

生物濾床處理養蝦池水的可行性探討

曾國鋒* • 廖一久**

摘 要

集約式養殖因魚蝦養殖密度高,池水的自淨作用無法完全淨化池中的污染物。為維持有利於魚蝦成長的環境,可先將養殖池水導入一處理系統,去除污染物後再循環使用。

本文探討以生物濾床去除養蝦池排放水中氨氮的效率及水的 pH 值與鹽度對該效率的影響。結果得知,由養蝦池底泥培養所得之硝化菌生物濾床去除氨氮的速率隨鹽度的降低而減小,至於,亞硝酸氮的累積濃度則隨鹽度的降低而增加;而在同一鹽度下,亞硝酸氮的累積濃度則隨 pH 值的上升而增加。

關鍵詞：生物濾床，硝化作用，鹽度。

前 言

自然界中的物質大都可經由物理、化學及生物作用而循環不息。養殖池亦可視為一循環生態系統,此系統包含養殖中的魚蝦以及池中的藻類、浮游動物和細菌等生物;這些生物彼此間的作用與其他物理、化學間的作用,會促使池水之水質保持於某一穩定狀態。池中之污染物經物理、化學及生物作用而淨化的現象稱為「水質自淨作用」。若加以細分,養殖池水的自淨作用包括促使水質清澈的固體物沈澱作用、使有機物穩定化的生物好氧性 (Aerobic) 與厭氧性 (Anaerobic) 分解作用以及增加水中溶氧的大氣再曝氣作用 (Reaeration) 與藻類的光合產氧作用等。

粗放式之養殖池,因加入池中之有機物等還原性物質較少,池水的自淨作用還足以淨化分解之,因此尚可維持一穩定且適合魚蝦成長的生態環境。集約式之養殖池,則因放養密度高,以致單位水體積中之魚蝦的耗氧率大增,排泄物與殘餘飼料量亦增加。這些高濃度的有機物,促使細菌大量繁殖並迅速消耗水中之溶氧,甚至於使池水呈缺氧狀態;而有機氮的分解及厭氧狀態下厭氧菌之活動,則產生了氨、甲烷及硫化氫等毒性物質^(1,2)。池中高濃度的氨氮將使藻類大量繁殖,藻類於白天行光合作用時,池中溶氧常呈高度超飽和,然而當夜間行呼吸作用時,池中溶氧卻又迅速降低,因而使池水日夜間所含之溶氧發生劇烈變動⁽³⁾。無論是缺氧、產生氨氮與硫化氫等毒性物質或水質之急劇變化等情形,對池中的魚蝦皆有不利的影响⁽⁴⁻⁶⁾。

集約式之養殖池,其池水的自淨作用無法完全淨化池中的污染物,因此為維持有利於魚蝦成長的環境,必需設法將超過自淨作用所能處理的污染物去除。而在設法去除污染物之前,則需先瞭解污染物的來源、成分及性質,以為選擇處理方法的依據。

* 成功大學環境工程研究所

**台灣省水產試驗所

養殖池中,主要的污染物除了魚蝦的排泄物與殘餘飼料外,水源及空氣亦為來源之一。例如工業廢水、家庭污水、農業排水及養殖池本身的排放水經常會污染河水、地下水及海水等養殖用水水源⁽⁷⁻¹⁰⁾;空氣中的污染物則可直接溶解於養殖池水中或經由雨水(如酸雨)注入池中。這些污染物的成分可分為有機物、無機氮、重金屬及殺菌劑等;而依物理性質則可分為溶解性、懸浮性及沈積性固體物。

為了去除污染物,水處理工程方面發展出某些檢測參數,可作為檢測污染物之濃度、選擇處理方法及評估處理效率的依據。這些參數包括:表示有機物量的生化需氧量、化學需氧量及總有機碳量,表示氮化合物量的氨氮量、總凱氏氮量及 pH 值、溶氧量與透明度等水質指標。

傳統上,當養殖池水之水質惡化時,最簡便的因應措施即是大量換水。如此操作,雖可排除溶解於水中的氨、有機物及懸浮固體物,但主要污染物—沈積固體物—仍無法完全清除。另一方面,大量換水的結果,會引起水質的劇烈變動,而影響魚蝦的成長;此外,尚會導致水資源的浪費,並擴散廢水的污染,反倒變成一種公害,可見傳統的操作方式有其改進的必要。

欲改善養殖用水之水質,可由幾方面著手。第一為增加可用水源,包括開發新水源與改善不適用水源等,然而目前國內可供開發之新水源已不多,因此如何將水質不佳的水源加以適當處理使符合用水標準,似乎較為可行。第二為養殖池水的循環處理再利用⁽¹¹⁻¹³⁾,亦即將池水導入一處理系統,去除污染物後再循環利用。第三為提高養殖池水質之自淨作用及水質管理之模式化⁽¹⁴⁾,即將養殖池視為一處理設施(類似家庭污水處理工程上的微藻氧化塘),於池中增設曝氣設備以補充水中溶氧,以使水中有足夠的溶氧供應細菌分解有機物,同時濾除固體物,以減輕池水中之污染物負荷,並控制微藻及細菌的濃度,使其能發揮去除氨氮及有機物的功效,以保持水質的穩定。為達上述目的,需將相關的養殖操作方法予以標準化,求出污染產生量及微藻與細菌於池中的生化動力參數,然後將相關參數予以模式化。

本文即在探討以生物濾床去除養蝦池排放水中氨氮之效率以及池水的 pH 值與鹽度對其效率之影響。

研究課題

養殖池水加以循環處理利用時,常以生物濾床去除池水中的氨氮⁽¹⁵⁻¹⁸⁾。但養殖用水的鹽度範圍很廣,且因微藻之光合作用的影響,水中 pH 值的變化亦很大。因此,鹽度⁽¹⁹⁾與 pH 值⁽²⁰⁾的變化對硝化菌生物濾床處理氨氮的影響急需探討。硝化菌具有生長率低(再生期約為三天)⁽²⁰⁾及附著性差⁽²¹⁾的缺點,因此,濾床所用濾材之材質是否適合於硝化菌附著亦為影響其效率的重要因素之一。本研究中,即以多環狀及塑膠環兩種不同材質的濾床,比較兩者間去除養蝦池排放水中之氨氮效率。另外,以小型生物濾床,試驗不同鹽度(20、25及30 ppt)與 pH 值(8.0、8.5、9.0及9.6)的人工合成廢水中所含氨氮的去除情形。

1、實驗方法

1-1 不同濾材之生物濾床去除養蝦池排放水中之氨氮試驗

生物濾床反應槽以 100cm 高、15cm 內徑的壓克力管製成,上下兩端各接出水(Effluent)及進水(Influent)設備。如 Fig.1 所示,兩組生物濾床之內部分別裝填塑膠環濾材(PR)及多環狀濾材(MR)。添加氨氮的養蝦池水及空氣由進水管導入,水往上流經濾材上的生物膜時,其所含氨氮為硝化菌轉換成硝酸氮,並隨水流由出水管流出。生物濾床內的濾材特性及其他操作參數值如 Table 1 所示。試驗期間測定生物濾床的進、出水水質,項目包括水溫、pH 值以及氨氮、亞硝酸氮、硝酸氮之濃度。

1-2 鹽度與 pH 值對生物濾床處理氨氮的影響試驗

反應槽以內徑 16cm、高 30cm 的塑膠管製成。如 Fig.2 所示,塑膠管的一端封閉,成爲一圓筒,其內置內徑 5cm、高 15cm 的塑膠小管一段;小管內放置曝氣石一個,小管下端開孔,以利水流循環及曝氣。小管與筒中間裝填多環狀濾材 40 枚,總表面積爲 0.28m²。

濾床分 A、B、C、三組,分別注入鹹水(鹽度分爲 20、25 及 30ppt) 3.6 公升、1000mg/ℓ 的氨氮溶液 5ml、4000mg/ℓ 的 KH₂PO₄ 溶液 2ml 和 2000mg/ℓ 的 EDTA-Fe 溶液 0.5ml。各濾床置入曝氣石曝氣之,並以 50% 的 K₂CO₃ 溶液就不同試程調整濾床中的 pH 值爲 8.0、8.5、9.0 及 9.6。試驗以分批式 (Batch) 進行,於試驗開始及 1、2、3、4 小時後,分別取樣,測定水溫、pH 值、氨氮及亞硝酸氮含量;並於試驗開始及結束時 (4 小時後) 測定總鹼度及硝酸氮含量。

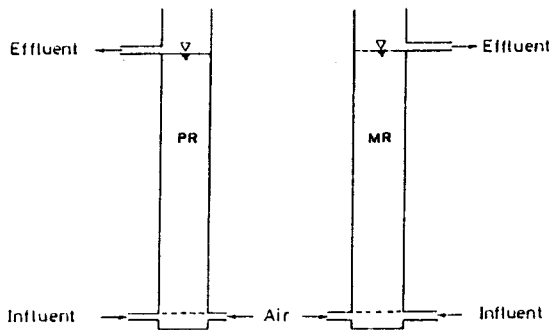


Fig. 1. Structure of biofilter used in the field to remove ammonia from prawn pond wastewater.

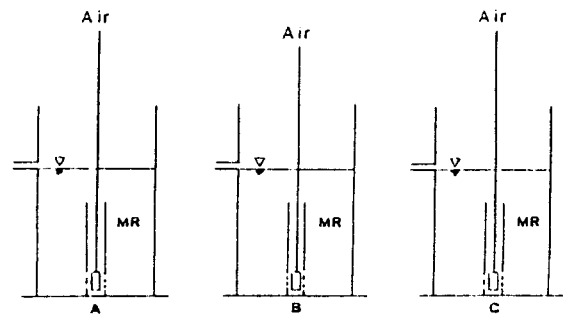


Fig. 2. Structure of biofilter used in the laboratory to test the ammonia removal efficiency of synthetic wastewater.

表一、 生物濾床的濾材特性與操作參數值

	塑膠環濾材濾床 (PR-F)	多環狀濾材濾床 (MR-F)
濾材數 (個)	1580	300
濾材表面積 (m ²)	2.86	2.11
床孔隙率 (%)	93.3	91.6
進水率 (ℓ / min)	1.54	1.54
水力停留時間 (min)	10	10
鹽度 (ppt)	34	34

2、結果與討論

2-1 不同濾材之濾床對養蝦池排放水中之氨氮去除效率

塑膠環濾材之生物濾床 (PR-F) 處理養蝦池排放水中氨氮之試驗結果如 Table 2 及 Fig.3 所示。當進水之氨氮濃度範圍爲 4.68-10.25mg/ℓ 時,出水之氨氮濃度範圍降至 1.20-7.70mg/ℓ,氨氮去除量範圍爲 1.41-3.48mg/ℓ; 亞硝酸氮的去除效果不佳,出水的亞硝酸

氮濃度比進水高,升至 $2.72\text{mg}/\ell$;此顯示濾床中氨氮的轉換速率比亞硝酸氮為快。本試驗中,當溫度介於 $18-25^\circ\text{C}$ 間,硝化菌之活性良好,若溫度高於 30°C 時,其活力則大為降低,而去除氨氮之效率亦隨之降低。

以多環狀濾材之生物濾床 (MR-F) 處理養蝦池排放水中之氨氮試驗結果如 Table 3 及 Fig.4 所示。當進水之氨氮濃度範圍為 $6.03-11.49\text{mg}/\ell$ 時,出水之氨氮濃度範圍降至 $4.30-10.17\text{mg}/\ell$,氨氮去除量範圍為 $0.96-1.94\text{mg}/\ell$;至於亞硝酸氮的去除效果亦不佳,出水的亞硝酸氮濃度比進水高,約為 $1.78\text{mg}/\ell$ 。

由試驗結果顯示,以 PVC 製成的塑膠環濾材因較容易附著硝化菌,故去除氨氮的效率較高;但兩種濾床處理氨氮時,亞硝酸鹽轉換成硝酸鹽的速率皆比亞硝酸鹽生成速率低,因而有亞硝酸鹽累積的現象。欲避免此種現象之發生,則需要延長水力停留時間,使硝酸鹽生成菌與基質接觸的時間增長,以利其繁殖。

2-2 鹽度與 pH 值對生物濾床處理氨氮的影響

鹽度與 pH 值對生物濾床處理氨氮的影響試驗,結果如 Fig.5 至 Fig.8 所示。此分批式試驗過程中,氨氮濃度逐漸減少,約經四小時,其濃度即由開始的 $1.5\text{mg}/\ell$ 左右減少至近於零;而亞硝酸氮濃度則先增加後再減少。pH 值為 8.0 時,三種鹽度下的氨氮去除速率約略相等 (Fig.5);而當 pH 值為 8.5、9.0 及 9.6 時,氨氮的去除速率則隨鹽度的降低而減低。各 pH 值下,鹽度較低時,亞硝酸氮的累積濃度較高,其中又以鹽度為 25ppt 時之累積濃度為最高 (Fig.6)。而當鹽度相同時,則各 pH 值之氨氮去除率約略相同 (Fig.7);但亞硝酸氮的累積濃度則隨 pH 值的升高而增高 (Fig.8)。

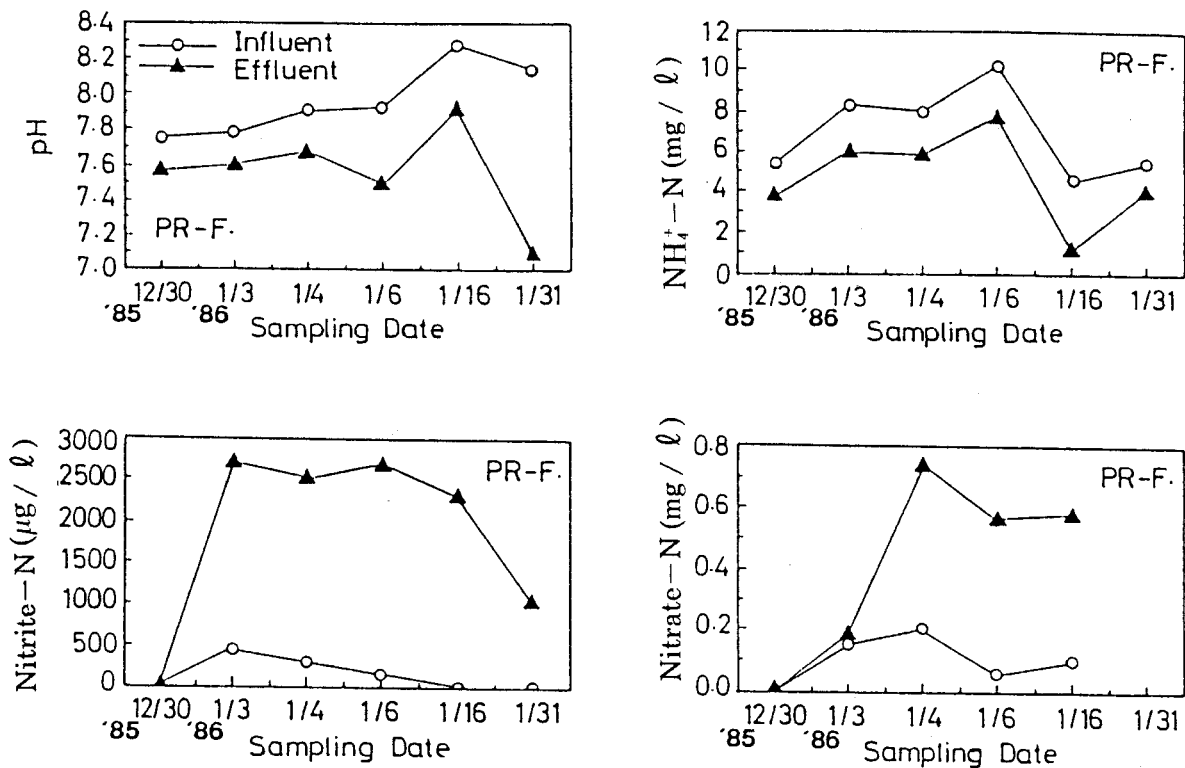


Fig. 3. Removal efficiency of ammonia in prawn pond wastewater using a biofilter with PVC medium.

Table 2. Removal efficiency of ammonia in prawn pond wastewater
using a biofilter with PVC medium

Sampling Date		'85/12/30	'86/1/3	'86/1/4	'86/1/6	'86/1/16	'86/1/31
Temp. (°C)	Inf.	22.8	19.0	18.9	21.5	24.7	23.4
	Eff.	24.4	19.0	18.9	22.9	26.1	24.8
pH	Inf.	7.75	7.78	7.91	7.93	8.27	8.14
	Eff.	7.57	7.61	7.68	9.49	7.92	7.09
Ammonium-N (mg / ℓ)	Inf.	5.50	8.25	7.89	10.25	4.68	5.52
	Eff.	3.88	6.01	5.83	7.70	1.20	4.11
Nitrite-N (μg / ℓ)	Inf.	—	450	281	167	10	8
	Eff.	—	2705	2540	2715	2332	1093
Nitrate-N (mg / ℓ)	Inf.	—	0.15	0.20	0.06	0.10	—
	Eff.	—	0.19	0.74	0.56	0.58	—

Inf. : Influent of biofilter
Eff. : Effluent of biofilter

Table 3. Removal efficiency of ammonia in prawn pond wastewater
using a biofilter with multi-ring plastic medium

Sampling Date		'85/12/30	'86/1/3	'86/1/4	'86/1/6	'86/1/16	'86/1/31
Temp. (°C)	Inf.	22.8	19.0	18.9	22.1	25.0	23.4
	Eff.	23.3	19.0	18.9	22.8	26.1	24.2
pH	Inf.	7.60	7.78	7.87	7.78	8.27	8.14
	Eff.	7.45	7.64	7.73	7.73	—	—
Ammonium-N (mg / ℓ)	Inf.	6.24	8.07	7.87	11.49	8.54	6.03
	Eff.	4.30	7.11	6.64	10.17	—	4.90
Nitrite-N (μg / ℓ)	Inf.	—	733	74	885	92	5
	Eff.	—	1780	1600	1484	768	62
Nitrate-N (mg / ℓ)	Inf.	0.62	0.13	0.10	0.10	0.10	—
	Eff.	—	0.50	0.21	0.15	0.42	—

Inf. : Influent of biofilter
Eff. : Effluent of biofilter

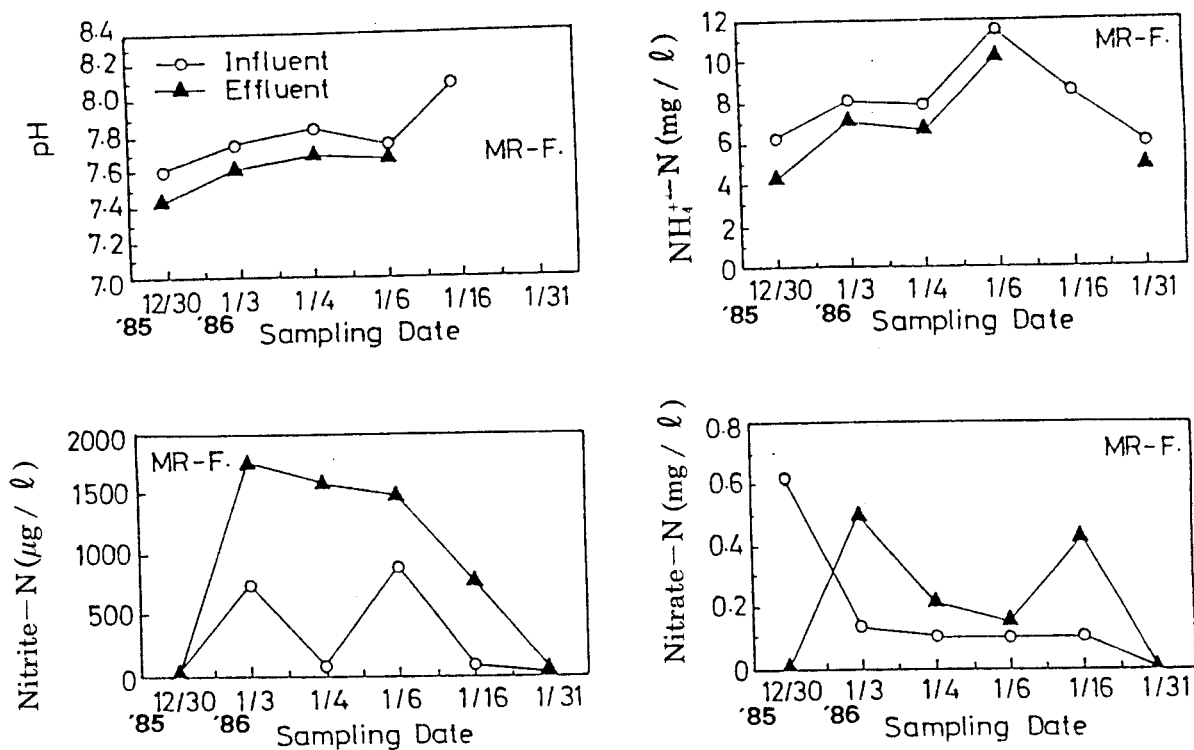


Fig. 4. Removal efficiency of ammonia in prawn pond wastewater using a biofilter with multi-ring plastic medium.

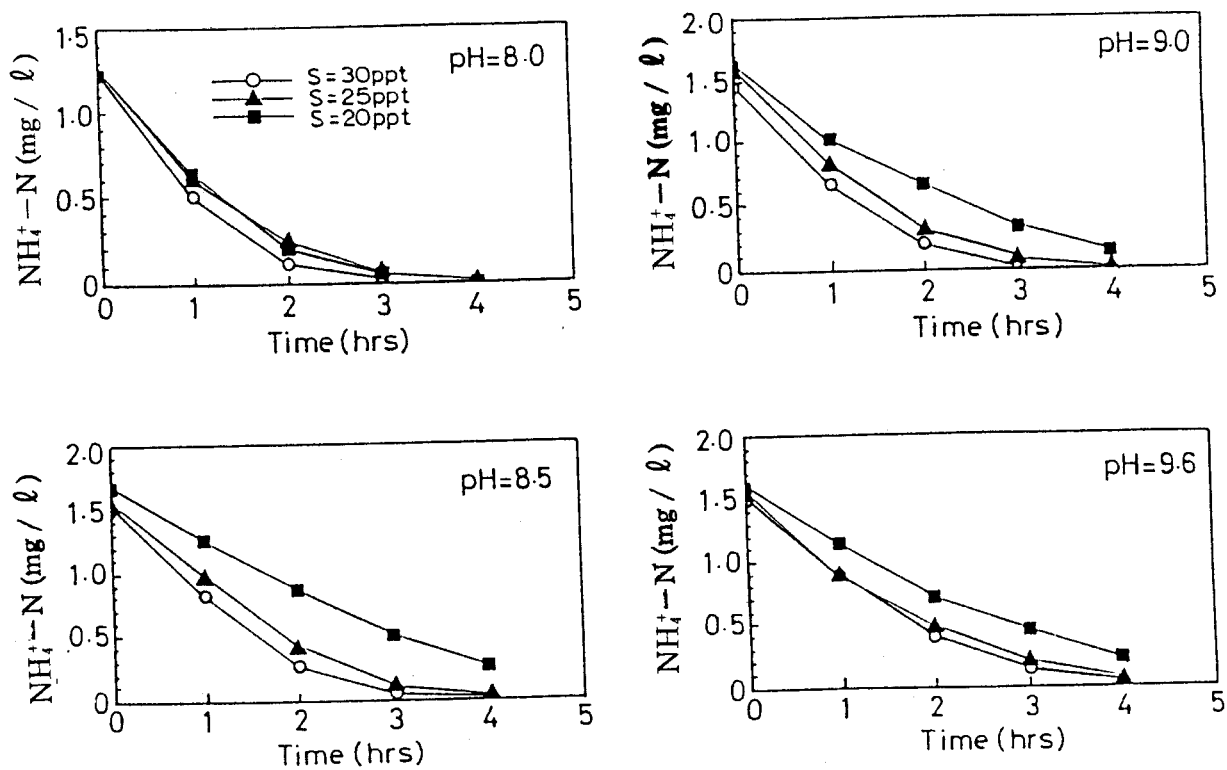


Fig. 5. Effects of salinity on the ammonia removal rates of a biofilter.

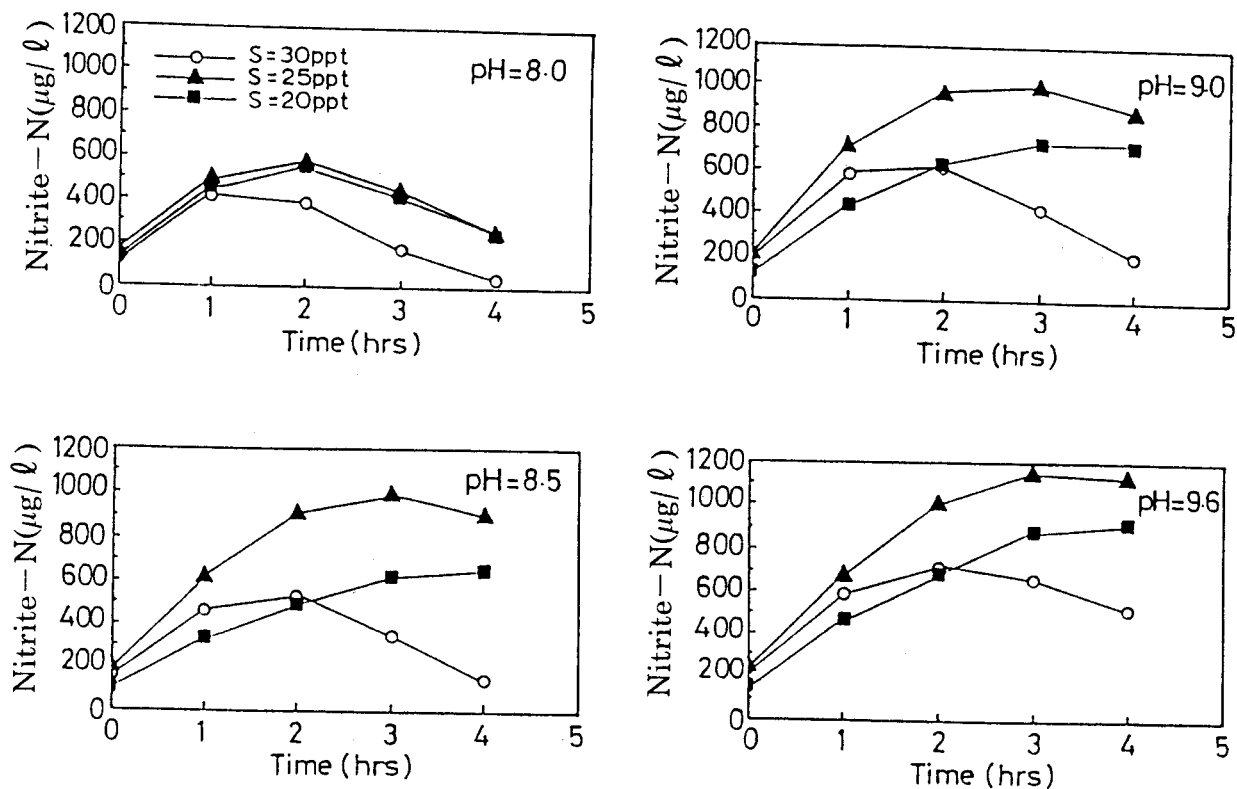


Fig. 6. Effects of salinity on the nitrite removal rates of a biofilter.

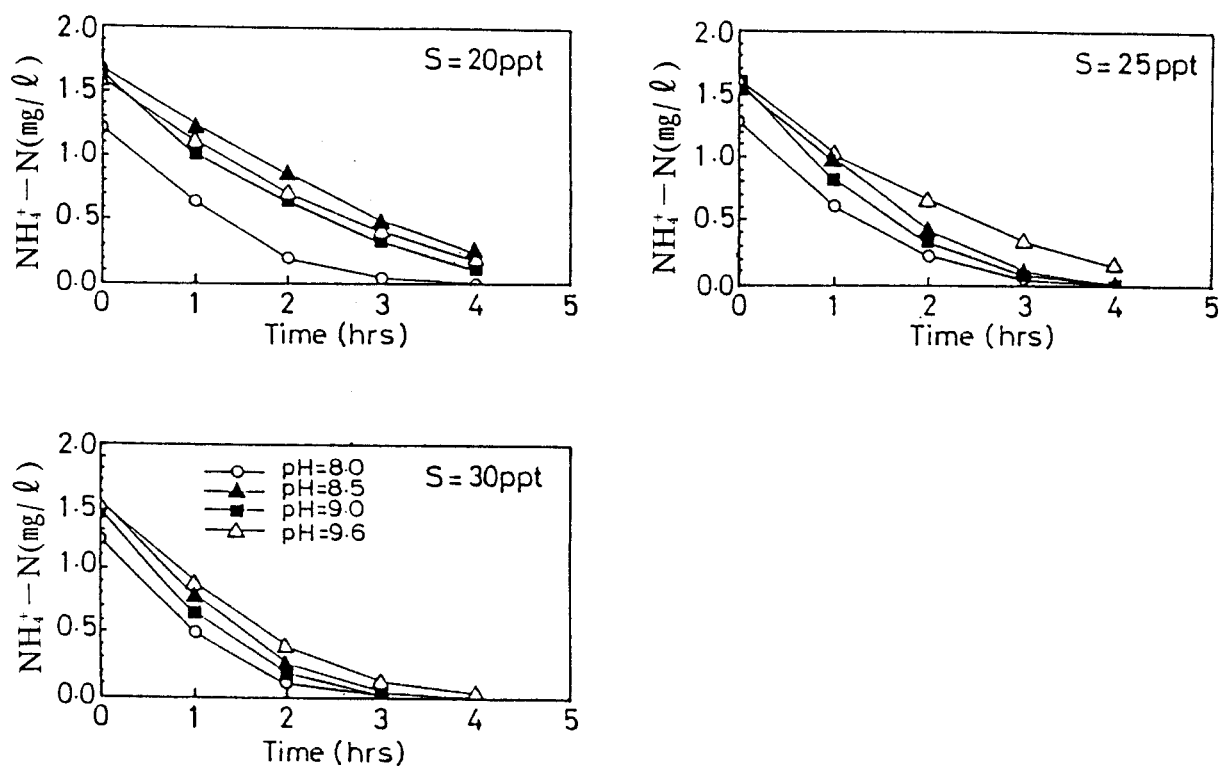


Fig. 7. Effects of pH values on the ammonia removal rates of a biofilter.

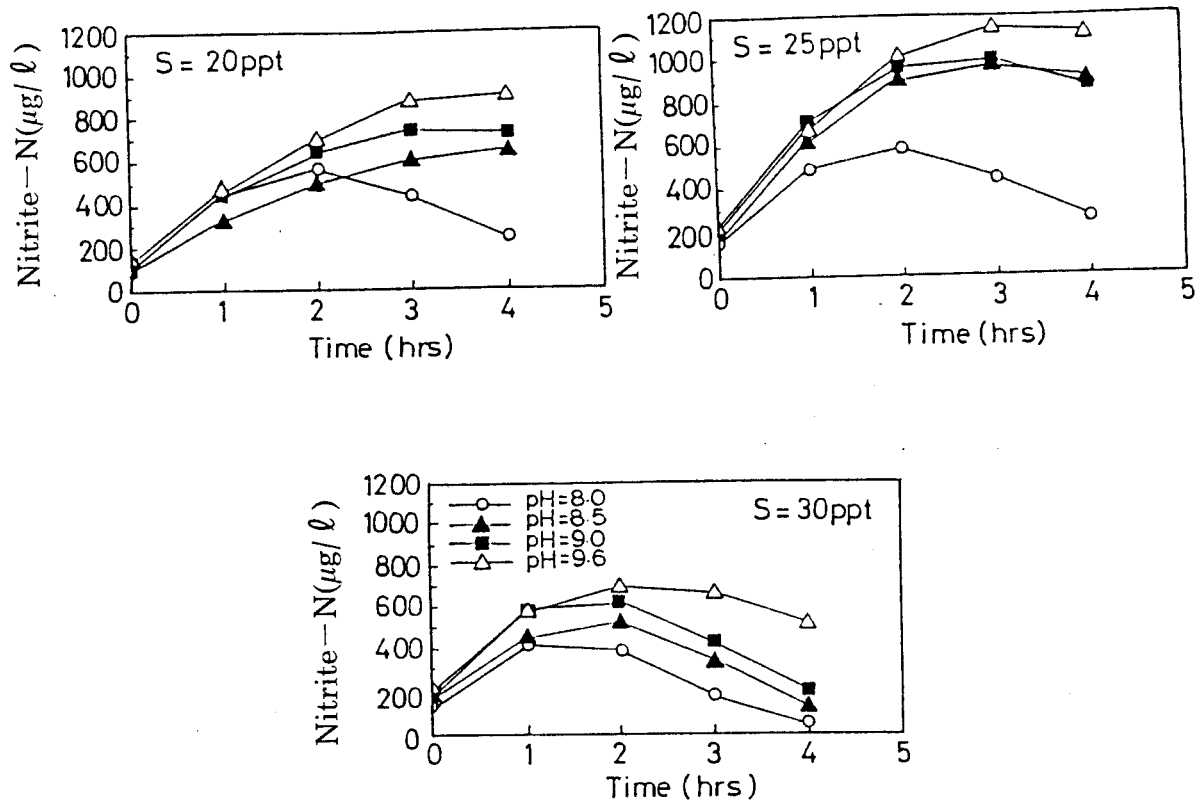


Fig. 8. Effects of pH values on the nitrite removal rates of a biofilter.

綜合上述試驗結果得知,由養蝦池底泥培養所得之硝化菌生物濾床去除氨氮的速率隨鹽度的降低而減低,而亞硝酸氮的累積濃度則隨鹽度的降低而增高;至於同一鹽度下,亞硝酸氮的累積濃度則隨 pH 值的上升而增高。因此,當光合作用很強或 pH 值上升時,生物濾床去除亞硝酸氮的效率反而降低。若大量注入淡水,使池水鹽度降低時,生物濾床的氨氮去除速率亦會減低,而亞硝酸氮的累積濃度則將提高。欲改善此項缺點,除不要淡化養殖用水外,另一方面則可延長水流於生物濾床中的停留時間,或選用較適合於硝化菌附著的濾材,以使濾床中增生較多的菌量。

檢討與建議

目前有關這方面的報告大多係針對氨氮等毒性物質的去除,而對影響池水中溶氧量的有機物及固體物的去除則較少研究。根據研判,池中的有機物及固體物大都來自殘餘飼料。因此,改善飼料的物理及化學性質並研究改進投飼方法,使飼料殘餘量及排泄物量減至最低,即所謂的養殖業減廢措施(相當於工業減廢觀念),當為根本且經濟的方法,而欲達此項目的,則需掌握各種狀況下的養殖標準操作方法及其污染物產生量。另一方面,微藻為養殖池中很重要的生物,它影響浮游動物與原生動物的消長、水中 pH 值、營養鹽和溶氧濃度的變化及池中細菌的生長⁽²²⁾等;因此,微藻於養殖池中的角色不只是餌料生物,而是穩定水質的關鍵生物,其藻相的消長與控制⁽²³⁾實值得加強研究。

參考文獻

1. Chiba, K., S. Rowchai, Y. Igarashi and R. Hirano (1985). Water quality and eel production in the greenhouse pond in Japan. Proc. Asia Symp. Freshwater Fish Cult., p.15-20.
2. Shimeno, S., M. Takeda and H. Sasaki (1981). Response of nitrogen excretion to change of dietary composition in carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 47(2) : 191-195.
3. Madenjian, C.P., G.L. Rogers and A.W. Fast (1987). Predicting night time dissolved oxygen loss in prawn ponds of Hawaii. Part II. A new method. Aquacul. Eng., 6 : 209-225.
4. Soderberg, R.W., J.B. Flynn and H.R. Schmittou (1983). Effects of ammonia on growth and survival of rainbow trout in intensive static-water culture. Trans. Am. Fish. Soc., 112(3) : 448-451.
5. Haywood, G.P. (1983). Ammonia toxicity in teleost fishes : a review. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., No. 1177.
6. 秦宗顯(1986). 氨與亞硝酸鹽對草蝦苗活存率的影響及其急性毒性之研究。國立臺灣海洋學院漁業研究所碩士論文。
7. Lukowicz, M.V. (1982). Intensive carp *Cyprinus carpio* (L.) rearing in a farm pond in Southern Germany and its effects on water quality. Aquacul. Eng., 1 : 121-137.
8. 林美朱、陳瑤湖(1989). 甲殼類氮的排泄。中國水產, 444 : 17-26.
9. Bovendeur, J., E.H. Eding and A.M. Henken (1987). Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of the African Catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), Aquacul., 63 : 329-353.
10. 王以仁(1988). 水污染、漁業及環境保護。中國水產, 424 : 35-40.
11. Porter, C.B., M.D. Krom, M.G. Robins, L. Brickell and A. Davidson (1987). Ammonia excretion and total N budget for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. Aquacul., 66 : 287-297.
12. Provenzano, A.J. Jr. and J.G. Winfield (1987). Performance of a recirculating fish production system stocked with tilapia hybrids. Aquacul. Eng., 6 : 15-26.
13. 廖一久、曾國鋒、鄭新鴻(1985). 水產養殖用水硝化處理循環使用可行性試驗。第十屆廢水處理技術研討會論文集, p.107-116.
14. Meyer, D.L. and D.E. Brune (1982). Computer modeling of the diurnal oxygen levels in a stillwater aquaculture pond. Aquacul. Eng., 1 : 245-261.
15. Srna, R.F. (1975). A modular nitrification filter design based on a study of the kinetics of nitrification of marine bacteria. Proc. World Maricul. Soc., 6 : 463-478.
16. Brune, D.E. and D.C. Gunther (1981). The design of a new high rate nitrification filter for aquaculture water reuse. J. World Maricul. Soc., 12(1) : 20-31.
17. Weatherley, L.R. (1984). Rate models for a marine biological filter. Aquacul. Eng., 4 : 59-84.
18. Kruner, G. and H. Rosenthal (1987). Circadian periodicity of biological oxidation under three different operational conditions. Aquacul. Eng., 6 : 79-96.
19. Kincannon, D.F. and A.F. Gaudy, Jr (1966). Some effects of high salt concentrations

- on activated sludge. *J. WPCF*, 38 : 1148-1159.
20. EPA (1975). Process design manual for nitrogen control. U.S. Environmental Protection Agency, 3-6~3-16.
 21. Mozes, N., F. Marchal, M.P. Hermesses, J.L. van Haecht, L. Reliaux, A.J. Leonard and P.G. Rouxhet (1987). Immobilization of microorganisms by adhesion : interplay of electrostatic and nonelectrostatic interactions. *Biotechnol. Bioengin.*, 30 : 439-450.
 22. Darley, W.M. (1982), *Algal biology : a physiological approach*. Blackwell Science Pub., p.21-51.
 23. Azo, Y., G. Shelef, R. Moraine and A. Levi (1980). Controlling algal genera in high-rate wastewater oxidation pond. *Production and Use of Microalgae Biomass* (edited by G. Shelef and C.J. Soeder, eds.). p.243-253, Elsevier / North Holland, Biomedical Press, Amsterdam.

A FEASIBILITY STUDY ON USING BIOFILTER IN THE TREATMENT OF PRAWN POND WATER

Kuo-Feng Tseng¹ and I-Chiu Liao²

*¹The Institute of Environmental Engineering,
National Chen Kung University, Tainan, Taiwan.*

²Taiwan Fisheries Research Institute, Keelung, Taiwan.

ABSTRACT

In an intensive aquaculture pond, the self purification capacity of pond water fails because of the inherent high-stocking density rates of the system. To maintain good water quality, it is necessary to purify the pond water using a treatment system.

This paper aimed to investigate the removal efficiency of ammonia-N in prawn pond water treated with a biofilter, and the effects of both pH and salinity of pond water on their removal efficiency. The results indicated that the removal efficiency of ammonia-N, by a marine genera of nitrifying bacteria isolated from prawn pond, decreased with decreasing salinity. In the treated water, the concentrations of nitrite-N increased with decreasing salinity. Under the same salinity condition, the concentrations of nitrite-N increased with increasing pH.

The management of culture ponds, particularly on pond water quality, is also discussed based on some wastewater treatment principles.