

## 以乾式濾床生物處理技術去除氨氮之研究

楊萬發\* 宋欣真\*\*

### 摘 要

本研究以乾式濾床(dry bed filter)生物處理技術去除受污染水源中之氨氮。試驗中探討不同高度之乾式濾床在不同的操作條件下，乾式濾床之硝化作用，以求得較佳之濾床高度及操作條件，作為日後實際應用時之設計依據。乾式濾床以實驗室模型濾床模擬之。為求試驗原水水質穩定，以人工配製。研究結果顯示：

- 1.高度分別為100cm、80cm、60cm、40cm之乾式濾床以100cm濾床去除氨氮及有機物之效果最佳，於原水僅含氨氮、濾速=120m/d、 $\text{NH}_3\text{-N}=2\text{mg/l}$ 之操作條件下，氨氮去除率可達95%以上，有機物去除率可達40%。由於濾床本身並非充水，內部有負壓形成，具有向下吸引(Suction)作用，濾床高度較大者，此吸引作用也較大，使阻留物及生物膜於濾床內分佈較為均勻，因此濾程也較長。試驗後期使用120cm濾床硝化效果並無100cm濾床之好，且由於濾床高度可能過高，使濾床內部空氣流動受到阻塞，濾床反而較易阻塞。因此，建議以100cm濾床高度操作較為恰當。
- 2.原水加入蔗糖與腐植酸，乾式濾床之硝化效率降低。推測其原因為加入有機物之後，濾床內異營菌大量繁殖，遮蔽硝化菌之活性，影響硝化效果。同時亦因異營菌之繁殖，使得濾床較易阻塞，濾程縮短。
- 3.以掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察乾式濾床濾料顆粒表面及出流水之菌相。結果顯示，原水僅含氨氮時，菌相極為單純，顆粒表面皆為桿菌、球菌，出流水中含有無煙煤顆粒碎片、桿菌、球菌及類似細胞黏液之物質。原水加入蔗糖及腐植酸後，菌相相當複雜，除球菌及桿菌外，有許多類似菌絲及真菌孢子之物質存在。究其原因為有機物加入後，促使異營菌大量繁殖之故。

\*台大環工所教授

\*\*泰興工程顧問公司 環境工程師

## 一、前言

台灣地區之自來水水源主要為地面水源，根據有關之研究調查指出，部份水庫及河川水源已受到污染。受污染之水源中，含氮有機物經由生物分解作用，轉變為無機之氨氮，如此可能加速水庫之優養化，使藻類繁殖迅速，消耗溶氧甚至有臭味之問題發生。

傳統淨水程序之快濾池，無法達到自來水對氨氮為微跡之要求。硝化作用是屬耗氧反應，如果在快濾池內發生硝化作用，可能使快濾池內成為厭氧狀態，則已被氧化之物質，如 $\text{Fe}^{+3}$ 將被還原，可再溶入水中而使水質轉壞。且常與氨氮共存之有機物可能會增加快濾池內之異營菌繁殖使濾程縮短。傳統上以預氯法去除氨氮則可能形成三鹵甲烷前驅物。因此，發展乾式濾床生物處理技術以去除自來水水源中之氨氮當為一新嘗試。

本研究之主要內容包括：

1. 乾式濾床之設計及硝化菌之馴養著床附生。
2. 高度分別為100cm、80cm、60cm、40cm之濾床於不同濾速下對不同濃度氨氮之去除、有機物之去除及有機物存在下對乾式濾床硝化作用之影響。
3. 以掃描式電子顯微鏡(SEM)探討原水加入有機物前後、乾式濾床內菌相之變化情形。

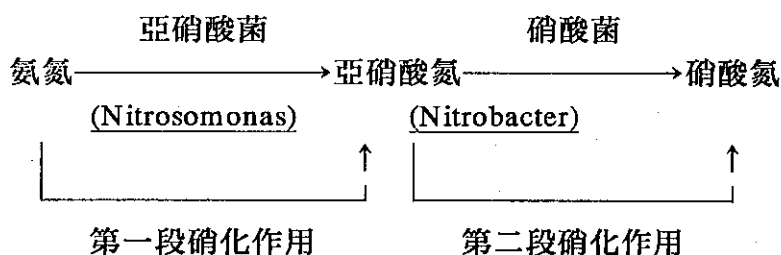
## 二、文獻回顧

乾式濾床(dry bed filter)之使用始於1983年德國之Mannheim [1][2]，目的為擴充其活性污泥污水處理廠，使能達到更嚴格之放流水標準以符合要求。典型之乾式濾床如圖2-1[3]。將污水強制灑於沒有水頭之濾床，藉由濾料表面之生物膜去除溶解性有機物並將懸浮固體物過濾。污水經強制灑下之同時、與空氣接觸，可進行氣體之交換。由於乾式濾床濾層內並未滿水，因此，在污水灑下於濾層之同時，伴隨著向上或向下之氣流。此種由空氣及水流在濾層孔隙中之流動與接觸，可補充濾層內因處理過程而消耗之溶氧，使出流水中溶氧有接近飽和之可能。此外，由於伴隨氣體流動，溶解氣體及揮發性物質如 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 及產生臭味之有機物可因氣提而去除。

乾式過濾並非一個新的單元操作，於淨水工程上之使用已有相當長

的歷史。例如多孔盤式曝氣(perforated tray aerator)乃將原水自頂層分散經由數層內裝焦碳、爐渣或卵石等之多孔盤而自然流下達到曝氣之目的，以去除 $Fe^{+2}$ 及 $CO_2$ 等物質。此外，污水工程上之滴濾池亦是將污水灑下，藉著生長在濾料上的生物膜吸附氧化有機物使成爲穩定物質，以達去除污染物之目的。

氨氮之硝化作用主要可分爲兩階段反應，如下所示[4]



如欲有效控制硝化作用，須將影響硝化作用之條件控制在適合硝化菌生長之情況下。大體上而言、適合硝化菌生長之pH約在7~9、溫度在20~30°C之間[5]。

### 三、試驗設備、材料與方法

#### 3-1 試驗設備

試驗設備爲四組乾式濾床，請參考圖3-1。使用之濾料爲無煙煤、有效粒徑1.2mm、均勻係數1.2，填裝孔隙率0.48。

#### 3-2 試驗方法

本試驗首先是乾式濾床硝化生物膜之培養，歷時2個月培養之後，始進行各項試驗。

試驗所需原水以人工配製，以台大環工所之自來水配製試驗需要的各種水質(台大環工所水質請參考表3-1)。至於硝化作用所消耗之鹼度以 $NaHCO_3$ 補充。此外，爲避免自來水中餘氯對硝化菌造成抑制，以硫代硫酸鈉去除之。氨氮則以 $NH_4Cl$ 爲來源。

本研究所使用之分析方法主要依照1986 Standard Method第16版[6]之方法。表3-2列出水質分析項目、方法及使用之儀器。

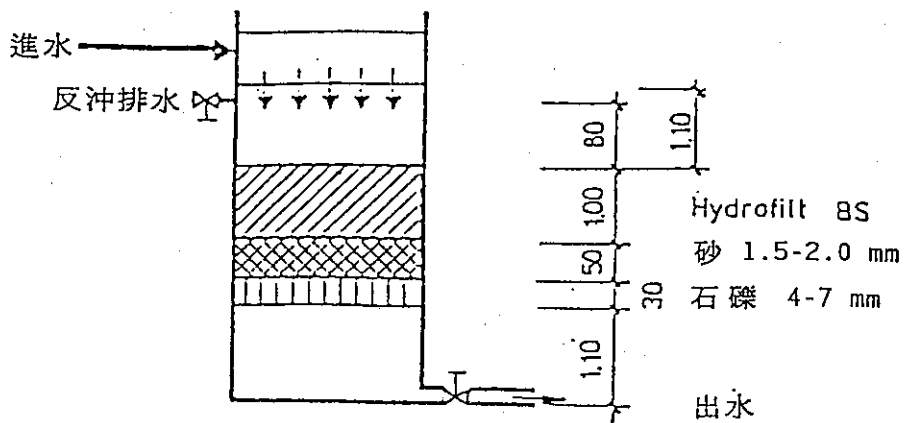


圖2-1 典型之乾式濾床

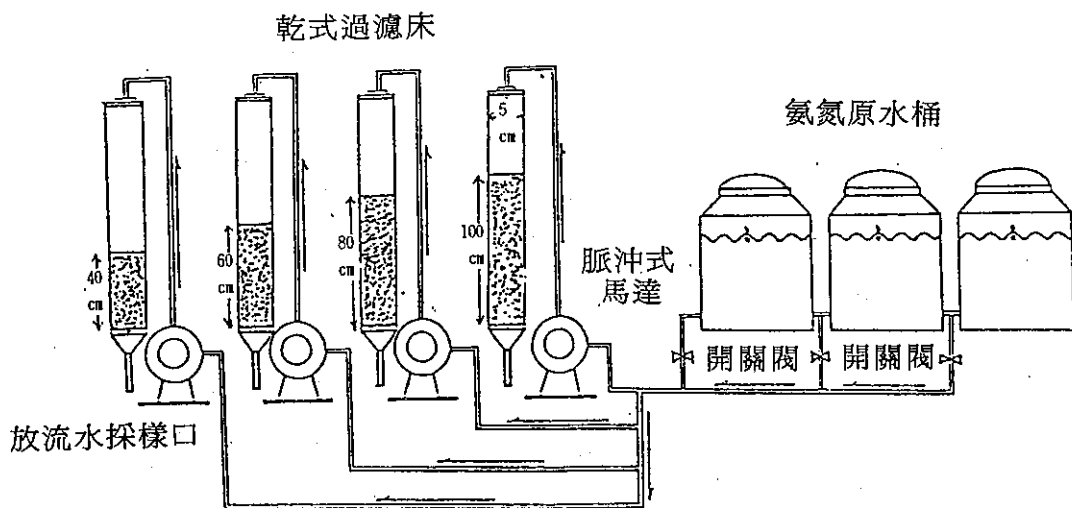


圖.3-1 乾式濾床試驗裝置

表3-1 試驗用自來水水質

項目	單位	數 值
pH值	mg/l as N	7~7.5
氨 氮		微 跡
亞硝酸氮	mg/l as N	微 跡
硝酸氮	mg/l as N	0~0.5
鹼 度	mg/l as CaCO <sub>3</sub>	15~30
溶 氧	mg/l	8~ 9
餘 氯	mg/l	0.3~0.6

表3-2 水質分析項目、方法、使用儀器

項 目	單 位	分 析 方 法	使 用 儀 器
氨氮	mg/l as N	直接納氏法	分光光度計 <sup>a</sup>
亞硝酸鹽氮	mg/l as N	偶氮法	分光光度計 <sup>a</sup>
硝酸鹽氮	mg/l as N	紫外線分光光度計法 HACK Method <sup>b</sup>	分光光度計 <sup>a</sup>
溶氧	mg/l		DO Meter <sup>c</sup>
鹼度	mg/l as CaCO <sub>3</sub>	滴定法	
化學需氧量	mg/l	重鉻酸鉀迴流法	
餘氯	mg/l		餘氯計 <sup>f</sup>
pH/溫度			pH/溫度計 <sup>h</sup>

<sup>a</sup>: Perkin-Elmer 550A UV/VIS Spectrophotometer

<sup>b</sup>: 原水含有機物時使用

<sup>c</sup>: SUNTEX SD-70 DO Meter

<sup>f</sup>: NIHON MIZUSHORI Model-H01 Residual Chlorine

<sup>h</sup>: Hanna Instruments 8417 pH/溫度計

## 四、結果與討論

以下將就原水僅含氨氮，不同之操作條件下，乾式濾床之硝化作用，及當原水加入有機物對乾式濾床硝化作用之影響與其對有機物去除效果之探討。最後並就原水加入有機物前後濾床內菌相之變化，以掃描式電子顯微鏡觀察之。

### 4-1 氨氮之去除

本階段試驗計有四個試程，共計操作136天，依次為濾速120m/d、氨氮濃度2.0、2.5、3.0mg/l及濾速60m/d、氨氮濃度3mg/l。四座不同高度濾床之硝化曲線、請參考圖4-1、4-2、4-3、4-4。以試程一（濾速120m/d、 $\text{NH}_3\text{-N}=2\text{mg/l}$ ）而言，由硝化曲線可知濾床高度愈高其達穩定時間愈短。管1（100cm濾床）在第10天出流水之氨氮濃度已達穩定，亞硝酸氮在第6天即已趨近於零，管2（80cm濾床）在第13天硝化作用亦達穩定，管3、4（60及40cm濾床）則分別在第17天及25天才達穩定。四管達穩定後出流水氨氮濃度分別為0.1、0.3、0.9、0.98mg/l，亞硝酸鹽氮濃度則幾乎為零。由於環工所自來水中鹼度不足以提供硝化作用所消耗之鹼度，使出流水pH維持在7以上。因此，加入 $\text{NaHCO}_3$ 以提供鹼度，使出流水pH仍在7左右，不使pH值成為試驗中影響硝化作用之因子。另外，試驗水溫維持在20~29°C亦不影響硝化菌之活性。

本階段試驗之操作結果請參考表4-1，各試程皆以濾床高度愈高者，氨氮之去除率愈佳。以濾速120m/d，氨氮濃度2mg/l之操作結果而言，管1及管2氨氮去除率95%與85%，稍有差異，管3僅有53%之去除率，濾床深度僅較管2減少20cm，效率卻減少許多，與管4之51%相差不大。再比較各濾床之容積氨氮去除量，100cm濾床為 $0.23\text{kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 、80cm濾床為 $0.25\text{kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 、60及40cm濾床則分別為 $0.21\text{kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 及 $0.31\text{kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 。造成此種現象之原因，可能為：乾式濾床除因生物作用可去除溶解性污染物之外，亦具有懸浮固體物之機械阻留作用。因此，雖然濾床本身並非滿水，內部有負壓形成，具有向下吸引(Suction)作用，濾床高度較高者，此作用較大，使阻留物及生物膜在濾床內分佈較均勻，但此吸引作用力仍有限，無法達到整個濾床底部，大部份之生物膜分佈仍在較上層，無法達到底部濾層，使底部濾層生物硝化作用較小，甚至無效用。其次，在此操作條件下，出流水氨氮濃度未達穩定前，以下列關係來描述四座乾式濾床：

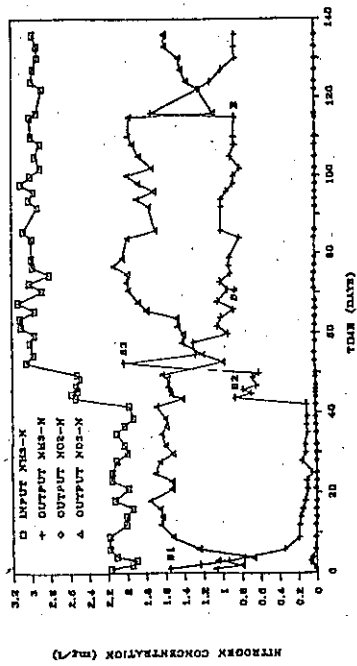


圖4-1 管 1 濾床高度100cm之乾式濾床於原水僅加入氮氮之硝化曲線。

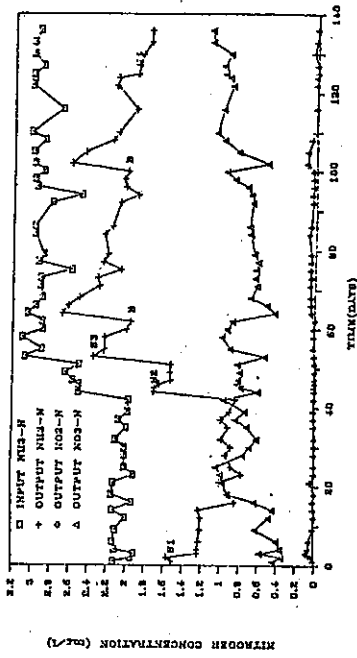


圖4-3 管 3 濾床高度60cm之乾式濾床於原水僅加入氮氮之硝化曲線。

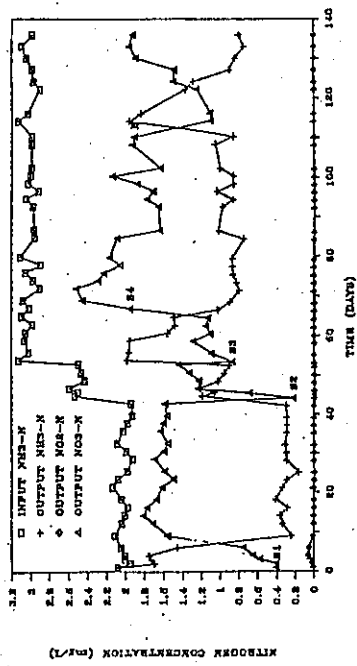


圖4-2 管 2 濾床高度80cm之乾式濾床於原水僅加入氮氮之硝化曲線。

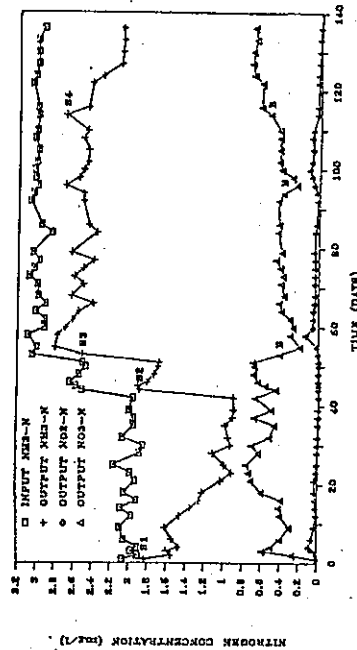


圖4-4 管 4 濾床高度40cm之乾式濾床於原水僅加入氮氮之硝化曲線。

$$\frac{d C_{\text{NH}_3\text{-N}}}{dt} = -K C_{\text{NH}_3\text{-N}} \quad (4-1)$$

由上式可得一K值，請參考表4-2，大致上而言，濾床高度較大者，K值亦較大。即單位時間內去除氨氮較多。此與濾床高度愈高者，氨氮去除達穩定所需時間愈短，互相印證。系統達穩定之後，式4-1則不適用。

#### 不同進流水氨氮濃度對乾式濾床硝化作用之影響

管1（表4-1）於濾速120m/d，進流水氨氮濃度增加1.5倍時（由2mg/l增加至3mg/l），容積氨氮負荷由0.24增加至0.36kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day，去除率明顯降低，而容積氨氮去除量分別為0.23與0.24kg/m<sup>3</sup>·day，並無太大差異。可見乾式濾床只適合低濃度之氨氮硝化處理。若原水之氨氮濃度提高，因容積氨氮去除量並未增加，硝化效率呈現下降趨勢，出流水仍有相當之氨氮濃度。

#### 改變操作濾速對乾式濾床之影響

原水氨氮濃度3mg/l，濾速由120m/d減至60m/d，管1（100cm濾床）出流水氨氮濃度僅由1mg/l減至0.82mg/l，去除率由67%增至72%，容積氨氮去除量由0.24降至0.13Kg/m<sup>3</sup>·day。濾速降低氨氮去除率雖稍有增加，但若考慮容積水量負荷與容積氨氮去除量而言，似較不經濟。因此，日後若將乾式濾床於實廠應用，於設計時，這點須加以考慮衡量。

由於試驗之原水是以自來水配製，原水中懸浮固體物含量很少，幾乎是不存在，濾床內部之物質應大多是生物膜之增殖。本階段試驗，各濾床之第一次反沖洗時間如表4-3所示。因乾式濾床之吸引(suction)作用、濾床深度較大者此一作用較大，阻留物及生物膜在濾床內之分佈較為均勻，濾程也較長。

綜合上述，於濾速120m/d之情況下，不同高度之乾式濾床氨氮容積負荷與去除率之關係如圖4-5所示，欲達95%以上去除率，氨氮容積負荷應小於0.25Kg/M<sup>3</sup>·day，濾床高度應在100cm。

#### 4-2 原水含有機物對乾式濾床去除氨氮之影響

上述為原水僅含氨氮四座不同高度乾式濾床之硝化結果。如欲將乾式濾床應用於原水之前處理，尚須考慮原水中之有機物對濾床硝化作用之影響。本階段試驗於原水中加入腐植酸（約2.5~2.8mg/l）代表天然原水中之有機物，蔗糖（約10mg/l）則代表易分解之有機物。

表 4-1 不同高度濾床於不同操作條件下之操作結果

管號	1				2				3				4			
項目	100				80				60				40			
(1) 濾床高度(cm)	100				80				60				40			
(2) 進流氮氣濃度 (mg/l)	2	2.5	3	3	2	2.5	3	3	2	2.5	3	3	2	2.5	3	3
(3) 流速(m/d)	120	120	120	60	120	120	120	60	120	120	120	60	120	120	120	60
(4) 容積水量負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> day)	120	120	120	60	150	150	150	75	200	200	200	100	300	300	300	150
(5) 容積氮氣負荷 (Kg NH <sub>3</sub> -N/m <sup>2</sup> day)	0.24	0.30	0.36	0.18	0.30	0.375	0.45	0.225	0.4	0.5	0.6	0.3	0.6	0.75	0.9	0.45
(6) 水力停留時間 (min)	5.76	5.76	5.76	11.5	4.6	4.6	4.6	9.2	3.5	3.5	3.5	7.0	2.3	2.3	2.3	4.6
(7) 出流氮氣濃度 (mg/l)	0.1	0.62	1.0	0.82	0.3	0.92	1.5	0.9	0.93	1.53	2.05	1.75	0.98	1.7	2.45	2.2
(8) 穩定後氮氣平均去除率 (%)	95	75	67	72	85	63	50	70	53	41	31	42	51	32	18	27
(9) 容積氮氣去除量 (Kg NH <sub>3</sub> -N/m <sup>2</sup> day)	0.23	0.23	0.24	0.13	0.25	0.24	0.23	0.16	0.21	0.20	0.186	0.126	0.31	0.24	0.162	0.12

表4-2 乾式濾床於動態情況之K值

管號	操作條件		系統在動態 (未達穩定前) 之K值
	流速 (m/d)	氮氣濃度 (mg/l)	
1	120	2.0	0.27
2			0.16
3			0.033
4			0.031

表4-3 第一次反沖洗前之連續操作天數

管號	1	2	3	4
濾床深度	100	80	60	40
操作第幾天 第一次 反沖洗	115	113	63	54

原水加入有機物之後、乾式濾床之硝化作用明顯受影響，各濾床之氨氮去除率明顯降低。管1（100cm濾床）去除率由95%減至25%，管4（40cm濾床）則僅有10%之氨氮去除率。於濾速120m/d，氨氮2mg/l之操作條件下，圖4-6顯示加入蔗糖與腐植酸之後，不同高度濾床對氨氮去除率明顯降低。

鄭氏[7]、王氏[8]探討有機物對填充式濾床與乾式濾床硝化作用之影響時（分別加入蔗糖與葡萄糖）認為氨氮去除率降低是因有機物存在，造成異營菌增殖與硝化菌競爭溶氧，使硝化菌無法有效氧化氨氮。但是由於乾式濾床內並未滿水，污水灑下於濾床之同時，伴隨著向上或向下之氣流。此種由空氣及水流在濾層孔隙中之流動與接觸，可補充濾層內因處理過程而消耗之溶氧。試驗結果顯示出流水之溶氧皆維持在8mg/l以上。Tanaka & Dunn [9]認為水體中  $O_2/NH_4^+-N$  等於或大於1.5mole  $O_2$ /mole  $NH_4^+-N$ 或3.4mg/mg時，整個硝化過程不受氧濃度之限制。因此，本階段試驗溶氧應不為限制因子。

四座乾式濾床分別於原水加入有機物前後兩階段試驗做掃描式電子顯微鏡菌相觀察（SEM）。原水僅含氨氮時菌相觀察結果多為桿菌與球菌，大小及形態依Bergey's Manual [10]絕大多數應為硝酸菌與亞硝酸菌。原水加入有機物之後菌相改變頗大，除一些桿菌及球菌之外，有許多大小及形態類似真菌孢子與菌絲之物質[11][12]。真菌屬異營菌類，有機物存在時生長，且大氣環境中有許多孢子存在，這些孢子可能進入濾床，只要生長環境適當，有些可於水中生存。試驗中加入蔗糖及腐植酸為有機物來源，其中蔗糖更為真菌所喜愛[11]，且濾床內部具有充足之氧氣使此類異營菌易滋生於濾床中。這些異營菌當中有些真菌可能會分泌一些酵素而抑制其他細菌之活性，甚至有些對細菌具有毒害。因此，推測可能由於這些菌類遮蓋或抑制硝化菌之活性，使得乾式濾床之硝化作用受影響。有關SEM之詳細結果稍後再討論。

濾床高度40cm與60cm之管3與管4，加入有機物後對氨氮之去除效果很不理想，因此將兩濾床合併，另外再加入20cm高度之無煙煤濾料，使管3之濾床高度變為120cm，並將進流水氨氮濃度降低為1mg/l。此三座濾床之硝化曲線請參考圖4-7、4-8、4-9。整個操作過程大體上而言管1之出流水氨氮濃度較不穩定，但平均氨氮去除率50%較管2（80cm濾床）佳，管3（120cm濾床）出流水氨氮濃度亦不穩定，平均去除率則為32%較100cm濾床為差，可能由於120cm濾床過高，濾床內部空氣流動易受阻礙，使得濾床較易阻塞致反沖洗頻率較高（圖中標示之B代表反沖洗），濾床之硝化作用尚未達穩定之前即又需反沖洗。操作後期水溫為

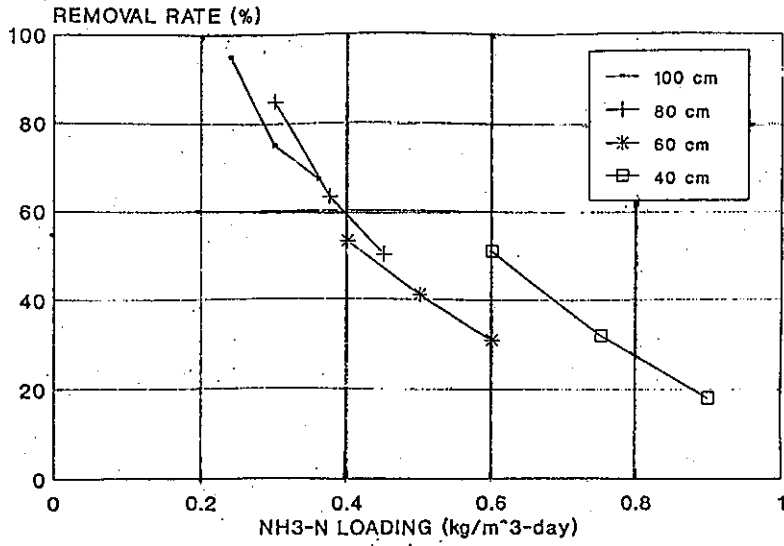


圖4-5 不同高度濾床之氨氮容積負荷與去除率之關係圖

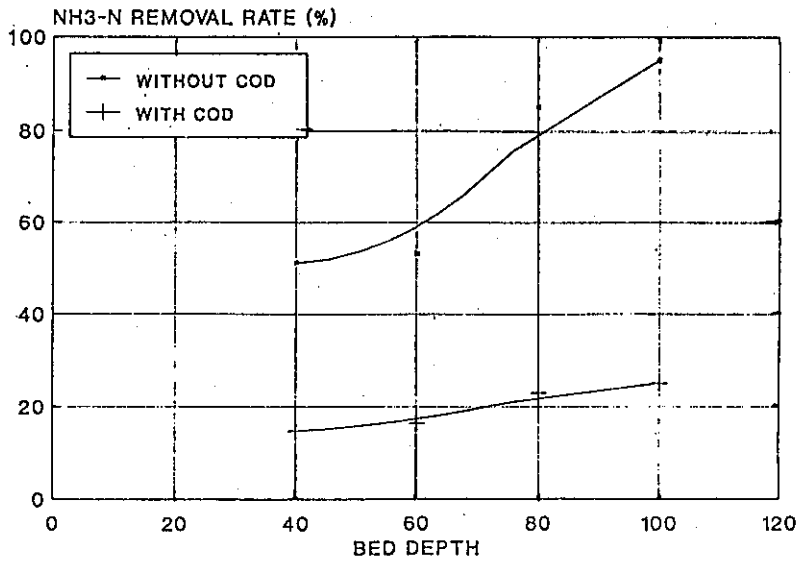


圖4-6 不同高度之乾式濾床加入有機物前後氨氮之去除率

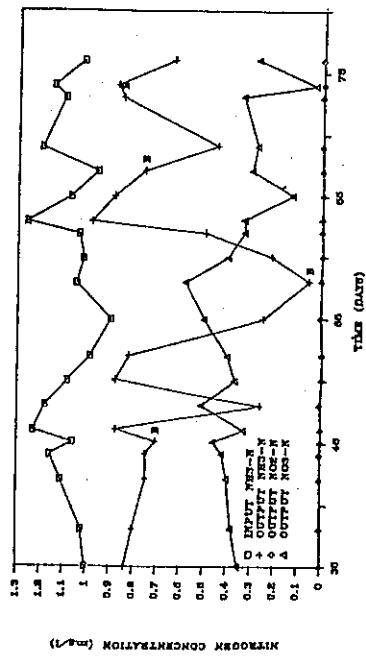


圖4-7 管 1 濾床高度100cm之乾式濾床於濾速=120m/d、  
NH<sub>3</sub>-N=1mg/l、COD=12~18mg/l之硝化曲線

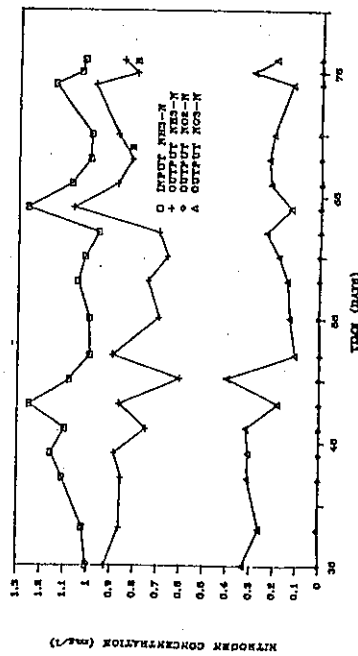


圖4-8 管 2 濾床高度80cm之乾式濾床於濾速=120m/d、  
NH<sub>3</sub>-N=1mg/l、COD=12~18mg/l之硝化曲線

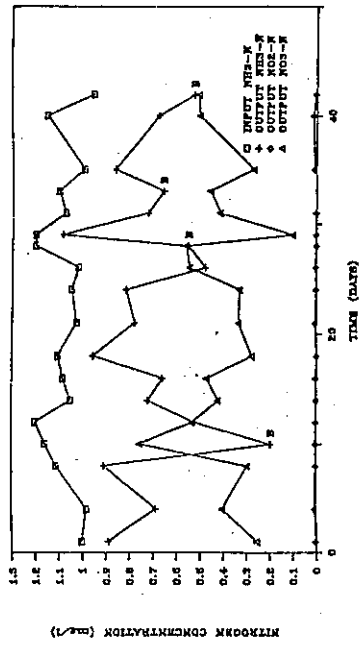


圖4-9 管 3 濾床高度120cm之乾式濾床於濾速=120m/d、  
NH<sub>3</sub>-N=1mg/l、COD=12~18mg/l之硝化曲線

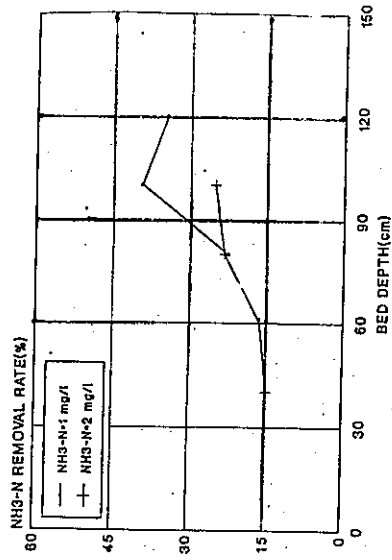


圖4-10 不同高度之乾式濾床於有機物存在下，對於NH<sub>3</sub>-N=2mg/l  
及1mg/l之去除率關係圖

21~23°C，異營菌及硝化菌活性增加、增殖較迅速，去除率有升高之趨勢，但濾床也因此較易阻塞、濾程較短。圖4-10為氨氮濃度變化為2mg/l與1mg/l，不同高度濾床之氨氮去除率。

綜合4-1、4-2之結果，吾人認為濾床高度在一定範圍內以高度較高者處理效果較佳，以100cm左右之濾床可得到最佳效果。濾床高度過高可能會使濾床內部空氣流動受到阻礙，使濾床較易阻塞，反沖洗頻率高致影響處理效果。因此，如使用100cm濾床處理，而出流水水質尚未能達到處理目標時，建議採用多段式來處理。

#### 4-3 乾式濾床有機物之去除

本研究所使用之腐植酸以波長254nm來定量[13][14]。圖4-11為濾速120m/d，氨氮濃度2mg/l，原水中加入腐植酸與蔗糖之操作條件下，四座乾式濾床進出流水之腐植酸濃度變化曲線。進出流水之腐植酸濃度僅於操作之初或反沖洗後去除率較高。以管1（100cm濾床）為例，操作之初進出流水腐植酸之量相差達0.6mg/l，去除率約22%，之後腐植酸去除約0.2~0.3mg/l，去除率在10%以下，僅於反沖洗後去除率稍有上升，但很快又下降。與進出流水COD變化曲線（請參考圖4-12）比較，僅於操作初期與反沖洗後對COD去除率有明顯貢獻。實際觀察濾床本身則發現濾料及壓克力筒壁上附著一層黃褐色物質（腐植酸於水中之顏色）及反沖洗出流水為深棕色。據此推測腐植酸之去除主要是因附著於濾料上及筒壁，而非生物之分解作用。再就管1進出流水COD之差值（請參考圖4-12）除操作初期與反沖洗後，均在2mg/l以上，甚至可達10mg/l，於這些操作期間內，腐植酸之去除則在0.2~0.3mg/l。因此，COD之去除主要仍是由於蔗糖被異營菌利用使異營菌大量繁殖影響硝化菌之活性。表4-4為不同高度濾床之容積COD去除量計算表，大致上以濾床高度愈高其容積COD去除量愈大。管1（100cm濾床）可達0.73KgCOD/m<sup>3</sup>·day，但管4（40cm濾床）其值較管2、管3為高，究其原因可能由於試驗所造成之誤差。

乾式濾床較一般傳統方式—蜂巢法、回轉盤法、流動床法對COD之去除率高[15]。Seyfried [1]以二級沈澱池出流水比較乾式濾床與浸水式過濾床(Submerged bed)去除溶解性有機物與懸浮性有機物之特性，請參考圖4-13。於濾速120m/d、240m/d、480m/d之操作條件下，去除溶解性COD乾式濾床皆優於傳統淨水式濾床，而對於懸浮性有機物之去除、於濾速120m/d時乾式濾床尚優於傳統淨水式，濾速增加時則非如此，但差異很小。可見乾式濾床在去除有機物方面優於一般傳統式過濾床。

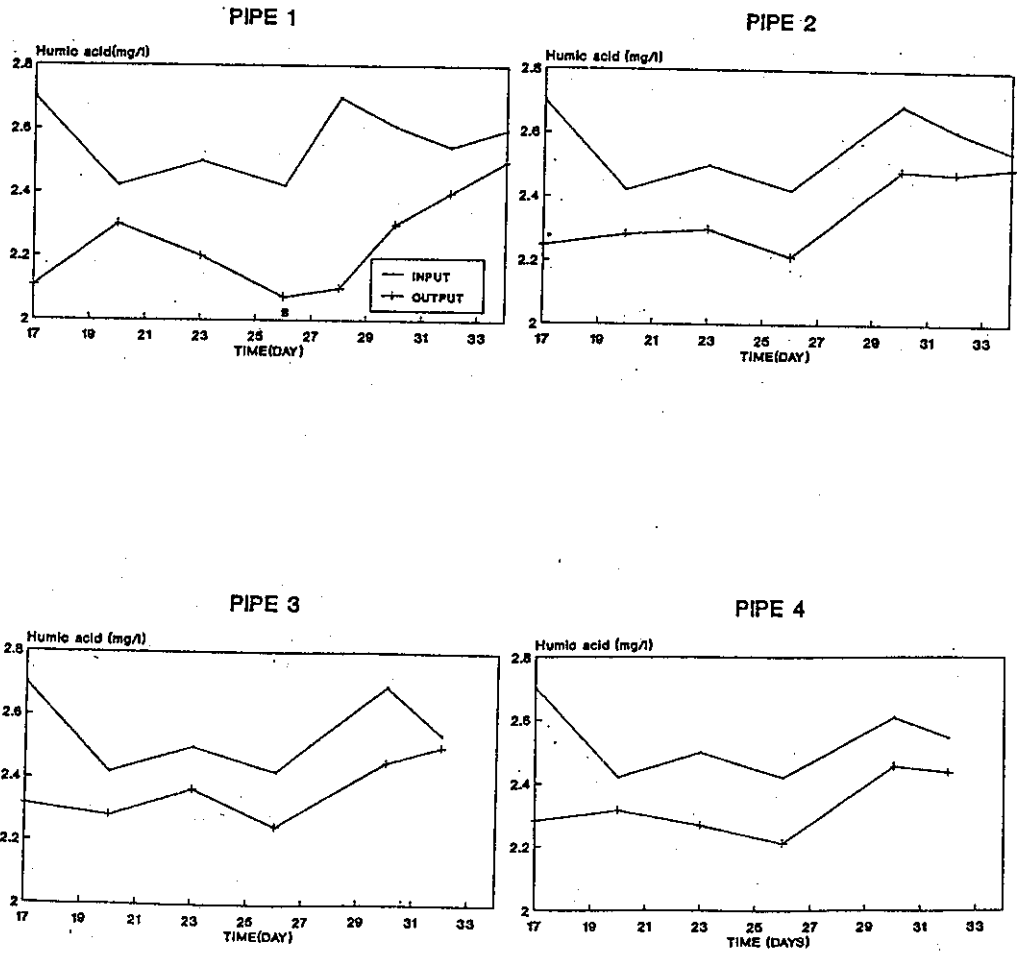


圖 4-11 不同高度乾式濾床進出流水腐植酸濃度之變化曲線

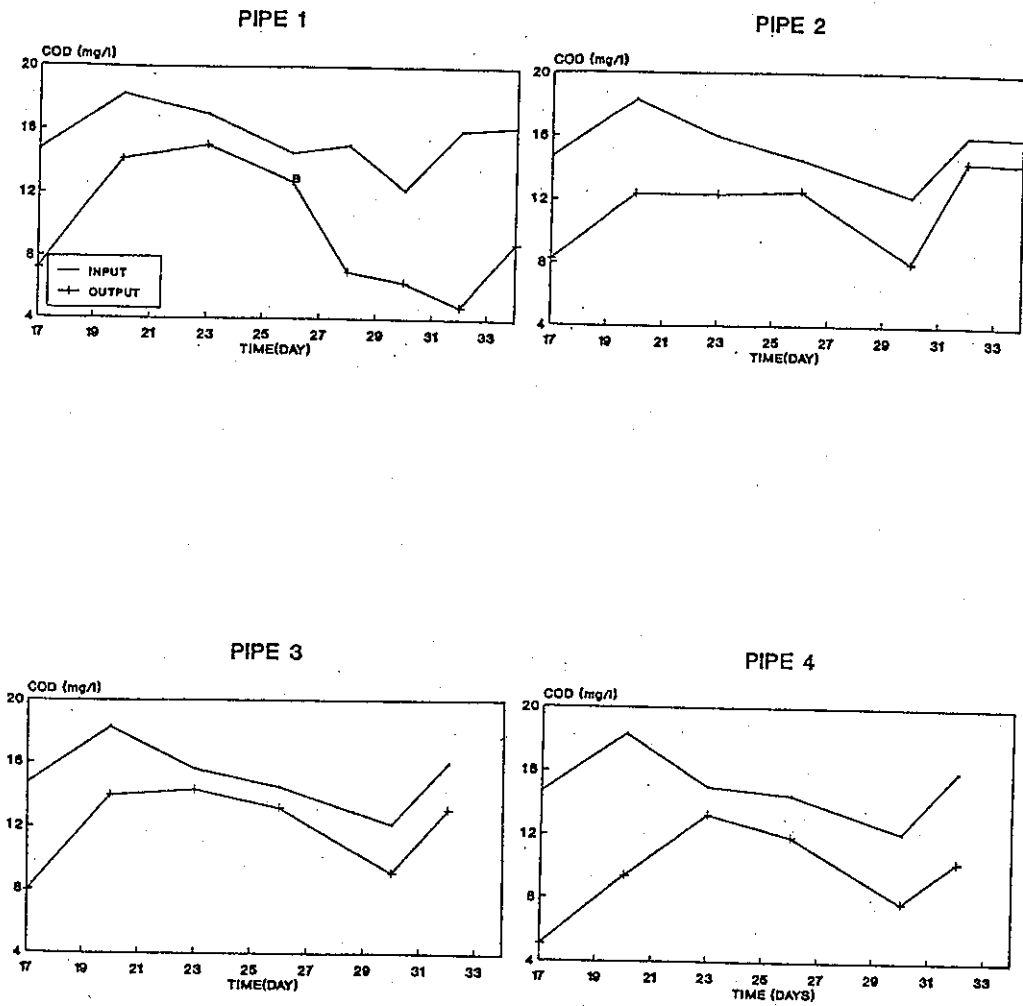


圖 4-12 不同高度乾式濾床進出流水 COD 濃度之變化曲線

表4-4 不同高度濾床容積COD去除量之計算表

項目	管號 1	管號 2	管號 3	管號 4
(1) 濾床高度 (cm)	100	80	60	40
(2) 濾速 (m/d)	120	120	120	120
(3) 進流水平均COD值 (mg/l)	15.5	15.4	15.2	15.1
(4) 容積水量負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> day)	120	150	200	300
(5) 容積COD負荷 (Kg COD/m <sup>2</sup> day)	1.86	1.85	1.82	1.81
(6) 水力停留時間 (min)	5.76	4.60	3.50	2.30
(7) 出流水平均COD值 (mg/l)	9.5	11.7	11.93	9.6
(8) COD 平均去除率 (%)	39.3	24.0	21.8	36.0
(9) 容積COD 去除量 (Kg COD/m <sup>2</sup> day)	0.73	0.44	0.40	0.65

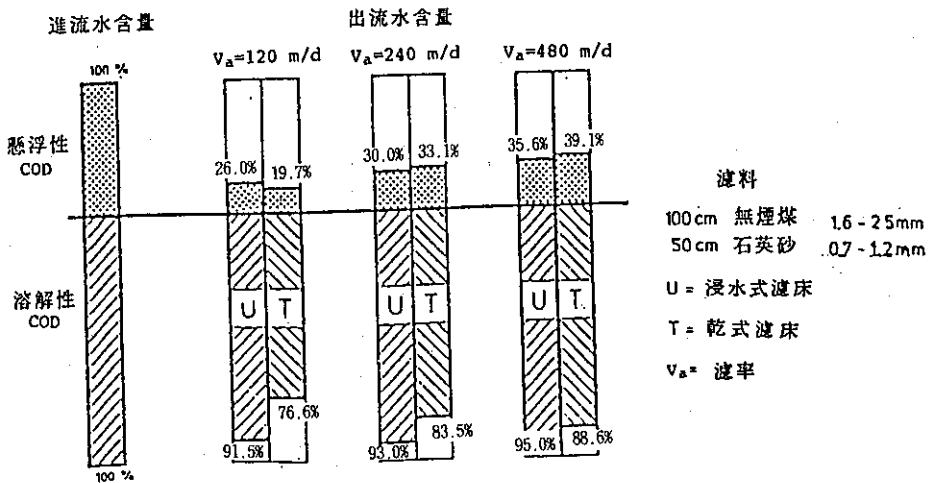


圖4-13 乾式濾床和浸水式濾床出流水COD值比較

#### 4-4 掃描式電子顯微鏡菌相觀察

本研究於試驗進行當中分別於原水加入有機物前、後以掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察無煙煤顆粒表面及乾式濾床出流水之菌相。

##### 1. 原水僅加入氨氣之菌相

此階段之試驗結果於4-1中已予討論，操作至第90天作(SEM)菌相觀察，生物膜外觀呈黃褐色。圖4-14為細菌於濾料顆粒表面分佈情形。雖然細菌分泌外細胞高分子(extracellular polymer)以著生於濾料上，但若濾料表面光滑，則細菌不易附著。圖中顯示之菌相極為單純、為短桿菌。圖4-15左上角之細菌有一對鞭毛，依據Buchanan[16]記載應屬於Nitrosomonas europaea，中央有一桿菌(0.6×1.0 μm)其一端有扁平帽狀之細胞膜，依據Bergey's Manual應屬Nitrobacter winogradskyi，圖右下方有一細長桿菌(0.2×4 μm)根據其外形及濾床內之生長環境應屬於Nitrospina gracilis。圖4-16為無煙煤顆粒表面之物質，除些許雜質外為桿菌(0.3×1 μm)及球狀菌(直徑0.5 μm)，似有黏膜包裹著。圖4-17為濾床出流水過濾後SEM之結果。出流水中有無煙煤顆粒碎片、桿菌、球菌、鏈球菌及類似細胞黏液之物質。

此階段試驗因原水以人工配製僅含氨氮菌相並不複雜，以短桿菌類似Nitrosomonas europaea及Nitrobacter winogradskyi、細長桿菌Nitrospina gracilis及一部分球狀菌為主。

##### 2. 原水加入蔗糖及腐植酸乾式濾床之菌相

此階段試驗之結果於4-2已予討論，於操作一個月及二個月之後分別作菌相觀察，二次之觀察結果並無差異。圖4-18為濾料顆粒表面之菌相，與原水僅含氨氮乾式濾床之菌相有明顯之差異。硝化菌於750×較難觀察，但可發現此倍數下無煙煤顆粒表面有許多類似纖維狀或菌絲狀之物質分佈。圖4-19類似菌絲之絲狀物質背後可能是類似真菌孢子之物質[10]，桿菌、球菌幾乎不見蹤跡。圖4-21為濾床之出流水中物質，除一些雜質及類似菌絲之物質外有許多細菌，大小及形態屬Nitrosomonas europaea及Nitrobacter winogradskyi。

於此階段之試驗中，SEM之觀察結果菌相相當複雜，究其原因為原水加入有機物促使異營菌大量繁殖之故。

## 五、結論與建議

本研究以試驗室規模之裝置，探討以乾式濾床生物處理技術去除氨氮，獲得之結論分述如下：

- 1.高度分別為100cm、80cm、60cm、40cm之乾式濾床氨氮去除率以濾床高度較高者去除率較佳，且濾床達穩定所需時間愈短。100cm濾床氨氮容積負荷小於 $0.25\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 時，去除率可達95%以上。由於濾床本身並非滿水，內部有負壓形成，具有向下吸引(Suction)作用，濾床高度較大者，此吸引作用較大，使阻留物及生物膜於濾床內分佈較為均勻，濾程較長。
- 2.原水加入蔗糖與腐植酸乾式濾床硝化作用明顯降低。由於蔗糖為一般異營菌最易利用，異營菌於濾床內大量繁殖遮蔽硝化菌之活性，甚至部份會分泌酵素抑制硝化菌活性。同時因異營菌之大量繁殖使得濾床易阻塞、濾程縮短。
- 3.試驗後期比較80cm、100cm、120cm濾床於有機物存在下氨氮之去除率。以100cm濾床之去除率最佳，120cm濾床之處理效果反而降低，且由於濾床高度可能過高，使濾床內部空氣流動受到阻礙、濾床易阻塞。因此，建議以100cm濾床高度操作較為恰當，如果出流水水質尚未達到既定去除率，可考慮使用多段式處理。
- 4.不同高度濾床有機物之容積去除量，以100cm濾床可達 $0.73\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，顯示乾式濾床對於有機物亦具有相當之去除效果。
- 5.以掃描式電子顯微鏡觀察原水加入有機物前後乾式濾床之菌相變化結果顯示原水僅含氨氮乾式濾床菌相單純，主要以短桿菌、細長桿菌、球狀菌為主。加入有機物之後，菌相複雜，有許多類似菌絲真菌孢子之物質存在，桿菌、球菌等則較難發現。

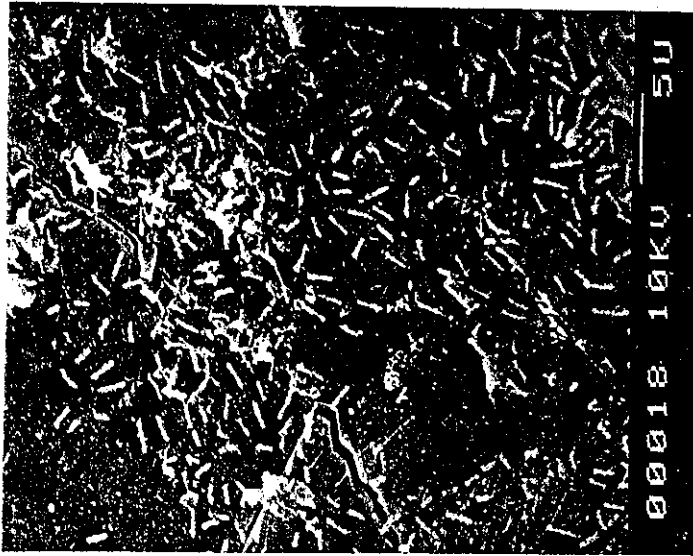


圖 4-14 原水僅含氮氣，無煙煤  
顆粒表面之菌相，桿菌  
3,000X

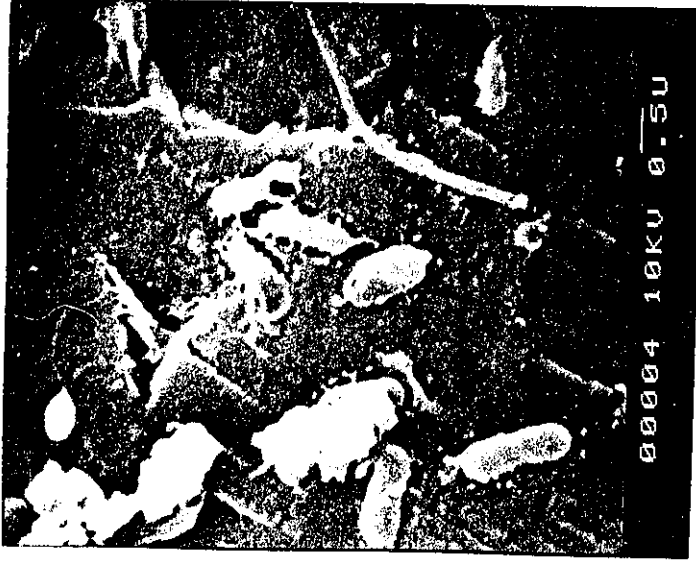


圖 4-15 原水僅含氮氣，無煙煤顆粒  
表面之菌相，左上方之短桿  
菌有一對鞭毛，20,000X

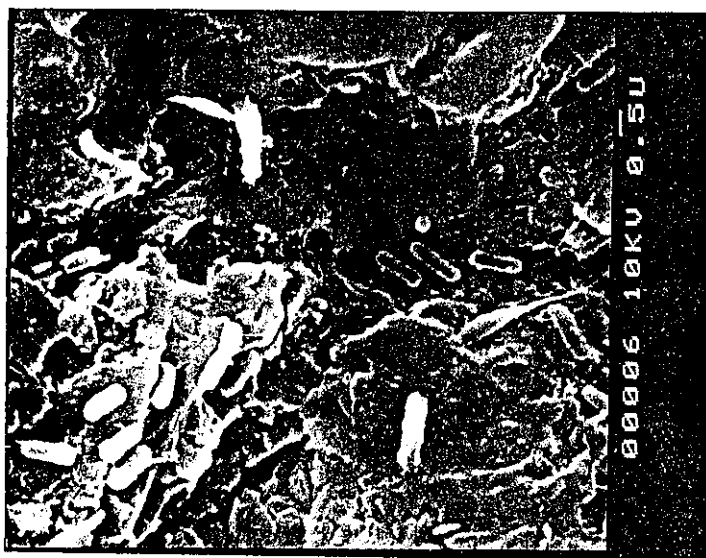


圖 4-16 原水僅含氮氣，無煙煤顆粒，表面之菌相，桿菌及球菌，10,000X



圖 4-17 原水僅含氮氣，乾式濾床出水流水中含雜質。含雜質、無煙煤碎片、菌、桿菌、鏈球菌，10,000X

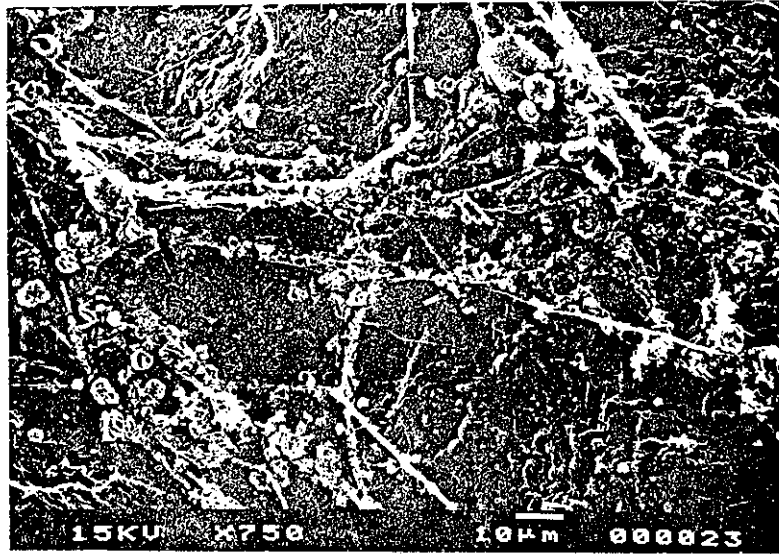


圖 4-18 原水含氨氮、蔗糖及腐植酸，無煙煤顆粒表面菌相類似纖維狀或菌絲狀之物質，750X

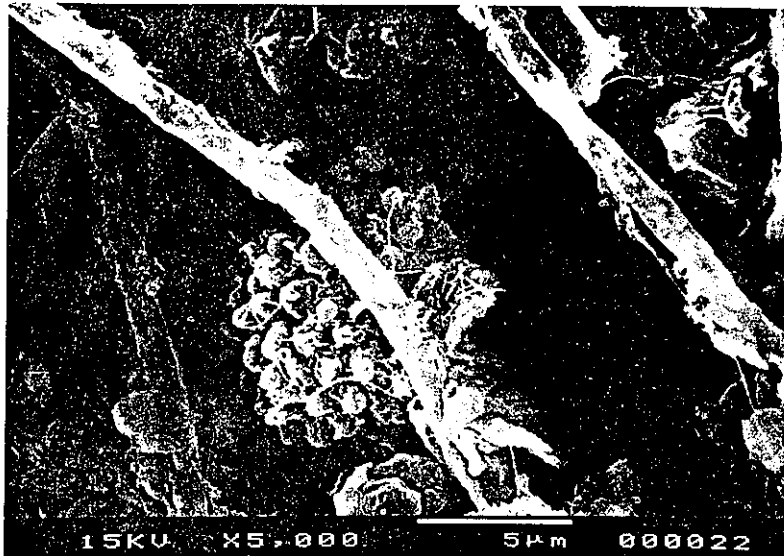


圖 4-19 原水含氨氮、蔗糖及腐植酸，無煙煤顆粒表面菌相，5,000X

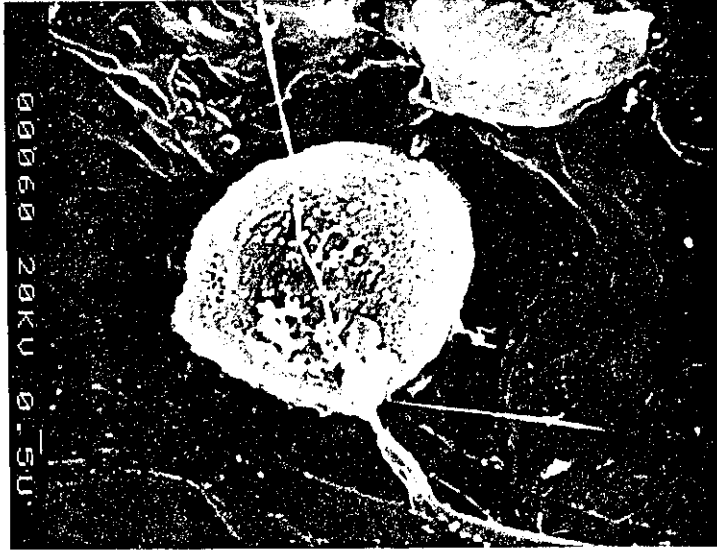


圖 4-20 原水含氮、蔗糖及腐植酸，  
無煙煤顆粒表面菌相，10,000X

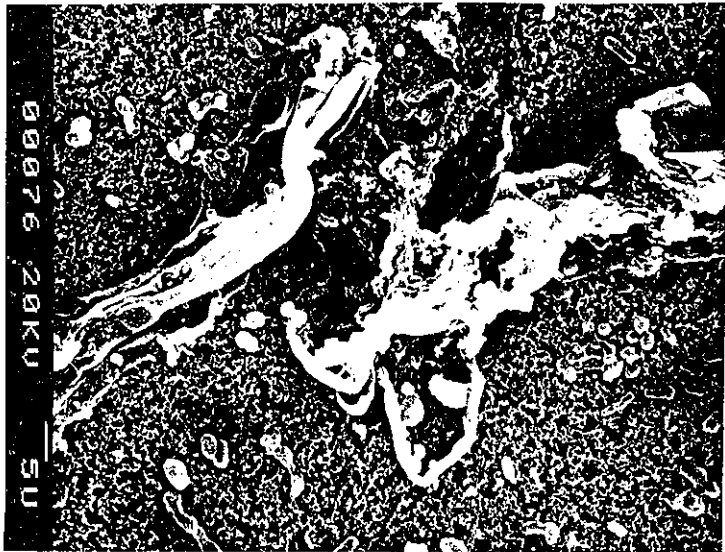


圖 4-21 原水含氮、蔗糖及腐植酸，  
乾式濾床出流水中之物質，  
3,500X

## 參考文獻

1. Seyfried, C.F. "Dry Bed Filtration as a second biological stage for the city of Mannheim (1,200,000PE)", *Wat. Sci. Tech.* Vol 16, pp.261~284 (1984).
2. Ruffer H. and K.H. Rosewinkel, "The use of Bio-filtration for further wastewater Treatment," *Wat. Sci. Tech.* Vol 16, Vienna, pp.241~260 (1984).
3. Richard, Y. C.F. Seyfried, "Advantage of Dual-Media Dry Filters in Biological Wastewater Treatment", *Wat. Sci. Tech.* Vol 19, Rio, pp.993~1002 (1986).
4. Anthonisen, A.C., et al, "Inhibition of Nitrification by Ammonia and Nitrous Acid", *J. WPCF*, Vol 48, pp.835~853(1976).
5. Shammass, Nazih Kh. "Interactions of temperature, pH and biomass on the nitrification process", *J. WPCF*, Vol 58, No.1 pp.52~59(1986).
6. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA. AWWA. WPCF. 1985. 16th.
7. 鄭吉宏, "臭氧預先處理對填充式生物濾床去除氨氮及有機物之影響," 國立成功大學環境工程研究所碩士論文, 民國七十六年五月。
8. 王朝民, "應用乾式濾床去除水中氨氮之可行性研究", 國立台灣大學環境工程研究所碩士論文, 民國七十八年六月。
9. Tanaka H. & I.J. Dunn, "Kinetics of Biofilm Nitrification," *Biotech and Bioeng.* Vol. X X IV, pp669~689 (1982).
10. Breed, R.S., et al., *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 7th ed., Williams and Wilkins co., Baltimore, U.S.A. (1957).
11. 王西華、王進琦, "基礎微生物學", 藝軒圖書出版社。
12. Nilsson Siwert, "Atlas of Airborne Fungal Spores in Europe," Springer-Verlay Berlin Heidelberg New York (1983).
13. 陳賢焜, "以填充式濾床法去除水中氨氮之研究", 國立成功大學環境工程研究所碩士論文, 民國七十五年六月。
14. 陳于姮, "臭氧處理對濾床內氮化合物轉化之影響", 國立成功大學環境工程研究所碩士論文, 民國七十八年八月。
15. 佐藤壯夫及河相則夫, "大阪府に於ける生物處理實驗", *用水と廢水*, 25 : 8 : 51 (1983)。
16. Buchanan, R.E., et al., "*Bergey's manual of Determinative Bacteriology*, 7th ed., Williams and Wilkins co., Baltimore, U.S.A. (1974).