

防止優養化影響的  
地面水體水質標準



西元一九九八年一個炎熱而晴朗的夏日早晨，筆者和一些國際友人坐著一輛小型旅行車，離開非洲蘇丹首府喀土木城，沿著一條鋪砌得相當好，而且筆直的公路，在沙漠中疾馳。由於其他車輛很少，我們的車速總維持在每小時一百公里以上。身著白色長袍，頭上裹著白布頭巾，蓄有八字鬚鬚，長得頗為英俊的司機，看來對駕駛蠻有把握，使大家都有放心的感覺。我們的目的地是一座人工蓄水庫。

車行約二小時後，在一個小而又小的店舖前面停了下來。這是一幢用土磚砌出來的平房，大小不過四到五公尺見方，裡面堆滿了各種日常用品和一些罐頭食品，把店主人擠到看不見的角落裡。門前用柱子搭出一個小小的遮陽棚，顯然是為過路旅人設置的。由於旅行車裡有冷氣，坐在裡面，只看見窗外晴空無際，黃沙萬里，頗為壯觀。這時候打開車門，想出來伸伸腿，一股熱氣迎面而來，彷彿進入了鍋爐間，才真正領略到沙漠環境的難受，於是趕緊躲進遮陽棚底下。這棚的旁邊，居然還有一個自來水龍頭，開關用鎖鎖著，原來這小店還賣水。令人納悶的是，店舖前後左右，放眼望去，都看不見村落，孤零零有些被遺棄的感受。

這一帶沙漠都是平坦結實的細砂。大概經常有沙漠風暴吹拂，把細沙的表面磨得光光地，在強烈的陽光下看起來，像是一片微波盪漾的大海，閃閃發光，想來也是一種海市蜃樓吧？

大約在晌午時分，終於到達了目的地。水庫不算大，怪的是一點也看不到水面。只見一片綠



油油，擠得密密麻麻的水葫蘆（Water Hyacinth）。這種水生植物具有細緻條紋的肥肥圓葉子，夏季開一朵朵淡紫色小花，也算得上是一種觀賞植物。菲律賓馬尼拉高級住宅區麥加地購物中心，便有水泥池裡種了這種水葫蘆，生氣盎然。問題是水葫蘆只要有陽光、水分、適宜溫度和充分營養鹽，便會以排山倒海的氣勢，大幅度成長，迅即佈滿水面，眼前這座蓄水庫就是很好例子。在這種情形下，魚蝦難生，水質惡劣，蓄水庫的利用價值，幾乎被徹底破壞，形成極其嚴重的優養化現象。這蓄水庫可以說已經病入膏肓，瀕臨死亡的了。

對於這種水葫蘆，不少有心人覺得既然成長迅速，何不好好利用？筆者主持亞洲開發銀行資助，菲律賓首都馬尼拉近郊萊貢湖污染整治規劃時，也遭遇到水葫蘆問題。主要是湖裡成長的水葫蘆，流入下游巴西河，嚴重影響水上交通。當時有人試驗拿來釀酒或醋，可惜沒有成功。美國有些地方利用水葫蘆來去除廢污水中的有機污染、營養鹽和重金屬，相當有效。筆者親眼見到馬來西亞有人用水葫蘆餵豬。大陸四川農民則用來和其他家庭廢棄物混在一起，產生沼氣，供家裡煮飯照明。水葫蘆也可以應用在目前頗為時興的所謂人工濕地中，來處理生活污水。不過大致說起來，水葫蘆給蓄水庫帶來的優養化問題，的確是極其嚴重的。

其實一般人所關心的湖泊水庫優養化，倒並不是擔心像水葫蘆這種大型水生植物，而是只有用顯微鏡才看得清楚的細藻（Algae）。這種細藻雖然體型微小，只要成長條件合適，數量十分驚



人。如上面提到的菲律賓萊貢湖，因為有大量未經妥善處理廢污水流入，優養化嚴重。夏季採樣時，曾經檢驗到一公克水樣裡含有藍綠藻四十萬個，矽藻八千個，其他藻類還不算在內。根據數學模式研究顯示，很多細藻的尺寸，正好是自來水淨水廠裡，主要處理單元快濾設施去除效率最差的地方，因此傳統自來水淨水廠對細藻可以說是相當感冒。加上數量太多，即使加了大量混凝藥劑，也不一定見效。

菲律賓政府曾經邀請一家法國顧問工程公司，試驗萊貢湖水的處理可行性，結果非常不樂觀。因此馬尼拉塘自來水的原水，要老遠從東面山區引來，費用很大。近在咫尺的萊貢湖，卻因為水質太差不能利用。優養化對水資源的影響，由此可見一斑。

湖泊水庫的優養化，是指水裡有太多營養鹽，加上陽光、水和適宜溫度，肇致大量細藻繁殖，影響水資源的有益利用。尤其是作為自來水水源，更是不容忽視。湖泊水庫的營養狀況，通常分為貧養、普養和優養三類。前者水中含細藻很少，看來清澈見底，游魚可數，令人心曠神怡。普養水體的水質，雖然沒有上面所說那麼好，大致還可以接受。作為自來水水源，只要利用傳統處理系統，加上操作得宜，供水水質絕對可以達到飲用水標準。優養化的水質，問題就大了。上面已經提過，淨水處理非常困難。而且不少細藻也會產生魚腥之類難受的臭味，腐爛的細藻有同樣問題。此外還要加上細藻的顏色，往往使得傳統淨水廠束手無策，自來水用戶抱怨連連。台灣南部優養化



嚴重的澄清湖和鳳山水庫，都給自來水公司帶來無限困擾。大陸北平天津一帶向來缺水。天津市要從二百三十四公里外的灤河取水，逢山打洞，逢水疊橋，才好不容易解決自來水供應。可是因為引水水道中間有一座水庫，夏季時常有優養化現象。有一年夏天，經過處理後的水竟然是綠色的，還有臭味，弄得居民啼笑皆非。

以一個天然湖泊來說，貧養、普養和優養，彷彿是生命的不同階段。初形成時是貧養，後來由於營養鹽的不斷輸入，逐漸變成普養和優養，終至死亡。這種情形頗像人類的老化。由於環境條件不同，有的湖泊壽命可以長達幾萬年，甚至更久。如大陸新疆的天池便是一例。有些熱帶雨林中的湖泊，壽命可能極其短促。人工建造的水庫，也難以逃避這種老化的命運。尤其是受到人類在集水區活動的影響，使湖泊水庫的老化來得更快、更嚴重。水質管理的目的，就是要阻止或者延緩老化的進行，以求達到永續發展的目標。已經優養化的湖泊水庫，也希望透過水質管理，管制各種污染行為，使這些湖泊水庫能返老還童，青春再來。

優養化元凶細藻的生長，要靠日光、水分、適宜溫度和充分營養鹽。前面三項是地域性環境條件，談不上管制。營養鹽種類很多，有的由於需要量很少，有的在自然界很容易取得，所以也談不上管制。這中間只有在磷和氮上面可以動動腦筋。不少生物學家的最愛，就是把一個已經優養化的水體，判定是磷還是氮是限制營養鹽（Limiting Nutrient）？從理論上來說，只要管制這種限



制營養鹽，就可以控制水體優養化。至於決定限制營養鹽的方法，通常是看水裡氮和磷的比例，如果比細藻所含氮和磷的比例為高，磷應該是限制營養鹽**1**。不過由於各種細藻的氮和磷比例並不一樣，水質的氮和磷比例也常在變動，一般通常採用雙管齊下手段，氮和磷都管制，以保證達成控制優養化成效。

不過這也有例外，在有些特殊情形下，氮或者磷是限制營養鹽的趨勢非常明顯，就不必兩者管制了。如上面提到過的菲律賓萊貢湖為例，有幾條匯流入湖的支流，經過含磷豐富地質的地區，水中含磷量非常高，管制磷事實上無法實施，氮自然而然成為限制營養鹽，也成為唯一管制的對象。

既然優養化對水質的衝擊如此巨大，難免使人想到，是不是能夠釐訂適當水體水質標準，以達到防止優養化影響水資源有益利用的目標？以台灣地區來說，現行河川湖泊等地面水體的水質標準項目，主要分為兩大類。第一類是為了保護生態環境，第二類則是為了保護人體健康。第一類包括氫離子濃度指數、溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、氨氮、總磷等。第二類則包括重金屬和農藥等**2**。

其中氨氮雖然是氮，但目的是考慮到自來水處理，並不是防止水質優養化影響。因此只有第一類中總磷這一項可以說是針對水質優養化。雖然說磷往往是絕大多數湖泊水庫優養化的限制營



養鹽，但缺少氮這方面相關標準，和上面說過的雙管齊下精神，似乎不甚相符。事實上也不能說，沒有湖泊水庫優養化是以氮為限制營養鹽。因此上述現行標準不無使人有稍欠周全的感覺。這種情形在美國也普遍存在。美國聯邦環保署在西元一九九六年向國會提出的「國家水質匯報」中指出，在西元一九九四年時，全美有17個州沒有氮的地面水體水質標準，21個州沒有磷的地面水體水質標準<sup>3</sup>。

同時僅僅以氮和磷的地面水體水質標準，來防止水質優養化影響，也有不盡合理的地方。因為含有超過氮和磷標準值的地面水體水質，只表示有優養化的可能，並不能顯示到底真的有沒有優養化。目前顯示水質優養化的方法是利用各種指數。較常使用的是卡遜TSDI，裡面包括透視度、總磷和葉綠素—A等三項因子，用方程式計算出來的複合指數。指數在40以下時，水質是貧養。指數在40~50之間時，水質為普養。指數在50以上時，水質為優養。另外也有用單項指數的。如美國聯邦環保署以透視度在3.7公尺以上為貧養，2~3.7公尺之間為普養，2公尺以下為優養。葉綠素—A則以7ug/l以下為貧養，7~12ug/l之間為普養，12ug/l以上為優養。另外也以總磷在10ug/l以下為貧養，在10~20ug/l之間為普養，20ug/l以上為優養。值得注意的是，項目中除磷外，還包括直接顯示優養化實況的透視度和葉綠素。不過指數只能表示水質營養狀況，並不能當作水體水質標準來執行。



作為柯林頓政府清潔水行動計畫的一部份，美國聯邦環保署在西元一九九八年公佈了「國家區域性營養鹽限值發展策略」。其中表示即將要求各州釐訂水體優養化相關的水體水質限值。鑒於各地自然環境不同，中央將不會訂設統一限值。雖然一般人談到優養化，往往認為限於湖泊水庫水質，其實並不正確，所有地面水體和近海海域，只要過量營養鹽，就免不了有水質優養化問題。因此美國聯邦環保署正著手編訂四種手冊，供各州發展下列四種水體和優養化相關的水質限值：1. 湖泊及蓄水庫；2. 河川；3. 河口；4. 近海。至於應該釐訂限值項目，至少包括總氮、總磷、沙奇盤深度或透視度以及葉綠素—A等項。其中總氮和總磷表示發生水質優養化的潛勢，透視度和葉綠素—A則顯示細藻實際成長情形。台灣地區有些湖庫的混濁度是由於集水區水土保持欠佳，泥沙流入所致，應該視為例外。

按照「策略」所示，各州在釐訂水質限值時，除上述四項外，亦可增列地方性，並有充分科學根據的其他必要項目。「策略」中也規定各州在完成釐訂水質限值後，應在三年內經法定程序，將水質限值正式變成水質標準實施。在「策略」定稿過程中，有不少相關團體，表示以現行的自發非管制手段達到控制營養鹽目標較為合情合理。也有地方團體認為規定時間過於短促。

但是聯邦環保署指出，十多年來，根據各項相關研究報告，已經可以充分確定，營養鹽含量過高，是損害地面水體有益利用的主要元凶之一，並且也顯示過去自動自發控制營養鹽排放努力的



成果太小太慢，不足以達成預期水質改善進展，因此不容再事拖延。不過聯邦環保署也特別聲明，在推動上述防止優養化影響地面水水質標準的同時，仍將持續現行自動自發計畫，以求早日落實清潔水法的目標。

就亞洲地區來說，中國大陸可能是在這方面採取較為積極行動的少數國家之一。國家環保總署趕在西元一九九九年7月20日公佈修正「地表水環境質量標準」，並自千禧年西元二〇〇〇年1月1日生效。

新標準中增加了「表2：湖泊水庫特定項目標準值」，包括總磷、總氮、葉綠素—A、和透明度等四個項目，目的就是為了防止水質優養化影響。下面就是對各類地面水體所訂的上述水質標準值<sup>4</sup>：

表2：湖泊水庫特定項目標準值

水體分類	I	II	III	IV	V
總磷ug/l	≤ 0.002	0.010	0.025	0.060	0.120
總氮ug/l	≤ 0.040	0.150	0.300	0.700	1.200
葉綠素-Aug/l	≤ 0.001	0.004	0.010	0.030	0.065
透明度m	≥ 15.000	4.000	2.500	1.500	0.500



## 大陸地區五類地面水的定義如下：

- 第一類……主要適用於源頭水，國家自然保護區等。
- 第二類……主要適用於自來水水源一級保護區、珍貴魚類保護區、魚蝦產卵場等。
- 第三類……主要適用於自來水水源二級保護區、一般魚類保護區及游泳區等。
- 第四類……主要適用於一般工業用水區及非人體接觸娛樂用水區等。
- 第五類……主要適用於農業用水區及一般景觀要求水域等。

由上述地面水體分類可見，新訂防止優養化地面水水質標準，並不限於自來水源及源頭水。至於湖泊水庫以外地面水體，仍維持修訂前的各類水體水質標準，而且只有總磷一項，對各類水體的標準值分別為0.02、0.1、0.1、0.2及0.2mg/l。

台灣地區地面水體水質標準中，上面已經提到過，和優養化有關的只有總磷一項，而且只限於可供作為自來水水源的甲、乙兩類水體。總磷的標準值分別為0.02及0.05mg/l。就以這兩者來說，也比大陸可供作為自來水水源湖泊水庫的相關水質標準寬鬆。

台灣地區自來水水源，絕大部份來自地面水蓄水庫，受水質優養化影響很大。是否應該修訂



相關水體水質標準，增加較完整防止水質優養化影響項目，並加嚴已有有關水質標準，使水體水質標準和水的有益利用更能互相呼應？值得深思。不過增訂這些標準項目時，對蓄水庫集水區非點源管制的努力，勢必需要大幅度加強。至於非自來水水源地面水體以及近海海域，應該修訂防止優養化水質標準，似乎也不無值得探討的地方。

（本文原刊環境工程會刊第11卷第3期，民國89年9月出版）



參考文獻：

- 1 胡苔莉等，「八十八年度台灣地區主要水庫水質監測計畫期末報告」，行政院環保署委託，逢甲大學環境工程與科學學系暨研究所執行，民國89.8.28。
- 2 「地面水體分類及水質標準」，行政院環保署，民國87.6.24。
- 3 "Nutrient Criteria Being Developed for U.S. Waters", Water Env. & Technology, Water Env. Federation, U.S.A., Vol. 12, No. 1, Jan. 2000,P.18.
- 4 「地表水環境質量標準」，國家環境保護總署，1999.7.20發佈，2000.1.1實施。