

## 平板式陶瓷薄膜結合臭氧微氣泡提升過濾藻類及胞外物效率之研究

楊婉芝，弘光科技大學環境與安全衛生工程系專題生  
洪為閔，弘光科技大學環境與安全衛生工程系碩士生  
林浩瑋，弘光科技大學環境工程研究所碩士  
黃文鑑\*，弘光科技大學環境與安全衛生工程系教授

### 一、前言

水質優養化的問題包含藻類代謝大量有機物和藻毒素將引發各項水質負面反應，如臭味、飲用水安全等問題。自來水水源中藻類、細菌、藻類代謝之胞外物/藻毒素及天然有機物(NOM)等可藉由薄膜處理(Membrane filtration module)技術去除，本研究使用的 Ultrafiltration 平板式超過濾薄膜(UF)具抗氧化、機械強度高等優點，相當適合結合臭氧去除致病菌、藻類及部分大分子有機(NOM)，且能避免各種消毒副產物之生成。現階段自來水廠前臭氧單元，臭氧操作劑量超過 1.0 mg/L 劑量後，臭氧即能破壞藻類細胞而釋放胞內物、胞外物。本研究是利用耐氧化劑及耐腐蝕的平板式陶瓷薄膜(Hat-sheet ceramic membrane)結合臭氧(ozonation)的複合式程序，將臭氧以微米氣泡方式結合在同一槽體進行過濾，反應槽設計是利用平板式超過濾陶瓷薄膜的沉浸式過濾系統中同時通入臭氧氣泡，此反應槽同時結合臭氧微米微泡，因微米氣泡除可以提高臭氧傳輸效率，增加水中臭氧含量並間接降低臭氧施加劑量，同時也因微米氣泡與陶瓷薄膜表面過濾之顆粒物及有機質之協同效應(Synergetic effect)，能降低微生物在膜孔洞內繁殖，具抗生物阻塞作用(Anti-biofouling)，達到較長之操作濾程。

### 二、研究方法

本研究利用可控制溫度、光照強度及通入定量空氣補充藻類所需之碳源，並且定期添加適當量之營養鹽培養綠球藻(Chlorella)以及微囊藻(Microcystis)。此外於培養期間定時使用相差螢光顯微鏡觀察並利用血球計數器換算其生長濃度並繪製出生長曲線。實驗進行時將綠球藻以及微囊藻之藻密度濃度稀釋至 10 的 6 次方，並搭配平板式陶瓷薄膜試驗模組結合臭氧微氣泡進行過濾，如圖 1 所示臭氧微氣泡防止薄膜阻塞示意圖。並每隔五分鐘進行採樣入流水(只跟臭氧接觸)及出流水(經臭氧及薄膜過濾)。藻類的藻密度以及經過臭氧後之臭氧分析等，並且找出最佳之操作方法及條件。

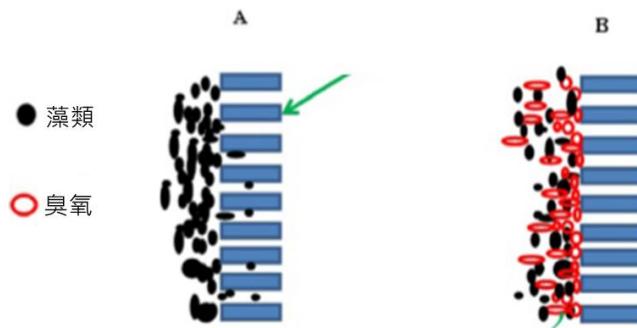


圖 1 臭氧微氣泡防止薄膜阻塞示意圖。

### 三、結果與討論

#### 3-1、SEM 分析之結果

利用 SEM 對過濾前、後之藻細胞進行分析，圖 2(A)為過濾前之藻細胞(B)為藻類經臭氧氧化分解後，使藻細胞壁崩解(溶胞現象)之圖片。

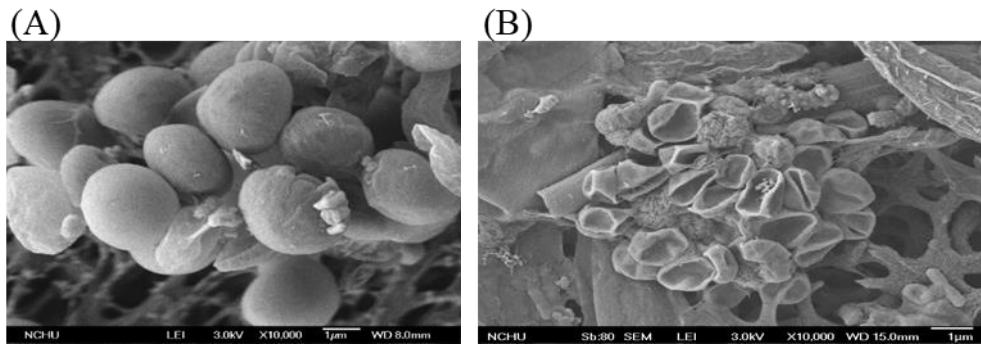


圖 2 (A)過濾前藻細胞(B) 經臭氧裂解之藻細胞

#### 3-2、藻密度分析之結果

圖 3 為不同過濾時間水樣經相位差顯微鏡觀察並使用湯瑪氏血球計數器計算出藻密度。

原水藻密度 分鐘數	綠球藻: 2.95E+07	微囊藻: 3.79E+06	混種藻: 1.3E+07
5min	7.92E+06(73%)	2.33E+05(93%)	3.25E+06(75%)
10min	6.42E+06(78%)	2.08E+05(94%)	3.54E+06(80%)
15min	3.58E+06(88%)	3.75E+05(90%)	2.46E+06(81%)
20min	1.92E+06(93%)	1.25E+05(96%)	2.13E+06(84%)
25min	6.67E+05(98%)	2.5E+05(93%)	1.63E+06(88%)
30min	1.25E+06(98%)	4.17E+04(98%)	1.71E+06(87%)

圖 3 為綠球藻及微囊藻之藻密度。註: ()內為去除效率

#### 3-3、藻密度分析之結果

以下為綠球藻(圖 4)、微囊藻(圖 5)、混種藻(圖 6)過濾後經流式細胞儀分析出細胞存活率最低值與原水存活率之對比。

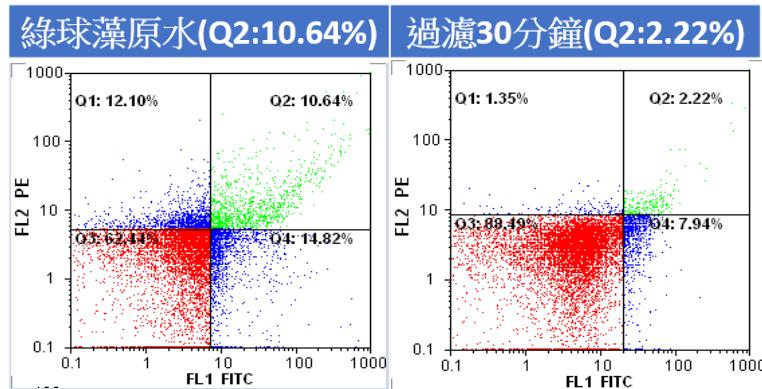


圖 4 綠球藻存活率對比。註: ()內為存活率

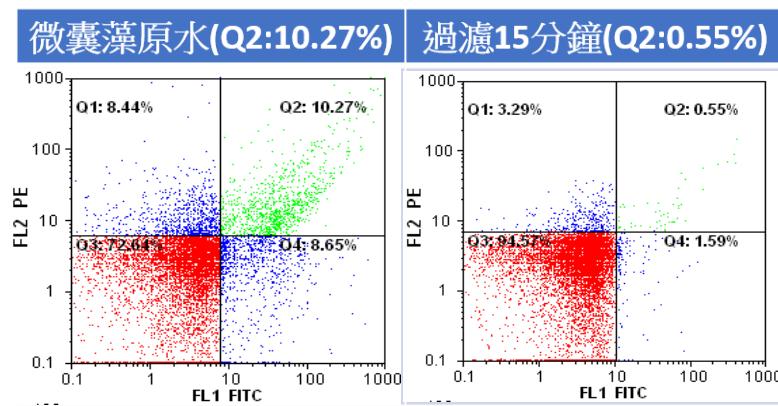


圖 5 微囊藻存活率對比。註: ()內為存活率

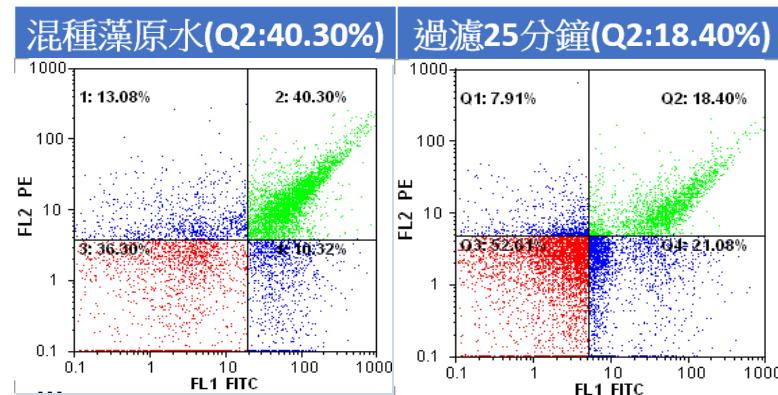


圖 6 混種藻存活率對比。註: ()內為存活率

#### 四、 結論

1. 平板式陶瓷薄膜結合臭氧微氣泡可達到純種藻類-微囊藻及綠球藻去除率 95%以上。同時藻細胞存活率可降至 2%以下。
2. 本研究將陶瓷薄膜表面鍍膜  $ZrO_2$  催化劑，對膜過濾藻類的通量並未造成顯著影響，與未鍍膜者相同能夠達到良好之過濾效果。

3. 陶瓷薄膜應用噴塗法鍍膜催化劑後，膜的表面之孔洞雖略有減少趨勢，但搭配臭氧微米氣泡，能夠增加藻類被臭氧接觸的殺滅效果及減少薄膜阻塞之間題。亦即以陶瓷薄膜結合催化劑產生之催化臭氧相較於單獨利用臭氧去除藻類，更可提升微囊藻以及綠球藻去除效果。
4. 臭氧除藻過程藻液中溶解性有機碳之增加，推估為藻類代謝物 (EPS) 至藻細胞釋出所導致，而結合陶瓷膜可將大分子有機物過濾去除，例如可溶性微生物代謝物。然而小分子有機物去除效率有限，例如第二類芳香蛋白族化合物、黃酸。
5. 平板式陶瓷薄膜可截留藻細胞，在未經臭氧施加條件下，藻細胞與代謝物易形成藻團附著在膜表面，減少通量。施加臭氧可降低藻團凝聚，減少生物性阻塞。

## 五、參考文獻

1. Chih-Chao Wu, Winn-Jung Huang and Bo-Hao Ji (2015, Mar). Degradation of cyanotoxin cylindrospermopsin by TiO<sub>2</sub>-assisted ozonation in water. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 50, 1116 – 1126.
2. Shu-Yu Chang, Winn-Jung Huang, Ben-Ren Lu, Guor-Cheng Fang, Yeah Chen, Hsiu-Lin Chen, Ming-Chin Chang and Cheng-Feng Hsu (2015, Dec).
3. Bahramian B., Ardejani F.D., Mirkhani V. and Badii K., Diatomite-supported manganese Schiff base: An efficient catalyst for oxidation of hydrocarbon. *Applied Catalysis A: General*. 345, 97-103, 2008.
4. Bian X., Li C., Chen W. and He J., Permeability of diatomite layers processed by different colloidal techniques. *Appl. Surf. Sci.* 207, 378-383, 2003.
5. Winn Jung Huang, Cheng Feng Hsu and Yao Ming Wang, Kinetic decomposition of ozone, geosmin, and 2-methylisoborneol during catalytic ozonation. *Sustainable Environment Research*, 22, 78-83, 2012.
6. Arkadiusz Nędzarek, Arkadiusz Drost, Filip Harasimiuk, Agnieszka Tórz, Małgorzata Bonisławska, Application of ceramic membranes for microalgal biomass accumulation and recovery of the permeate to be reused in algae cultivation. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 153, 367–372, 2015.
7. Jeonghwan Kima, Simon H.R. Davies, Melissa J. Baumannb, Volodymyr V. Tarabara, Susan J. Masten, Effect of ozone dosage and hydrodynamic conditions on the permeate flux in a hybrid ozonation–ceramic ultrafiltration system treating natural waters. *Journal of Membrane Science*, 311, 165–172, 2008.