



圖1 微囊藻屬(*Microcystis*)常在水庫形成藻華現象。

藻類與環境

文／吳俊宗

引言

在地球初形成時，地表是高溫且無氧的環境，在藻類出現後，由於它行有光合作而改變了原先無氧的地球環境，隨後才有其他好氧性生物的出現。現今地球上有多樣性的生物，藻類算是始祖之一。藻類行光合作用，利用光能將無機碳固定成為有機碳，在生態上被稱為初級生產者，在水域環境中，它提供初級消費者（動物）的食物。例如全球海洋面積約有 3.61×10^8 平方公里，估計每年每平方公里中的藻類能製造出約375公噸有機碳；因此，藻類供應水生物所需要的氧氣和食物，在生態系中的角色不可被取代。此外，藻類在水中行光合作用所產生的氧氣也會釋放大氣中，也間接供應大氣中的氧氣。事實上，藻類是地球圈中最主要的氧氣貢獻者。

藻類種類眾多，分佈非常廣泛，在各種環境包括水域和陸域，如海洋、湖泊、

水庫、溪流、土壤、岩石、樹幹、溫泉、冰雪、地底下等皆有，甚至在空中、雲霧裡也可找到其蹤影。

環境影響藻類

大多數的藻類生長在水中，因此水中的物理和化學環境都會影響藻類的生長，舉凡水溫、酸鹼度、溶氧量、光照度、濁度、導電度或營養鹽類，如各種氮鹽、磷、有機碳、無機碳、各種陽離子、陰離子、硬度、鹼度等，都會直接或間接影響藻類的生長；而當藻類生長時，也會反過來影響水環境。例如，藻類行光合作用時會造成水中酸鹼度值上升，水中溶氧量增高；藻類大量滋長時使水中透明度下降；藻類生長時吸收利用水中營養鹽類，而降低水中營養鹽類的濃度；藻類生長時會釋放某些有機物到水中，而改變水質。愈來愈多的研究發現，藻類與環境間係相互影響，其例子不勝枚舉。

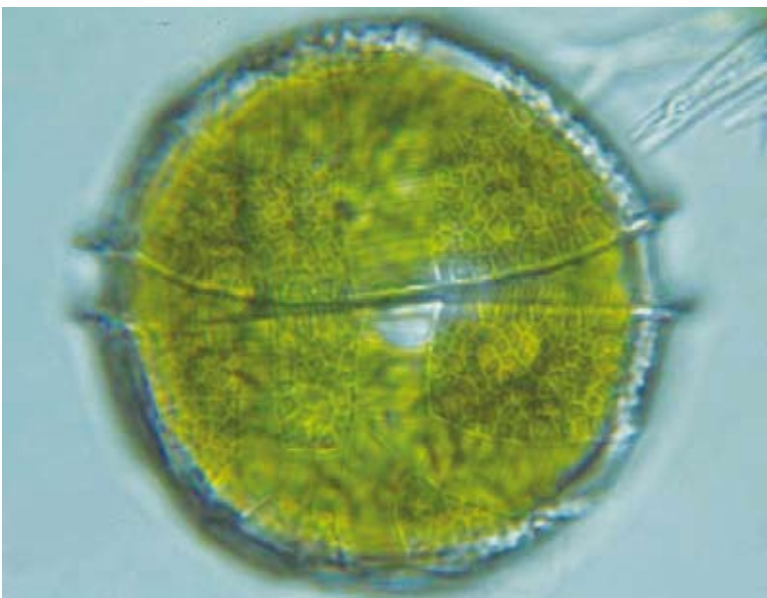


圖2 在海域和水庫常形成紅潮的多甲藻(*Peridinium* sp.)。

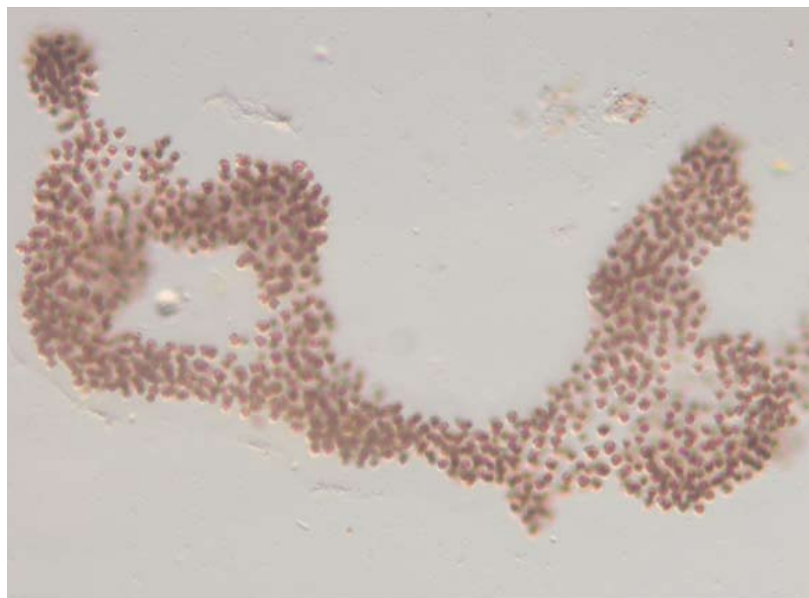


圖3 常在水庫形成之藻華現象的有毒銅綠微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)。

我們比較常聽到水質優養化，那是水域因汙染或營養鹽偏高所引起的環境問題，其表徵是藻類的大量滋生。通常水質優養化與水中特定營養鹽（如氮鹽和磷鹽）有關，國內造成水質優養化的主要營養鹽為磷鹽。在水質因磷汙染而形成優養化時，水中汙染物會改變成物理和化學環境，於是形成一種篩選作用，使不能適應的藻種遭到淘汰，而能夠適應的藻種因少了競爭對象而大量滋長，有的藻種甚至因而形成藻華現象 (algal bloom) (圖 1)。這種現象除造成生態系中生物多樣性的降低，更造成水質劣化，成為環境衛生問題、飲用水問題和水資源供需失調問題。水質優養化在海洋和淡水水域都會發生。

藻類影響環境

藻類生長會影響環境，影響的層面有許多種，舉下列二個為例：

1. 氣候

海洋有些微藻，如一種鈣板藻類的球石藻 *Coccolithophorids* (屬於定鞭

藻綱)、扁藻 (*Tetraselmis* sp.)、骨條藻 *Skeletonema costatum*、小環藻 *Cyclotella* sp. 和三角褐指藻 *Phaeodactylum tricornutum* 等 (Ackman et al., 1996)，會分泌二甲基硫酸 (*dimethyl sulfide*)，此化學物質在海水中或空氣中被氧化代謝成甲基磺酸 (*methane sulfonate*)，甲基磺酸是一種會造成水氣凝結成雲霧之凝結核源 (Monastersky, 1987)，當大量水氣凝結成雲霧後，即容易降雨。經由此種雲霧形成和降雨作用，會降低水面溫度，並將空中所含之酸性物質隨雨水帶入水域而成為酸雨。因此，這些體型雖然微小的藻類，卻由於大量滋長和透過其所產生化學物質來影響氣候。

2. 紅潮與藻毒

水域中可能滋長多樣性的藻種，但隨著水域遭受汙染程度的增高，許多藻種逐漸不能適應汙染環境而被淘汰，能適應汙染環境的藻種於是漸形成優勢，



圖4 在水庫出現會產生藻毒的柱孢藻 (*Cy lindrospermopsis raciborskii*)。

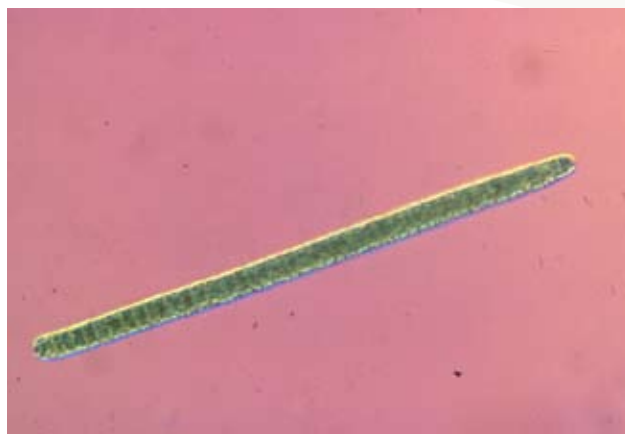


圖5 常造成國內水庫及養殖環境帶土臭味的顫藻 (*Oscillatoria tenuis*)。

並大量滋長而形成紅潮 (red tide)。近海和河口是常形成紅潮的水域，甲藻類 (*dinoflagellates*) (圖 2) 是最常形成紅潮的藻類之一，此藻含紅褐色色素 (如 *peridinin*)，使水色呈紅褐色而得名。許多形成紅潮的藻類會產生藻毒，最為人知的是麻痺性貝毒 *saxitoxins*，屬於神經性毒；有的藻類產生下痢性毒素、肝毒或細胞毒。事實上，這些毒藻所產生的藻毒不只一種，有的一個藻種同時產生數種藻毒。這些藻毒往往透過食物鏈蓄積於魚、貝類等水生動物體內，人類常因攝食帶有藻毒的魚貝類而中毒。

也有許多淡水藍綠菌 (藻) (*cyanobacteria*) 會形成藻華 (也可稱紅潮)，例如微囊藻屬 (*Microcystis*) (圖 3) 常在水庫和養殖池形成藻華，其中有些種會產生有毒的微囊藻素 (*microcystins*) 而影響水質和人類健康。此藻毒也會由魚腥藻屬 (*Anabaena*)、浮絲藻屬 (*Planktothrix*)、念珠藻屬 (*Nostoc*)、項圈藻屬 (*Anabaenopsis*) 等藻種產生。微囊藻素是一種肝毒，對動物和人類都有毒性，嚴重時會造成肝腫瘤。有的藍綠藻如束絲藻屬 (*Aphanizomenon*)、魚腥藻屬

(*Anabaena*) 和林比藻屬 (*Lyngbya*) 等，也會產生和海洋甲藻類所產生的神經毒 (麻痺性貝毒 *saxitoxins*)，而直接造成麻痺或死亡。同屬於藍綠藻的柱孢藻 (*Cy lindrospermopsis raciborskii*) (圖 4) 則會產生細胞毒 (*cytotoxin*)，對肝和腎臟造成傷害。有的藻類如顫藻屬 (*Oscillatoria*)、束絲藻屬、魚腥藻屬和浮絲藻屬等，會產生安那毒 (*anatoxin*)，它也是一種急性神經毒。有的藍綠藻雖不一定會產生毒素，但是會產生有機物釋放到細胞之外，這些胞外有機物在自來水傳統之淨水過程中無法去除，當加氯消毒時會產生三氯甲烷等致癌物質。此外，有的藻種如顫藻 (圖 5)、柱孢藻、魚腥藻和林比藻等會產生土臭、霉臭或腥臭味等異味，令人不悅，也影響自來水的供水品質；有的魚、貝類攝食這些藻類後會帶這些臭味，造成漁產的損失。

藻類在環境科學上的應用

藻類在環境科學上可有許多種的應用，舉下列五個例子：

1. 水質指標

人類為求生活和對物質生活的要求不

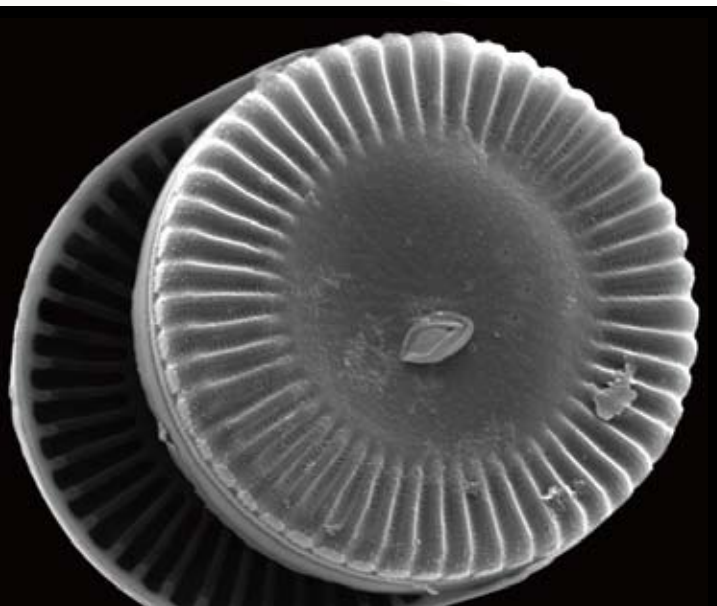


圖6 水質優養化常出現的曼尼小環藻(*Cyclotella meneghiniana*)。



圖7 水質優良水域出現之異極藻(*Cymbella tumida*)。



圖8 不良水質出現之菱形藻(*Nitzschia palea*)。

斷提升，加上人口和經濟快速成長，使得民生用水量不斷增加，水汙染也隨之增高，致使許多水體中之營養鹽如氮、磷等濃度經常過高，因而加速水體的水質優養化現象，進而影響水資源利用和飲用水水質。優養化現象主要是由於工業、農業的發展與家庭廢（污）水等因素，將大量營養鹽帶入水庫、湖泊中，造成藻類異常增殖與死亡，水域自然生態系發生急速變化而產生水質惡化等現象，這種因人為因素致使水庫、湖泊轉變為優養化現象往往只需數年時間，甚至更短。台灣地區現有四十餘座水庫，其中近七成水庫係做為一般民眾飲用水水源，由環保署資料顯示，台灣地區之水庫普遍已存有優養化問題，有的正加速優養化中。

對於優養化程度的評估，過去國內多用總磷、葉綠素 a、透明度等理化參數為判斷依據，如卡爾森優養指標法 (Carlson, 1977)。事實上，藻類生長於水中，是第一個反應汙染物進入水中的生物，其承受的反應是直接的，因此最具有指標意義。早在二十世紀初藻類即有被用於水質的指標 (Zelinka & Marvan, 1961)，而用於優養化程度的評估是近幾十年來的事。藻種（如圖 6-8 為不同優養程度的指標種）和藻類群落都可以被用來作為水環境的指標，藻類腐水度指標 (SI) 是最普遍被應用的指標之一 (Sláde ek, 1973)，它可反映水域之有機污染程度，且和水質優養化程度密切相關。優養指標 (ATSI) 是用藻類群落為指標 (Whitmore, 1989; 吳等人, 2010; 吳 & 高, 2011)，它係將指標種統計量化，方便理解和應用，其所評估之水質優養化程度與卡爾森

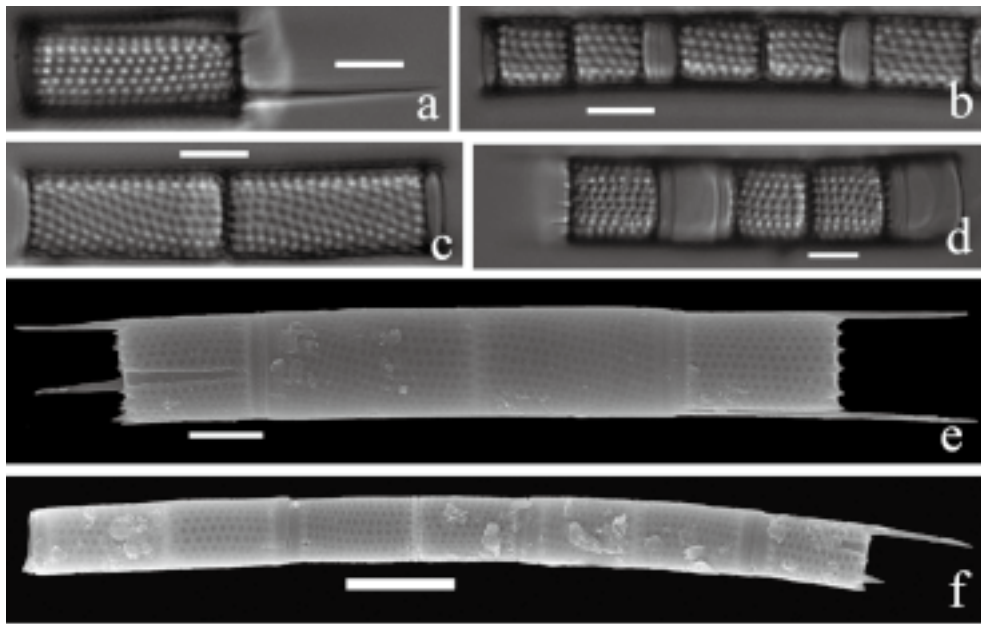


圖9 湖積物中出現之水質優養化指標藻種-顆粒直鏈藻(*Aulacoseira granulata*)。

優養指標所得結果相似，因此可以作為替代指標，特別是在用在卡爾森指標不適用時。

2. 河川汙染指標

藻類體型細小，對於環境的變化甚為敏感，當水域受到汙染時，水中的物理和化學環境會隨之改變，因此，在不同汙染環境下所滋長的藻種會有差異。利用此特性，我們可以用藻類來做為溪流河川汙染的指標。最適合於溪流河川汙染指標的藻類是附生於石頭上的藻類，特別是矽藻。由於它們分佈廣泛，在水中之數量又多，很適合於一般的河川水質監測 (Whitton & Rott, 1996)，國內有適合於本地河川的矽藻屬指標 (*generic index*) (Wu, 1999; Wu and Kow, 2002)，它只需鑑定六個屬（不需要鑑定到種的層級），適合於非藻類專家的使用。此指標可反映棲地品質和水質，準確性頗高。

3. 環境變遷研究

有些藻類如矽藻 (*diatoms*) 和金藻 (*chrysophytes*)，其細胞壁含矽質不易腐壞，可以在細胞死亡後成為微化石而保

存千萬年，因而被拿來作為研究古環境的工具。其應用不論在海洋或陸域湖泊等都有，對於瞭解地球環境、氣候變遷、人類活動等都是很好的指標。此研究配合花粉分析，更能重建氣候變遷和人類活動對植被、森林、環境酸化等所造成之衝擊提供有力的證據 (Chen et al., 2009)。例如圖9為直鏈藻，當它優勢出現於湖積物時，顯示當時是水有一定的深度且是水質優養化的環境。

4. 清潔空氣

由於人類大量燃燒石化燃料，導致大氣中的二氧化碳濃度不斷攀升，已引起全球暖化，造成氣候不穩定和逐年增高的災害。先進國家一方面在積極減少石化燃料的使用，期降低溫室氣體的排放，另一方面也在從事謀求利用藻類和植物行光合作用固定二氧化碳，來降低溫室氣體濃度，除產生再生性的生質能源，並淨化空氣，一來解決能源危機，二來達到環境保護的目的。此外，在燃燒石化燃料時，伴隨二氧化碳之產生同時會有 SO_x 和 NO_x 等物質，這些物質在溶於水後會形成酸性物

“

藻類是環境中的一個份子，它就像一把兩面刀，若能善加利用，它可以改善環境，富利人類。但若無法掌握它，它有可能造成環境的禍害而傷害我們。

”

質而成為酸雨，因而造成環境酸化。當藻類吸收固定二氧化碳之同時，也會吸收利用前述之酸性物質，因而降低其對環境可能造成的酸化作用。利用藻類來削減降低溫室氣體具有另外一些優點，例如藻類生長快速、生產容易、少佔用耕地、不破壞生態平衡、可以吸收工廠廢氣、淨化空氣等優點，可算是諸多降低溫室氣體的措施中最具有潛力的方法。

可用於固定二氧化碳之藻種有許多種，常用的是綠藻類和藍綠藻類，但用於產油的則許多用矽藻，如圖 10 被認為是油含量最高（最高達約 70%）的葡萄藻 (*Botryococcus braunii*)，但是其生長速度慢是一大缺點。目前多數人選用生長快速的單細胞藻種，有些單細胞微藻每天細胞可以行 2 至 4 次分裂，其產量每年每公頃可達 150-200 公噸，所固定之二氧化碳量遠比高等植物高數百至數千倍。有的藻類更含有豐富的油脂，其產油率也比其他作物高出數十倍至數百倍，因此時下成為各國投注的焦點。

5. 汗水處理

藻類生長時會吸收利用不同的營養鹽和金屬鹽類，我們利用藻類此特性來處理

汗水，許多先進國家之汗水處理廠，即在處理流程的後階段利用藻類來吸收一些物理和化學處理過程無法處理的微量污染物，使汗水處理更趨完整，因此，其處理後之排放水能達到較高的標準。

藻類善於吸收水中重金屬和一些難分解的污染物，例如藻類會分解塑化劑 (Babu & Wu, 2010)，可以利用它來處理受污染的水域。

結語

藻類是環境中的一個份子，它就像一把兩面刀，若能善加利用，它可以改善環境，富利人類。但若無法掌握它，它有可能造成環境的禍害而傷害我們。目前在國內，我們對藻類的研究和瞭解仍十分有限，未來我們若要想多利用它，讓它來為我們做更多事情，就得先從認識它開始。國內的藻類學者不多，我們要鼓勵更多人投注到藻類領域的研究，才能提昇國內之藻類科學與應用。唯有對它的瞭解愈多，才愈能掌握它的生長條件、才愈知道如何避免它的不當滋長以及減少它可能造成的傷害、也才愈知道如何利用它來改善我們的環境和造福人類。

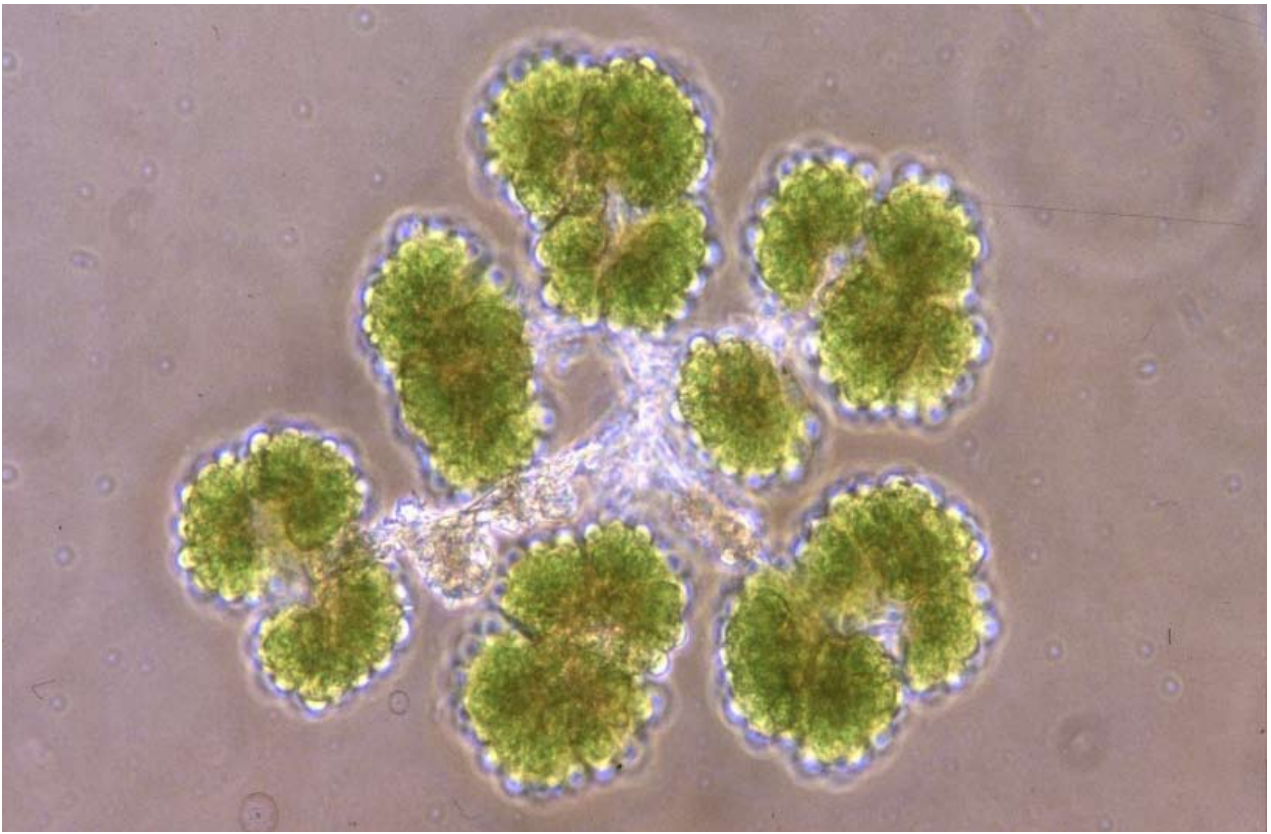


圖10 藻類中油含量最高的葡萄藻(*Botryococcus braunii*)。

參考文獻

1. 吳俊宗、吳先琪、王美雪。2010。水庫水質優養化相關參數合理性研究。臺灣自來水公司，研究報告，122頁。
2. 吳俊宗、高麗珠。2011。翡翠水庫藻類與水質關係監測。臺北翡翠水庫管理局，研究報告，134頁。
3. Ackman, R.G., Tocker, C.S, McLachlan, J.M. 1996. Occurrence of dimethyl- β -propiothetin in marine phytoplankton. J. Fish. Res. Board Canada 23: 357-364
4. Babu, B., Wu, J.T. 2010. Biodegradation of phthalate esters by cyanobacteria. J. Phycol. 46: 1106-1113.
5. Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr. 22: 361-369.
6. Chen, S.H., Wu, J.T., Yang, T.N., Chuang, P. P., Huang, S.Y., Wang, Y.S. 2009. Late Holocene paleoenvironmental changes in subtropical Taiwan inferred from pollen and diatoms in lake sediments. J. Paleolimnol. 41: 315-327.
7. Monastersky, R. 1987. The plankton-climate connection. Sci. News 132: 362-365
8. Sládeček, H. 1973. System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. Beih. 7: 1-218.
9. Whitmore, T.J. 1989. Florida diatom assemblages as indicators of trophic state and pH. Limnol. Oceanogr. 34: 882-895.
10. Whitton, B.A., Rott, E. 1996. Use of algae for monitoring rivers II. Innsbruck, Austria
11. Wu, J.T. 1999. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. Hydrobiologia 397: 79-87.
12. Wu, J. T., Kow, L. T. 2002. Applicability of a generic index for diatom assemblages to monitor pollution in the tropical River Tsanwun, Taiwan. J. Appl. Phycol. 14: 63-69.
13. Zelinka, M., Marvan, P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fliessender Gewässer. Arch. Hydrobiol. 57: 387-497.

吳俊宗 中央研究院生物多樣性研究中心研究員
兼副主任&臺灣大學生態與演化生物學
研究所教授