

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

第三名

030302

養豬廢水污染終結者—功能藍菌

學校名稱：臺東私立均一國民中小學

作者： 國二 王子彥	指導老師： 李承傑 劉秀娟
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：生物處理程序、生物反應器、藍綠菌

養豬廢水污染終結者—功能藍菌

摘要

本實驗利用頓頂節螺藍菌（學名 *Arthrospira platensis*）來分解或吸收養豬廢水中的有機物質及代謝剩餘物，將藍菌漸進式馴化，以「人擇」提升其對污水的耐受度，並使用未滅菌之「原廢水」來飼養，且不添加任何營養鹽。

以此藍菌分解濃度 20% 的原廢水，進行水質檢測及菌種濃度監測。結果於第 3 天達到環保署豬廢水的排放標準：化學需氧量 < 600，懸浮固體 < 150，有效的分解硝酸鹽、磷酸鹽及銨根等污染物質、去除臭味。所生產的頓頂節螺藍菌（俗稱螺旋藻）還可用於養豬飼料中，以期提升肉豬的品質及免疫力。已有養豬戶在 50 噸的大型藍菌池中測試本實驗結果，去污效果良好且可回收藍菌做為飼料。此成本低廉且有經濟效益的廢水處理法，適用於中、小型養豬戶來處理豬廢水以降低污染源。

壹、 研究動機

因我們山上有鄰居在養豬，其未經處理的豬隻排泄物直接排入山溝中，這樣不僅惡臭難擋且嚴重影響水質。鄰居無奈的表示，因為豬廢水處理設施動輒上千萬，實在無力負擔。我希望能幫助他改善廢水污染，以拯救我家鄉的山水美景。所以和老師請教，想利用生物課所學的第一個出現在地球的生命-「藍綠菌」來做為豬廢水污染的終結者。

經過文獻探討發現，為供民眾食用及外銷需求，台灣每天飼養約 6 百萬頭豬（行政院農委會，2010），平均每平方公里就有 170 頭豬隻，其密度為日本的 7 倍、美國的 24 倍（環保署，2010）豬隻飼養所造成的污染排放佔農業廢水之 9 成。（行政院主計處，2009）若不正視豬廢水處理問題，將對環境有很大的影響。

少數養豬戶會設置三段式廢水處理場（固液分離器、厭氧反應器、好氧反應器）（蘇，等。2003），但此設施資本龐大且維護費用高，中小型養豬戶無法負荷。常利用夜間或假日偷偷排放豬廢水，導致河川及池塘優養化，嚴重污染環境（陳炳耀，2004）。

自 90 年開始，環保署為了維護河川，依法拆除並補償許多無法達到廢水排放標準的養豬戶（環保署，2010）。導致豬肉的糧食自給率近十年來下滑了 7.6%（行政院農委會，2010）。

每年需要進口8萬5千公噸的毛豬（行政院農委會，2010）易引起糧食危機。所以必須要找到成本低廉且有經濟效益的廢水處理法，來解決此一問題。

本研究利用豬廢水來養殖藍菌（俗稱螺旋藻），以生物處理法來降低廢水污染，並將生產的藍菌用於養豬飼料中，減少飼料消耗並期提升肉豬的品質及免疫力，達到廢水回收再利用的環保訴求。

本研究與教材之相關性為：**康軒版自然**

第一冊：第一章 孕育生命的世界（藍菌）、第二章 生物體的構造（細胞）、第三章 養分 第八章 資訊與生活。

第二冊：第一章 生殖、第三章 演化（人擇）、第四章 地球上的生物、第六章 人類與環境（環保）、第七章 圖的妙用、第八章 鴻「圖」大展（繪圖）。

第三冊：第一章基本測量、第四章光、第五章溫度與熱、第六章 元素與化合物。

第四冊：第一章化學反應、第二章 酸鹼鹽、第三章 氧化與還原、第四章 反應速率與平衡、第五章 有機化合物。

貳、 研究目的

一、利用養豬廢水來養殖藍菌。

二、利用藍菌淨化豬廢水的水質、去除臭味，吸收有機及無機質，達到環保署廢水排放標準。

三、將生產的藍菌用於養豬飼料中，減少飼料消耗並期提升肉豬的品質及免疫力。

參、 研究設備與器材

透明塑膠菌槽桶（20L）、打氣幫浦（藍波牌 EP9000）、篩網（400 目）、血球計數器（MARIENFELD 德製）、顯微鏡（Nikon E200）、抽氣馬達、平口瓷漏斗、過濾瓶、濾紙（110mm）、分光光度器（HACH DR/2010）、玻璃檢測管（CMAC，韓製）、電子天平（BHT-3005）、光譜儀（HITACHI U-1900）、玻璃纖維濾紙（Pall type A / E）、臺東賴永美養豬場原廢水、頓頂節旋藍菌。

肆、研究過程或方法

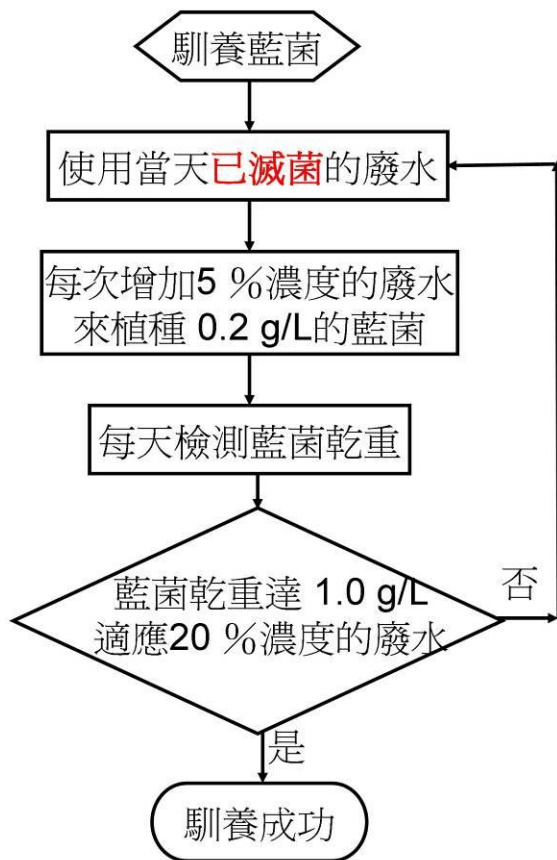


圖 4-1 馴養藍菌流程圖

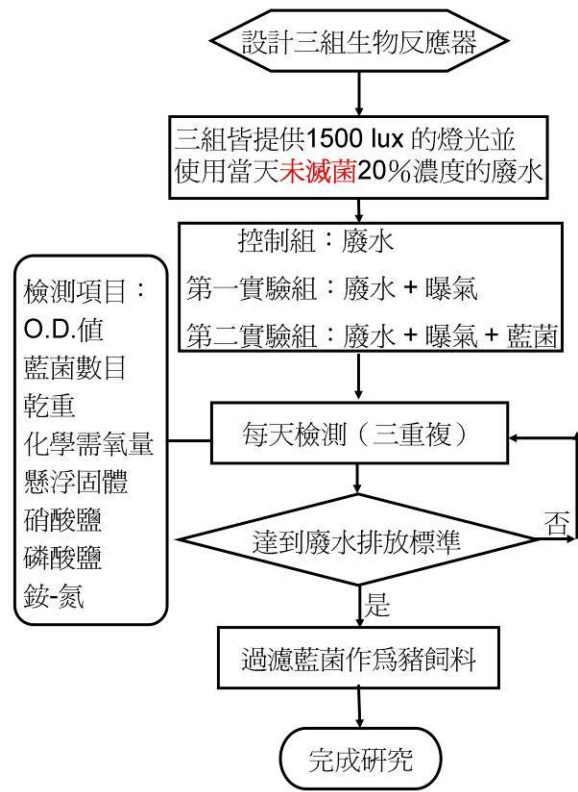


圖 4-2 實驗設計與分析流程圖

一、 參考方法：

過去的研究利用藍菌來分解豬廢水，必須先將藍菌製成生物濾膜（胡琇斐，2008）。使用及製作上費時又費工，且使用過後的藍菌無法再利用，所以無法推廣使用。

本研究所使用的 *Arthrospira platensis* 為全世界公認的營養保健食品，只需將其殖於廢水中，即可有效降低廢水汙染並繁殖出藍菌，還可以很簡單的利用濾網過濾出來做成豬飼料，非常經濟實惠。

二、 養豬廢水的採樣：

本實驗豬廢水採樣自台東縣泰安鄉『賴永美養豬場』，場主賴永美老師乃台大畜牧獸醫學系畢業，長期任教於台東專科學校畜牧系，經營養豬場已超過 30 年。此養豬場有 5 千頭豬、佔地 1.5 公頃，工人皆訓練有素，以標準化作業流程（SOP）來清洗養豬場。

養豬廢水包含豬隻排泄豬糞尿及沖洗豬隻、豬舍等廢水。養豬廠先用「固液分離機」(如照片 4-1)，去除部分固形物做為堆肥，此時分離出的水稱為「原廢水」(如照片 4-2)。每日排放 90 公噸原廢水輸送至 230 公噸容量的調整池中來管控濃度，所以每天的廢水濃度皆非常穩定。因此本研究每一次增養藍菌，皆採取當天最新鮮的原廢水來飼養。



(照片 4-1) 固液分離機：以輸送帶配上鏟子撈起尿糞集中池中的豬糞便。



(照片 4-2) 原廢水取自調整池（容量 230 公噸）

三、 藍菌菌種：

菌種來源為「賴永美養豬場」，他們向「屏東水產試驗所」購買頓頂節螺藍菌（每 50 ml 藍菌液售價 1000 元）後加以繁殖作為豬飼料。本人經由文獻探討發現可以利用藍菌處理養豬場廢水（胡琇斐，2008），所以說服賴老闆提供藍菌菌種及原廢水贊助此研究，但研究成果需對養豬場有所助益。

本研究使用的頓頂節螺藍菌（學名 *Arthrospira platensis*）（維基百科，2010 年）(ANTENNA TRUST INDIA，無日期) (如照片 4-3、4-4)，俗稱 **螺旋藻**。

是原核生物界(*Monera*)、藍菌門 (*Cyanobacteria*)、藍菌綱 (*cyanophyceae*)、顫藍菌目 (*Oscillatoriales*)、顫藍菌科 (*Oscillatoriaceae*)、節旋藍菌屬 (*Arthrospira*) (李炎，2005)。

節螺藍菌是一種生長在鹼性鹽水湖的光合作用菌，原產於非洲、墨西哥等熱帶高溫地方。含有豐富的蛋白質（達 65-70%），多種維生素，8 種人體無法自行製造的氨基酸，多種礦物質及高量 β -胡蘿蔔素。在全世界都有廣泛培植及作為膳食補充劑。在水產業、水族箱及家禽中也用作飼料的補充劑。（曾慶春，2006）

在醫學方面螺旋藍菌可降低膽固醇、高血壓，避免「冠心病」。抑制腫瘤的生長及轉移，加強對 HIV-1 及腸病毒 71 型的抵抗力，提高免疫力及鐵的吸收率並增加人體對輻射的忍受力（李孟洲、陳衍昌，2009）。1g 的螺旋藍菌粉所含的營養相當於 1000g 各種蔬菜營養的總和，它含有十餘種非常豐富的維生素，可在腸胃道建造健康的乳酸桿菌群，美國太空總署也將它做成太空食物。對動物的健康非常有幫助，世界各國皆將它列為重要的保健食品，目前已經大量商業化，製成藥錠、藥粉來販賣。（鄭俊明，2004）



頓頂節螺藍菌

在顯微鏡下以比例尺量取長度

1 單位長=0.01 mm

26.8 (單位長) ×0.01(mm)

=0.268 mm

=268 μ m

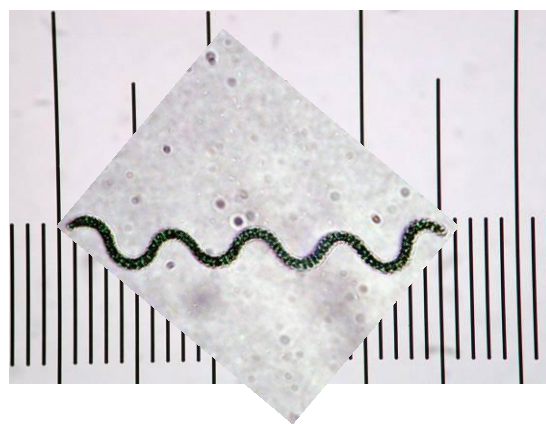


圖 4-2 頓頂節螺藍菌的長度計算

四、 藍菌濃度測定：

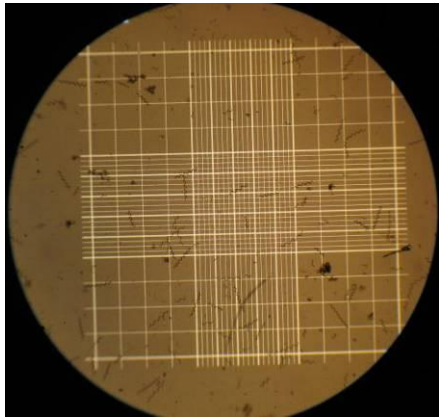
利用數菌法、測 O.D. 值及配合乾重繪標準曲線圖，以此測藍菌量。

(一) 以**血球計數器** (Counting Chamber) 計算藍菌數量

1. 取 20μ l 的藍菌液，於血球計數器的兩邊，各注入 10μ l，並於顯微鏡下放大 100 倍觀察。
3. 計算位於血球計數器左右兩邊各 4 大格區域內之所有藍菌數目並加以平均。

藍菌濃度 (cells / ml) = 1 格之藍菌總數目 ×10⁴

4. 藍菌濃度乘以藍菌液之體積，即總細胞數目。



(照片 4-5) 血球計數器以九宮格方式
便於計數

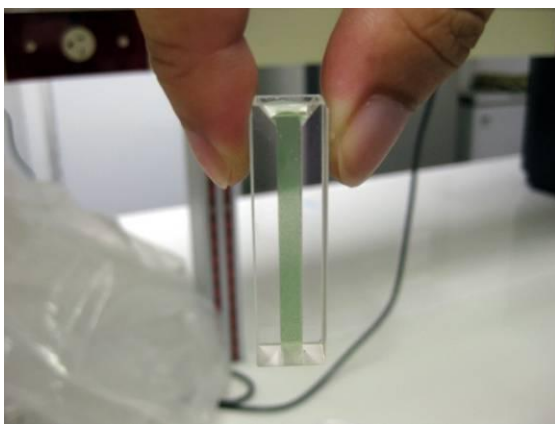


(照片 4-6) 以顯微鏡觀察計數藍菌數目

本實驗所需的藍菌液的菌種，經由血球計數器在顯微鏡下算出必須內含 5.1×10^5 cells/ml 藍菌數以上，方達到生長停滯期(Stationary Phase)。

(二) 測 OD 值 (optical density)

以光譜儀測藍菌的 OD 值，先以試劑水做空白歸零，搖晃藍菌液混和均勻後置入石英管內，將波長設定在 450 nm 及 680 nm 兩種以光譜儀來分析。



(照片 4-7) 取均勻混合菌液 1 ml 於石英管
中



(照片 4-8) 以光譜儀測其含菌量

(三) 測藍菌的乾重

根據 Ratana 的方法測出藍菌乾重 (Ratana, 等., 2010), 取 1000 ml 的樣水通過 Whatman 濾紙 (直徑 110 mm), 過濾後的樣本, 再用 250 ml 酸化過的水沖洗以消除鹽沈澱, 最後將濾紙放在 80°C 烤箱中烘乾 24 小時後秤重。

五、藍菌馴化：

我們使用水族館賣的打氣幫浦（110V，50Hz）來曝氣，採用 20 L 的 PVC 透明水箱加蓋做為生物反應器，先將塑膠管內塞入消毒棉球後連接打氣幫浦，並將生物反應器打洞以便塑膠管能通到每個生物反應器的底部。塑膠管末端，用金剛砂（氣泡石）將空氣分散成微小的氣泡，來推動水流。室內溫度維持在 20~29°C 之間，將日光燈(1500 lux) 固定於生物反應器上方 10 cm 以上的高度進行連續性照明（王維章..等，2003）。

利用人擇將藍菌逐步馴化於高濃度的原廢水，原廢水高溫高壓滅菌後用蒸餾水稀釋，剛開始用 5% 濃度已滅菌的原廢水來殖種藍菌。藍菌起始濃度為 0.2 g/L (乾重)，給予連續的打氣與曝光。每天採樣檢測藍菌液的 OD 值、藍菌數、乾重、化學需氧量、懸浮固體、硝酸鹽、磷酸鹽、銨-氮...等並以顯微鏡監測藍菌的生長情形。當繁殖濃度達到藍菌的標準曲線圖 1.0 g/L 點，即為生長停滯期 (stationary phase)。且水質達到環保局廢水排放標準之後，即篩選出能耐受 5% 濃度原廢水的純菌。以消毒過的篩網（400 目）來過濾收成藍菌。重複此人擇的馴養程序，逐步增加為植種於 10% 濃度的已滅菌原廢水，成功後再將濃度增加到 15% 濃度的已滅菌原廢水，直到藍菌可適應 20% 濃度的已滅菌原廢水，即馴養成功。

經過十餘次的失敗及再馴化後，證明，原廢水濃度若超過 20% 則濁度及鹽份太高，不利藍菌行光合作用及繁殖，故目前適於藍菌成長的最高濃度為 20%。因原廢水裡有非常多的細菌、藻類及微生物，為避免雜菌的危害，故以高壓滅菌原廢水來維持藍菌為純菌，並以顯微鏡監測。



（照片 4-9）以孔隙 400 目的篩網過濾出藍菌來接種原廢水。



（照片 4-10）將「原廢水」高溫高壓 50 min 滅菌

六、實驗設計：

等能耐受 20%濃度「已滅菌」原廢水的藍菌菌種馴化成功後，開始設計本實驗的控制變因與操縱變因。為了增加本實驗的實用性及經濟效益，在實驗的設計上皆採用當天「未滅菌」的原廢水，以符合養豬現場的實際需求。因原廢水中充滿了雜菌，故藍菌接種的濃度需高於 0.2 g/L，以形成優勢菌種。並每天以顯微鏡監測雜菌對藍菌的干擾。實驗完成後的藍菌液，已非純菌，不能再當菌種，於是餵食豬隻不再保留。

本實驗設計如下：

- 控制組：廢水（控制變因：當天「未滅菌」的原廢水，1500 Lux 的燈光連續照明）
- 第一實驗組：廢水+曝氣（操縱變因：連續曝氣）
- 第二實驗組：廢水+曝氣+藍菌（操縱變因：連續曝氣+功能藍菌）

每天檢測「三重複」，再以所測之數據求取平均值做成圖表並算出誤差值。



七、水質檢測：

經文獻探討，將豬隻排泄物加以分析平均如下表。（顏式清，1986）

表 4-1 1000 公斤豬體重每天所產生的糞尿量

糞尿量	77 公斤
揮發性固體	7.5 公斤
生化需養量 (BOD)	3.0 公斤
化學需氧量 (COD)	7.0 公斤
新鮮糞尿含氮量 (總氮)	0.4~0.7 公斤
新鮮糞尿含磷量 (總磷)	0.3 公斤

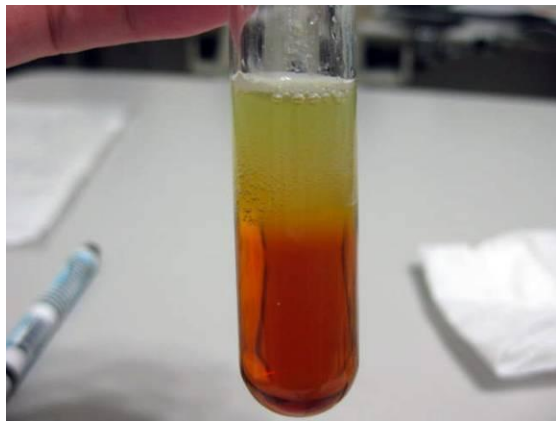
所以依據表 4-1 來設計水質檢測項目為化學需養量 (COD)、懸浮固體 (SS)、銨-氮 (NH_4^+-N)、硝酸鹽 (NO_3^-) 及磷酸鹽 (PO_4^{3-})。

(一) 檢測化學需氧量(COD)：

利用強氧化劑重鉻酸鉀來氧化廢水中的有機物質，所消耗的重鉻酸鉀量，以化學需氧量 COD(Chemical Oxygen Demand)表示，作為水質評估要項。

為求檢測的準確度，採雙檢定法。每天採樣三重複，以濾紙濾除藍菌後，先以分光光度計(DR/2010)檢測 COD，再將樣水以濃硫酸調整 pH 值至 2 以下並冷藏於 4°C，再帶至台東縣環保局以重鉻酸鉀迴流法測 COD 做最後的確認校正。使用過的試劑委由環保局協助回收處理。

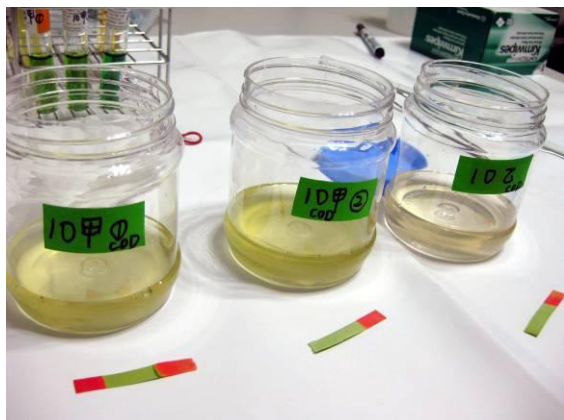
<p>分光光度計(DR/2010)檢測 COD 本實驗使用美國國家環保局 (USEPA) 認可的 Reactor Digestion Method 來檢測 COD。</p>	<p>到台東縣環保局以重鉻酸鉀迴流法檢測 COD</p>
<pre> graph TD Start([分光光度計檢測COD]) --> Step1[COD分解爐預熱至150°C] Step1 --> Step2[加樣水 2ml到檢測管] Step2 --> Step3[蓋緊充分搖晃均勻] Step3 --> Step4[於分解爐加熱2hr(150°C)] Step4 --> Step5[等20分鐘冷卻至120°C] Step5 --> Step6[再充分搖晃均勻至室溫] Step6 --> Step7[輸入程式並435調整波長620nm] Step7 --> Step8[擦去試管外油漬、指紋] Step8 --> Step9[放入空白組按 Zero] Step9 --> Step10[放入樣水組按 Read] Step10 --> End([COD檢測完畢]) </pre>	<pre> graph TD Start([COD：重鉻酸鉀迴流法]) --> Step1[加樣水 20ml到燒瓶] Step1 --> Step2[加重鉻酸鉀10ml及數粒沸石] Step2 --> Step3[連接冷凝管並加硫酸銀試劑 30ml] Step3 --> Step4[沸騰後迴流 2 小時] Step4 --> Step5[冷卻後以 30 mL 試劑水沖洗冷凝管內壁] Step5 --> Step6[取出燒瓶加 30 mL 試劑水冷卻至室溫] Step6 --> Step7[加入 3 滴菲羅啉指示劑] Step7 --> Step8[以硫酸亞鐵銨溶液滴定至當量點] Step8 --> Step9[進行空白試驗] Step9 --> End([COD檢測完畢]) </pre>
<p>圖 4-3 以分光光度計檢測化學需氧量的流程圖</p>	<p>圖 4-4 以重鉻酸鉀迴流法檢測化學需氧量的流程圖</p>



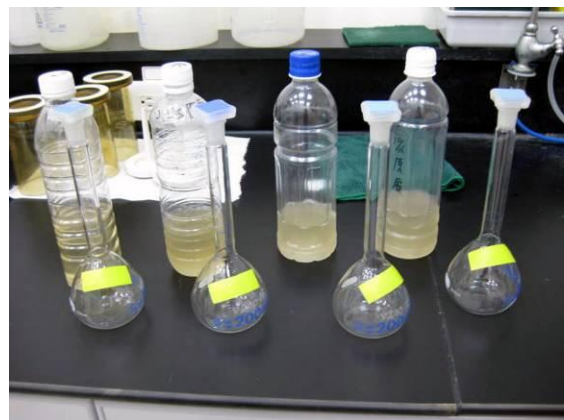
(照片 4-13) 加 2ml 樣水至已配好試劑的
檢測管



(照片 4-14) 每天採樣三重複，以分解
爐加熱



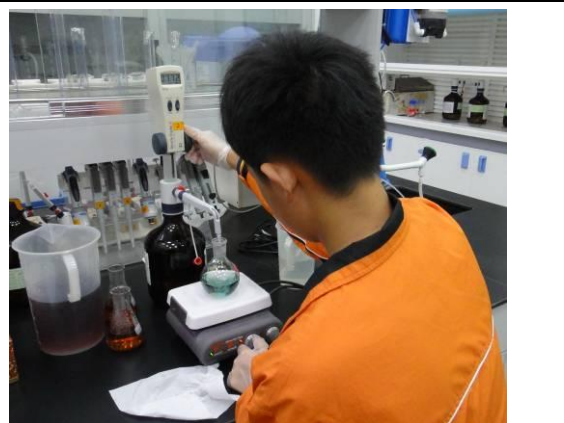
(照片 4-15) 樣水以濃硫酸調整成
 $\text{pH} < 2$ ，並於 4°C 冷藏



(照片 4-16) 若樣水之 COD 值大於
 400 mg/L 時，應予適當稀釋



(照片 4-17) 重鉻酸鉀迴流法：沸騰後迴
流 2 小時，控制溫度，避免突沸



(照片 4-18) 先加 3 滴菲羅啉 (Ferrouin)
指示劑，再以硫酸亞鐵銨滴定至當量點

(二) 檢測懸浮固體(SS)

受限於設備問題，故本實驗是到台東縣環保局微生物實驗室做檢測。每天採樣三重複，以 400 目的濾網濾除藍菌後以 4°C 避光冷藏，再拿到環保局做檢測。

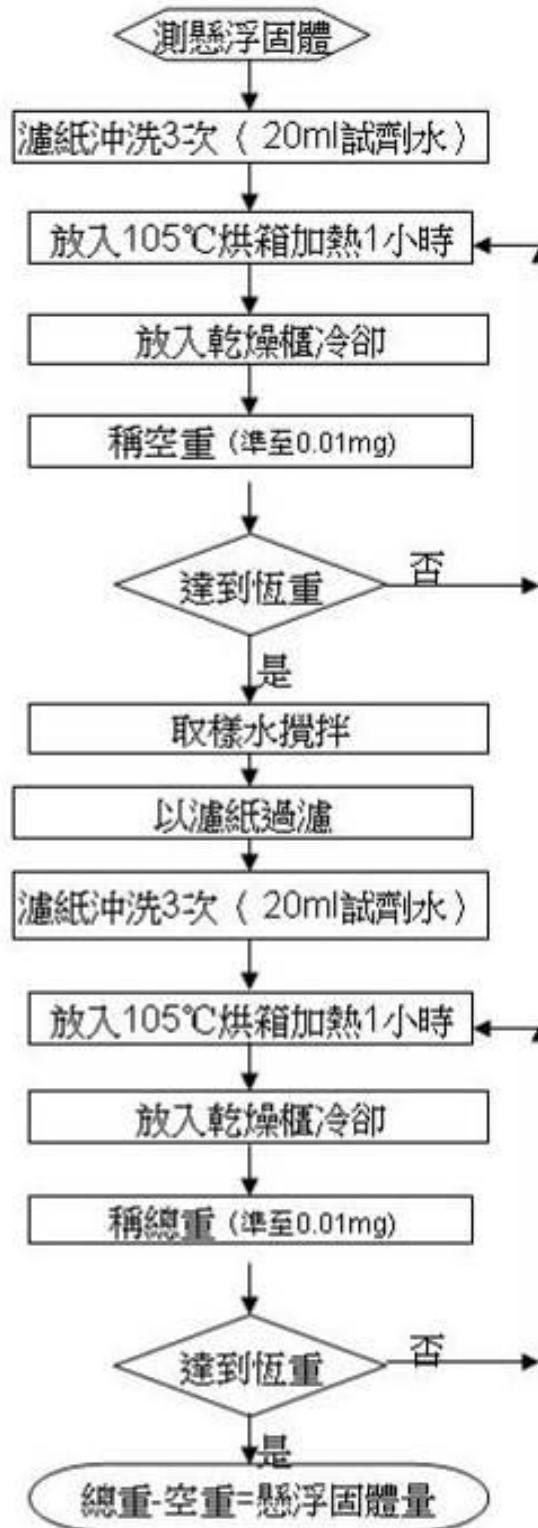


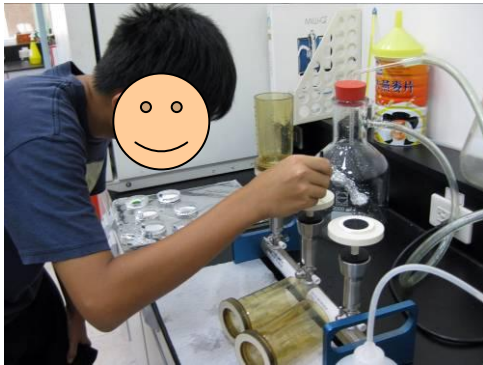
圖 4-5 檢測懸浮固體(SS)的流程圖



(照片 4-19) 事先做好玻璃纖維濾紙的空重



(照片 4-20) 依照樣水的濁度稀釋



(照片 4-21) 將已知「空重」的濾片裝於過濾裝置上



(照片 4-22) 執行兩次空白樣品分析(試劑水 1000 ml)



(照片 4-23) 等樣水過濾後，沖洗濾片 3 次



(照片 4-24) 待洗液流盡後繼續抽氣約 3 分鐘



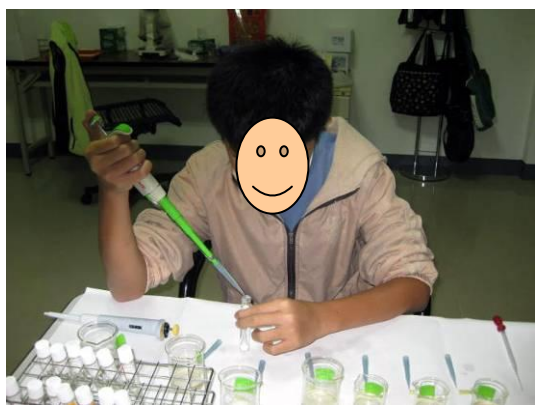
(照片 4-25) 放入烘箱以 105 °C 烘乾至少 1 小時



(照片 4-26) 移入乾燥櫃中冷卻後，稱量「總重」

(三) 銨-氮、硝酸鹽、磷酸鹽檢測法

本實驗所使用的分光光度器(HACH DR/2010)，可以檢測多種成分。每天採樣三重複，先以濾紙濾除藍菌，再將樣水加入廠商預先配置好試劑的檢測管中（CMAC，韓製），依照使用步驟操作，即會依濃度之不同而有不同程度的呈色反映，輸入分光光度計的程式編號再調整波長，即可依不同色光的波長來分析出其水質含量。



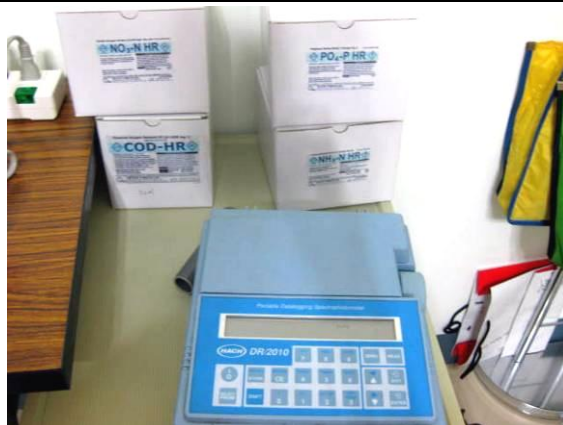
(照片 4-27) 量取樣水置入檢測管（內含廠商已預先配好的藥水）



(照片 4-28) 添加試劑入檢測管反應



(照片 4-29) 依樣水濃度而有不同的變色反應



(照片 4-30) 以分光光度計調整波長檢測濃度

1、銨-氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$

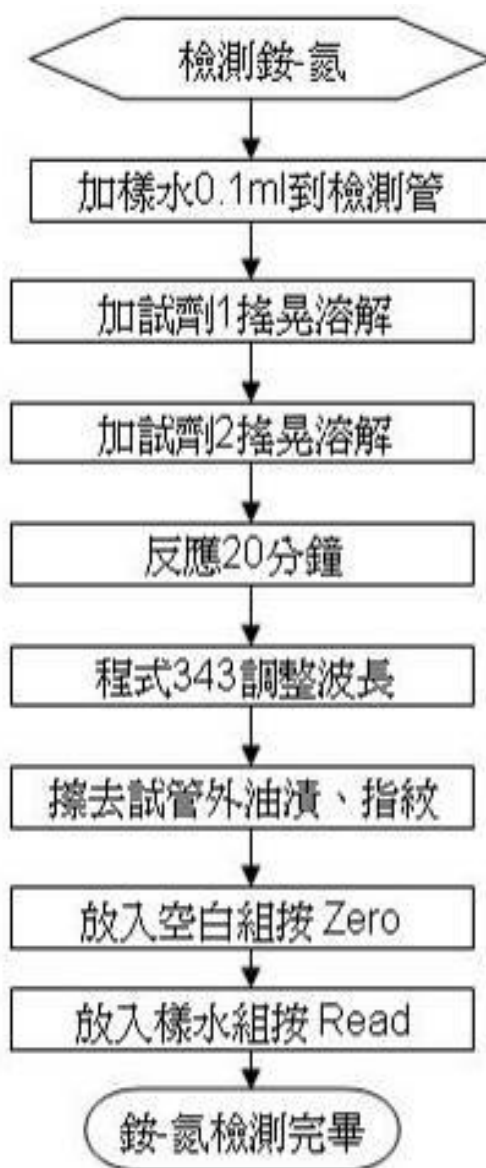


圖 4-6 檢測銨-氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的流程圖

2、硝酸鹽 NO_3^-

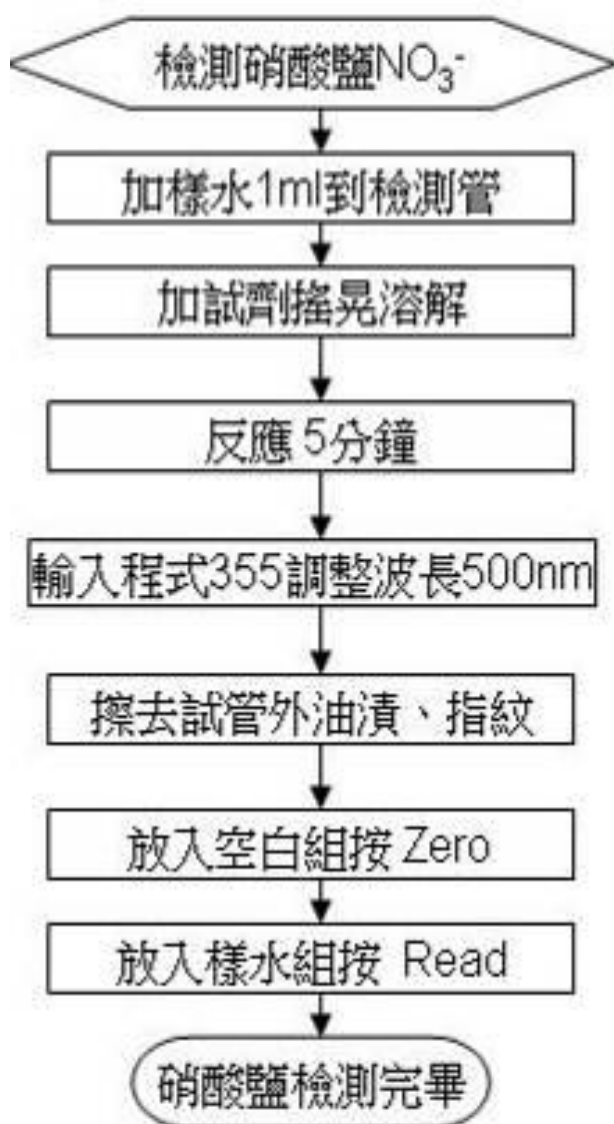


圖 4-7 檢測硝酸鹽 NO_3^- 的流程圖

3、磷酸鹽 PO_4^{3-}

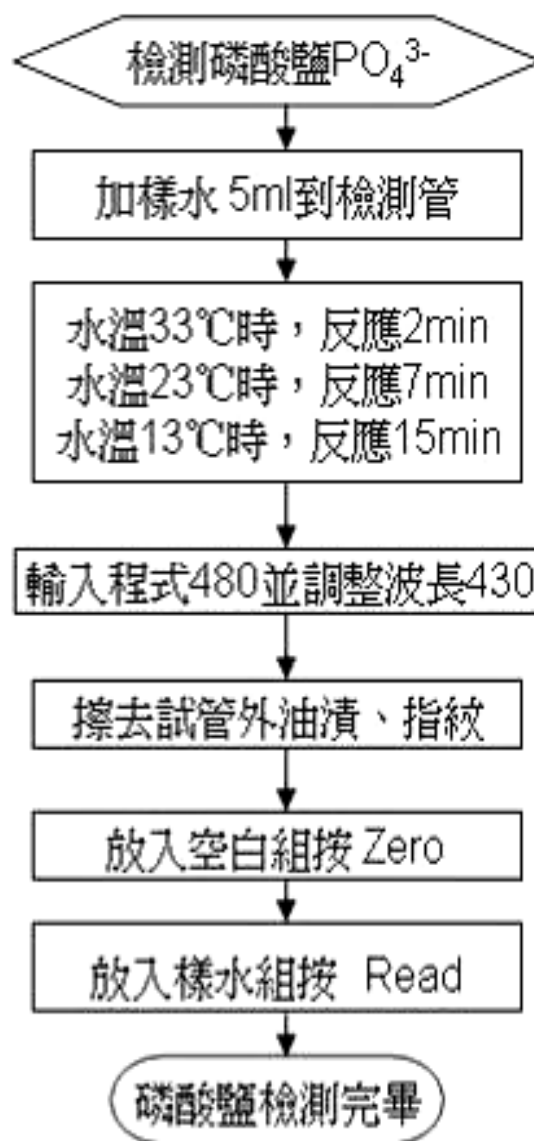


圖 4-8 檢測磷酸鹽 PO_4^{3-} 的流程圖

八、以藍菌做飼料測試

每天將 20g 的藍菌餵給「實驗豬」食用，觀察其排泄情形正常。接著利用藍菌飼養黃金蜆，每日餵食 1 公克藍菌（濕重），觀察其濾食情形良好，養殖順利。



（照片 4-33）黃金蜆飼養箱，以藍菌餵食。



（照片 4-34）在水中漂浮的即為藍菌。

伍、研究結果

一、標準生長曲線：

觀察藍菌在濃度 20% 原廢水中的標準生長曲線，發現藍菌在剛開始進入高濃度廢水時，會因「滲透壓」的關係，彼此糾結成團來互相保護，造成 OD 值降低。但依舊有分解吸收原廢水中的有機物質來繁殖，使得乾重有持續增加。到了第四天，在顯微鏡的觀察下藍菌已經適應新的環境，不再糾結在一起。

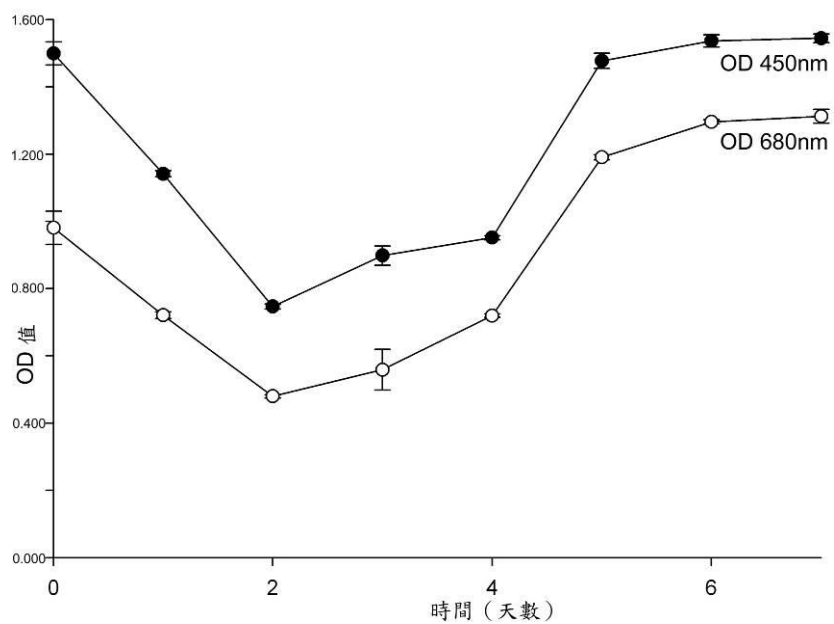


圖 5-1 藍菌在濃度 20% 原廢水中的標準生長曲線 OD₄₅₀ · OD₆₈₀

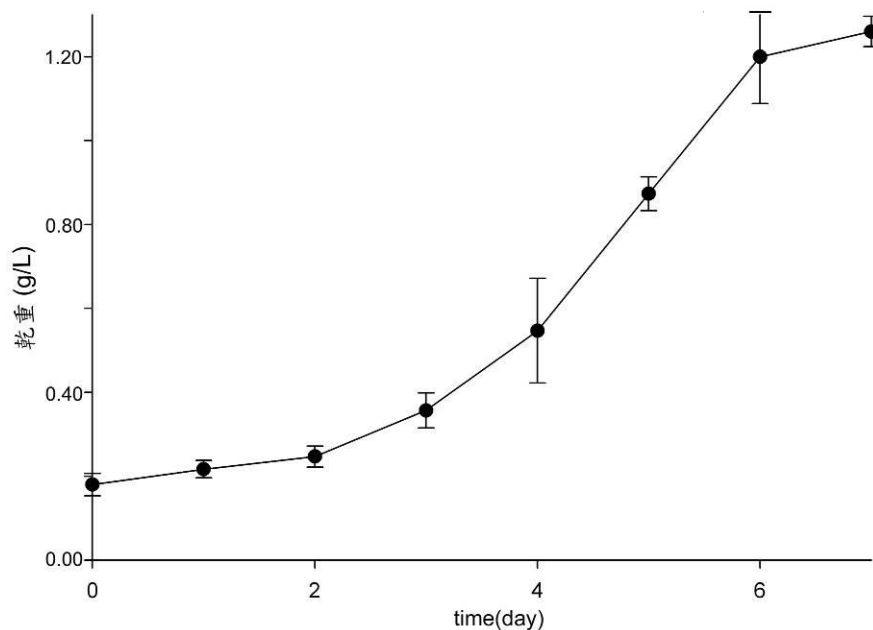


圖 5-2 藍菌在濃度 20% 原廢水中的標準生長曲線:乾重

二、水質檢測

(一) 藍菌對原廢水之化學需氧量的去除效果：

由圖 5-3 可看出實驗的第 3 天「廢水+曝氣+藍菌」組已達到豬廢水的排放標準：

546 mg/L < 600 mg/L (環保署, 2010)。對照顯微鏡觀察後發現, 當 COD 值下降後, 藍菌便再彼此糾結而開始大量繁殖。經由生物吸收法, 讓原本不符排放標準之化學需氧量, 在 3 日內由 1073 mg/L 下降至 546mg/L 而可以符合標準, 處理效率很高。各組對照控制組(廢水)作獨立樣本 T 檢定也有顯著性差異, 表示曝氣及加藍菌皆可協助降解廢水中的化學需氧量。

控制組(廢水)並無太大的起伏, 而「廢水+曝氣」組的 COD 雖有下降, 但效率較低。表曝氣可以提供氧氣給廢水中其他好氧菌成長及有機物分解所需, 故可降低 COD, 但仍無法達到環保局廢水排放的標準。「廢水+曝氣+藍菌」組在第 7 天時已達到 158 mg/L, 證明藍菌可以有效降低豬廢水中的 COD 值。

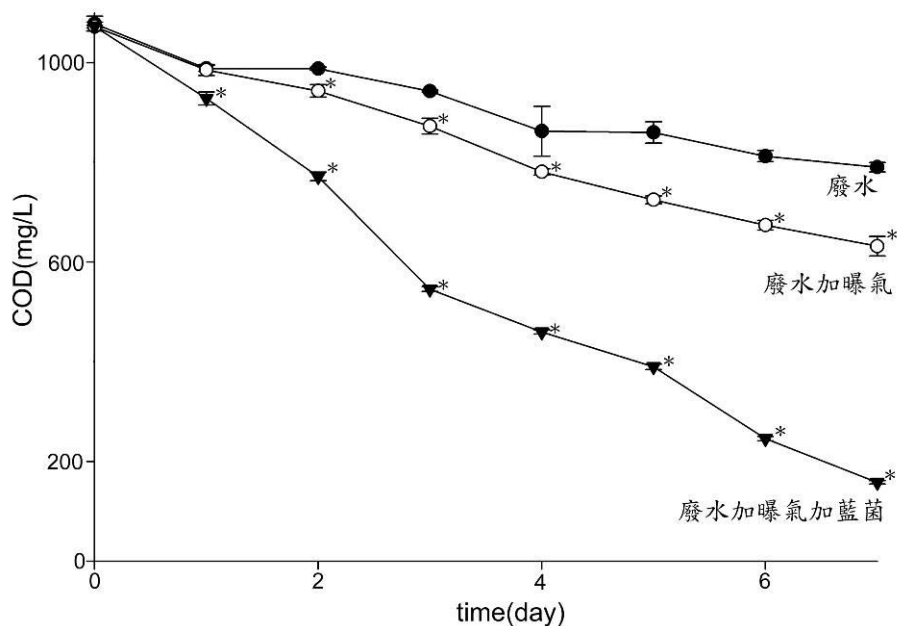


圖 5-3 藍菌對原廢水之化學需氧量的去除效果

因每一次實驗採樣的原廢水濃度不會完全相同，故不易相互比較每一次的去除效果。所以將 COD 的濃度換算成 MRE (質量去除率 = $\frac{\text{第0天} - \text{當天}}{\text{第0天}} * 100\%$)，即可比較其去除的效果了。由圖 5-4 可看出「廢水+曝氣+藍菌」組，在第 7 天的去除率已達 85%，去污效率很高。因為藍菌的光合作用，能夠製造氧氣進入水中，再加上曝氣所提供的氧氣皆能協助水中的微生物分解污染物因而減少 COD。這或許可以解釋影響此生物反應器的最重要因素為氧氣。

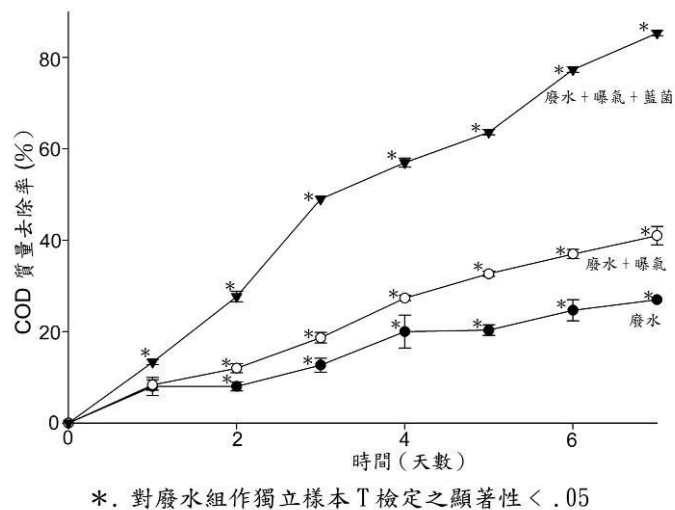


圖 5-4 藍菌對廢水之化學需氧量的質量去除率 MRE(mass removal efficiency)

(二) 藍菌對原廢水之懸浮固體量的去除效果：

由圖 5-5 可明顯看出實驗的第 2 天即已達到豬廢水的排放標準：134 mg/L < 150 mg/L (環保署, 2010)。各組對照控制組(廢水)作獨立樣本 T 檢定也有顯著性差異，表示曝氣及加藍菌皆可協助降解廢水中的懸浮固體含量。經由實驗中發現原廢水中含有許多膠質，在環保局裡以玻璃纖維抽氣過濾時，經常會卡住縫隙而塞住，必須事先稀釋且用超音波打散。但經過藍菌處理分解後，在第 2 天膠質便開始下降，較易過濾而不必稀釋了。「廢水+曝氣」組在第七天時也達到廢水排放標準 137.99 mg/L，可見打氣也可協助懸浮固體的分解。

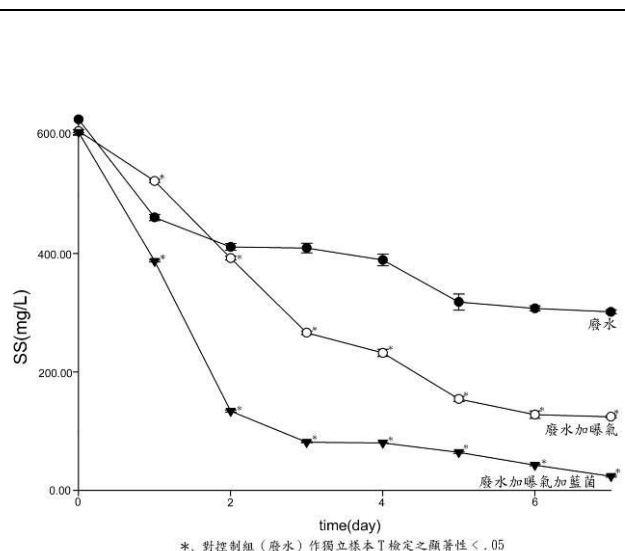
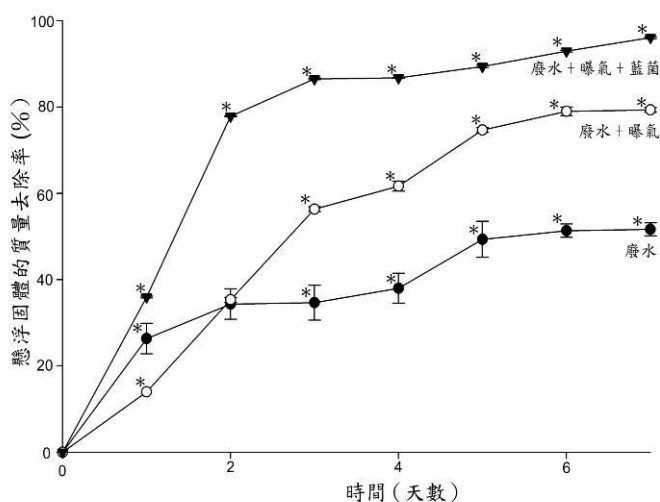


圖 5-5 藍菌對原廢水之懸浮固體的去除效果

在換算成質量去除率之後，由圖 5-6 可看出「廢水+曝氣+藍菌」組，在第 2 天的去除率就達到 78%，可見藍菌對於分解懸浮固體的功效良好。



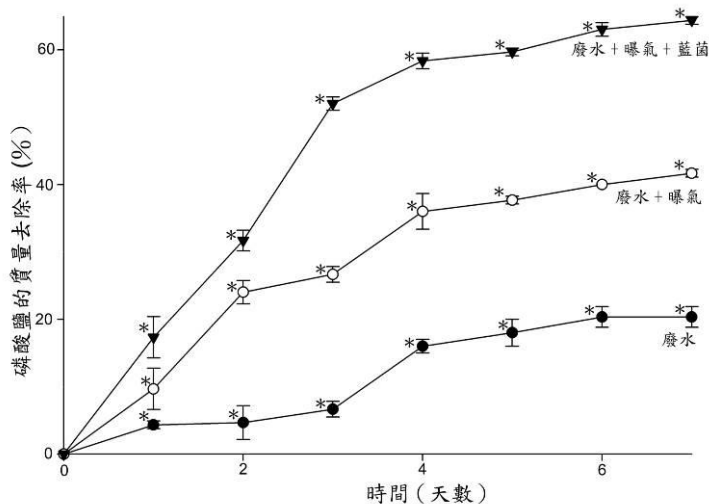
*. 對廢水組作獨立樣本 T 檢定之顯著性 < .05

圖 5-6 藍菌對原廢水之懸浮固體的質量去除率 MRE(mass removal efficiency)

(三) 藍菌對原廢水中之磷酸鹽 PO_4^{3-} 的去除效果：

磷酸鹽乃藍菌代謝繁殖所需之重要成分，可構成 DNA、RNA 及磷脂質（王維章.等，2003），而豬隻排泄物中亦含有此成分，也是原廢水造成河川優氧化的重要因素（顏式清，1986）。本實驗希望利用藍菌吸收磷酸鹽來降低廢水對河川的汙染。

各組對照控制組（廢水）作獨立樣本 T 檢定也有顯著性差異，表示曝氣及加藍菌皆可協助降解廢水中的磷酸鹽含量。本次實驗「廢水+曝氣+藍菌」組對於磷酸鹽在 7 天內的去除率達到 64.5%，顯示藍菌可以漸漸吸收磷酸鹽。因為在好氧條件下，磷酸鹽會直接被細胞吸收，若在缺氧環境下，則會與銨根離子合成固體沈澱物(González, et al., 1997；Maekawa, et al., 1995；Su, et al., 1997)。



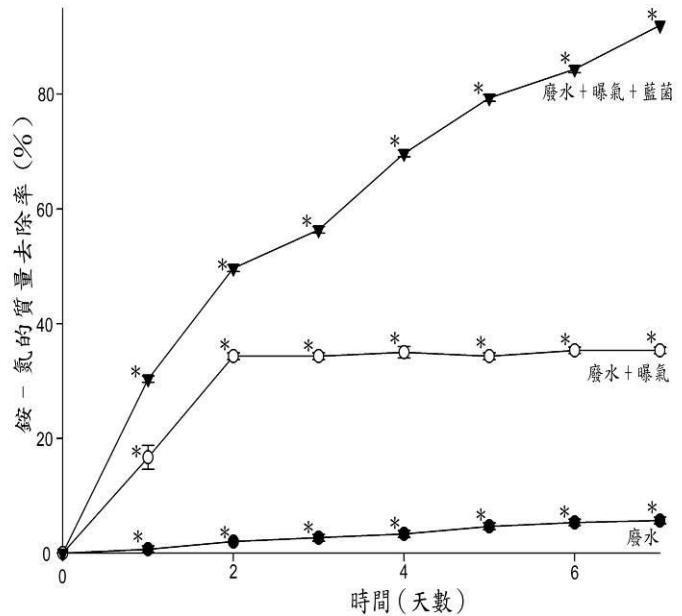
*. 對廢水組作獨立樣本 T 檢定之顯著性 < .05

圖 5-7 藍菌對原廢水之磷酸鹽的質量去除率 MRE(mass removal efficiency)

(四) 藍菌對原廢水中銨-氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果：

銨-氮為原廢水中臭味的主要來源之一，為了避免臭味逸散影響檢測結果，養殖時將藍菌生物反應器加蓋。各組對照控制組（廢水）作獨立樣本 T 檢定也有顯著性差異，表示曝氣及加藍菌皆可協助降解廢水中的銨-氮含量。

由圖 5-8 可明顯看出「廢水+曝氣+藍菌」組銨-氮的去除率上升的很快，而控制組（廢水）的去除率很低（小於 6%）。「廢水+曝氣」組於第 2 天的去除率達到 34% 後，便幾乎沒有變化了，曝氣雖然可協助高濃度的氨氣逸散，但在密閉的生物反應器內，當氨氣揮發與溶解的速率平衡時，氨氣便不易散失。「廢水+曝氣+藍菌」組到了第 7 天濃度為 6.6 mg / L，去除率達到 91.8 %，表示只有藍菌對銨-氮有很高的吸收能力，可有效減少臭味的污染。

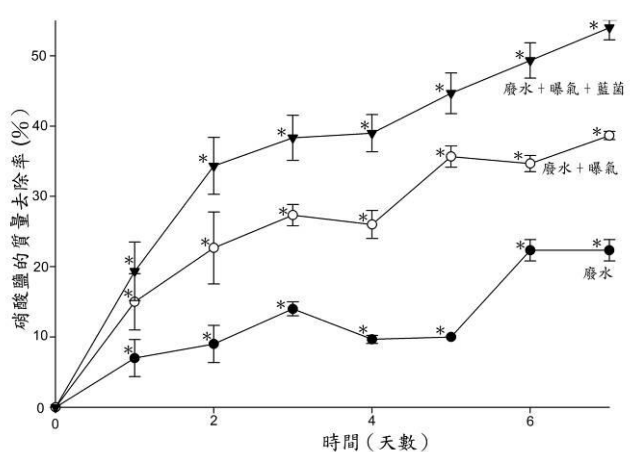


*. 對廢水組作獨立樣本 T 檢定之顯著性 < .05

圖 5-8 藍菌對原廢水之銨-氮的質量去除率 MRE(mass removal efficiency)

(五) 藍菌對原廢水中硝酸鹽 NO_3^- 的去除效果：

各組對照控制組（廢水）作獨立樣本 T 檢定也有顯著性差異，表示曝氣及加藍菌皆可協助降解廢水中的硝酸鹽含量。「廢水+曝氣+藍菌」組在第 7 天的去除率即達到 54.0%，表示藍菌將其當營養液來吸收，可利用硝酸鹽來合成胺基酸，構成蛋白質（中國養殖技術網，2010）。



*. 對廢水組作獨立樣本 T 檢定之顯著性 < .05

圖 5-9 藍菌對原廢水之硝酸鹽的質量去除率 MRE(mass removal efficiency)

(六) 三次實驗，「廢水+曝氣+藍菌」組對 COD 質量去除率 MRE 之分析

本研究於 99 年 10 月 (29°C)、11 (25°C) 月及 100 年 1 月 (20°C) 分別作了 3 次實驗，每次實驗皆每天採樣 3 重複。就此三次實驗，在相同實驗天數時的數據作單因子變異數分析 (ANOVA)，發現溫度越高則「廢水+曝氣+藍菌」組對 COD 的質量去除率 (MRE) 越高，且組間有顯著性差異，證明室溫會影響反應速率。三次實驗的結果，在藍菌養殖第六天時皆有很高的 COD 質量去除率 (大於 76%)，表示實驗有很高的再現性。

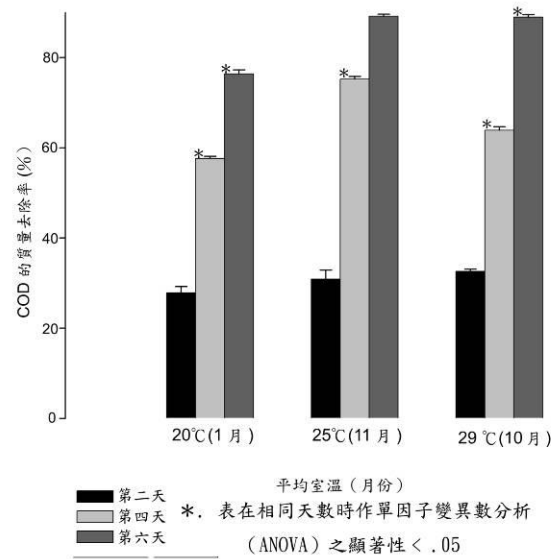


圖 5-10 三次實驗，「廢水+曝氣+藍菌」組對 COD 質量去除率 MRE(mass removal efficiency)之分析

陸、討論

一、養豬廢水防治績效分析：

台灣 2008 年的農業廢水污染較 2007 年增加 11.1% 的 BOD、5.9% 的 COD 及 9.7% 的 SS，因為多數規模較大的養豬戶，其廢水處理設施開機率降低。(行政院主計處，2009) 究其原因是節省成本，且公權力執行效率不彰，在 2008 年違反水污染防治法而被判決的案例只有 50 件。(行政院環境保護署，2009) 造成養豬戶的僥倖心態因而加重環境的汙染。

研究發現傳統「三段式廢水處理設施」會造成「規模報酬率遞減」情形。(蕭景楷，等，2005) 即 2000 頭以下的中小型養豬戶若採用此設施，在設備、土木建築及人工、電費上的成本皆會有 4 成以上的浪費。因其豬廢水量小於可處理量而造成空轉，降低養豬戶的使用意願，故常利用假日或夜間偷偷排放廢水。所以找到一個經濟簡單又能吸引養豬戶有意願使用的廢水處理法，是一件非常重要的事情。

二、藍菌馴化之分析

根據以往的研究，必須在增養藍菌時添加碳酸氫鈉及尿素等(Gantar, et al., 1991; Lincoln, et al., 1996; Mezzomo et al., 2011; Ratana, et al., 2010;) 以調整 pH 值和補充氮源。但本實驗的首要目的不在於繁殖藍菌，而是利用藍菌來消耗原廢水中的營養物質以達到廢水排放標準。所以本實驗除了原廢水外未加任何添加物，以迫使藍菌分解原廢水，而藍菌也成功的在第 6 天達到 1.2 g/L (乾重) 的生產率。

從十餘次馴化失敗的經驗中發現，飼養藍菌的原廢水濃度不能高於 20%，否則濁度與滲透壓相對增加，將減少透光度不易光合作用。且高濃度的銨根等成分會抑制藍菌生長 (Canizares-Villanueva, et al., 1995)，並提升原廢水中原生藻類的競爭力。(Gantar, et al., 1991)

三、本實驗成本估算：

實驗用打氣幫浦 30 W、電燈 50 W，6 天共耗電約 35 元。實驗繁殖回收頓頂節螺藍菌的乾重 10 公克，若以富茂公司的藍藻錠 5 元/公克來計算，可生產 50 元的藍菌。扣除電費尚有 15 元的利潤，但本實驗藍菌是作為養豬飼料，故價錢會降低。未來若在戶外大量增養來分解原廢水，則可省下打光的電費，其藍菌回收的利潤相對更佳。應可涵蓋所有可變的成本，相信可以提高養豬戶參與的意願。

柒、結論

本實驗利用功能藍菌分解濃度 20%未滅菌的原廢水，進行水質檢測及菌種濃度監測。結果於第 3 天達到環保署豬廢水的排放標準：化學含氧量 < 600，懸浮固體 < 150，有效的分解硝酸鹽、磷酸鹽及銨-氮等污染物質，並去除臭味。所生產的頓頂節螺藍菌（俗稱螺旋藻），於第 6 天可達到標準曲線圖 1.0 g/L 點，過濾出來用於養豬飼料中，期望可提升肉豬的品質及免疫力，節省飼料費用。

在處理原廢水時不必事先殺菌消毒，功能藍菌只要接種時最終濃度高於 0.2 g/L，則可形成優勢菌種，簡便易行。生物處理程序(biological processes)一直被認為是除去有機物污染最具競爭力的方法(Hunter, P., and Oyama, S.T., 2000; Powers, W.J., 1999)，比化學處理程序(chemical processes)更天然且便宜。而利用功能藍菌來解決養豬廢水的污染，比傳統處理法更有彈性，適用於中小型養豬戶。

近十年來因環保意識提高，迫使沒錢提升廢水處理設施的養豬戶依法停業。（行政院農委會，2010）而毛豬的年產量近十年來便少了 1 百 35 萬頭。（環保署，2010）必須仰賴進口，降低糧食自給率，恐將引起糧食危機。所以急需找到較便宜的廢水處理法，以提升養豬意願。若利用本實驗成果，將藍菌養殖於戶外則只需要給予藍菌液曝氣即可，不必打光。節省許多設備、土木建築、人工及電費上的成本。而繁殖的「頓頂節螺藍菌」是各國公認的營養保健食品（李孟洲、陳衍昌，2009），市價很高。所以不僅能終結豬廢水的汙染且能生產頓頂節螺藍菌，節省飼料費用。一舉兩得有很高的經濟價值與環保意義，定能提高養豬戶使用的意願。尤其是中小型養豬戶，可以利用此成本低廉且簡單的方法來處理少量的豬廢水，又能回收藍

菌作飼料，扣除電費後還有利潤是最划算的事情。

台東的賴永美養豬場正在利用本實驗之研究成果，嘗試以廢水來大量養殖藍菌（照片 6-1）。在養豬場增建 50 噸的大型藍菌池，在戶外自然採光進行光合作用，只須給予打氣設備即可。因受日照量及溫度影響，每一批繁殖的藍菌生長曲線並非完全一致。根據近三個月來的平均，每一批接種的原廢水約需 14 天即可增養達到藍菌的標準曲線圖 1.0 g/L 點，且水質經由台東縣環保局測試已達到廢水排放標準。所採收的「頓頂節螺藍菌」已經給廠內的「實驗組」豬隻食用，並與「控制組」的豬隻一起進行生長、排泄情形的觀察與防疫紀錄。

目前養豬場已在增建第二個大型藍菌池（照片 6-2），希望能擴大規模來處理豬廢水及飼養藍菌供豬隻食用，證實本研究方法是實際可行且有很高的經濟效益。



(照片 6-1) 50 噸的大型藍菌池：給予曝氣



(照片 6-2) 已在增建第二個大型藍菌池



(照片 6-3) 以 400 目的濾網製作輸送帶，可全自動濾取藍菌以節省人力。



(照片 6-4) 以 300 L 藍菌槽來增養藍菌

未來希望能繼續與養豬場合作此計畫，在重複試驗、檢測與統計下，設計「養豬廢水與藍菌池容量對照表」及「養殖環境與藍菌成長曲線關係圖」。幫助養豬戶瞭解豬廢水量、培養池容量以及培養環境之間的相對關係。並研究藍菌的豬飼料配方及對肉豬品質與防疫的影響。希望可以幫助養豬戶解決豬廢水的問題，再利用藍菌做為豬飼料以減少養殖成本及抗生素的濫用。

捌、參考文獻

今日儀器 (2010) 分光光度計。2010 年 8 月 17 日，取自：

http://www.todays.com.tw/product-3.asp?ser=1971&headpic=type_title19.gif

水中磷檢測方法—分光光度計／維生素丙法 (2010 年 9 月)。行政院環境保護署

王維章、賴進此、廖啟成 (2003)。鈍頂螺旋藻與極大螺旋藻的培養與保存。台灣農業化學與食品科學。41 期，頁 458-465。

石鳳城(2005)。水質分析與檢測。台北縣：新文京開發出版有限公司。P.260~P.278

行政院主計處 (2010)。綠色國民所得帳編製報告。台北市：行政院主計處。

行政院農業委員會統計室 (2010)。農產貿易統計要覽。台北市：行政院農業委員會。

行政院農業委員會統計室 (2010)。糧食供需年報。台北市：行政院農業委員會。

行政院環境保護署 (2010)。中華民國環境保護統計年報。台北市：行政院環境保護署。

吳明隆 (2000)。SPSS 統計應用實務。台北市：松崗

李孟洲 (2005 年 3 月 23 號) 藍綠藻萃取物之「抗菌」研究。2010 年 8 月 17 日，取自：

[http://ind.ntou.edu.tw/~b0232/blue-green\(use\).htm](http://ind.ntou.edu.tw/~b0232/blue-green(use).htm)

李孟洲、陳衍昌 (2009)。螺旋藻多醣體的藥用價值與應用。食品資訊，233 期，頁 32-34。

李炎 (2005)。藍菌研究。台北縣：藝軒。

事業水污染源管制計畫 (1996 年)。環保署網站。2010 年 8 月 13 日，取自：

<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/index.aspx>

胡琇斐，邱俊彥，李炎 (2008)。資源與環境學術研討會論文集。花蓮縣：花蓮縣環境保護局。

現代生物技術與動物營養和動物保健 (2006 年 1 月 18 號)。中國養殖技術網。2010 年 8 月 13 日，取自：<http://yz.ag365.com/yangzhi/siliao/2006/2006011810505.html>

陳炳耀 (2004)。農畜牧事業廢水排放管理研究。大葉大學，事業經營研究所碩士論文。

鄭俊明 (2004)。超級食物—螺旋藻。新營養，53 期，頁 37-41。

養豬頭數調查調查結果分析 (2010 年 5 月)。行政院農委會網站。2010 年 8 月 13 日，取自：

<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=21823>

蕭景楷、楊志慶、陳志成 (2005)。養豬廢水防治績效及影響因素分析。台灣土地金融季刊，

42 期，頁 189-211。

環境檢驗所網站。2010 年 11 月 15 日，取自：<http://www.niea.gov.tw/niea/doc/W42753B.doc>

螺旋藻（2010 年 4 月 26 日）。維基媒體基金會網站。2010 年 8 月 17 日，取自：

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%9E%BA%E6%97%8B%E8%97%BB>

螺旋藻的介紹（無日期）。海洋大學水產養殖系藻類應用生理實驗室網站曾慶春。2010 年 8 月 17 日，取自：<http://ind.ntou.edu.tw/~b0232/>

顏式清（1986）。豬糞尿農地消納之研究。養豬場廢污處理與再利用研討會論文集，頁 205-225。

Canizares-Villanueva, R.O., Dominguez, A.R., Cruz, M.S., Rios-Leal, E. (1995). Chemical composition of cyanobacteria grown in diluted, aerated swine wastewater. *Bioresour. Technol.* 51, 111-116.

Cyanobacteria（無日期）THREE OF LIFE WEB PROJECT。2010 年 8 月 17 日，取自：

<http://tolweb.org/tree?group=Cyanobacteria&contgroup=Eubacteria>

Gantar, M., Obreht, Z., Dalmacija, B. (1991). Nutrient Removal and Algal Succession during the Growth of *Spirulina platensis* and *Secenedesmus quadricauda* on Swine Wastewater. *Bioresour. Technol.* 36, 167-171.

González, L.E., Cañizares, R.O., Baena, S. (1997). Efficiency of Ammonia and Phosphorus Removal from a Colombian Agroindustrial Wastewater by the Microalgae *Chlorella Vulgaris* and *Scenedesmus Dimorphus*. *Bioresour. Technol.* 60, 259-262.

Hunter, P., Oyama, S.T., 2000. Control of Volatile Organic Compound Emissions: Conventional and Emerging Technologies. Wiley, New York.

Ratana, C., Chriasuwan, N., Siangdung, W., Paithoonrangsarid, K., Bunnag, B. (2010). Cultivation of *Spirulina platensis* Using Pig Wastewater in a Semi-Continuous Process. *J. Microbiol. Biotechnol.* 20(3), 609-614.

Su, J. J., Liu, B.Y., Chang, Y.C. (2003). Emission of Greenhouse Gas from Livestock Waste and Wastewater Treatment in Taiwan. *Agricu. Ecosyst. Environ.* 95, 253-263

【評語】 030302

1. 學生利用藍菌改良養豬廢水的處理效率是一有應用價值的
研究。
2. 如果本研究能證明用藍菌於養豬廢水處理優於現在廣被
人使用的菌種還好，則將使本研究更充實。
3. 學生所用的研究材料特殊其研究態度值得鼓勵。