

無機鹽類影響配水管線中水質生物穩定性之研究

*朱振華， ** 盧重興

*博士候選人， **教授

國立中興大學環境工程學系

摘要

生物性污染一直是自來水配水系統二次污染最主要的問題之一，其中更以生物膜累積於管壁的問題最難以解決。本研究的目的在於探討添加磷酸鹽、銨鹽及硝酸鹽等無機鹽類對配水管線生物膜生長及水質穩定性的影響。研究中採用異營菌平板計數(Heterotrophic plate count, HPC)、生物可利用有機碳(Assimilable organic carbon, AOC)、及掃描式電子顯微鏡(Scanning electron microscope, SEM)觀察等方法，評估上述因子對於管線生物膜消長的影響，進而擬定出一套提昇配水管線生物穩定性的方法。

試驗結果顯示，添加磷酸鹽類對於管線生物膜的生長效應最明顯，而添加銨鹽及硝酸鹽類對生物膜的增長效應則較磷酸鹽類差。在豐原地區的三個不同區域的採樣批次結果顯示，處理廠的出流水水質生物穩定性最好，且微生物的生長受到磷及氮源的雙重限制；市中心區的結果顯示，氮源對微生物生長的限制效應已經減低許多，但磷酸鹽類的限制情況仍然十分明顯，水質生物穩定性次之；而市郊區的結果發現，各種不同條件的微生物再生長結果均落在同一等級內($10^6 \sim 3 \times 10^6$ CFU/mL)，顯示市郊區已經比較沒有無機鹽類限制微生物生長的情況存在，微生物的生長條件最佳，水質生物穩定性也最差。

掃描式電子顯微鏡的觀察結果發

現，添加無機鹽類的試驗中，雖然其對生物膜的總量影響並不明顯，但會使生物膜的組成更多樣化，添加額外的銨鹽、硝酸鹽及磷酸鹽類均會使管壁表面的生物膜組成狀況趨於複雜，微生物族群的種類也更多樣化。

前言

自來水在流經配水管線後經常會出現水中微生物數量繁殖增加的現象，一般我們將這種情形稱之為自來水微生物再生長現象(microbial regrowth or aftergrowth)。Brazos and O'Connor (1985)曾針對此現象做明確的定義，其中 regrowth 是指自來水由處理廠流出後，水中部分未被消毒劑所抑制的微生物在管線中繁殖的現象；而 aftergrowth 則是指原本存在於管線中或經污染途徑進入管線的微生物，藉由適當的管線環境而繁殖的現象，但通常僅是簡單的以 regrowth 來表示自來水配水管線中微生物數量增加的情形。

目前的淨水處理設備可將許多影響微生物活動的無機鹽類因子降至遠低於法規標準的水準。本研究的主要目的即在於研究影響中部地區配水管線的無機鹽類因子，藉由連續流及批次兩部分的試驗，探討添加不同無機營養源對於配水管線中生物膜生長、再生長潛能及營養源限制的影響。

研究方法

試驗設備

(1) 連續式配水管線本體

本模擬系統管線是採用內徑 2cm 的 PVC 塑膠管，以向下螺旋 7 迴圈 (loop) 所構成，每一迴圈長為 400cm，全長 2800cm。單一迴圈其邊長為 120cm，寬為 80cm；二迴圈間高度差為 10cm，故高度坡降為 1/40。管線前端設置有藥品注入口，用以控制進流水中基質及消毒劑濃度。本模擬管線的前二迴圈部份為 PVC 直管，定義為緩衝區，目的在穩定水流流況及調理水質，使注入藥品或消毒劑分布均勻擴散，其餘 5 個迴圈則由 50 個採樣片所串接而成，定義為培養區，主要目的在於固定放置採樣片，提供生物膜生長的表面，最後管線銜接出流口後排放，試驗設備如圖 1 所示。

(2) 生物膜培養採樣片及培養裝置

本試驗的生物膜培養片採用不鏽鋼材質，不鏽鋼採樣片均經過噴砂處理，以增加表面粗糙性。單一採樣片長為 53.0mm，寬為 18.8mm，厚度為 1.0mm，微生物可附著總表面積約為 20.1cm²。

本試驗中設計以特殊的培養裝置來固定不鏽鋼及 PVC 採樣片。培養裝置設計為進出口兩端內徑大小不同，水流入口端內徑為 19.2mm，水流出口端內徑則為 18.0mm，而採樣片寬度 18.8mm 恰介於其中，故可固定於裝置末端的管線中心線，不會順水流而滑動，且採樣時可輕易取出採樣片。此外，試驗亦利用螺紋式連接閥，將相鄰兩採樣裝置設計為可拆卸式，以方便在採樣時間取出任一採樣片，其設備剖面如圖 2 所示。

連續流設備中採樣片應浸泡於 95% 酒精中 24 小時，再以超音波洗淨機清洗 30 分鐘，最後以鋁箔紙密封滅菌。而培養後的生物膜採樣片則以超音波洗淨機進行處理，震盪條件為連續二次 5 分鐘操作，之後取其懸浮液進行後續分析項目。

試驗條件

本研究的無機鹽類添加濃度乃參考一般生物生長營養需求比例(C:N:P=100:10:1)來設計，國立中興大學土木環工大樓所供應之自來水的水中溶解性有機碳 (Dissolved organic carbon, DOC) 約為 1 mg/L (AOC=100 µg acetate-C/L)，因此定義添加 0.05、0.1mg/L 的氮源濃度，及 0.005、0.01mg/L 的磷源濃度為低濃度試程，添加 0.5mg/L 的氮源濃度，及 0.05mg/L 的磷源濃度為高濃度試程。

本研究分為連續流及批次實驗兩部分。連續流試驗將流速定在 0.1 m/s，試驗初期採樣時間分別定為培養後 24、48、72 小時，之後採樣間隔定則延長為為一週。分別添加三種無機營養源，銨鹽(0.05 ~ 0.5 NH₄⁺-N mg/L)、硝酸鹽(0.05 ~ 0.5 NO₃⁻-N mg/L)及磷酸鹽(0.005 ~ 0.05 PO₄³⁻-P mg/L)作生物膜生成的研究，試驗條件如表 1 所示。批次實驗則針對豐原淨水場附近三個不同的地區(處理廠、豐原市中心區及市郊區，如圖 3 所示)採樣，水樣經過去氣、植菌及營養源添加後，置入批次培養裝置，試驗中並設計空白組(不添加任何無機營養源,blank)及對照組(添加過量無機營養源,all)來與實驗條件結果作為比較，試驗條件如表 2 及表 3 所示。

結果與討論

連續流試驗結果-生物膜試驗結果

(1) 添加銨鹽及硝酸鹽

圖 4 及圖 5 為分別添加銨鹽及硝酸鹽下，培養 18 週後生物膜上的總異營菌計數結果。實驗初期，在不添加任何的營養源下，其生長情況相似，表面生物膜 HPC 的最大值分別為 3.5×10⁵ 及 3.17×10⁵ CFU/cm²，培養六週後達到初步的穩定。此時分別添加 0.05 NH₄⁺-N mg/L 及 0.05 NO₃⁻-N mg/L 於兩台配水系統中，由圖中

發現，添加低濃度的氮源經過 4 週的培養下，其表面生物膜 HPC 的最大值分別為 3.19×10^5 及 3.45×10^5 CFU/cm²。試驗第十週時，分別添加的 $0.1 \text{ NH}_4^+ \text{-N mg/L}$ 及 $0.1 \text{ NO}_3^- \text{-N mg/L}$ 於兩台配水系統中，由圖中發現，添加較高濃度的氮源經過 4 週的培養下，其表面生物膜 HPC 的最大值分別可達到 4.8×10^5 及 3.6×10^5 CFU/cm²。而在試驗第 14 週時，再將添加的濃度提高至 $0.5 \text{ NH}_4^+ \text{-N mg/L}$ 及 $0.5 \text{ NO}_3^- \text{-N mg/L}$ ，表面生物膜的最大濃度可再提高至 7.73×10^5 及 7.49×10^5 CFU/cm²。

由上述結果可知，在管線中生物膜生長穩定之後(6 週)，添加低濃度的硝酸鹽及銨鹽類作為氮源(0.05 mg N/L)，其對生物膜的影響十分有限，生物膜 HPC 的最大值並沒有很大的差異，而增加添加濃度至 0.1 及 0.5 mg N/L 時，雖然表面生物膜 HPC 的最大值略有增加，但效果也並不明顯。所以添加氮源對於配水管線中生物膜生長的影響效果並不顯著。

(2) 添加磷酸鹽類

圖 6 為添加磷酸鹽下，培養 18 週後生物膜上的總異營菌計數結果。實驗初期，在不添加任何的營養源下，表面生物膜 HPC 的最大值為 2.47×10^5 CFU/cm²，培養六週後達到初步的穩定。此時添加 $0.005 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$ 於配水系統中，由圖中發現，添加低濃度的磷源經過 4 週的培養下，其表面生物膜 HPC 的最大值可達到為 2.08×10^5 CFU/cm²。試驗第十週時，添加 $0.01 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$ 於配水系統中，由圖中發現，添加較高濃度的磷源經過 4 週的培養下，其表面生物膜 HPC 的最大值可達到 1.04×10^6 CFU/cm²。而在試驗第 14 週時，再將添加濃度提高至 $0.05 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$ ，整體生物膜的濃度並不會繼續增加，但更趨穩定，其最大的表面生物膜濃度約為 9.93×10^5 CFU/cm²。

由磷酸鹽的添加結果可以發現，雖然添加低濃度的磷酸鹽類($0.005 \text{ PO}_4 \text{-P mg/L}$)

對於生物膜 HPC 值的影響並不大，但將濃度提高到 $0.01 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$ 時，發現其生物膜 HPC 的最大值由 2.47×10^5 CFU/cm² 增加至 1.04×10^6 CFU/cm²，有十分明顯的效應。生物膜 HPC 值的增加主要是由於懸浮性細菌的附著，所以磷酸鹽類的添加應是增加了進流水中懸浮性細菌的增長，進而提升了生物膜的密度。而添加濃度增加至 $0.05 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$ 時，生物膜的生長速度雖然並不會增加，但其生長的狀況卻十分穩定。

(3) 添加不同無機鹽類對管線生物膜生長的比較

由圖 4-6 中的附著性微生物生長曲線來觀察，不管添加何種氮源(NO_3^- 或 NH_4^+)，對管線生物膜的影響類似十分類似，其最大的生物膜濃度也十分接近 (7.73×10^5 及 7.49×10^5 CFU/cm²)。但添加磷酸鹽的試驗中，明顯的可以看出雖然只是添加了微量的營養源，但對整體生物膜的影響確實較添加氮源的效應明顯，穩定時期的濃度也較高(接近 10^6 CFU/cm²)。

實廠水質微生物再生長之研究

(1) 無機營養鹽影響研究-處理廠

圖 7 為在豐原處理廠附近取樣，添加不同無機營養源的微生物生長結果。由圖可知，在添加低濃度硝酸鹽($0.1 \text{ mg NO}_3^- \text{-N mg/L}$)的試驗中，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.85×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的硝酸鹽($0.5 \text{ mg NO}_3^- \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.45×10^6 CFU/mL。而在添加銨鹽的試驗中，添加低濃度銨鹽($0.1 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 2.33×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的銨鹽($0.5 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 2.85×10^6 CFU/mL。在添加磷酸鹽的試驗中，添加低濃度磷酸鹽($0.01 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 2.6×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的磷酸鹽($0.05 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可

達到 2.5×10^6 CFU/mL。不添加額外營養源(blank)的微生物生長情況最差，其最大值為 3.66×10^5 CFU/mL，而加入過量無機營養源(表 3)的微生物(all)生長情況最好，其最大值為 3.56×10^6 CFU/mL。

由圖中我們發現，相較於不添加任何無機營養源，無論添加硝酸鹽或是銨鹽作為氮源，對於水樣中懸浮菌的生長均有很大的幫助，但是以添加銨鹽微生物的利用情況較佳。而在添加磷酸鹽類時，對微生物的生長也有很大的幫助，因此可顯示處理廠的出流水中，無機鹽類限制微生物生長的情況十分明顯，水質生物穩定性很好。

(2) 無機營養鹽影響研究-市中心區

圖 8 為在豐原市中心區取樣，添加不同無機營養源的微生物生長結果。由圖可知，在添加低濃度硝酸鹽($0.1 \text{ mg NO}_3^- \text{-N mg/L}$)的試驗中，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 8.5×10^5 CFU/mL，而添加高濃度的硝酸鹽($0.5 \text{ mg NO}_3^- \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.34×10^6 CFU/mL。而在添加銨鹽的試驗中，添加低濃度銨鹽($0.1 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.07×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的銨鹽($0.5 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.39×10^6 CFU/mL。在添加磷酸鹽的試驗中，添加低濃度磷酸鹽($0.01 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.39×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的磷酸鹽($0.05 \text{ mg PO}_4 \text{-P mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.57×10^6 CFU/mL。不添加額外營養源(blank)的微生物生長情況最差，其最大值為 4.6×10^5 CFU/mL，而加入過量無機營養源(表 3)的微生物(all)生長情況最好，其最大值為 3.45×10^6 CFU/mL。

在市中心區的試驗結果顯示，水樣的再生長情形與處理廠的結果相同。雖然添加各項無機營養源的結果均會提升水中懸浮性微生物的數量，但是添加氮源的微生物增長效應相對上變小許多，相較於完全

不添加的試驗，其懸浮性微生物生長的最大值差距十分有限，由此可知水樣中氮源對微生物生長的限制效應已經減低許多，但磷酸鹽類的限制情況仍然十分明顯。這樣的結果說明了在市中心區的水質已經受到輕微的二次污染，但由於市中心區的用水量較大，管線中的水滯留時間也較短，所以水質仍能維持接近處理廠出水的水質狀況，對微生物的再生長仍有一定的限制作用。

(3) 無機營養鹽影響研究-市郊區

圖 9 為在豐原市郊區取樣，添加不同無機營養源的微生物生長結果。由圖可知，在添加低濃度硝酸鹽($0.1 \text{ mg NO}_3^- \text{-N mg/L}$)的試驗中，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.84×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的硝酸鹽($0.5 \text{ mg NO}_3^- \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 2.45×10^6 CFU/mL。而在添加銨鹽的試驗中，添加低濃度銨鹽($0.1 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 2.7×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的銨鹽($0.5 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 2.35×10^6 CFU/mL。在添加磷酸鹽的試驗中，添加低濃度磷酸鹽($0.01 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.71×10^6 CFU/mL，而添加高濃度的磷酸鹽($0.05 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{-P mg/L}$)時，懸浮菌的 HPC 最大值可達到 1.97×10^6 CFU/mL。不添加額外營養源(blank)的微生物生長情況與前兩個採樣地點不同，其生長情況與有額外添加無機營養源的試程相較，差距並不大，其最大值為 1.98×10^6 CFU/mL，而添加過量無機營養源(表 3)的微生物(all)生長情況亦是最佳，最大值為 4.09×10^6 CFU/mL。

在市郊區的結果與處理廠及市中心區的試驗結果有很大的不同，添加硝酸鹽或銨鹽的微生物再生長狀況雖然較添加磷酸鹽的狀況好，但兩者差異性並不明顯，且添加額外無機鹽類的微生物生長狀況對於不添加的增長效應也降低許多，各種不同條件的微生物再生長結果均落在同一等級

內($10^6 \sim 3 \times 10^6$ CFU/cm³)，顯示市郊區已經比較沒有無機鹽類限制微生物生長的情況存在。這樣的結果說明了在市郊區的水質可能由於管線輸送距離較長，二次污染的機率增加，且市郊區的用水量較小，相對的管線中水滯留時間也較市中心區長，這些因素都大大降低了無機鹽類限制微生物生長的可能性。

(4) 水質生物穩定性的評估

在水廠的批次試驗中顯示，添加銨鹽與磷酸鹽的微生物再生長狀況最好，與完全添加的試驗結果也十分接近，由此可知水廠的出流水微生物在生長會受到銨鹽與磷酸鹽不足的雙重限制，水質穩定性極佳。而在市中心區的試驗中，則以磷酸鹽類的限制最為明顯，銨鹽與硝酸鹽類雖然仍有限制作用的存在，但效應已經降低許多，水質生物穩定性次之。而在市郊區的試驗中發現，無論添加哪種無機鹽類其對微生物再生長的效應與不添加的結果十分類似，顯示市郊區的無機鹽類限制效應最低，水質生物穩定性也最差。

掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察結果

相較於本研究去年的結果(添加有機鹽類對管線生物膜的影響)，發現在無機鹽類的添加試驗中，其對配水管線內生物膜的影響力並不如添加有機碳源的效果顯著，所以其對管線生物膜的狀態影響亦十分有限。但在添加無機鹽類的試驗過程中發現，雖然其對生物膜的總量影響並不明顯，但會使生物膜的組成產生變化，由圖 10、11 及 12 中可以發現，添加額外的銨鹽、硝酸鹽及磷酸鹽類均會使管壁表面的微生物族群種類增加，生物膜組成狀況趨於複雜，由此可見添加豐富的無機鹽類可增進更多不同種類的菌種在配水管線中的存活率，生物膜的組成方式更多元化。

結論與建議

結論

1. 添加磷酸對配水管線中生物膜的增加效應最為明顯，而添加硝酸鹽及銨鹽的影響則十分有限。
2. 豐原實廠的研究中發現，處理廠的出流水對於微生物的再生長受到氮及磷的雙重限制。市中心區則只有磷的限制。而市郊區則完全沒有任何限制的效果。由上述的結果來評估水質生物穩定性發現，處理廠的出流水水質生物穩定性最佳，市中心區次之，市郊區的水質穩定性最差。
3. 掃描式電子顯微鏡的觀察結果顯示，無機鹽類的添加有助於管線生物膜形態的多元化。

建議

1. 試驗結果中顯示處理廠的出流水有很好的水質生物穩定性，但在管線的輸送過程中卻漸漸降低，可見管線中仍存在著水質二次污染的問題，有進一步探討的必要。
2. 藉由 GC/MS 的偵測，確認目前配水管線中的有機、無機鹽類的種類及濃度，由上述結果擬定更明確的研究方向，確立影響水質生物穩定性之主要因子，擬定提昇國內水質生物穩定性之策略。

誌謝

本研究承蒙國科會經費補助(NSC 90-2211-E-005-023)，在研究進行過程中，特別感謝豐原淨水場多位先進之熱誠幫助，並提供寶貴的經驗，特此致謝。

參考文獻

1. Van der Kooij, D., Visser, A., and Hijnen, W.A.M., (1982) "Determining the Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon in Drinking Water", *J. AWWA*, Vol. 74, No.10 pp. 540 ~ 545.
2. Brazos, B.J. and O'Conner, J.T. (1985)
"A transmission electron micrograph survey of the planktonic bacteria population in chlorinated and non-chlorinated drinking water." *Proceedings, Water Quality Technology Conference: Advances in Water Analysis and Treatment*. Houston, TX, pp. 275-305
3. Ilkka T. Miettinen, Terttu Vartiainen, and Pertti J. Martikainen (1997) "Phosphorus and Bacterial Growth in Drinking Water"
Applied and environmental microbiology, Vol. 63, No.8, p.3242-3245
4. A. Sathasivan and S. Ohgaki (1999)
"Application of New Bacteria Regrowth Potential Method for Water Distribution System-A clear Evidence of Phosphorus", *Wat. Res.* Vol.33 No.1 pp. 137~144.
5. 朱振華，盧重興，李季眉，(2001)，"有機營養源對於自來水配水管線生物膜再生長之研究"，第十八屆自來水研究發表會論文集，pp.397-406。

表 1 添加無機營養源對管線生物穩定試驗操作條件-連續流部分

培養時間(週) \ 添加基質(mg/L)	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P
0	0	0	0
6	0.05	0.05	0.005
10	0.1	0.1	0.01
14	0.5	0.5	0.05

表 2 添加無機營養源對管線生物穩定試驗操作條件-批次實驗部分

試 程 \ 添加基質(mg/L)	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P
1 (低濃度)	0.1	0.1	0.01
2 (高濃度)	0.5	0.5	0.05

*試驗水質分為處理廠、市中心區及市郊區

*試驗中另有空白組(不添加任何無機營養源)及對照組(添加過量無機營養源)兩組作為比較

表 3 其他無機營養源添加成分表

Compound	Concentration(μg)
Na ₂ SO ₄	450.0
CaCl ₂ · 2H ₂ O	185.0
MgCl ₂ · 6H ₂ O	415.0
FeCl ₃ · 6H ₂ O	245.0
CoCl ₂ · 6H ₂ O	20.4
CuCl ₂ · 2H ₂ O	27.1
MnSO ₄ · 5H ₂ O	1109.5
ZnCl ₂	10.6
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	1.0

* KNO₃、NH₄Cl 及 KH₂PO₄ 為實驗條件，不列入表中。

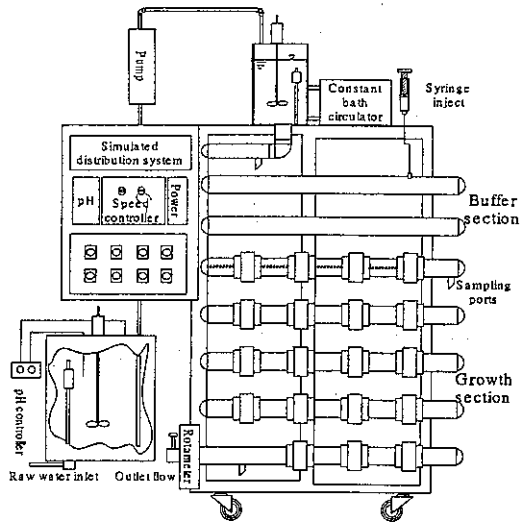


圖 1 連續式配水系統示意圖

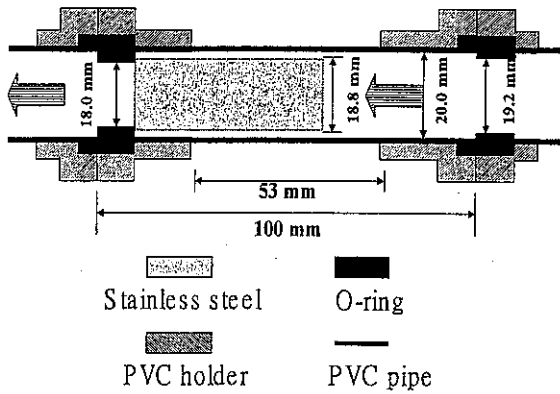


圖 2 生物膜培養管線內部示意圖

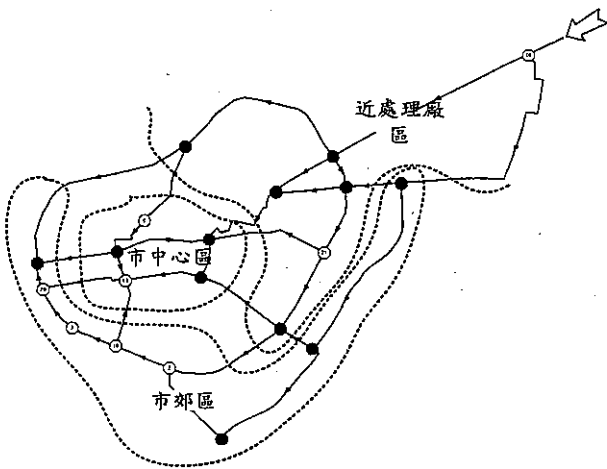


圖 3 豐原淨水廠採樣點示意圖

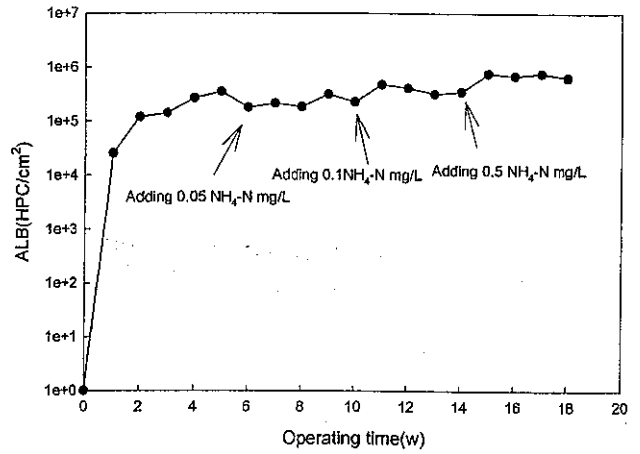


圖 4 添加不同濃度銨鹽下, ALB 與培養時間之關係圖

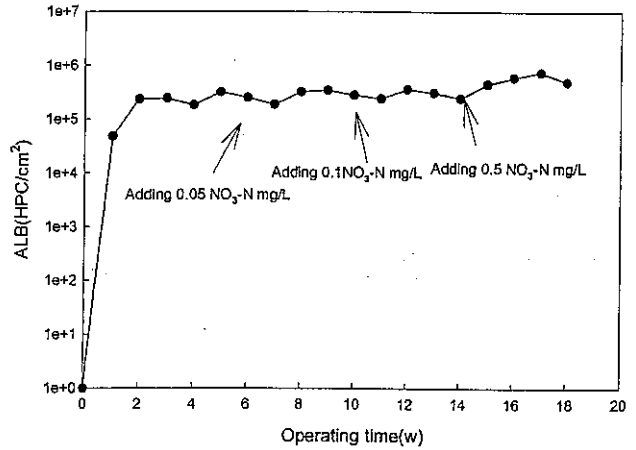


圖 5 添加不同濃度硝酸鹽下, ALB 與培養時間之關係圖

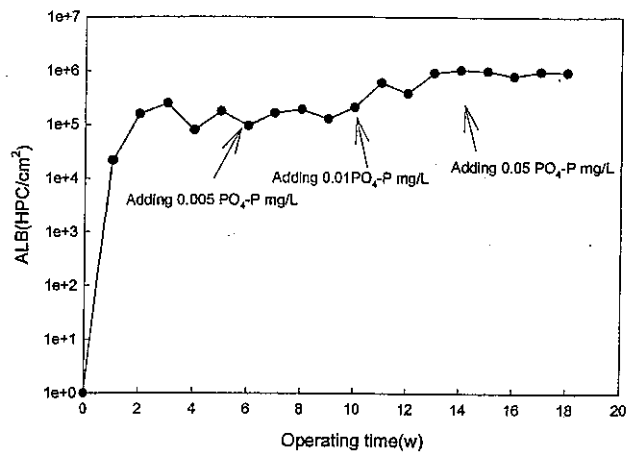


圖 6 添加不同濃度磷酸鹽下, ALB 與培養時間之關係圖

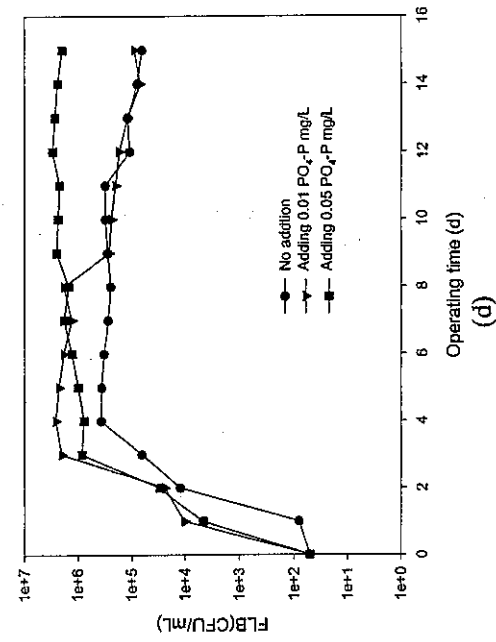
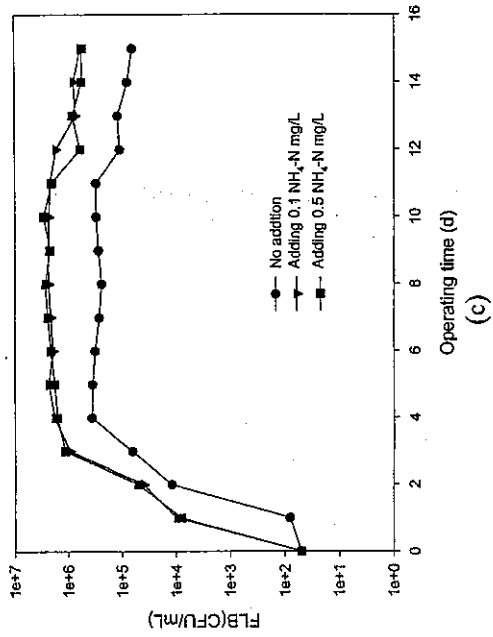
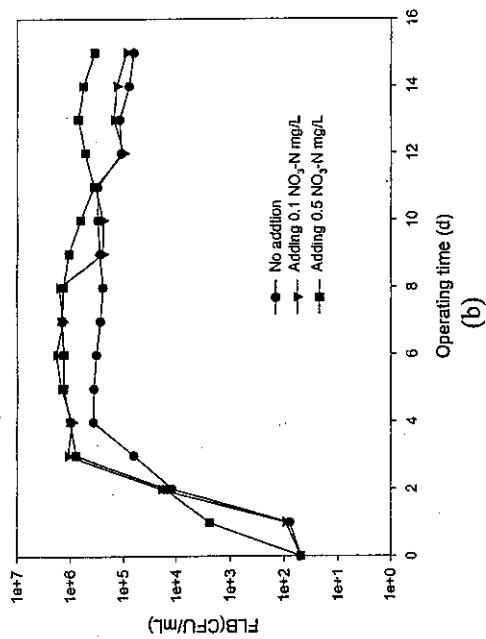
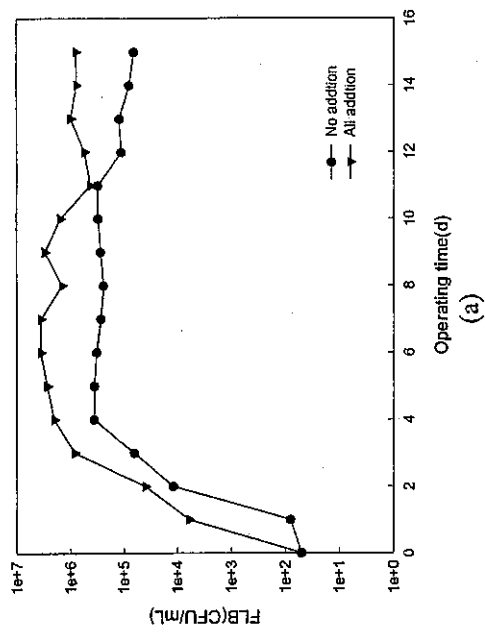


圖 7 添加不同無機鹽類，FLB 與培養時間之比較圖(處理廠)
 (a)空白組與對照組(b)添加銨鹽與空白組(c)添加硝酸鹽與空白組(d)添加磷酸鹽與空白組

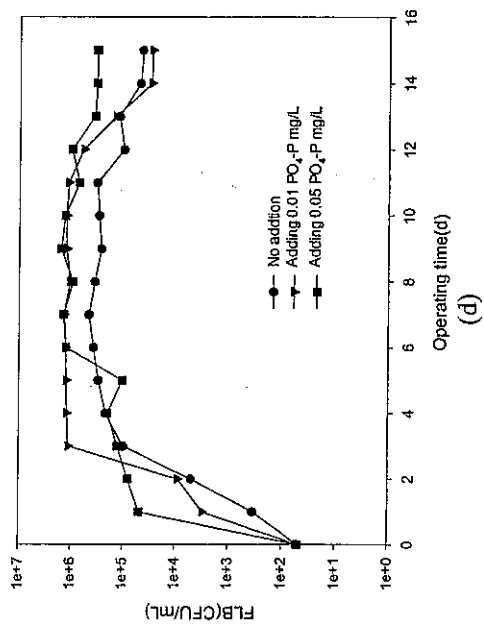
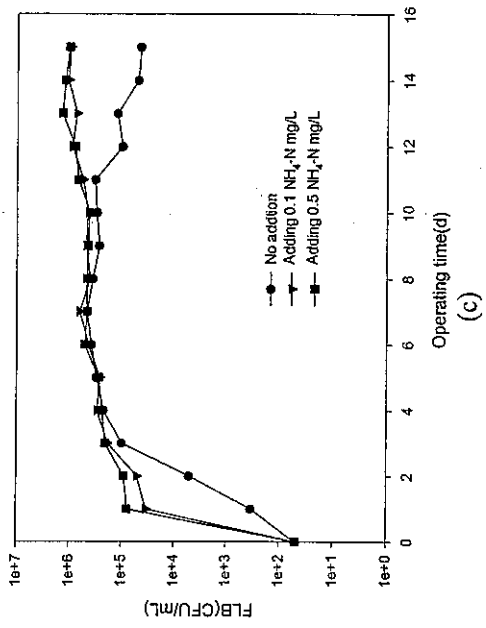
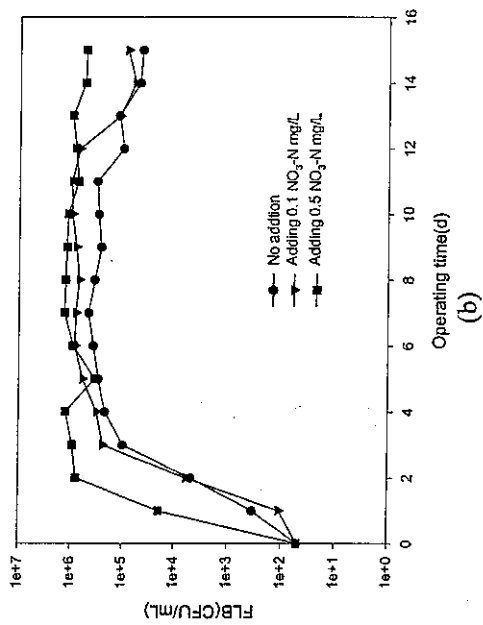
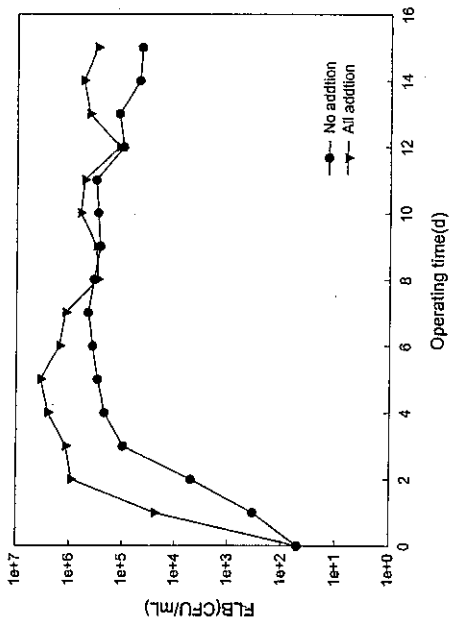
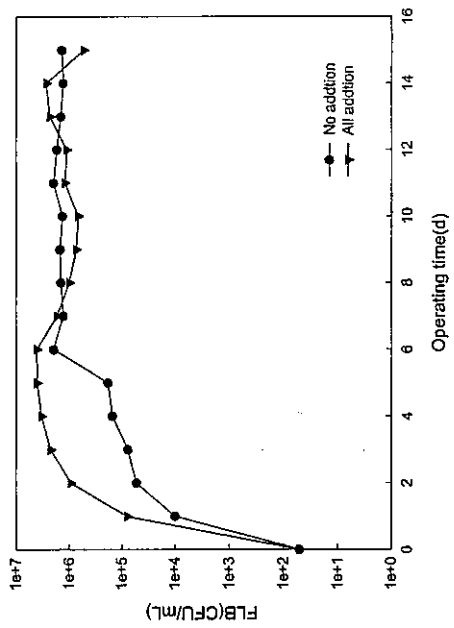
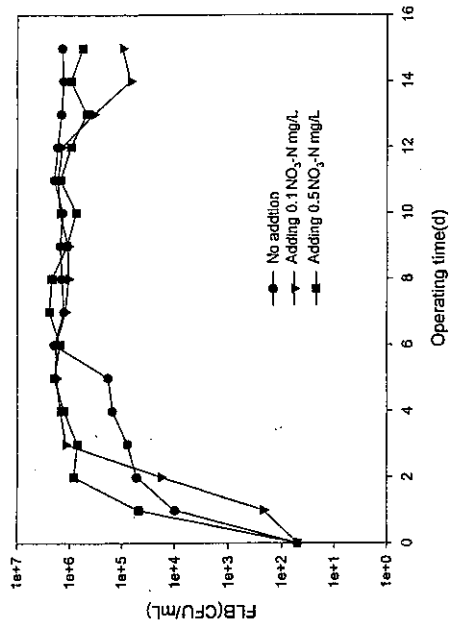


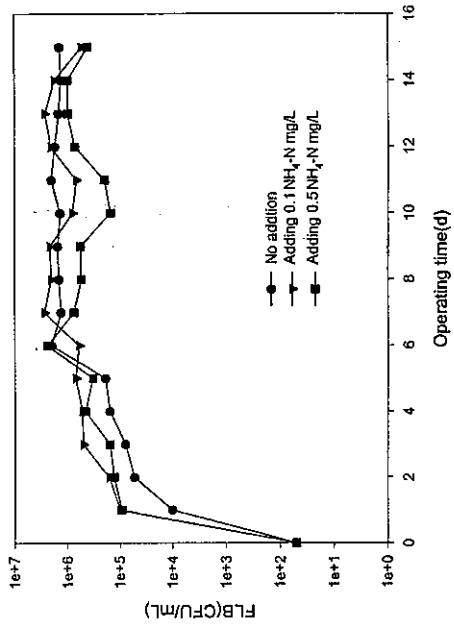
圖 8 添加不同無機鹽類，FLB 與培養時間之比較圖(市中心區)
 (a)空白組與對照組(b)添加銨鹽與空白組(c)添加硝酸鹽與空白組(d)添加磷酸鹽與空白組



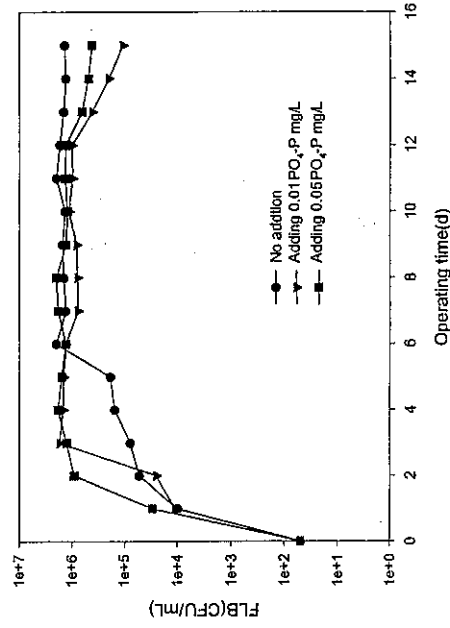
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 9 添加不同無機鹽類，FLB 與培養時間之比較圖(市郊區)
 (a)空白組與對照組(b)添加銨鹽與空白組(c)添加硝酸鹽與空白組(d)添加磷酸鹽與空白組

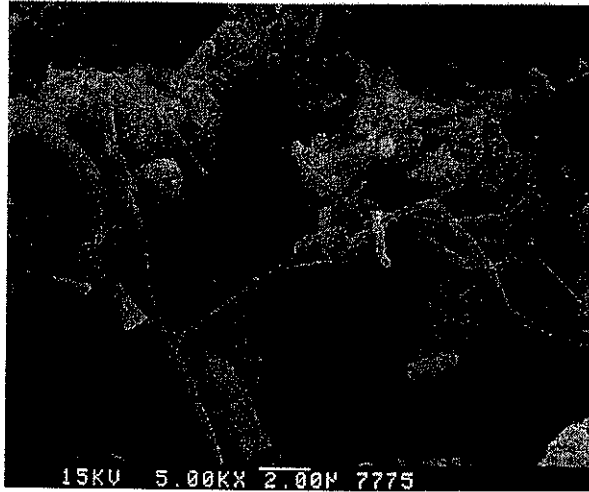


圖 10 添加銨鹽下，SEM 之觀察結果

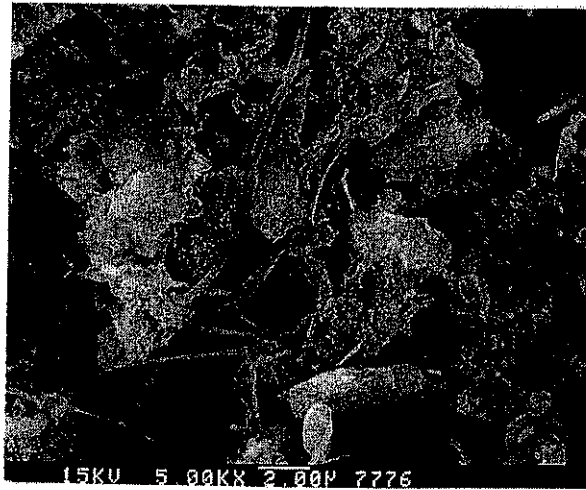


圖 11 添加硝酸鹽下，SEM 之觀察結果

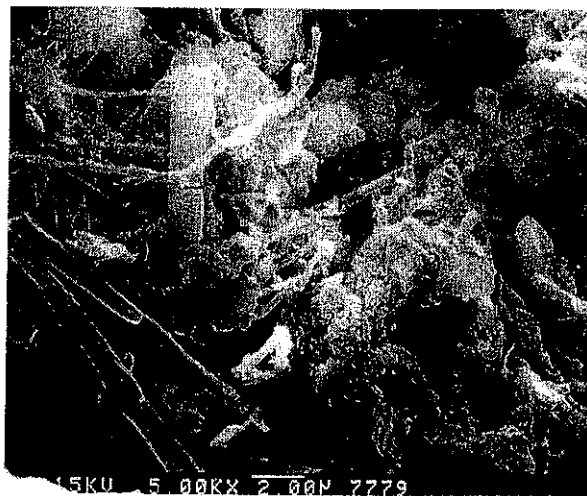


圖 12 添加磷酸鹽下，SEM 之觀察結果