

優養化水體中藻類生長對淨水處理水質的影響與去除方法之研究

The Influence of Algal Growth on Water Quality and the Removal of Algae and its Extracellular Products from Eutrophic Water

曾四恭¹ 錢世宇² 張朝謙³

摘要

本研究的研究內容分成兩大部分：第一部分是以前綠藻(*Chlorella sp.*)及混合藻類為研究的材料，來探討藻類在生長過程中對水質所造成的影響；第二部分則是利用混凝與活性碳兩種處理方法來探討對藻類與其胞外產物的去除效果。

一般藻類的生長時期共分成四個時期，遲滯期(lag phase)、生長期(log phase)、靜止期(stationary phase)與死滅期(decline phase)，在第一部分的研究結果中發現：藻類在遲滯期時所產生胞外產物的量很少，原因為藻類在此時期的生長相當緩慢，自然所分泌出的有機物量較少，但隨著藻類進入生長期，此時藻類大量繁殖而釋放出大量的有機物，所以胞外產物的量會增加的很快，最後藻類進入死滅期，因藻類細胞死亡而釋出有機物質，所以胞外產物的量也會增加，但增加的量也比較少。此外，將藻類在不同生長時期所產生的胞外產物做膠凝層析(gel filtration chromatography，簡稱 GFC)，以探討藻類在不同生長時期所產生胞外產物的分子量分布情形，由實驗結果中發現 *Chlorella sp.* 的胞外產物的分子量主要在 1000 ~ 3000 之間，而混合藻的分子量分布隨不同培養時間而有所不同，在生長期時有機物的分子量分布主要有兩個族群，一個是在 4000 ~ 6000 之間，另一個是低於 400 之下，隨著時間的增加，大分子量的物質會逐漸減少而小分子量的物質會逐漸增加，到了死滅期有機物的分子量主要集中在 1000 ~ 3000 之間，分子量低於 400 的物質也有增加，由上面的結果可以看出，不同的藻類所產生的胞外產物分子量的分布會不同，而且同一種藻類在不同生長時期所產生胞外產物分子量的分布亦會不同。

在第二部分的實驗中，發現利用多元氯化鋁及硫酸鋁兩種混凝劑來處理含有藻類與不含藻類的水樣，發現兩者對藻類本身的去除效果相當好，但對於藻類所產生的胞外產物的去除效率卻很有限，且不論含藻體與否，對胞外產物的去除率沒有多大的影響，去除效率都不高；而使用顆粒狀與粉末狀的活性碳來處理胞外產物發現效果比混凝劑的效果較好，且粉末狀的活性碳的去除效果較顆粒狀的活性碳為好。此外，經由 GFC 分析發現：混凝去除大分子量的有機物的效率較活性碳好，而活性碳對小分子量的有機物去除效率較混凝好。

此外，將處理後的水樣作三鹵甲烷生成潛勢(Tri-halo methane formation potential，THMFP)，發現活性碳對於 THMFP 的去除效率較混凝效果好，其中又以粉末狀活性碳的效果較好。

1:臺灣大學環境工程學研究所教授

2:臺灣大學環境工程學研究所博士班研究生

3:臺灣大學環境工程學研究所博士班研究生

優養化水體中藻類生長對淨水處理水質的影響與去除方法之研究

曾四恭¹ 錢世宇² 張朝謙³

摘要

本研究的研究內容分成兩大部分：第一部分是綠藻(*Chlorella sp.*)及混合藻類為研究的材料，來探討藻類在生長過程中對水質所造成的影響；第二部分則是利用混凝與活性碳兩種處理方法來探討對藻類與其胞外產物的去除效果。

一般藻類的生長時期共分成四個時期，遲滯期(lag phase)、生長期(log phase)、靜止期(stationary phase)與死滅期(decline phase)，在第一部分的研究結果中發現：藻類在遲滯期時所產生胞外產物的量很少，原因為藻類在此時期的生長相當緩慢，自然所分泌出的有機物量較少，但隨著藻類進入生長期，此時藻類大量繁殖而釋放出大量的有機物，所以胞外產物的量會增加的很快，最後藻類進入死滅期，因藻類細胞死亡而釋出有機物質，所以胞外產物的量也會增加，但增加的量也比較少。此外，將藻類在不同生長時期所產生的胞外產物做膠凝層析(gel filtration chromatography，簡稱 GFC)，以探討藻類在不同生長時期所產生胞外產物的分子量分布情形，由實驗結果中發現 *Chlorella sp.* 的胞外產物的分子量主要在 1000 ~ 3000 之間，而混合藻的分子量分布隨不同培養時間而有所不同，在生長期時有機物的分子量分布主要有兩個族群，一個是在 4000 ~ 6000 之間，另一個是低於 400 之下，隨著時間的增加，大分子量的物質會逐漸減少而小分子量的物質會逐漸增加，到了死滅期有機物的分子量主要集中在 1000 ~ 3000 之間，分子量低於 400 的物質也有增加，由上面的結果可以看出，不同的藻類所產生的胞外產物分子量的分布會不同，而且同一種藻類在不同生長時期所產生胞外產物分子量的分布亦會不同。

在第二部分的實驗中，發現利用多元氯化鋁及硫酸鋁兩種混凝劑來處理含有藻類與不含藻類的水樣，發現兩者對藻類本身的去除效果相當好，但對於藻類所產生的胞外產物的去除效率卻很有限，且不論含藻體與否，對胞外產物的去除率沒有多大的影響，去除效率都不高；而使用顆粒狀與粉末狀的活性碳來處理胞外產物發現效果比混凝劑的效果較好，且粉末狀的活性碳的去除效果較顆粒狀的活性碳為好。此外，經由 GFC 分析發現：混凝去除大分子量的有機物的效率較活性碳好，而活性碳對小分子量的有機物去除效率較混凝好。

此外，將處理後的水樣作三鹵甲烷生成潛勢(Tri-halo methane formation potential，THMFP)，發現活性碳對於 THMFP 的去除效率較混凝效果好，其中又以粉末狀活性碳的效果較好。

1:臺灣大學環境工程學研究所教授

2:臺灣大學環境工程學研究所博士班研究生

3:臺灣大學環境工程學研究所博士班研究生

一.前言

台灣水庫有逐漸優養化的驅勢，而優養化所帶來的問題即是藻類大量繁殖，藻類對於處理水質的影響，主要是在於藻類及藻類代謝所產生的一些溶解性的有機物質，這些有機物質即為產生THMs的主要有機物質。Hoehn *et.al.*(1980)由實驗證明藻類的biomass與其所產生的胞外產物(ECPs)經過加氯之後均會產生THMs，其中以三氯甲烷(CHCl_3)佔大部份，約佔總THMs的98%以上。另外他們也發現加氯後水中THMs的含量與水庫中葉綠素a濃度有很好的相關性，顯示藻類為一重要THMs的前驅物。

所以要解決此問題，除了減少營養鹽進入水體中外，對於已優養化的水體，則必需考慮其處理的問題。一般對於藻類本身利用混凝沉澱即可達到不錯的去效率，而對於藻類生長代謝所產生的胞外產物，大都為微量有機物質，需利用高級的處理程序才可去除。混凝沉澱是傳統的淨水處理單元，其應用於藻類的去除，經評估認為是最經濟可行的處理方法(Friedman *et.al.*, 1977; Golueke & Osmald, 1965)，而活性碳則是美國EPA認為去除微量有機物質最可行的方法，因此本研究將針混凝沉澱與活性碳兩個處理單元作探討，此外將處理後的水樣作三鹵甲烷生成潛勢(THMFP)，看何種處理單元對三鹵甲烷的去效率較好。

本研究即利用單一藻類(以綠藻為例)與混合藻類為研究材料，綠藻利用*Chlorella.sp.*，混合藻則實際從翡翠水庫進水口採樣，兩者均加以大量培養後再進行探討，並將兩者的結果作比較，評估運用於處理優養化水源的可行性。

二.材料與研究方法

- 材料：綠藻*Chlorella.sp*與混合藻。
- 研究方法：

1.藻類的培養：

- (1)配製培養液20升，綠藻利用NC營養液的配方，混合藻利用IDI營養液的配方(見表1)。
- (2)配好培養液後經高溫高壓滅菌30min。
- (3)植入適量藻種，在室溫下培養，以空壓機供應空氣，以植物燈管培氧，光照12小時(4000lx)。(見圖1)
- (4)固定時間採樣，測水樣的葉綠素a及過濾液的TOC。

2.藻類胞外產物的分子量分布的測定：

- (1)將Sephadex約50g浸泡於500ml去離子水中，浸泡3hr以上。
- (2)將浸泡液填充於管柱，管柱內不得有氣泡，之後以去離子水沖提管柱三天以上使膠體平衡。(見圖2)
- (3)以標準品作出標準曲線。
- (4)取水樣250ml水樣，以冷凍乾燥法濃縮水樣至20ml，取3ml濃

縮水樣注入管柱內，以去離子水充提分離樣品，以 fraction collector 每 10ml 收集一管，每管收集液測定 TOC。

表 1、藻類培養液配方

NC 營養液

儲備溶液	濃度 (M)	配方 (ml/L)
KNO_3	1.0	10
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.5	5
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.1	5
$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	0.2	14
K_2HPO_4	0.1	7
$(NH_4)_2CO_3$	1.0	0.1
Micronutrient	—	1
Fe-EDTA	—	1

IDI 營養液

儲備溶液	濃度 (M)	配方 (ml/L)
KNO_3	1.0	1
K_2HPO_4	0.1	2
NaH_2PO_4	0.2	4
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.5	4
$(NH_4)_2CO_3$	1.0	0.1
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.1	0.5
$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$	0.1	1-
$Na_3 - Citrate$	0.01	10
Micronutrient	—	1
Fe-EDTA	—	1
Vitamin B ₁₂	—	1
Vitamin B ₁ + B ₆	—	1
Soil extract	—	25

Micronutrient	濃度 (%)	配方 (g/500ml)
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.1	1.4377
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	0.1	0.8451
H_3BO_3	0.2	0.3092
$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0.02	1.1897
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.02	0.1210
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.0005	0.0125

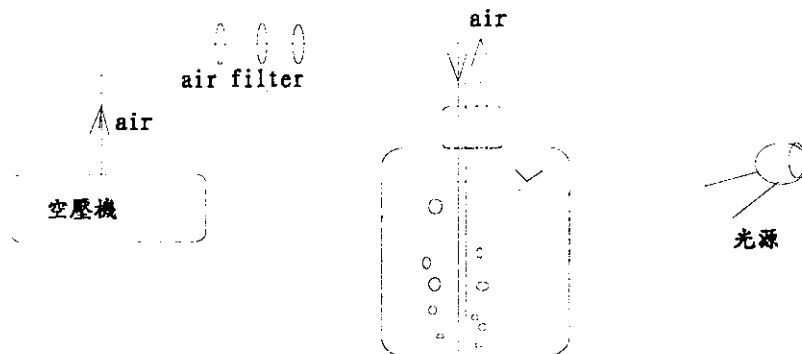


圖 1 藻類培養設備圖

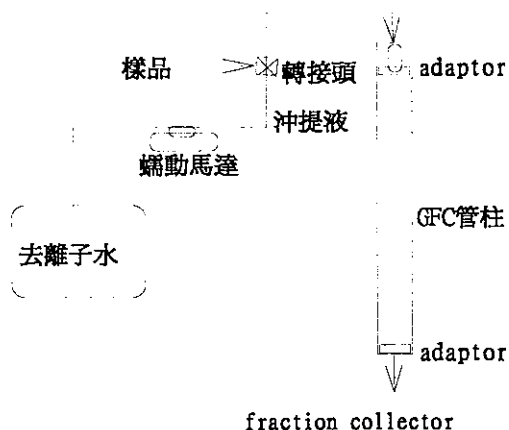


圖 2 GFC管柱設備圖

3. 混凝沉澱處理：

採用PAC及硫酸鋁($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)作為混凝劑：

- (1)將含有藻類水樣在自然狀態下沉澱3小時後，取上層澄清液1000ml倒入燒杯中置於Jar tester上。
- (2)分別加入200、250、300、400、500、600mg之PAC及硫酸鋁於燒杯中，100rpm快混30秒鐘，30rpm慢混30分後沉澱30分鐘，取其上澄液測定葉綠素a與TOC的含量，找出最佳的加藥量。
- (3)將水樣以孔徑 $0.45\mu\text{m}$ 的濾紙過濾後，重覆1~3步驟，量測TOC的含量以決定最佳的加藥量與pH值，並和前面的結果比較。

4. 活性碳處理

- (1)取100mL過濾後水樣於250mL錐形瓶內，分別加入0、50、100、200、300、400、500(mg/L)之GAC，於Jar tester上以150rpm下振盪，每隔一段時間取水樣一次，測水樣之TOC。
- (2)取100mL過濾後水樣於250mL錐形瓶內，分別加入0、20、50、100、200、250、400(mg/L)之PAC，於Jar tester上以150rpm下振盪，每隔一段時間取水樣一次，測水樣之TOC。

5. 葉綠素a之分析：

- (1)取適量水樣以 $0.45\mu\text{m}$ 濾紙過濾，過濾後把含有藻體之濾紙置於試管中，加10ml丙酮於含有濾紙之試管中，混合均勻後置於 60°C 水浴中60分鐘。
- (2)水浴後，將之置於黑暗狀態靜置60分鐘，冷卻後以4000rpm轉速離心10分鐘。
- (3)以分光光度計測定波長665nm時之吸光度 A_{665} 。
- (4)求Ca值： $\text{Ca} = 12.7 \times A_{665}$ 。
- (5)葉綠素a(mg/m^3) = $\text{Ca} \times \text{溶劑體積}(\text{ml}) / \text{水樣體積}(\text{L}) / \text{光路徑}(\text{cm})$

6. 總有機碳TOC分析：

利用O.I.coperation公司出產之Model 700 TOC Analyzer，將樣品先行酸化去除無機碳，然後以 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 強氧化劑將樣品中之有機碳在 100°C 濕式氧化(Wet-Oxidation)變成 CO_2 ，再以非分散性紅外線分析儀(NDIR)測定 CO_2 含量。

7. 三鹵甲烷生成潛能(THMFP)之測定

- (1)取水樣25ml置入棕色玻璃瓶內，加入磷酸鹽緩衝液5ml，再加入足夠次氯酸鈉溶液，使其反應7天後有5ppm之餘氯。
- (2)在黑暗中， 25°C 下靜置7天後，以GC-ECD偵測三鹵甲烷。

三.結果與討論

1.藻類的生長曲線及其生長代謝的胞外有機物

我們以葉綠素a的濃度代表藻類的數目，以TOC的量代表藻類生長所產生胞外產物的量。由圖3(a)我們可以得到不同時期綠藻的生長情形，其中0~20天為遲滯期，20~40天為生長期，40~60天為靜止期，60天以後為死亡期，而圖4(a)為不同時期混合藻類的生長情形，其中0~20天為遲滯期，20~35天為生長期，35~42天為靜止期，42天以後為死亡期。將兩者加以比較發現：混合藻的生長期與靜止期的時間比*Chlorella sp.*短，且葉綠素a的濃度較*Chlorella sp.*低，其主要的原因可能有下列兩種：(1)*Chlorella sp.*的生長速率比較快，混合藻中可能有藻類生長速率比較慢。(2)*Chlorella sp.*為綠藻，葉綠素a的濃度可能比較混合藻來得高。

由圖3(b)與圖4(b)我們可以得到不同時期藻類的生長所產生的胞外產物，兩者的情形相當類似，TOC增加的量在剛開始的時後增加比較緩慢，到了生長期時胞外產物增加的速度明顯地增快，隨後有機物的含量仍會增加，但增加的速度較為緩慢，此時主要是藻類逐漸死亡分解所產生的有機物質。

因混合藻的數目比*Chlorella sp.*來得少，所以TOC的增加量當然不若*Chlorella sp.*來得明顯。

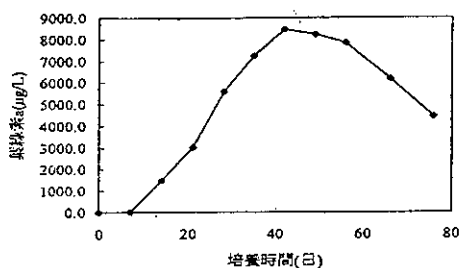


圖 4.1 *Chlorella sp.* 之生長曲線

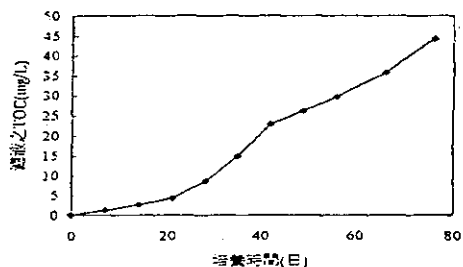


圖 3(a) *Chlorella sp.* 之生長曲線 圖 3(b) *Chlorella sp.* 生長代謝的有機物量

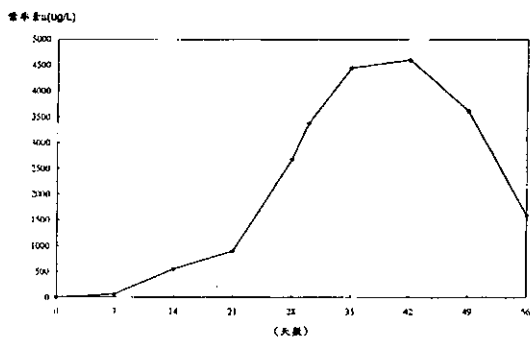
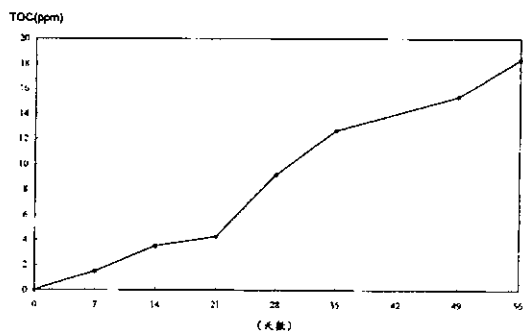


圖 4(a) 混合藻之生長曲線



4(b) 混合藻生長代謝的有機物量

2.由GFC來看藻類胞外產物的分子量分布

(1).利用GFC由來量測未之物質的分子量之前，必需先製備一標準曲線，再由此標準曲線作內插求得樣品的分子量。本次實驗所選擇的標準樣品的分子量有PEG-400，PEG-1000，PEG-4000，PEG-6000，將其做成標準曲線如圖5，與並將分子量分成幾個範圍如表2。

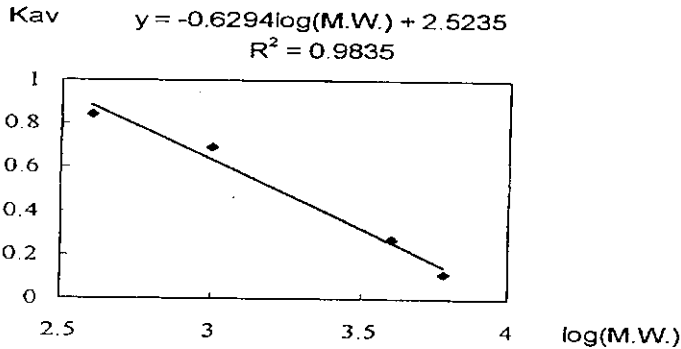


圖5 GFC的標準曲線

表2 GFC的標準樣品分子量分布範圍

	Kav	支數	分子量範圍
族群1	<0.11	1~13	>6000
族群2	0.11~0.27	13~17	6000~4000
族群3	0.27~0.69	17~28	4000~1000
族群4	0.69~0.85	28~32	1000~400
族群5	>0.85	32~40	<400

(2).由圖6看出 *Chlorella sp.* 在培養20天之後的分子量主要分布在1000~3000之間，而圖7(a)是表示混合藻培養15，30，45天之後分子量的分布情形，7(b)是表示混合藻培養15，30，45，60天之後分子量的分布情形，將兩者加以對照，我們不難發現在培養15天的分子量有兩個族群，一個小於400，另一個在4000~6000之間，到了培養30天，仍有小於400與4000~6000有兩個族群，但在4000~6000之間量比培養15天的量為少，到了45天在4000~6000之量改變不大，而在1000~3000之間的量突然增加，在60天之後發現分子量主要是在1000~3000之間，且量相當多，推測其原因可能在培養過程中因藻種無法滅菌，可能帶有細菌進入，這些細菌可將大分子量的物質分解成小分量的物質，所以在高分子量的部份量很少，而主要分布在1000~3000之間的原因有可能為此類有機物細菌已無法再進行分解；此外，我們也看到另一個現象，綠藻培養到最後其有機物的分子量分布也在1000~3000之間，這與混合藻的情形相當類似，因混合藻培養到最後也是以綠藻為主，所以其分子量分布也是在1000~3000之間。

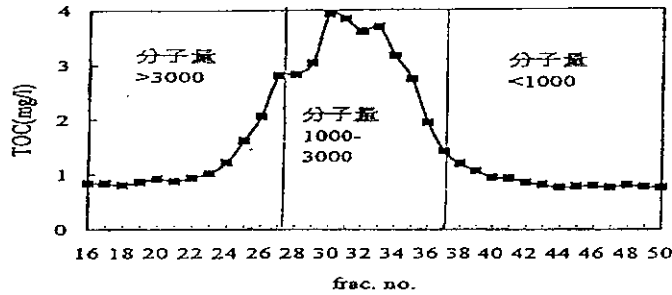


圖 6 *Chlorella sp.* 胞外產物的分子量分布

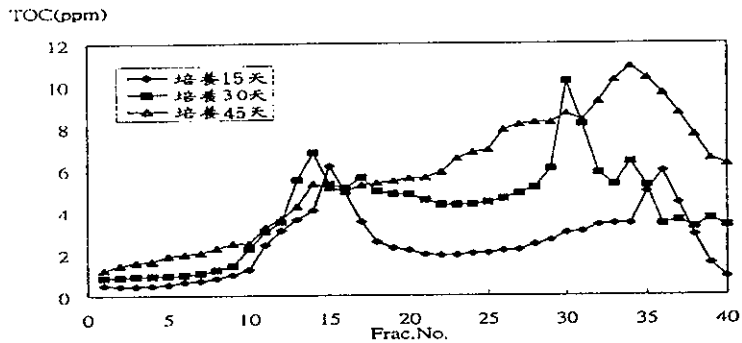


圖 7(a) 混合藻培養 15, 30, 45 天胞外產物的分子量分布

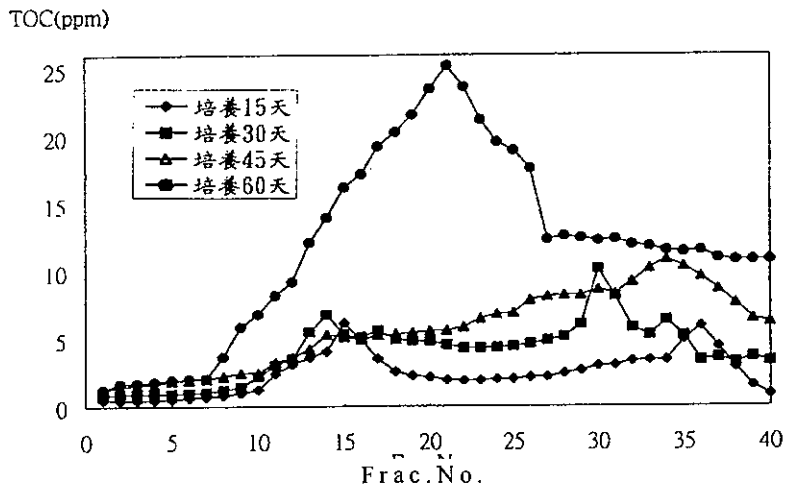
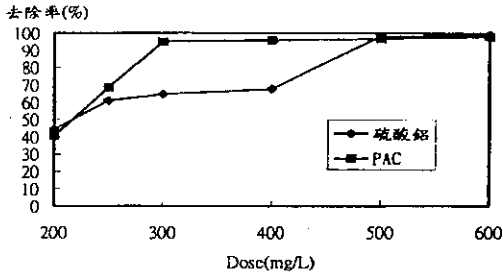


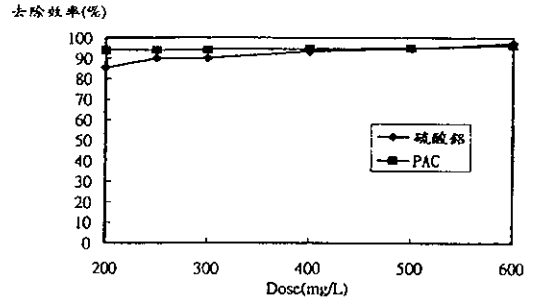
圖 7(b) 混合藻培養 15, 30, 45, 60 天胞外產物的分子量分布

3. 以混凝沉澱除去水中藻體

由圖 8 為 PAC 及硫酸鋁對 *Chlorella sp.* 藻體的去除效果，而圖 9 為 PAC 及硫酸鋁對混合藻藻體的去除效果，發現此兩種混凝劑對 *Chlorella sp.* 與混合藻皆可有 90% 以上的去除效果，此外，選擇在加藥量為 600 mg/L 時，在不同的 pH 值之下的去除率，我們發現硫酸鋁在 pH 值為 6 的時候去除效效率最好，而 PAC 在 pH 值為 5 的時候去除效效率最好，而 PAC 的去除效率較硫酸鋁為好 (見圖 10)。



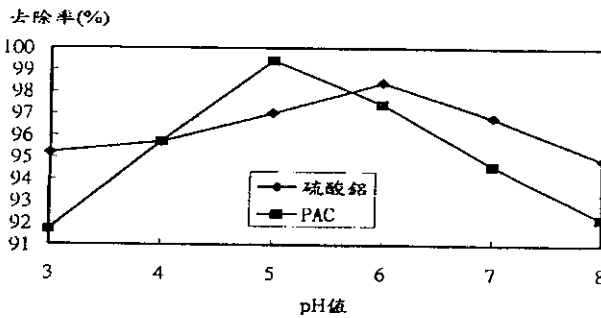
(起始葉綠素a濃度=5753mg/L)



(起始葉綠素a濃度=5010mg/L)

圖 8 以混凝沉澱處理 *Chlorella sp.*

圖 9 以混凝沉澱處理混合藻

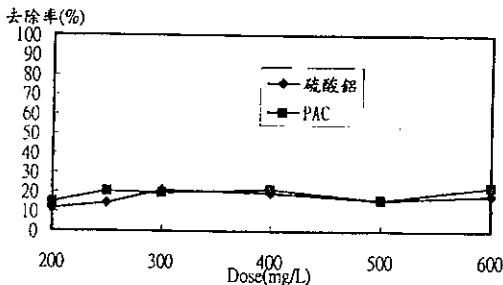


(起始葉綠素a濃度=6322mg/L)

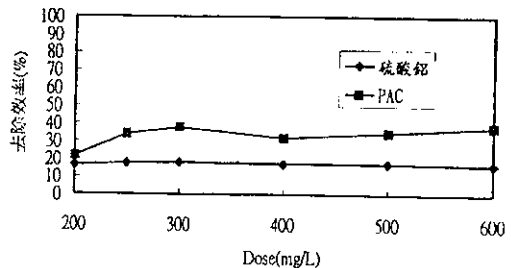
圖 10 混合藻在不同 pH 值之下的去除效率(加藥量為 600mg/L)

4. 以混凝沉澱除去藻類的胞外產物

由圖 11, 12 可以看出不論是利用 PAC 或硫酸鋁, 對 *Chlorella sp.* 或是混合藻所產生 TOC 的去除效率都很低, 大約只有 10~30% 左右, 且由圖 13, 14 也可以看出利用 PAC 作混凝劑時, 過濾後水樣的去除效率比含藻體的水樣要來的高一些, 但利用硫酸鋁時發現, 過濾後的水樣的去除效率比含藻體的水樣要來的低, 且兩者間沒有什麼明顯的規律。所以我們可以推論藻體的存與否, 對水中 TOC 的去除效率沒有多大的影響, 其去除效率都很有有限。



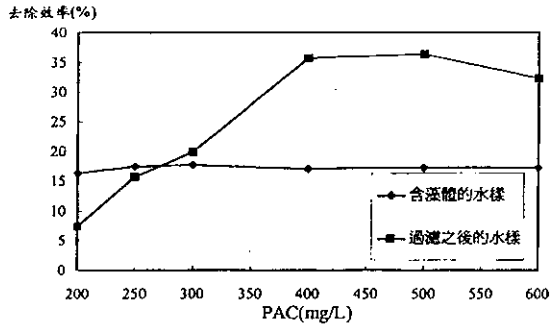
(起始 TOC 濃度 = 21.18 mg/L)



(起始 TOC 濃度, 硫酸鋁 = 17.05 mg/L
PAC = 9.93 mg/L)

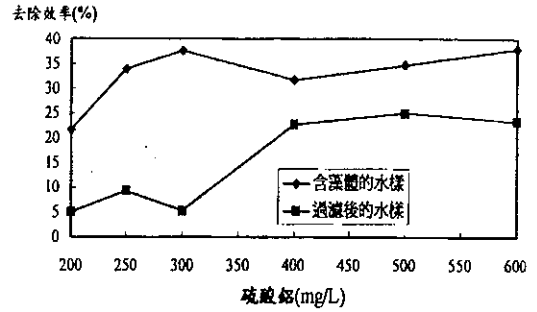
圖 11 以混凝沉澱處理 *Chlorella sp.* 的胞外產物

圖 12 以混凝沉澱處理混合藻的胞外產物



(起始 TOC 濃度 10.06 mg/L)

圖 13 以 PAC 處理混合藻
- 含藻體與過濾後水樣



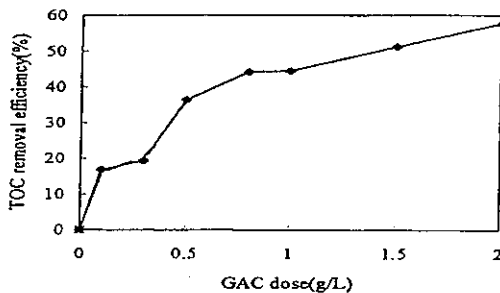
(起始 TOC 濃度 10.06 mg/L)

圖 14 以 硫酸鋁 處理混合藻
- 含藻體與過濾後水樣

5. 以活性碳處理藻類的胞外產物

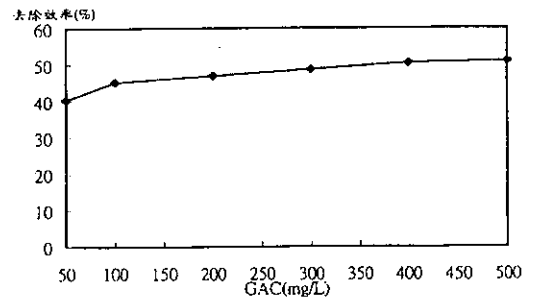
以顆粒狀的活性碳(GAC)來處理 *Chlorella sp.* 與發現隨加入 GAC 的量的增加而去除效率會增加，大約可達到 55% 左右，其所需的加藥量約為 200 mg/L。(見圖 15)

對於混合藻類而言，以顆粒狀活性碳來處理時，發現其去除效率大約也只有 50% 左右，此與 *Chlorella sp.* 與的去除效率相當(見圖 16)，大約 12 小時後其吸附以達平衡，再由圖 17 中看出其需要量大約為 100 mg/L。而以粉末狀的活性碳來處理時我們發現其去除效率可達到 80%~90% 之間(見圖 18)，也是大約 12 小時後其吸附以達平衡，由圖 19 中看出其需要量大約也是 100 mg/L。雖然兩者的用量差不多，但很明顯的可以看出用粉末狀的活性粉末狀的活性的去除效果比顆粒狀活性碳好非常多，其原因可能是粉末狀的活性碳其接觸面積比較大，可以吸附的有機物量比較大，所以去除效果比較好。



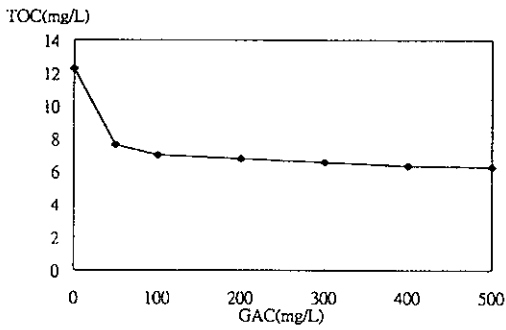
(起始 TOC 濃度 3.67 mg/L)

圖 15 以 GAC 處理 *Chlorella sp.*
過濾後水樣的 TOC 之去除效率

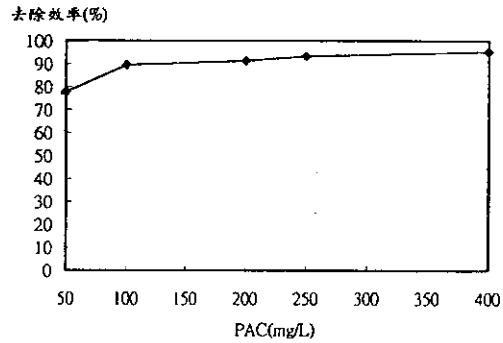


(起始 TOC 濃度 12.10 mg/L)

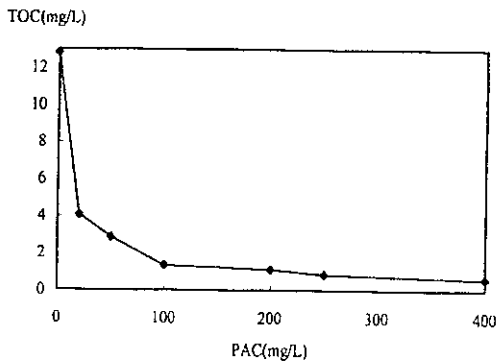
圖 16 以 GAC 處理混合藻
過濾後水樣的 TOC 之去除效率



(起始 TOC 濃度 12.10 mg/L)
圖 17 以 GAC 處理混合藻
過濾後水樣的 TOC (12 小時後)



(起始 TOC 濃度 12.58 mg/L)
圖 18 以 PAC 處理混合藻
過濾後水樣的 TOC 之去除效率



(起始 TOC 濃度 12.58 mg/L)
圖 19 以 GAC 處理混合藻
過濾後水樣的 TOC (12 小時後)

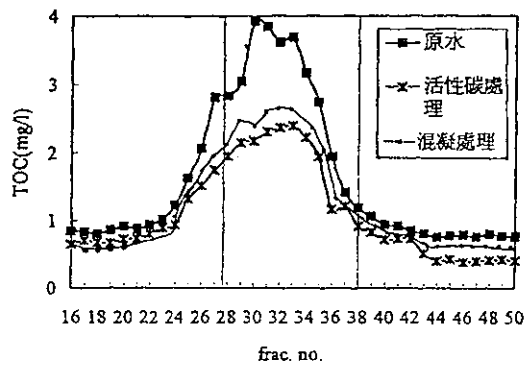


圖 20 *Chlorella sp.* 胞外產物處理
前後的分子量分布

6. 以膠凝層析來看混凝與活性炭能處理藻類胞外產物的分子大小

將 *Chlorella sp.* 經顆粒狀的活性炭 (GAC) 處理後再經膠凝層析 (GFC) 分析之後發現在 1000 ~ 3000 之間的分子量被去除的量為最大，其次是小分子量的範圍 (約 < 1000)，對於大分子量有機物的去除量為最少；而利用混凝沉澱處理後的分子量分布中發現：1000 ~ 3000 之間的分子量被去除的量仍為最多，但比 GAC 的量為少，但大分子量有機物的去除量比 GAC 為多；而小分子量的去除量比 GAC 為少，但大分子量與小分子量的效果並不明顯。(見圖 20)

對於混合藻類而言，不論我們用混凝沉澱、GAC、PAC，都可以發現在 1000 ~ 3000 之間分子量的有機物的去除量為最多，但以 PAC 能去除的量為最多，其次為 GAC，混凝沉澱所能去除的量最少；在大分子量的地方因濃度較低，所以不易觀察到其間去除的比例關係，但可以看出仍以 PAC 能去除較多量的有機物；而對於小分子量的部分以 PAC 能去除的量為最多，其次是 GAC，

混凝沉澱能去除的量還是最少，此結果與 *Chlorella sp.* 的效果相當類似。(見圖 21)

綜合以上的結果，活性碳對於分子量小於 3000 的有機物去除效果還不錯很好，尤其當分子量小於 1000 時其效果更好，但對於大分子量部分的去除效率相當有限，而混凝沉澱的效果則相反，在分子量較大的地方去除效率會比活性碳來得好些。

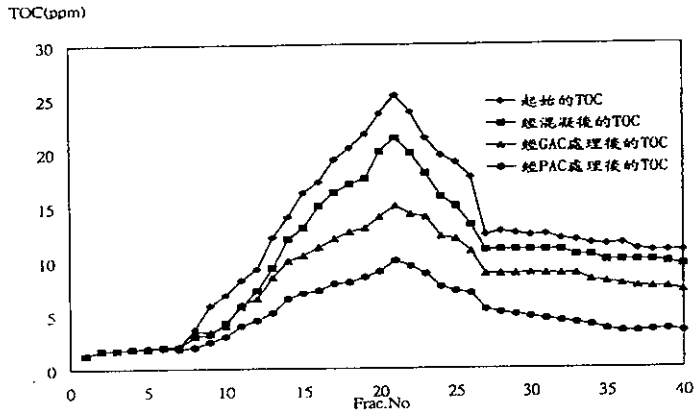


圖 21 混合藻胞外產物處理前後的分子量分布

7. 處理程序對 THMs 的控制效率

將經由處理後的水樣作三鹵甲烷生成潛勢 (THMFP) 中，我們發現經由 PAC 處理後的水樣其 THMFP 的減少率為最大，而 GAC 的減少率為居中，混凝沉澱的減少率為最低。且通常隨著有機物去除率的增加而 THMFP 的減少率也隨之增加，之間略有成正比的驅勢。利用活性碳處理的水樣，因有機物去除率與加藥量成正比，所以 THMFP 的減少率也隨之增加，但混凝沉澱的有機物去除率與加藥量並未有成正比的趨勢，所以 THMFP 的減少率比較沒有規律性。(見圖 22, 23, 24, 25, 26)

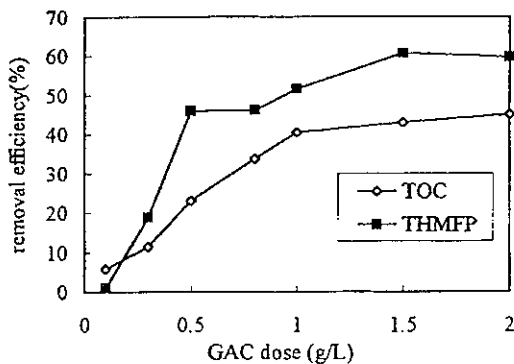


圖 22 GAC 對 *Chlorella sp.* 胞外產物的 TOC 與 THMFP 之去除效率

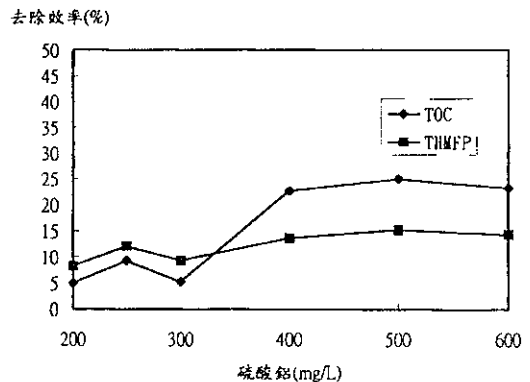


圖 23 硫酸鋁對混合藻胞外產物的 TOC 與 THMFP 之去除效率

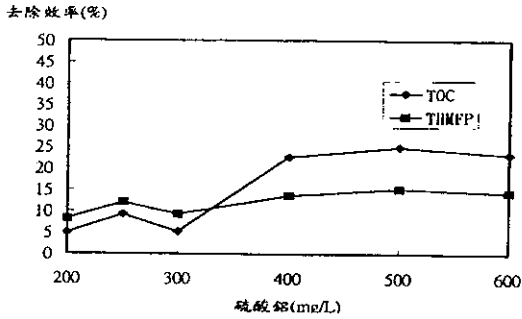


圖 24 多元氯化鋁對 *Chlorella sp.* 胞外產物的 TOC 與 THMFP 之去除效率

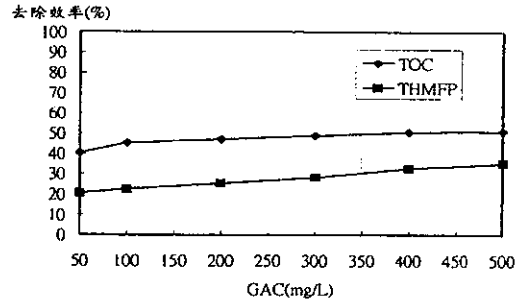


圖 25 GAC 硫酸鋁對混合藻胞外產物的 TOC 與 THMFP 之去除效率

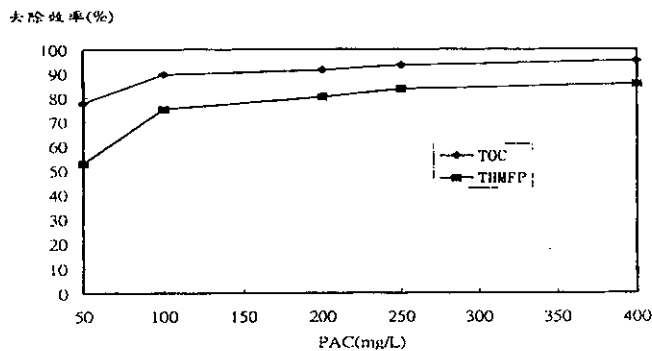


圖 26 PAC 硫酸鋁對混合藻胞外產物的 TOC 與 THMFP 之去除效率

四. 結論與建議

- 藻類生長的情形與其產生的胞外產物隨藻種的不同而有所不同，像 *Chlorella sp.* 的生長速度較混合藻快，且產生的有機物量比較多，但兩者所產生的有機物量都會隨著藻類培養時間的增加而增加。
- 經由膠凝層析的結果中發現，在各種不同生長時期，有機物的分子量分布也會不同，以混合藻為例，初期大、小分子量的物質皆有，隨著時間的增長，大分子量的物質會逐漸被分解成小分子量的物質，到了死滅期分子量主要都集中於 1000 ~ 3000 之間，此種分子量的分布和 *Chlorella sp.* 的情形類似，其有機物的分子量也是分布於 1000 ~ 3000 之間。
- 混凝沉澱對藻體本身的去除效果很好，可達 90% 以上，但對胞外產物的去除效率卻很低，大約只有 20% ~ 30% 左右，且藻體的存在與否對其胞外產物的去除效率並沒有多大的影響。
- 利用活性碳來去除胞外產的效率比較高，顆粒狀活性碳大約有 50% 的去除效率，而粉末狀的活性碳會有 80% ~ 90% 的去除率。

5. 處理過後的水樣經膠凝層析分析之後發現，粉末狀的活性碳能大量去除分子量在 1000 ~ 3000 的有機物以的有機物，凝沉澱所能去除的量為最少；分子量大於 3000 的有機物因濃度較低，故不易看出其規律性；分子量低於 3000 的有機物也是以粉末狀的活性碳所能去除的量最大，其次為顆粒狀的活性碳，凝沉幾乎沒有去除效果，由以上的結果知道活性碳可以去除分子量較小的的物質，凝沉則無法除去小分子量的物質。
6. 將處理過後的水質進行 THMFP 分析發現：活性碳對於 THMFP 的去除率隨著 TOC 去除量的增加而增加，且去除效率比凝沉高，因活性碳能去除大量的有機物，而凝沉所能去除的有機物量有限，此外，活性碳中又以粉末狀的活性碳效果比較好。

參考文獻

1. 曾四恭, 劉志仁, "水庫優氧化對水質影響及水質處理研究", 行政院環境保護署 (1993)
2. 曾四恭、蔡利局等, "傳統淨水程序對水源中藻類之去除及改善方法88研究" 臺灣省自來水公司委托國立台灣大學環境工程研究所, (1988)
3. 李淑珍, 陳從和譯, "產生臭與味的藻類" 自來水 14期, (1985)
4. 陳是瑩, 曾怡禎, "澄清湖藻類圖鑑", (1986)
5. 蔣本基, "工業廢水活性碳處理" 工業污染防治技術手冊之7, (1987)
6. 高思懷, "利用活性碳處理自來水中溶解有機物", 國立台灣大學環境工程研究所碩士論文(1981)。
7. 唐文國, "顆粒活性碳處理上的應用", 自來水 33期(1990)
8. Carlson, M.A., Heffernan, K.M.; Ziesemer, C.C. and Snyder, E.G. "Comparing two GACs for adsorption and biostabilization", *J. AWWA*. 86:3:91(1994)
9. Committee Report, "Organics Removal by Coagulation: A Review and Research Needs", *J. AWWA*. 71 : 10 : 588(1979)
10. Hoehn, R. C.; Barnes, D. B.; Thompson, B. C.; Randall, C. W.; Grizzard, T. J. & Shaffer, P. T. B. "Algae as sources of trihalomethane precursor", *J. AWWA*. 72:6:344 (1980)
11. Lee, M. C.; Snoeyink, V. L. & Crittenden, J. C. "Activated Carbon Adsorption of Humic Substances", *J. AWWA*. 73:8:440(1981)
12. Rook, J. J. *etal.* "Objective and Procedures for GAC Treatment", *J. AWWA*.

13. Schnitzer, M. & Kodama, H. "Montmorillonite: Effect of pH on its Adsorption of a Soil Humic Compound", *Science*, 153 : 70 (1966)
14. Tenny, M. W., "Algal Flocculation with Aluminum Sulfate and Polyelectrolytes", *Appl. Microbiol.*, 18:6:965 (1968)
15. Speedy, R. R. et. al., "Algal Removal in Unit Process", *J. AWWA*, June, 344-350 (1980)
17. Hundt, T. R. and C. R. O'melia., "Aluminum-fulvic acid interactions: mechanism and applications", *J. A. W. W. A. Vol 80, No. 4 p176* (1988)
18. Dentel S. K. et. al., "Mechanism of coagulation with aluminum salts", *J. A. W. W. A. Vol 80, No. 4 p187* (1988)
19. 秋葉道宏、後藤光龜及佐藤敦久 “*Chlorella sp.* の細胞内外有機物質の凝集阻害に關す爲基礎研究”水道協會雜誌 **Vol60, No.2 pp2-9 (1991)**。
20. 福島博、相尺貴子及真炳泰基 “藻類増殖過程で生成さる爲トリハメタン 前驅物質の評價”水質汚濁研究, **Vol6, No.3 pp175-182 (1983)**。