83%E5%AD%90%E6%B0%B4/>

國家衛生研究院 國家環境毒物研究中心-硝酸鹽,亞硝酸鹽

http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/toxfaq_detail.php?id=187

活性碳再生法

<http://www.actcarb.com/tree/a02-2.htm>

【評語】 030805

1. 以簡易的濾材，搭配太陽能板、沉水馬達、打氣幫浦等裝置、自製全自動水質淨化系統，做了相當多的實驗，證實可有效過濾汗水、血吸蟲等。與市售的產品比較，有其優勢。
2. 有考慮到濾材再生之方法並完成實驗。做了很多的測試、比較、檢測，值得鼓勵。
3. ”經過淨化的汗水非常適合魚類生存，證明淨化效果良好”
這結論有點太籠統。敘述報告有點雜亂，抓不到重點。有些事實當成實驗結論，如非洲生病因飲水污染的統計事實不必當成本實驗的結論。
4. 既然已有微生物觀察數量，此系統建議應加入 UV 殺菌。用高溫烘烤殺菌似乎不是唯一辦法。

難民救星 太陽能全自動水質淨化系統

摘要

在非洲有60%的病人因飲用水的問題患病，導致每年有180萬名兒童死亡。為了改善水質我們尋找適合的濾材比較過濾成效，並製作過濾槽比較淨化效果。除了最基本的改善水質外，我們也努力的研究如何降低成本、加強淨水效能、操作方便性及實用性來製作淨水系統，希望藉此能幫助到許多無乾淨水源飲用的可憐難民。

壹 研究動機

曾經在Discovery節目頻道及新聞報導上看到非洲人民的生活照片，許多人骨瘦如柴、肚子大大的、肋骨清晰可見。人們日日步行數十公里，僅為了一桶不盡乾淨的水；將汗水喝下肚受寄生蟲所苦的非洲居民更是多到數不清。我們希望研發出經濟又有效的淨水系統，使非洲人民改善飲水問題。

貳 研究目的

- 一、探討非洲地區人民飲用水對健康的影響。
- 二、探討自製過濾器的淨水效果。
- 三、探討過濾後的淨化水飲用的可行性。
- 四、探討減少濾材汙損消耗的可行性。
- 五、探討太陽能全自動淨水系統的可行性。

參 設備及器材

材料類：寶特瓶、塑膠杯、塑膠整理箱、過濾棉、麥飯石、活性炭、珊瑚石、細沙、純水、泥沙、木屑、豆漿、食用色素、氣球棍、鐵釘、塑膠軟管、打氣筒
器材類：剪刀、尖嘴鉗、酒精燈、熱熔膠、矽利康
設備類：太陽能板、打氣幫浦、沉水馬達、NO2指示劑、NO3指示劑

肆 研究過程

一、探討非洲地區人民飲用水對健康的影響。

根據國際衛生組織報導及相關資訊指出：

1. 非洲缺水的問題，主要是氣候因素。非洲大陸位在南、北迴歸線之間，導致地區終年炎熱、乾旱。再加上近幾年人口快速成長，過度放牧與灌溉農業導致環境退化、湖泊萎縮、河流水位下降、降雨減少等。在非洲，不只水源難以獲得，他們還深陷水污染之苦。當地的水源取自開放的湖泊、河川，這些水常受到排泄物、工業用水汙染，人們經常因為飲用水喪失性命。據統計，全球每年有180萬名因飲用水問題死亡的兒童，這當中有一半都來自非洲。(預見雜誌 2015-10-02)
2. 血吸蟲病又俗稱大肚病，染病的人會出現脾腫大、腸壁纖維化、肝硬化和腹水的情形。如果感染的是兒童，甚至會出現發育不良和智力減退的狀況。造成寄生蟲病惡化的主因是淡水蝦的消失。過去淡水蝦每年都會到河口產卵，待幼蟲孵化後會自行回到上游生活。淡水蝦會捕食蝸牛，自然就抑制了血吸蟲的問題。然而，非洲西部河流塞內加爾河迪亞曼水壩建設完成後卻阻擋了淡水蝦的去路，不僅讓淡水蝦就此在塞內加爾河消失，也讓血吸蟲病以極快的速度蔓延滋長。史丹福大學的索科洛博士(Susanne Sokolow)也曾經對塞內加爾河的情況表示：「在有水壩的地方，血吸蟲病就會增加。而且跟那些捕食者(此處指淡水蝦)沒有消失的河域比起來，血吸蟲病的感染者至少比平均數增加一倍。」水源狀況不改善難以杜絕感染。
3. 目前血吸蟲病可以靠大量撲殺蝸牛跟用吡喹酮(praziquantel)治療來解決。然而，索科洛博士認為這樣終將是治標不治本的方法。一方面是撲殺蝸牛所使用的殺螺劑(Molluscicides)，也是另一種生態破壞；另一方面，吡喹酮雖然能將人體內98%-99%的寄生蟲清除乾淨，但村民卻因為無法取得乾淨水源，只能繼續使用受汙染的河水，進而不斷地面臨重複感染的循環。索科洛博士表示他們已經在和地理、生態、經濟學家一同努力，並說：「目前全世界有超過2億6,000萬人受血吸蟲病所苦。其中有1億1,400萬人是孩童，就算是使用最便宜的藥劑，相關花費仍是不可計量的。」

從上述文章及報導得知：

1. 非洲地區的環境衛生普遍不佳，水資源取得不易。
2. 許多人得大肚病，大多是因為喝了含有寄生蟲的未淨化水。
3. 使用殺螺劑雖然能有效的殺死水中寄生蟲，卻同時也汙染了水源，造成另一種的環境汙染及破壞。
4. 非洲有60%的人因水源生病；平均每年有180萬非洲兒童；每小時有115人因飲用未淨化水喪生。

下圖為非洲用水現況(圖一~六)



在臺灣常見的過濾方式：為了改善非洲人民飽受水資源汙染所苦的問題，所以我們先探究台灣地區常見的過濾方式，尋找非洲地區可行辦法。

1. **天然的過濾方式：**山泉水在臺灣四處可見，主因是本島山多，崎嶇地形使地下水與地表接觸的機會多，山泉水更有機會湧出。相較自來水，這些經過地底岩層過濾的山泉水多半帶有豐富的碳酸鈣、碳酸鎂等礦物質，硬度通常較高。一般較為沁涼，飲用起來沒有消毒水的味道，且不像河水、井水有眾多水生動、植物棲生，口感較甘甜，早年即為各地居民仰賴的水源。
2. **自來水過濾方式：**篩欄→混凝池→沉澱池→過濾池→配水池→加氯消毒。篩欄：用來篩攔各種大型體積物質，如樹枝、破布、保特瓶等。混凝池、沉澱池：加入混凝劑，並使混凝劑與水迅速混合，使混凝劑與水中細小的物質聚在一起成為較大的物質，很快的在沉澱池中沉澱下來。過濾池：經混凝沉澱無法去除之微小顆粒物質，可經由過濾池濾除。配水池：經過過濾後之清水儲存的地方。加氯消毒：為避免病菌滋生，用氯氣殺菌。
3. **RO逆滲透原理方式：**家庭所使用逆滲透飲水機即是在原水端加壓，使純淨水分子得以穿透薄膜

產生純水，同時阻止各種雜質及有害物質穿透薄膜，並將這些含有雜質的廢水予以排放。一般每造1份純水約會排放3~5份廢水，水源品質愈差則廢水比例愈大。逆滲透就是在半透膜二側不同濃度溶液尚未達到平衡時，若在濃度較高的一方施予一壓力，則濃度較低一側水分子滲透移動的速度，會因壓力逐漸增大而減緩。當此壓力達到某一程度時，溶液滲透現象將會停止，此時的壓力可稱為該薄膜(Membrane)的「滲透壓力」(osmotic pressure)。如果再持續增加該側壓力，則水分子會與一般滲透方向反流動，而自高濃度一側流向低濃度一側，這種現象即稱為「逆滲透」。

研究後得知

1. 天然過濾方式：首先必須符合地理條件，若無地理上的優勢，就無法運用。
2. 自來水廠的過濾方式：雖能有效的處理大量的水源，但人力、管線、設備與技術層面較高，難以在基礎建設普遍落後的地區實施，所以也不適用。
3. RO逆滲透裝置：是目前台灣居民家中非常普遍的設備。RO過濾器的上下水口大多連接自來水管線，水源是已經經過處理的自來水，若直接用於未處理過的生水，過濾器容易阻塞，不適用。

二、探討自製過濾器的淨水效果。

我們希望以不破壞環境的方法，利用過濾的原理方式淨化水源，找出合適的濾材

(一)自製簡易過濾槽及各種不同濾材的過濾成效比較

實驗說明

1. 利用不要的塑膠杯製作簡易的濾水杯，在此我們稱為濾槽；可以做為水源淨化的物質，我們稱為濾材。
2. 為了讓水源可以通過濾材並對水質淨化，所以我們在濾槽內穿孔，使水源順利通過流出。
3. 為了找出常見的過濾材料中，最適當作為過濾的物質，所以我們收集了五種不同的濾材，包括濾棉、活性炭、麥飯石、珊瑚石和細沙等，進行過濾實驗。
4. 將汙水倒入裝有濾材的濾槽上方，因受地心引力影響汙水便會通過濾材流往下方，最後由濾槽孔流出。此實驗我們以目視觀察混濁程度及過濾速度定義過濾成效。

實驗步驟：

1. 以塑膠杯作為濾槽；並利用酒精燈加熱鐵絲，在每個塑膠杯上各穿10個小孔。
2. 收集五種不同濾材包括濾棉、活性炭、麥飯石、珊瑚石和細沙，並將五種濾材分別裝進濾槽內，倒入目視渾濁的實驗汙水。
3. 本實驗採目視觀察、記錄過濾成效。(表一)

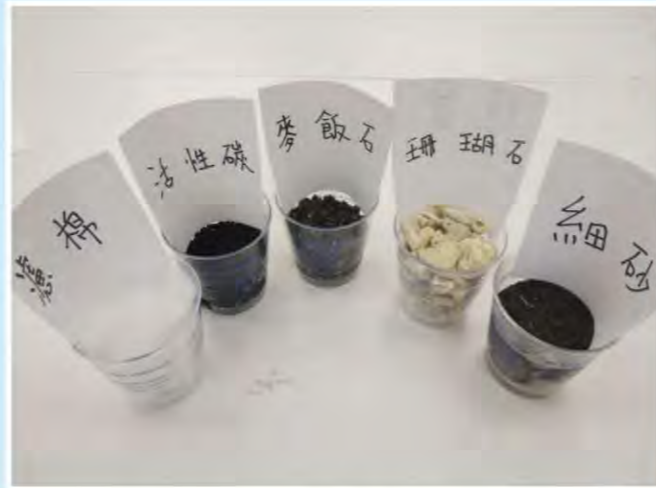
表一、不同濾材的過濾成效紀錄

效果	濾材	濾棉	活性炭	麥飯石	珊瑚石	細沙
清水		X	●	▲	X	X
泥沙水		X	●	▲	X	X
染色水		X	●	▲	X	X
豆漿水		X(阻攔異物)	●	▲	X	X
結果		活性炭效果最好				

(●透明無色；▲透明但有點濁；X混濁)

從表一、不同濾材的過濾成效紀錄得知：

1. 過濾效果排行依序為活性炭>麥飯石>細沙>珊瑚石>濾棉。
2. 濾棉過濾效果雖差，但能夠有效阻隔異物流入過濾槽。
3. 我們選用活性炭、麥飯石、濾棉作為過濾器的濾材。



(圖七)各種濾材放置濾槽



(圖八)將汙水倒入濾槽

(二)濾材過濾水飼養魚隻

我們將選用的濾材裝在塑膠箱內作為濾槽，並且利用沉水馬達將汙水打入濾槽內進行過濾循環養殖。探究原本無法養殖魚類的汙水，經過淨化後是否能讓魚隻生存。

實驗說明

1. 測試水質是否能有效淨化，若水質不好魚隻則無法健康生存。
2. 沉水馬達是一種插電後放置水中的抽水裝置，我們利用此裝置將汙水自動抽取至濾槽循環過濾。
3. 觀察記錄魚隻的生活情況。

實驗步驟：

1. 取三個塑膠整理箱尺寸(大、中、小)；作為魚池、濾水池、靜水池。
2. 在整理箱上穿洞，並用塑膠水管相互連接。
3. 在靜水池裝置沉水馬達，通電後沉水馬達便能將水揚起，把淨化後的水打入魚池。
4. 將濾材置於濾水池，由上至下依序為(濾棉、麥飯石、活性炭)。
5. 池中飼養10隻吳郭魚苗作為檢測。

表二、過濾後的汙水養魚紀錄(單位：隻)

魚量	水源	泥沙水	染色水	豆漿水	備註
三天		10	10	10	第一天魚隻不進食
一星期		10	10	10	長出藻類
二星期		10	10	10	長出更多藻類
備註		濾棉損耗較嚴重，稍有阻塞	容易過濾	較難過濾	

從表二、過濾後的汙水養魚紀錄得知：

三種汙水(泥沙水、染色水、豆漿水)淨化後養殖，魚隻全數存活，過濾效果不錯。若給人體飲用短期間內或許不會對人體造成傷害，詳細的水質研究我們後續進行。



(圖九)過濾汙水養殖魚隻



(圖十)養魚全景

(三)自製過濾器→傳統式

學校上課時老師曾提及簡易過濾的方式是將一個底部有孔的容器內部放入濾材，倒入汙水後會因地心引力的作用，水會由上層流往下層達到淨化的作用。容器越高裝填的濾材就越多，淨化效果也會愈佳。

實驗說明

1. 我們將濾材裝入切開的寶特瓶內，由上往下分為三層。第一層為過濾棉；第二層為麥飯石；第三層為活性炭。利用地心引力牽引水往下流，使欲淨化的水通過濾槽，層層過濾達到淨化的效果。在這此我們稱為傳統過濾器。
2. 燒杯放置出水口的下方，並用碼表計時一分鐘可淨化出多少的水量。
3. 本實驗採目視觀察、記錄過濾成效。

製作過程

1. 將寶特瓶切開，以倒放的方式裝置，瓶口朝下。
2. 利用酒精燈加熱鐵釘，在寶特瓶蓋上穿10個小孔作為出水口。
3. 瓶內裝入濾材分為三層(過濾棉、麥飯石、活性炭)。
4. 將汙水倒入過濾瓶內，並觀察記錄淨水效果。(表三)

表三、肉眼觀察簡易傳統式過濾器水質檢測紀錄

傳統式	汙水	泥沙水	染色水	腐壞豆漿水
過濾效果		●	●	●
過濾速度(毫升/分)		292	332	316
平均過濾速度(毫升/分)		313		
備註		流速緩慢，會有積水情形發生		

(●透明無色；▲透明但有點濁；X混濁)

由表三、肉眼觀察簡易傳統式過濾器水質檢測紀錄得知：

1. 傳統的過濾方式雖然能有效的淨化水源，但濾材的更換、加裝、清洗實在非常的不便。
2. 過濾的過程中我們發現傳統式過濾器的淨水速度緩慢，平均每分鐘只能過濾313毫升的水量；每小時過濾約18.7公升。若一次倒入太多水，還會導致水源外漏。
3. 傳統過濾器若要放置較多濾材，最終會形成高塔狀，重心不穩固。



(圖十一)傳統式過濾器



(圖十二)倒入染色水

(四) 自製過濾器→氣動式過濾器

由上述實驗我們知道傳統式過濾器的許多缺點，若將廢棄的寶特瓶作為濾瓶，每個濾瓶都放滿濾材並且相互連接，利用加壓打氣的方式，當濾瓶內的氣壓大於水壓，水便會在濾瓶內流動。

實驗說明

1. 為了改善傳統式過濾器淨水速度緩慢及濾材更換、加裝、清洗不易的問題，我們設計了氣動式過濾器。
2. 將濾材分別裝入廢棄的寶特瓶內，在此我們統稱為濾瓶；由入水口至出水口依序排列為第一瓶→第二瓶→第三瓶。
3. 利用加壓打氣的方式將空氣注入過濾器內，當氣壓大於水壓時，濾瓶內的水便會被空氣由第一瓶推向第二瓶、第三瓶，最後流出。
4. 若想增強過濾效果可自行串接濾瓶，串接愈多效果愈好。
5. 以肉眼目視觀察淨化後水質的澄清晰度判定淨水效果並加以記錄。(表四)

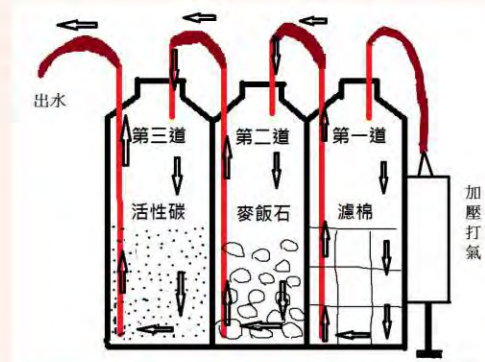
製作過程

1. 將鐵釘利用酒精燈加熱，在寶特瓶及寶特瓶蓋上穿洞，此洞為比氣球棍還小的孔。
2. 氣球棍裁剪成適當的長度後，點上熱熔膠，再壓進穿好孔的寶特瓶中，使其能與洞口密合，作為水管來使用。
3. 寶特瓶內填入濾材後瓶蓋鎖緊，氣球棍以軟管連接。
4. 測試氣密效果，漏氣的部分以熱熔膠或矽利康膠補強。
5. 過濾器為三道濾瓶組成。第一道濾棉；第二道麥飯石；第三道活性炭。

表四、氣動式過濾器簡易水質檢測記錄。

氣動式過濾器	汙水	泥沙水	染色水	腐壞豆漿水
過濾效果		●	●	●
過濾速度(毫升/分)		1154	1560	1271
平均過濾速度(毫升/分)		1328		
備註				

(●)透明無色；▲透明但有點濁；X混濁)



(圖十三) 氣動式過濾器示意圖



(圖十四) 氣動式過濾器裝有濾材

由表四、氣動式過濾器水質檢測紀錄得知：

1. 氣動式過濾器能有效的淨化泥沙水、染色水、腐壞豆漿水，過濾效果不錯。
2. 平均每分鐘可過濾 1328 毫升的水，換算起來每小時可過濾 79.68 公升的水量；但手動加入水源仍非常不便。
3. 氣動式過濾器可拆卸分解，還可隨意的增加濾瓶，加強濾效果。方便組裝、拆卸、清洗，機動性高。

(五) 自製過濾器→全自動過濾器

氣動式過濾器雖然能有效的增加過濾速度，但每次濾瓶內的水過濾完後必須打開瓶蓋再次的倒入水源鎖上蓋子才可繼續使用，不夠便利。所以我們希望加裝沉水馬達改為自動抽水，克服人工加水的不便。

實驗說明

沉水馬達是一種裝置在液面下的抽水裝置，通電後可以將水揚起。(圖十五)(圖十六)我們用現有的沉水馬達(出水量每小時200公升)代替氣動式過濾器的打氣筒。當馬達運轉產生水壓，便能將汙水打入濾瓶內並且層層過濾，最後由出水口流出達到淨化水質的效果。此實驗記錄如下：(表五)(表六)



(圖十五) 沉水馬達將水打入濾瓶



(圖十六) 全自動過濾器

表五、全自動過濾器簡易水質檢測記錄

全自動過濾器	汙水	泥沙水	染色水	腐壞豆漿水
過濾效果		●	●	●
過濾速度(毫升/分)		1035	1267	1158
平均過濾速度(毫升/分)		1153		
備註		流速緩慢，會有積水情形發生		

表六、三種過濾器比較(※：效果佳)

過濾器種類	汙水	傳統式	氣動式	全自動
平均過濾速度(公升/時)		18.70	79.68	69.18
操作方便程度		不便	不便	方便
操作方式		手動	手動	自動
效果				※

由表五、全自動過濾器水質檢測紀錄及表六、三種過濾器比較得知：

1. 氣動式過濾器能有效的淨化泥沙水、染色水、腐壞豆漿水過濾效果不錯。
2. 平均每分鐘可過濾 1153 毫升的水，每小時可過濾高達 69.18 公升的水量，與氣動式過濾器濾水效果相差不遠。
3. 與氣動式過濾器相比，加裝沉水馬達的全自動過濾器不須手動加水也不必加壓打氣，只要插電即可運作。
4. 與氣動式過濾器相同，加裝沉水馬達的全自動過濾器可拆卸分解，還可輕鬆的加裝濾瓶增強過濾效果，組裝、拆卸、清洗方便機動性能高。

(六) 濾材的清洗

若過濾器只使用一次性濾材，汙損後換上新的濾瓶，不僅無法再次使用也相當的浪費，所以我們嘗試清洗濾材來測試濾材重複使用的可能性。一般來說在不破壞環境的情況下恢復濾材活性有以下幾種方法：1.清水洗淨法、2.曝曬再生法、3.加熱再生法、4.蒸氣脫附再生法。



(圖十七) 加熱再生法



(圖十八) 蒸氣脫附法

實驗說明

1. 清水洗淨法：以清水清洗濾材表面的汙染物，洗淨後使濾材恢復吸附能力。
2. 曝曬再生法：藉由日照使濾材膨脹，將內部的水份及氣體排出，恢復濾材吸附能力。
3. 加熱再生法：加熱的過程中使濾材表面的汙染物分子脫離濾材，加快濾材恢復吸附能力。
4. 蒸氣脫附：利用水分子撞擊濾材，將濾材內的汙染物與氣體帶離，恢復濾材吸附能力。

由表七、不同清洗方式比較發現：

1. 濾棉是最不容易清洗的，無法重複利用
2. 四種方式對麥飯石及活性炭皆能有效地恢復吸附能力，但曝曬再生法還原效果最差，不建議單純使用曝曬再生法。
3. 麥飯石及活性炭經過清水洗淨法、加熱再生法或蒸氣再生法後，再利用曝曬再生法可增強還原效果。
4. 在落後地區可蒸氣再生法可能不易實施，所以可以採用清水洗淨法結合曝曬再生法或加熱再生法結合曝曬再生法較容易實施
5. 氣動式過濾器與全自動過濾器只要準備兩組濾材，就可以輪流替換使用。

表七、不同清洗方式比較

還原	濾材	濾棉	麥飯石	活性炭
清水洗淨法			●	●
曝曬再生法		X	●	●
加熱再生法		X	●	●
蒸氣再生法		X	●	●

可獲致以下結論

1. 我們選用過濾棉、麥飯石、活性炭作為過濾器的濾材實屬有效。
2. 經過淨化的汙水非常適合魚類生存，證明淨化效果良好。
3. 傳統過濾器及氣動式過濾器兩種都能夠有效的淨化汙水；兩種皆必須手動加入水源十分不便。
4. 若不計裝水時間，傳統過濾器每小時約可淨化出 18.7 公升的水；氣動式過濾器每小時可過濾 79.68 公升的水，比傳統式過濾器淨水速度快了許多。
5. 傳統式過濾器濾材的更換、加裝、清洗不易；氣動式過濾器就沒有這些問題；但在加入汙水的過程中兩種方式都不便利。

6. 全自動過濾器可以克服手動倒入汙水及加壓打氣的麻煩，不會有操作不便的問題。每小時可過濾高達 69.18ml 的水量且在濾材的更換、加裝、清洗也是相當方便快捷；但需要電力的輸入才能啟動。
7. 清水洗淨法與加熱再生法結合曝曬再生法較容易實施，可以有效的清洗麥飯石及活性炭，還原吸附能力。濾棉無法清洗，所以汙損後必須更換。

三、探討過濾後的淨化水飲用的可行性。

前次實驗我們只是簡單的以目測進行水質測定，但無法確定是否為可以飲用的水源，非洲許多人之所以得了大肚病最主要的原因就是喝了含有血吸蟲的汙水，這些肉眼看不見的危險比起看的見的要恐怖的多。血吸蟲，又名裂體吸蟲，屬扁形動物門，主要指所有歸類在裂體屬下 19 個同屬的物種。其中有 6 種可以寄生人類主要者有三種，分別流行於中東、亞洲和南美洲地區，分布範圍較廣，且是可以感染人類的主要三種血吸蟲；吸血蟲成蟲體長為 1~2 公分，卵為 112~180μm。為了方便實驗操作，我們拆卸雷射筆取出內部的凸透鏡(在此我們稱為雷射鏡頭)。我們將手機與雷射鏡頭結合觀察並拍照記錄實驗結果。根據放大倍率公式計算雷射鏡頭放大倍率為 31.25 倍，手機相機倍率4倍，結合後約放大 125 倍。(高市56屆科展作品看不見的秘密~手機顯微鏡與觀測台鏡架的非凡組合)

(一) 微生物檢測：過濾微生物→輪蟲

因微生物非常細小，無法用肉眼判斷。我們利用複式顯微鏡觀察水質淨化的情形；μm 表示微米。輪蟲，是輪形動物門的一群小形多細胞動物。剛孵化體長為 94~163μm。多數輪蟲身體由頭、軀幹和足三部分組成(有的無足，在前端有纖毛，形似轉輪而得名。分佈廣，多數自由生活，有寄生的，有個體也有群體。廢水生物處理中的輪蟲為自由生活的。身體為長形，分頭部、軀幹及尾部，形如車輪故叫輪蟲。輪盤為輪蟲的運動和攝食器官，咽內有一個幾丁質的咀嚼器。軀幹呈圓筒形，背腹扁寬，具刺或棘，外面有透明的角質甲臘。尾部末端有分叉的趾，內有腺體分泌粘液，藉以固著有其他物體上。雌雄異體。卵生，多為孤雌生殖。

實驗說明

1. 根據水族館資料 1c.c.的蟲卵約可孵出 10000 隻的輪蟲。
2. 將含有已孵化輪蟲約 10000 隻的水倒入濾瓶內過濾。剛孵化輪蟲體長約 94~163μm。
3. 吸血蟲成蟲體長為 1~2 公分，卵為 112~180μm。
4. 血蟲卵與剛孵化輪蟲大小差不多，若過濾器能將其濾除，代表也能濾除血吸蟲。

操作步驟

1. 我們將1c.c.的輪蟲卵加入裝水500c.c.的寶特瓶內。
2. 孵化後將輪蟲倒入濾瓶內進行過濾。
3. 因為輪蟲有趨光性，為求較精準的過濾數據，我們將過濾後的輪蟲水在暗室利用手電筒聚光十分鐘，再用注射筒分別抽取至五個培養皿內，並利用手機顯微鏡觀察拍攝實驗結果。

表八、過濾微生物-輪蟲過濾紀錄

情況	微生物	輪蟲
處理		
體長		94~163μm
倒入數量		約10000
過濾後		無
備註		大小相近的血吸蟲也可濾除



(圖十九) 血吸蟲幼蟲 300~450μm



(圖二十) 輪蟲94~163μm



(圖二十一) 趨光使輪蟲聚集



(圖二十二) 注射筒抽取輪蟲



(圖二十三) 放置培養皿內

實驗後發現：

1. 將充滿輪蟲的水(約 10000 隻) 倒入濾瓶內過濾，淨化後輪蟲完全無殘留，濾除率達 100%。
2. 過濾器能完全濾除輪蟲，表示引起非洲居民大肚症的血吸蟲也能完全濾除；淨化效果極佳。
3. 過濾顆粒效果達 0.2 微米以下。

(二) 水中有機物質檢測

看不見的水中汙染物往往對人類傷害很大，而看似清澈的水中，可能有許多有機質，其中最常見的有機物質就是(NO3)硝酸鹽與(NO2)亞硝酸鹽。根據國內飲用水的規定每公升的飲用水 NO2 不得超過一毫克/公升；NO3 不得超過十毫克/公升。這些有機質不但對人體造成莫大的傷害，同時還會儲存在植物、動物體內，造成生物毒素累積的循環，影響生態破壞環境。

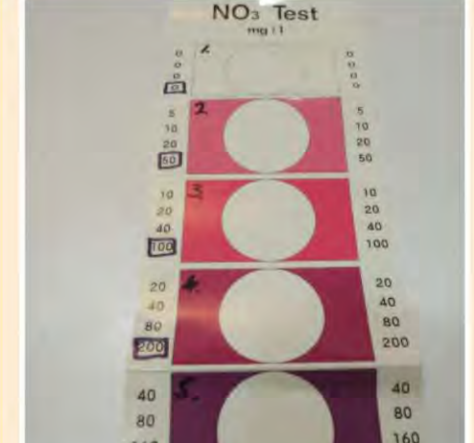
實驗說明

1. 硝酸根(NO3-)和亞硝酸根(NO2-)皆為天然形成的離子且是氮循環的一部分。硝酸鹽(例如：硝酸鉀和硝酸銨)為常見的含氮肥料。
2. 亞硝酸鹽易氧化成硝酸鹽。因此硝酸鹽更常見於地下水及地表水中。
3. 土壤中的硝酸鹽化合物通常易溶於水，易流入地下水。
4. 可能經由正常飲食中暴露在硝酸鹽及亞硝酸鹽中。如花椰菜、菠菜、綠甘藍、甜菜和根菜類蔬菜自然含更多硝酸鹽。
5. 可能藉由受含氮肥料(如：硝酸鉀及硝酸銨)污染的土壤或水質暴露到高劑量的硝酸鹽/亞硝酸鹽。
6. 過量的硝酸鹽和亞硝酸鹽會導致急性後天變性血紅素症。血紅蛋白負責從肺部運送氧至身體組織，並將組織生成的二氧化碳帶回肺部排出。
7. 變性血紅素症其實就是血液中含有過多的高鐵血紅蛋白，此病症會導致四肢軀幹缺氧變藍(發紺)、無力和心臟快速跳動的症狀。更嚴重會導致中樞神經系統衰退、噁心等狀況。最後進入昏睡狀態、輕度失去意識、昏迷甚至死亡。
8. 母親暴露在環境中的硝酸鹽及亞硝酸鹽可能有更高的風險引發懷孕併發症，如貧血、流產、早產或子癲前症。
9. DHHS、IARC 及 U.S. EPA 尚未將硝酸鹽及亞硝酸鹽歸為對人類具致癌性一物。
10. 胎兒時期患有變性血紅素症可能會對嬰幼兒造成嚴重的問題。新生嬰兒血液中主要還是以對氧親合力較低的胎兒血紅蛋白占多數。因此，四個月以下的新生兒，特別是早產兒對此暴露比更敏感。懷孕近 30 週的準媽媽和胎兒可能會對硝酸鹽及亞硝酸鹽的毒性更加敏感。
11. 透過以下方式減低家庭暴露：避免接觸到受高劑量硝酸鹽及亞硝酸鹽汙染的水質、土壤及食物，監控充滿噴灑含氮肥料區域內的井水。
12. 目前還尚未有例行性的醫學檢測能測出體內硝酸鹽及亞硝酸鹽的值。不過倒是可經由驗血測出是否患有變性血紅素症。

NO3(硝酸鹽)檢測

實驗步驟：

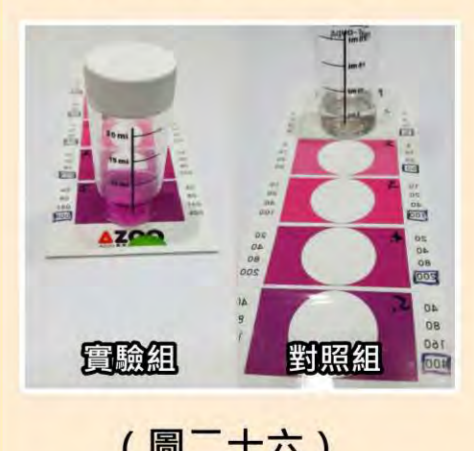
1. 利用 NO3 指示劑測量水中硝酸鹽濃度 mg/L；NO3 指示劑對照表分為五個顏色由淺至深，每個顏色不同的硝酸鹽含量，每公升含有的硝酸鹽依序為(0、50、100、200、400)mg/L。
2. 將欲檢測的水源倒入氣動式過濾器內進行過濾，淨化後利用 NO3(硝酸鹽)指示劑對水質進行檢測。
3. 取 10cc 水溝汙水加入 NO3 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的水溝汙水加入 NO3 指示劑進行測定(實驗組)。
4. 取 10cc 腐壞豆漿水加入 NO3 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的腐壞豆漿水加入 NO3 指示劑進行測定(實驗組)。
5. 觀察記錄指示劑變化情形。



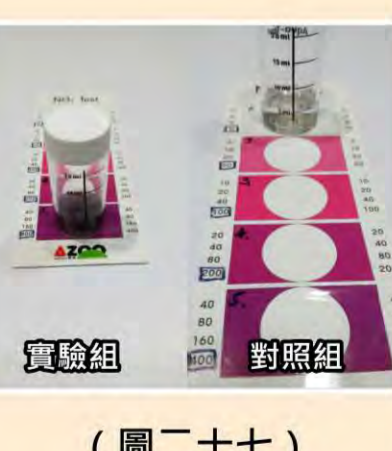
(圖二十四) NO3指示劑對照表



(圖二十五) NO-純水



(圖二十六) NO3-水溝汙水



(圖二十七) NO-腐壞豆漿水

表九、NO3水質檢測(NO3)mg/L

含量	水源	純水	水溝汙水	腐壞豆漿水
過濾前		0	100↑	400↑
過濾後		0	0	0
備註		過濾後三種水質測得的數值皆為0；淨化效果極佳		

實驗後發現：

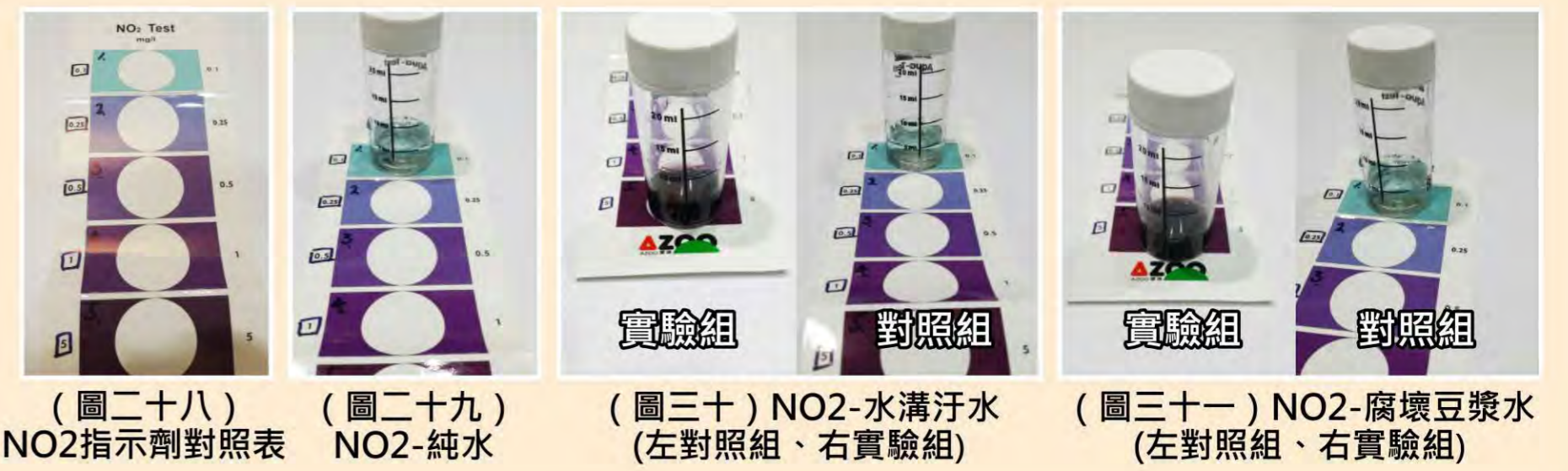
1. RO 純水加入 NO3 指示劑其對照數值為 0 毫克。
2. 原先腐壞豆漿水加入 NO3 指示劑(對照組)為最嚴重的紫爆等級，每公升含 400 毫克以上的 NO3；淨化後的腐壞豆漿水(實驗組)每公升 0 毫克，為乾淨水質。
3. 原先水溝汙水加入 NO3 指示劑(對照組)為第二高的深紫等級，每公升 100 毫克以上的 NO3；淨化後的水溝汙水(實驗組)每公升 0 毫克，為乾淨水質。

NO2(亞硝酸鹽)檢測

實驗步驟:

1. 利用 NO₂ 指示劑測量水中亞硝酸鹽濃度 mg / L ; NO₂ 指示劑對照表分為五個顏色由淺至深，每個顏色不同的亞硝酸鹽含量，每公升含有的亞硝酸鹽依序為 (0~0.1、0.25、0.5、1、5)mg / L。
2. 欲檢測的水源倒入氣動式過濾器內進行過濾，淨化後利用 NO₂(亞硝酸鹽)指示劑對水質進行檢測。
3. 取 10cc 水溝汙水加入 NO₂ 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的水溝汙水加入 NO₂ 指示劑進行測定(實驗組)。
4. 取 10cc 腐壞豆漿水加入 NO₂ 指示劑進行測定(對照組)；取 10cc 淨化後的腐壞豆漿水加入 NO₂ 指示劑進行測定(實驗組)。
5. 觀察記錄水質變化情形。

- 實驗後發現**
1. RO 純水加入 NO₂ 指示劑其對照數值 0~0.1 毫克。
 2. 腐壞豆漿水加入 NO₂ 指示劑(對照組)為最嚴重的等級，每公升含 5 毫克以上的 NO₂；淨化後的腐壞豆漿水(實驗組)每公升 0~0.1 毫克，為乾淨水質。
 3. 水溝汙水加入 NO₂ 指示劑(對照組)為第二高的等級，每公升含 5 毫克以上的 NO₂；淨化後的水溝汙水(實驗組)每公升 0~0.1 毫克，為乾淨水質。
 4. 每日每公斤從硝態氮攝入的硝酸鹽為 1.6 微克。



表十、NO₂水質檢測(NO₂)mg/L

含量	水源	純水	水溝汙水	腐壞豆漿水
處理	過濾前	0~0.1	5以上	5以上
	過濾後	0~0.1	0~0.1	0~0.1
備註		NO ₂ 指示劑粉末本身為極淺的藍色，因此測得的數值無法為零		

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論:

1. 全自動過濾器能濾除引發大肚症的血吸蟲，連大小僅 112~180µm 的血吸蟲蟲卵也能除去；過濾顆粒效果達0.2微米以下。
2. 原本在 NO₂、NO₃ 指示劑下呈現過量超標的水溝汙水及腐壞豆漿水；經過淨化後測出的數據為零，水質淨化效果相當不錯。
3. 由過濾器淨化後的水質符合標準，適合飲用。

四、探討減少濾材汙損消耗的可行性。

過濾系統在淨化水質的過程中，濾材會阻擋汙染物讓流出的水變乾淨，但經過一段時間後濾瓶內的汙染物越積越多，使得過濾效能降低，此時必須清洗或更換濾材才能恢復效能；若水源雜質較多或汙染嚴重，更會減少濾材的使用壽命。的汙染物越積越多，使得過濾效能降低，此時必須清洗或更換濾材才能恢復效能；若水源雜質較多或汙染嚴重，更會減少濾材的使用壽命。

(一)雜質抹除機

我們利用現有的打氣幫浦製作了一個可以降低水中雜質的機器，在此我們稱為雜質抹除機。當打氣幫浦打氣時會在水中產生大量的氣泡；當氣泡不斷的由底部向上浮起，水中的雜質也會因氣泡不斷的沖擊跟著氣泡向上，最後流至雜質儲存杯。

- 製作過程**
1. 兩支廢棄的寶特瓶在適當位置切開；一個作為雜質抹除機瓶身，另一個作為雜質儲存杯。
 2. 雜質抹除機瓶口裝入一段塑膠管，並且與穿孔的寶特瓶蓋黏合。
 3. 塑膠軟管一端連接氣泡石，另一端連接打氣幫浦，並將泡石放置瓶內。

- 實驗說明**
1. 利用木屑(比重輕)、泥沙(比重較高)混和做為水中雜質。
 2. 氣動幫浦打氣產生氣泡，將水中的汙染物利用不斷產生的氣泡，沖擊、堆積至上方分離汙染物
 3. 研究不同氣泡石所產生的氣泡大小、數量多寡及擴散效果。
 4. 雜質抹除機結合不同氣泡石，測試雜質抹除汙染物的效果。

- 實驗後發現**
1. 不用氣泡石打出的氣泡顆粒大、數量少、擴散度不佳。
 2. 一般氣泡石打出的氣泡顆粒中、數量普通、擴散度不佳。
 3. 利用氣泡木打出的氣泡顆粒細小、數量很多、擴散度極佳。是效果最好的氣泡石。

- 由表十一、表十二紀錄得知：
1. 雜質抹除機的打氣幫浦，若不使用氣泡石或一般氣泡石，產生的氣泡不夠多、擴散度不佳，無法將雜質分離。
 2. 使用氣泡木，產生的氣泡非常多、擴散度極佳。可以將雜質分離，且將較輕的雜質沖擊至上方雜質儲存杯。
 3. 密度較高或較重的雜質會沉積在水底，不會殘留在雜質抹除機內，不影響功能。

(二)全自動過濾器結合雜質抹除機

全自動過濾器的沉水馬達若直接放置汙水池內抽取汙水，可能使沉水馬達進水孔阻塞，導致馬達燒毀。所以我們將沉水馬達放置於雜質抹除機內，防止馬達阻塞的情形發生。

綜觀上述實驗結果可獲致結論:

1. 雜質抹除機結合氣泡木打氣，產生的氣泡多、擴散度極佳，並且能將水中雜質分離，比重較輕的雜質沖擊至上方雜質儲存杯；比重較高的雜質會往水底沉澱，不會殘留在雜質抹除機內影響功能。
2. 將全自動過濾器的沉水馬達置於雜質抹除機內，可有效防止馬達阻塞的情形發生。

五 探討太陽能全自動淨水系統的適用性

全自動過濾器雖然能有效的增加過濾速度，效果。但需利用電力設備在野外或落後地區便無法使用。所以我們希望加裝太陽能板使自動抽水淨化可以在無電力情況下運作。晴天使用太陽能全自動淨水系統；若陰雨天則採用手動的氣動式淨水系統。

(一)加裝太陽能板與沉水馬達

1. 我們在拍賣網站上購買 18v20w 的太陽能板，並請專業人員指導自製電路板，結合鉛酸蓄電池連接全自動過濾器(沉水馬達每小時揚水量 200 公升)與雜質抹除機製成太陽能全自動淨水系統。(圖三十八)
2. 日照時可以直接啟動太陽能全自動淨水系統，也可切換開關將太陽能充電至鉛酸蓄電池；無日照時可使用氣動式過濾器及電池啟動模式淨水。



(二)太陽能的適用性

非洲地理位置

1. 因非洲地理位置位於赤道周圍，赤道的緯度被定義為 0°，與兩條極圈及兩條 回歸線(北回歸線和南回歸線)組成地球表面五條重要的緯線，而赤道又是其中唯一一個大圓。地球赤道在天球上的投影則是天球赤道。
2. 在太陽的季節性視運動中，每年經過赤道兩次，分別在春分、秋分。此時太陽光在赤道處與地球表面垂直，即直射赤道。由於太陽幾乎全年都垂直地升降，赤道上看到的日出和日落是地球表面最快的。赤道上的晝長(日出到日落)也幾乎全年保持不變；由於大氣折射，以及日出日落是太陽的邊緣而非中心觸及地平線的緣故，每天的白晝都比夜晚長約 14 分鐘。

非洲季節形成

1. 冬至時的季節示意圖。當天無論哪個時刻，北極都處於黑夜，而南極都處於白晝(參見極夜)。除了波動角度之外，地球大氣對光線的耗散也在角度小時更大。
2. 地球繞太陽公轉的同時，以傾斜於公轉平面的自轉軸進行自轉，這形成了四季。隨著地球在其軌道上的位置變化，一年內北半球和南半球交替偏向或遠離太陽。太陽直射點位於偏向太陽的半球，而該半球因獲得更多日照而處於夏季，遠離太陽的半球則為冬季(見至點)。在二分點，地軸相對太陽並不傾斜，太陽直射赤道，地面各處晝長均為約 12 小時。

由表十三、現有過濾器與太陽能全自動淨水系統CP值比較得知：

1. 市面上常見的攜帶型過濾器過濾方式大致分為三種方式：1.水往下流2.口吸3.加壓；淨水量從 100~2000公升不等；水往下流方式流速過慢，口吸方式只能單人使用；只有加壓方式的MSR 美國 陶瓷濾心濾水器比較符合我們的需求。
2. 過濾效果有標示的雖然都在0.2微米以下，但售價、淨水量、流速卻有非常大的差距，與自製太陽能全自動淨水系統相比，自製太陽能全自動淨水系統一日就可淨化553.44公升的乾淨水源供368人飲用
3. MSR 美國 陶瓷濾心濾水器價格上偏高、淨水量最多2000公升、手動加壓方式操作不便，相較於太陽能全自動淨水系統造價較為便宜、淨水量16000公升以上、自動操作；太陽能全自動淨水系統價格、淨水量、操作方式皆優於MSR 美國 陶瓷濾心濾水器CP值較高。

綜觀上述研究可獲致以下結論

1. 天氣晴使用太陽能全自動淨水系統；陰雨天可使用氣動式淨水系統，任何天氣都能正常運作。
2. 在晴天的狀況下，太陽能全自動淨水系統每天能過濾出553.44公升的乾淨水源。提供368人飲用。
3. 太陽能全自動淨水系統造價僅1415元，若大量生產價格還可再低。
4. 以目前聯合國救助金60/人，只要提供1/15的經費便能利用太陽能全自動淨水系統幫助當地改善飲用水。
5. 太陽能全自動淨水系統若被世界推廣，可幫助許多飽受水污染的難民得以安心飲水。

伍、結論

在製作及實驗測試將近六個月的過程中我們對非洲飲用水及太陽能全自動淨水系統的應用有深刻體會的看法，因此在研究中我們提出的結論如下：

- 一、非洲有60%的人因水源生病；平均每年有180萬非洲兒童；每小時有115人因飲用不乾淨的水源喪生。
- 二、非洲許多人得大肚病，大多是因為喝了含有血吸蟲的水源。
- 三、傳統過濾器及氣動式過濾器兩種都能夠有效的淨化汙水；雖然氣動式過濾器淨水速度快，但兩種皆必須手動加入水源不夠方便
- 四、全自動過濾器可以克服手動倒入汙水及加壓打氣的麻煩，不會有操作不便的問題。每小時可過濾高達69.18ml的水量，且在濾材的更換、加裝、清洗也是相當方便快捷；但需要電力的輸入才能啟動。
- 五、全自動過濾器能濾除引發大肚症的血吸蟲，連大小僅112~180µm的血吸蟲蟲卵也能除去；濾除率達100%。
- 六、NO₂、NO₃指示劑下呈現過量超標的水溝汙水及腐壞豆漿水；經過淨化後測出的數據為零，水質淨化符合標準，適合飲用。
- 七、雜質抹除機結合氣泡木打氣，產生的氣泡多、擴散度極佳，並且能將水中雜質分離，比重較輕的雜質沖擊至上方雜質儲存杯；比重較高的雜質會往水底沉澱，全自動過濾器的沉水馬達置於雜質抹除機內，可有效防止馬達阻塞的情形發生。
- 八、天氣晴使用太陽能全自動淨水系統；陰雨天可使用氣動式淨水系統，任何天氣都能正常運作。
- 九、太陽能全自動淨水系統一天約可幫助368人。
- 十、根據UNHCR國際救援組織指出，每年救援預算約有四億一千九百萬美元，每個難民每個月平均可獲得台幣約六十元的救援；太陽能全自動淨水系統造價與每368人可得新台幣22080元相比僅總額的1/15.6倍。

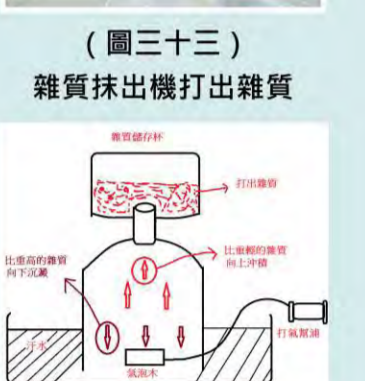
表十一、氣泡種類記錄表

情形	氣泡	氣泡大小	氣泡數量	氣泡擴散性
處理	不用氣泡石	大	少	小
	一般氣泡石	中	中	小
	氣泡木	小	多	大

表十二、不同氣泡分離雜質成效記錄

情形	氣泡石	不用氣泡石	一般氣泡石	氣泡木
木屑		X	X	●
泥沙		▲	▲	▲
效果				*
備註1.	木屑與氣泡在水中上下滾動			
備註2.	因泥沙密度較高、較重，所以都沉澱至底部			

(●分離到儲存杯；X無法分離；▲沉水澱；*效果佳)



(三)計算每日約可淨化的水量

1. 人體每日所需飲水的量根據每日飲水量公式計算：健康成年人(不論體重 50 公斤或 70 公斤)水份攝取量為 2000c.c.，最少每日也要 1500c.c.，兒童應攝取 1200c.c.至 1500c.c.。
2. 太陽能全自動淨水系統平均日照日淨水量：非洲地區一日日照 12 小時，若取其光線最為充足的 8 小時來計算太陽能全自動淨水系統淨化水量；平均每分鐘可過濾 1153 毫升的水，每小時可過濾高達 69.18 公升的水量，8 小時就能過濾出 553.44 公升的乾淨水源。
3. 太陽能全自動淨水系統若被廣泛推廣可受惠人口：根據計算結果太陽能全自動淨水系統一日可淨化 553.44 公升的水；若以每人每天須飲用 1500c.c.的淨水，約可幫助 368 人。

(四)太陽能全自動淨水系統製造所需經費

UNHCR 目前經費主要來源，乃靠世界各國政府及非政府機構的捐款。其中以歐洲共同經濟市場(EEC, Eropian Economic Commission)的捐款最多，UNHCR 的每年救援預算約有四億一千九百萬美元，而目前全世界的難民約有一千四百七十八萬人，亦即每個難民每佔月平均可獲得台幣約六十元的救援。若使用有效而廉價的濾水設備改善當地的飲用水，將可以大大減少醫療上的支出。

表十三、太陽能全自動淨水系統製造花費金額

設備類/元	太陽能板	沉水馬達	打氣幫浦	打氣筒	寶特瓶	合計
設備類/元	820	250	200	30	0	1300
耗材類/元	過濾棉	活性炭	瓷板石			115
	5	60	50			
太陽能全自動淨水系統/元						總金額 1415

表十四、現有過濾器與太陽能全自動淨水系統CP值比較

品項	品名	淨水量	流速	過濾方式	過濾效果	售價 / 元
	WATOTEC水科技個人攜帶式淨水器	100公升	0.2公升/分鐘	水往下流	未標示	1290
	LifeStraw淨水吸管	可過濾多達1000公升水量	未標示	口吸	0.2微米	530
	MSR 美國陶瓷濾心濾水器	最多2000公升(依水的混濁度而不同)	1公升/分鐘	加壓	未標示	4675
	M.W 軍用級吸管型濾水器	100公升	未標示	口吸	0.05微米	3140
	太陽能全自動淨水系統	16000公升以上	1.3公升/分鐘	全自動	0.2微米以下	1415
補充	太陽能全自動淨水系統還未測量出總淨水量，目前實驗只到16000公升，還可繼續過濾，所以淨水量16000公升以上。					

陸、討論

1. 非洲對我們來說距離太過遙遠，所以與許多資料與數據我們引用具有公信力的報導、文章。
2. 太陽能板、沉水馬達、打氣幫浦若使用更高階的種類結合微電腦控制設備，應該能在大大提升淨水效能。但考量研究經費及推廣設備的可行性因此未有進一步的延伸。
3. 太陽能全自動淨水系統在淨化水量及水質上，不但方便快捷，還可自行加裝更多的濾瓶及濾材。但在濾材的使用壽命我們目前還沒有深入研究，可在後續研究進行。

柒、參考資料及其他

經濟部水利署全球資源網
<http://www.wra.gov.tw/>
聯合國難民救助總署
UNHCR <http://proj1.sinica.edu.tw/>
預見雜誌
<https://journal.eyeprophet.com>
國家衛生研究院 國家環境毒物研究中心-硝酸鹽,亞硝酸鹽<http://nehrc.nhri.org.tw/>