

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

硝酸鹽對生物除磷系統及其菌相結構之影響 (I)
The influence of nitrate on enhanced biological phosphate
removal system and the microbial structure.

計畫類別：個別型計劃

計畫編號：NSC89-2211-E-002-095

執行期間：八十九年八月一日至九十年七月三十一日

計畫主持人：曾四恭 台灣大學環境工程學研究所

執行單位：國立台灣大學環境工程學研究所

中華民國九十年八月一日

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

計畫類別：個別型計劃

計畫編號：NSC89-2211-E-002-095

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：曾四恭 台灣大學環境工程學研究所

計畫參與人員：吳壽坤 台灣大學環境工程學研究所

一、中文摘要

本研究進行硝酸鹽對生物除磷系統的影響，第一年度重點在於進行厭氧-好氧 SBR 磷蓄積菌的馴養、探討 pH 值對好氧相攝磷之影響以及硝酸鹽對厭氧相突增負荷之影響。結果顯示當 pH=6.4~7.4 之間，能讓磷蓄積菌於好氧下胞內 PHB 作有效率之利用，當 pH 大於 7.4，可以發現 PHB/Pi 隨 pH 增加而遞增，顯示當 pH 增加時，磷蓄積菌要花費更多的能量 (PHB) 以攝取胞外磷酸鹽，而 pH=7.2~7.5 可使磷蓄積菌於好氧攝磷速率達最大值，由此建議厭氧-好氧 SBR 好氧段之 pH 維持在 7.2~7.4。在硝酸鹽對厭氧-好氧 SBR 突增負荷方面，硝酸鹽進入厭氧段對磷的釋放有抑制作用，唯此抑制作用於本系統不甚明顯，當硝酸鹽為 20mg/L 的釋磷量為沒進流硝酸鹽的 83%，當硝酸鹽大於 30mg/L 所造成的抑制作用約為沒進流硝酸鹽的 76.7%。儘管抑制作用發生，所有不同硝酸鹽濃度的突增負荷進流對厭氧-好氧 SBR 好氧攝磷無任何影響。

關鍵詞：硝酸鹽、磷酸鹽、厭氧-好氧 SBR、磷蓄積菌

Abstract :

This research is studying the influence of nitrate on enhanced biological phosphate removal (EBPR). Three objectives of the first year of the project are :

* Acclimating of the polyphosphate accumulating organisms (PAOs) in

anaerobic-aerobic SBR.

* The effect of pH on the aerobic phosphate uptake of PAOs.

* The effect of shock loading of nitrate on the anaerobic phosphate release.

As the result of pH tests, pH range of 6.4-7.4 is recommended for effective use of PHB. However, more energy is necessary for Pi uptake at a pH above 7.4. Therefore, a pH range of 7.2-7.5 is superior to maximize the phosphate uptake rate. As a compromise, a pH value of 7.2~7.4 was recommended for the aerobic phosphate uptake of EBPR.

The shocking loading of nitrate inhibits the anaerobic phosphate release of anaerobic-aerobic SBR. The amount phosphate release with nitrate of 20mg/L is 83% of the amount of phosphate release with nitrate of 0 mg/L at the end of anaerobic phase. As the nitrate concentration above 30mg/L, the phosphate release is about 76.6% of the phosphate release without nitrate. There is no impact on the aerobic phosphate uptake of anaerobic-aerobic SBR under any nitrate loading.

Keywords : nitrate, phosphate, enhanced biological phosphate removal (EBPR), anaerobic-aerobic SBR, polyphosphate accumulating organisms (PAOs)

二、緣由與目的

造成生物除磷程序效能低落因素很多，例如：大量降雨進入處理廠、進流碳源種類、溫度、pH 值、硝酸鹽對厭氧段或好

氧段之影響。目前探討 pH 值對生物除磷系統影響之相關文獻非常缺乏，而且僅止於針對厭氧釋磷及醋酸傳輸之影響 [1][2]，Smolders *et al.* 由實驗中驗證：當厭氧段 pH 維持在 7.0 時， PO_4/HAc ratio = 0.5 P-mol/C-mol，而當厭氧段 pH 維持在 8.2 時， PO_4/HAc ratio = 0.75 P-mol/C-mol，由此推論 pH 越高將使得醋酸傳輸至胞內所需的能量越高，導致釋磷量增加。而 Liu *et al.* 進一步探討不同含磷量之污泥（8%、10%），厭氧醋酸攝取速率及磷酸鹽釋出與 pH 之關係，同樣地，SBR 厭氧段隨著 pH（pH = 5~8.5）的增加，釋磷量也逐漸上升，其結論認為酸性環境會使得醋酸的新陳代謝失去活性，而鹼性的環境會使的磷釋出量太高（浪費太多能量）且造成後續好氧段攝磷的負荷增高（胞內所累積的 PHA 可能不足以提供能量將胞外磷酸鹽攝入胞內），並求得厭氧段操作的最佳 pH 值為 6.8 ± 0.7 。

根據文獻回顧，目前探討進流廢水含磷酸鹽對厭氧槽之影響時多採以批次實驗之方式 [3][4][5][6]，而推測經含磷酸鹽之人工合成廢水長期馴養下，EBPR 系統中之活性污泥其釋磷行為及其菌相結構應與批次實驗結果大相逕庭，其成果應較能解析實際 EBPR 污水處理廠所遭遇的問題，如 A/O 處理系統，及 A_2O 無氧槽中釋磷與攝磷的矛盾之處。

三、結果與討論

本實驗原始污泥取自台北市民生污水廠曝氣槽活性污泥。SBR 反應槽本體為 5.5 公升圓柱體（反應體積 5 公升），操作程序分為基質進流段 0.25 小時、厭氧段 2 小時、好氧段 3 小時、沉澱段 0.5 小時及出流段 0.25 小時，利用好氧段結束前五分鐘排出 125mL 活性污泥以控制污泥停留時間為十天。

未經厭氧好氧交替馴養之原始污泥含磷量為 1.6%，厭氧-好氧 SBR 經過三個月操作，好氧結束污泥含磷量為 8.5%（g P/g

MLSS），其水質分析見圖 1，厭氧起始三十分鐘溶解性 COD 濃度由 250mg/L 迅速降至約 25mg/L，於厭氧段結束時 COD 濃度已降至偵測極限以下；原水進流的氨氮（ NH_4^+-N ）於整個厭氧相濃度維持一定，於好氧段起始 60 分鐘後，大部分由磷蓄積菌增殖所利用，其餘轉化為硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮；ORP 值（ E_{AgCl} ）在厭氧段初期快速下降至 -200mV，之後在 -190~-210mV 之間變動，而此時污泥中磷逐漸釋出造成溶液中磷濃度逐漸上升，至厭氧段結束溶液中磷酸鹽濃度達 85.5mg/L（ $PO_4^{3+}-P$ ），比磷釋放量為 19.6mg/g MLSS，進入好氧段磷酸鹽則由磷蓄積菌攝入胞內轉化為聚合磷酸鹽及細胞增殖所需使溶液中磷酸鹽得以去除，比磷攝入量為 23.8mg/g MLSS。

圖 2 描述在 pH 值 5.9~8.4 之間，厭氧-好氧 SBR 好氧攝磷之行為。明顯的，當 pH=6.9、7.4 及 7.9 時，磷酸鹽可被完全去除，所耗時間分別為 100、60 及 160 分鐘。當 pH 值由 6.9 降至 5.9 時，磷酸鹽的攝取量也由 14.8 降至 10.5mg P/g SS，圖 3 為不同 pH 值的磷酸鹽攝取速率（PiUR，mg P/g SS/h），在 pH 值 7.2-7.5 之間有較佳的 PiUR（14.5-15.2 mg P/g SS/h），在 pH 值 5.2-7.2 之間 PiUR 由 5.2 增至 14.5 mg P/g SS/h，而當 pH=7.5 到 8.4，PiUR 由 14.8 緩慢遞減至 11.6 mg P/g SS/h。由此可知在酸性環境中不利於磷蓄積菌在好氧狀態下進行磷酸鹽的攝取，而在鹼性環境中也會些微的抑制磷酸鹽的攝取。

在不同 pH 值（5.9~8.4），磷蓄積菌於好氧攝磷狀態下利用胞內 PHB 之情形見圖 4。在 pH 值 5.9 到 7.4 時，PHB 的利用量隨 pH 之增加而遞增。而 pH 在 7.4~7.9 之間，所利用的 PHB 量幾乎一致。PHB 的最大利用量發生在 pH=8.4。

圖 5 及圖 6 為在 pH=5.9~8.4 範圍中，磷蓄積菌胞內於好氧環境中胞內累積肝醣及好氧下細胞增殖（以氨氮的利用代表細胞增殖）的情形，由此兩圖可以得知 pH 對於

磷蓄積菌於好氧情況下肝醣累積及細胞增殖並無影響。

磷蓄積菌於好氧情況下會利用胞內 PHB 進行磷酸鹽攝取、細胞增殖及肝醣的累積[2][8]。而本實驗顯示 pH 值對於磷蓄積菌好氧肝醣累積及細胞增殖並無影響，但對於 PHB 有顯著影響。圖 7 單位攝磷量所需的 PHB (PHB/Pi)，由圖 7 可知在 pH=6.4~6.9 範圍內，PHB/Pi 值約為 0.8~0.85。當 pH 大於 7.4，可以發現 PHB/Pi 隨 pH 增加而遞增，顯示當 pH 增加時，磷蓄積菌要花費更多的能量 (PHB) 以攝取胞外磷酸鹽。

由上述可知 pH=6.4~7.4 之間，能讓磷蓄積菌於好氧下胞內 PHB 作有效率之利用，而 pH=7.2~7.5 可使磷蓄積菌於好氧攝磷速率達最大值，由此建議厭氧-好氧 SBR 好氧段之 pH 維持在 7.2~7.4。

圖 8、9 為不同硝酸鹽濃度對已穩定操作五個月之厭氧-好氧 SBR 突增負荷對磷蓄積菌厭氧釋磷之影響。當進流硝酸鹽濃度為 0 mg/L 時，厭氧段磷酸鹽釋放量為 352.4mg，磷酸鹽釋放速率為 1.10mg/L-min。當進流硝酸鹽濃度為 10 mg/L 時，厭氧段磷酸鹽釋放量為 327.8mg，磷酸鹽釋放速率為 1.03mg/L-min。當進流硝酸鹽濃度為 20 mg/L 時，厭氧段磷酸鹽釋放量為 292.5mg，磷酸鹽釋放速率為 1.01mg/L-min。當進流硝酸鹽濃度為 30 mg/L 時，厭氧段磷酸鹽釋放量為 270.4mg，磷酸鹽釋放速率為 0.99mg/L-min。當進流硝酸鹽濃度為 50 mg/L 時，厭氧段磷酸鹽釋放量為 269.5mg，磷酸鹽釋放速率為 1.15mg/L-min。而硝酸鹽濃度 10、30 及 50mg/L 之降解速率分別為 0.17、0.20、0.19 及 0.21mg/L-min。

由上可知，硝酸鹽對長期馴養的厭氧-好氧 SBR 系統厭氧段釋磷會產生抑制作用，但此抑制作用並不甚明顯，當硝酸鹽為 20mg/L 的釋磷量為沒進流硝酸鹽的 83%，當硝酸鹽大於 30mg/L 所造成的抑制作用一致，約為沒進流硝酸鹽的 76.7%。儘管抑制

作用發生，所有不同硝酸鹽濃度的突增負荷進流對厭氧-好氧 SBR 好氧攝磷無任何影響。

四、計劃成果自評

本厭氧-好氧 SBR 原始污泥取自民生污水廠曝氣槽活性污泥，經過三個月的馴養後厭氧釋磷好氧攝磷特性相當明顯，此污泥的生化代謝現象 (PHB 及肝醣代謝行為) 符合 Mino 所提出的磷蓄積菌的生化模式。本研究亦發現 pH 值對磷蓄積菌好氧狀態之下攝磷速率及 PHB 的利用效率皆有影響，配合能量 (PHB) 利用的觀點可決定出好氧操作的最佳 pH=7.2~7.4，此可提供實廠操作參考。硝酸鹽 shock loading 方面對釋磷有抑制作用，但大於 30mg/L 之後抑制程度不再增加，而不論硝酸鹽的負荷為何，在 shocking loading 時對後續磷蓄積菌好氧段攝磷影響皆不大。

五、參考文獻

1. Liu WT, Mino T, Matsuo T, Nakamura K Biological phosphorus removal processes-effect of pH on anaerobic substrate metabolism. Wat Sci Tech 34: 25-32(1996).
2. Smolders GJF, Van der Meij J, van Loosdrecht MCM, Heijnen JJ Model of the anaerobic metabolism of the biological phosphorus removal processes: stoichiometry and pH influence. Biotechnol Bioeng 43: 461-471(1994).
3. Mino T, Arun V, Tsuzuki Y, and Matsuo T Effect of phosphorus accumulation on acetate metabolism in the biological phosphorus removal process. In: Ramadori R (ed.), Advances in Water Pollution Control: Biological Phosphorus Removal from Wastewaters, 27-28(1987).
4. Hascoet, M. C. and Florentz, M. Influence of nitrate on biological phosphorus removal from wastewater.

Water S. A., 11(1), 1-8 (1985) .

5. Gerber A., de Villiers R. H., Mostert E. S. and van Riet C. J. The phenomenon of simultaneous phosphate uptake and release, and its importance in biological nutrient removal. In *Biological Phosphate Removal from Wastewater*, Edited by Ramadori R., Pergamon Press, Oxford (1987) .
6. Kern-Jespersen J. P. And Henze M. Biological phosphorus uptake under anoxic and aerobic conditions. *Wat. Res.* 27, 617-624 (1993) .
7. Comeau Y., K. J. Hall, K. J., Hancock R. E. W. and Oldham W. K. Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal. *Wat. Res.*, 20, 1511-1521 (1986) .
8. Arun V, Mino T, Matsuo T Biological mechanisms of acetate uptake mediated by carbohydrate consumption in excess phosphorus removal systems. *Water Res* 22: 565-570(1988).

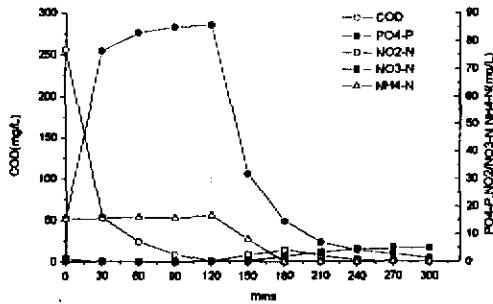


圖 1 厭氧-好氧 SBR 單一循環水質變化圖

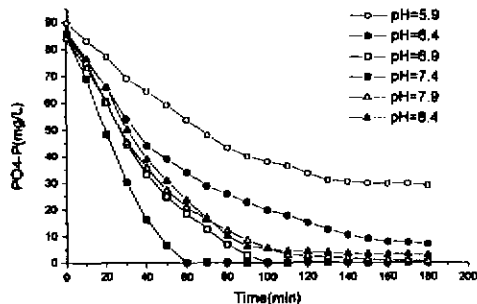


圖 2 不同 pH 範圍，厭氧-好氧 SBR 好氧攝磷行為

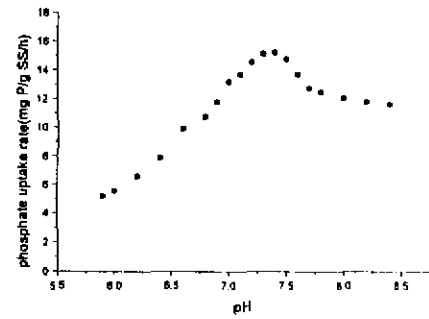


圖 3 不同 pH 範圍，厭氧-好氧 SBR 好氧攝磷速率

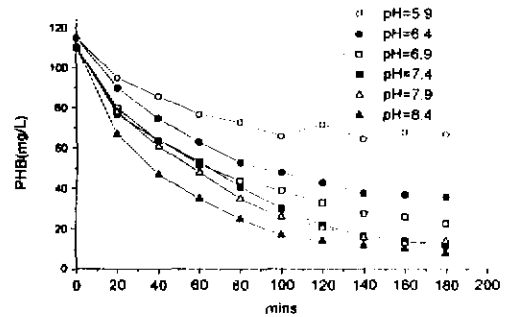


圖 4 不同 pH 範圍，厭氧-好氧 SBR 好氧段 PHB 的變化情形

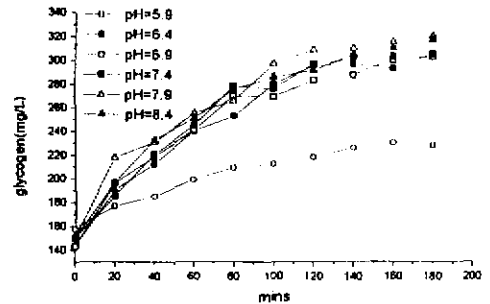


圖 5 不同 pH 範圍，厭氧-好氧 SBR 好氧段肝糖的變化情形

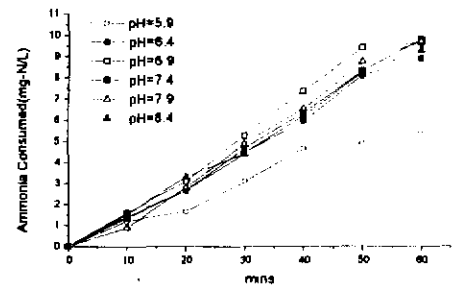


圖 6 不同 pH 範圍，厭氧-好氧 SBR 好氧段氨氮的變化情形

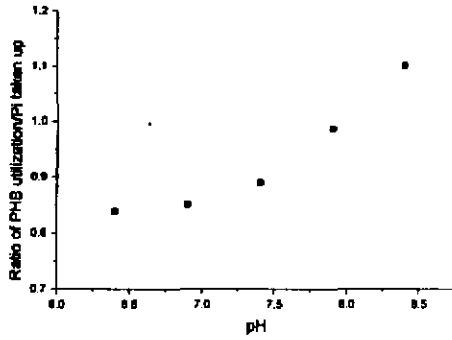


圖 7 不同 pH 範圍，攝磷量與 PHB 之比值

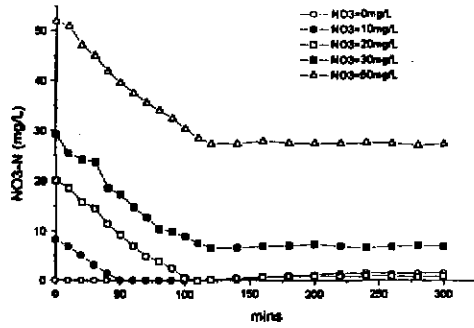


圖 8 不同硝酸鹽進流於厭氧-好氧 SBR 厭氧段的變化情形

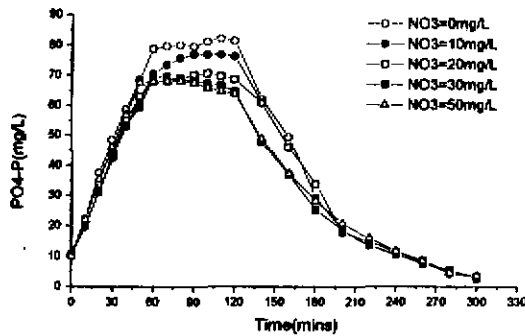


圖 9 不同硝酸鹽進流於厭氧-好氧 SBR 厭氧段磷酸鹽的變化情形