

每一個微囊藻群體有數百個細胞，群體大小超過100微米。

藍綠藻的 美麗與憂慮

■ 林財富 顏宏愷

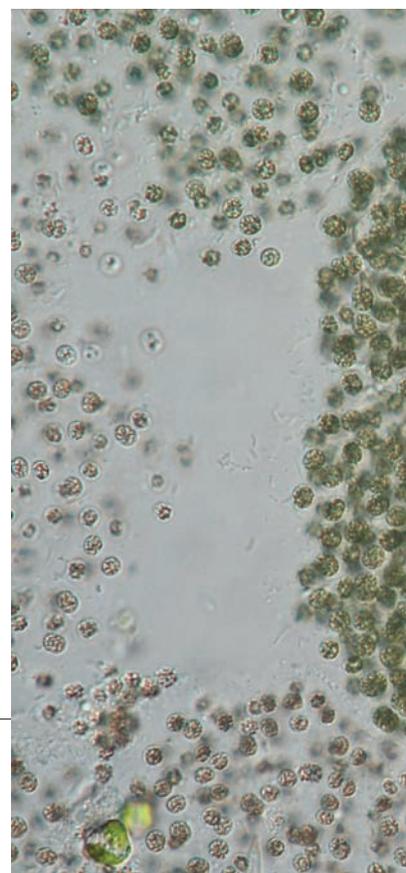
集水區中的家庭污水、農牧業廢水等，
都可能影響自來水水源，
使得水中氮、磷等營養鹽濃度居高不下。
優養環境下的水庫，
提供水中微生物大量繁殖的機會，
藍綠藻就是優養化淡水水體中
一群重要的微生物。

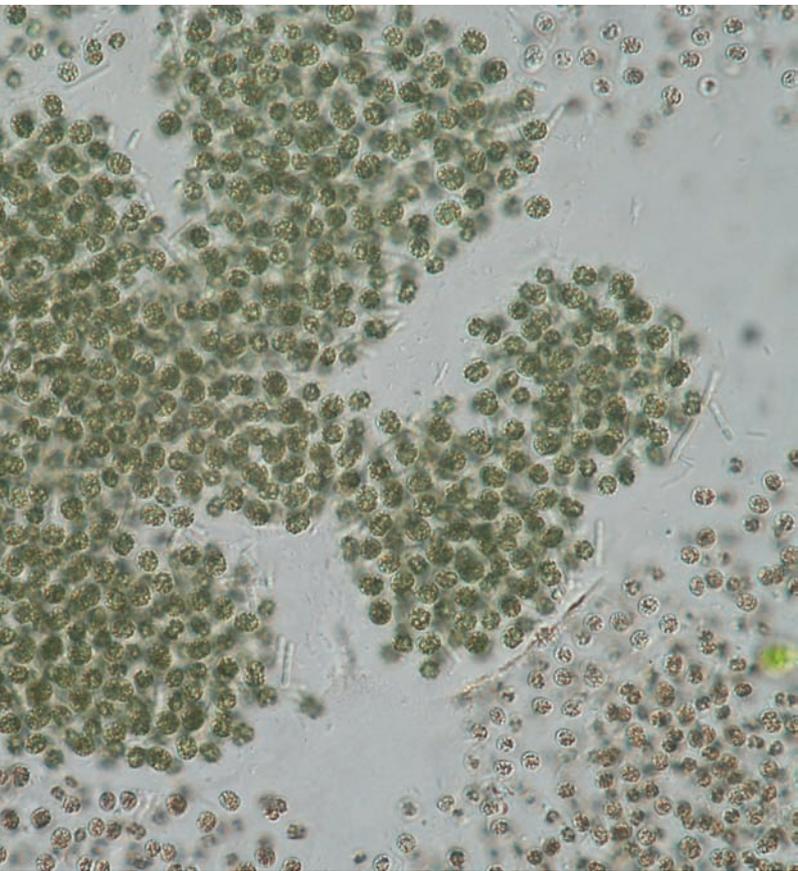
美麗的水庫與藍綠藻

藍綠藻雖然也叫藻，
與水中其他藻類如矽藻、綠藻等同樣具有光合作用的能力，但是基本特性卻非常的不同。它屬於原核細胞的藻類，遺傳物質散見於細胞中，與細菌較接近，因此近年來把它歸類在細菌界中，稱作藍綠菌門。

一般認為藍綠藻在地球上已經存在超過35億年，在淡水、海水、陸地，甚至溫泉、極地、沙漠中，都有它的蹤影。它對環境的適應力強、競爭力大，能在惡劣環境中行光合作用，具水體中垂直移動能力，且能釋放毒素或形成群體以抗拒掠食者。藍綠藻可以以單細胞、絲狀或群體的形式存在於水體中，單細胞時可以小至1微米。絲狀藻可以是數十個細胞連結，長達100微米以上。以群體存在時，每一群體可以達500個細胞以上，大到肉眼可以看見。

青山綠水這個詞常用來形容美麗的山水，綠色的水庫水也的確令人看起來心曠神怡，但是過度綠色的水往往是水體中高濃度藻類和葉綠素所致。含藻華的水增加許多自來水處理上的困難，且會衍生飲用水安全和口感問題。





美麗的水庫與渠道 (上) 金門太湖是金門重要的飲用水水源；(下) 嘉南大圳引烏山頭水庫水，是嘉南平原重要的灌溉及飲用水水源。

青山綠水這個詞常用來形容美麗的山水，綠色的水庫水也的確令人看起來心曠神怡，但是過度綠色的水往往是水體中高濃度藻類和葉綠素所致。含藻華的水增加許多自來水處理上的困難，且會衍生飲用水安全和口感問題。

自來水安全的憂慮

藍綠藻中包含了多種能產生毒素和臭味物質的藻種，例如微囊藻、魚腥藻、柱孢藻等，會產生具肝毒性的微囊藻毒和柱孢藻毒素，以及具神經毒性的魚腥藻毒、蚌蛤毒素。另一方面，魚腥藻、顫藻、浮絲藻等藻屬會產生土霉味物質，使民眾對於自來水失去信心。

影響人體健康的水中藻類毒素兼具急性毒性和慢性毒性，最嚴重的藻毒素的急性毒性案例發生在巴西。在1996年夏季（2月），巴西一家洗腎中心有131名病患經血液透析後突然發生視力障礙、反胃、嘔吐等現象，其後有100位病患出現急性肝功能失常，76人死亡。雖然當時無直接證據，但經事後水質和檢體分析結果，推估水中有兩種肝毒性藻毒，

包括微囊藻毒和柱孢藻毒素，其濃度高達世界衛生組織標準限值的20倍（19.5微克／升）左右。

除急性毒性外，長期飲用含低濃度藻毒的水，也會對人體造成慢性毒害，例如微囊藻毒素會累積在肝臟或膽囊中，國際癌症組織已判定微囊藻毒素（LR型）是可能的人類致癌物。包括世界衛生組織，以及澳洲、紐西蘭、巴西、歐盟等多個國家、組織，都列管自來水中微囊藻毒、柱孢藻毒素、魚腥藻毒素等的濃度限值。

對自來水口感的影響

在口感影響方面，以土臭味和霉味物質最為常見，兩者都是藍綠藻或放線菌的代謝物，影響的並非人體健康，而是口感。台灣地區許多水源來自地面



國內水庫會產生微囊藻毒素的藻華現象。(左上)水庫因為藻濃度高呈現深綠色；(左下)明顯的微囊藻藻華浮在水面上；(右)藻體濃度高達每毫升數百萬個細胞。



澳洲水庫會產生土味物質與神經毒素的魚腥藻藻華現象。(左上)水庫因為有機質含量高，顏色較深；(左下)明顯的魚腥藻藻華浮在水面上；(右)水樣靜置後藻體浮至上層。

水，水廠的自來水用戶在夏季時經常覺得水中有土霉味。許多人在吃淡水魚時，也常覺得有土味，這通常是水中或魚體中有土臭味或霉味物質造成的。

這兩種物質在濃度非常低的情況下約(5~10

奈克/升 = $5 \sim 10 \times 10^9$ 克/升)，一般人就可以聞到味道，這個濃度遠較一般自來水中污染物濃度(例如典型三鹵甲烷濃度是10微克/升 = 10×10^{-6} 克/升，典型硬度濃度是200毫克/升 = 200×10^{-3} 克/升)低1,000倍至2千萬倍以上。

台灣地區自來水的水庫水源中以霉味較常見，濃度多介於數個奈克/升至數十奈克/升之間。但是部分水庫可以高達數百奈克/升，在這種情況下即使是稀釋20倍，一般人仍可以聞到水中霉味。

雖然並無文獻顯示土臭味和霉味物質對人體健康有影響，但是口感不好的水會使民眾失去對自來水的信心，因此水中臭味物質的去除也是自來水事業重要的一環。

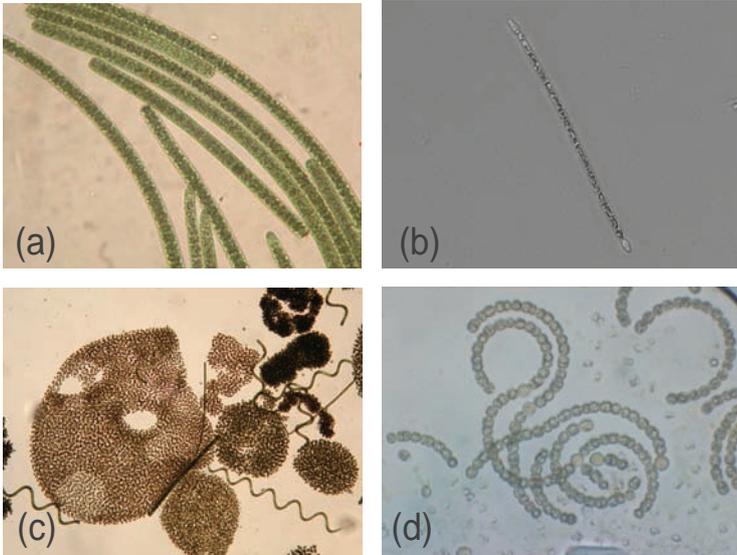
自來水處理的困難

到目前為止，自來水廠採用的大多是傳統的淨水程序，包括混凝、沉澱、過濾、消毒等步驟。基本上是以去除微米級以上的顆粒性物質，以及讓細菌、病毒不再具活性為主。藻體健康時多數的毒素和臭味物質是在藻體內，可以隨著顆粒性藻體(也是微米級)的去除而同時移除。但是在部分情況下，例如藻體衰老，藻毒素和臭味物質是以溶解態存在，這時去除效果就大幅降低了。

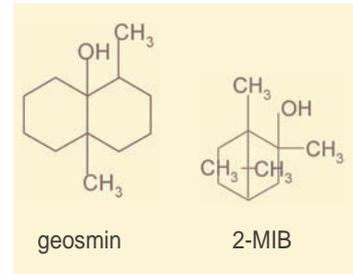
水源中若有過量的藻體存在，會造成自來水廠過濾池阻塞，減少出水量、增加處理成本，在加氯消毒時，處理完的清水也會產生較多的消毒副產物，如三鹵甲烷。在傳統水廠中，為避免藻類阻塞過濾池，往往在沉澱池前就先加氧化劑(例如氯)，

在自來水口感的影響方面，以土臭味和霉味物質最為常見，兩者都是藍綠藻或放線菌代謝物。台灣許多區域在夏季時水中經常有土霉味產生，許多人在吃淡水魚時，也常覺得有土味，這通常是水中或魚體中有土臭味或霉味物質造成的。

到目前為止，自來水廠採用的大多是傳統的淨水程序。水中藻體健康時，多數的毒素和臭味物質是在藻體內，可以隨著顆粒性藻體的去而同時移除。但是在部分情況下，例如藻體衰老，藻毒素和臭味物質是以溶解態存在，這時去除效果就大幅降低了。



數種常見的產臭及產毒藻 (a) 浮絲藻，產生霉味物質 (圖片來源：童淑珠)；(b) 柱孢藻，會產生柱孢藻毒素 (圖片來源：連紹凱)；(c) 微囊藻，會產生微囊藻毒素 (d) 魚腥藻，會產生土味物質 geosmin 及蛤蚌毒素。



自來水中最常見的兩種臭味物質：土味 geosmin 及霉味 2-MIB。兩者在水中的濃度約 10 奈克/升時，一般人就可以聞到土霉味，許多藍綠藻及放線菌都會產生這兩種物質。

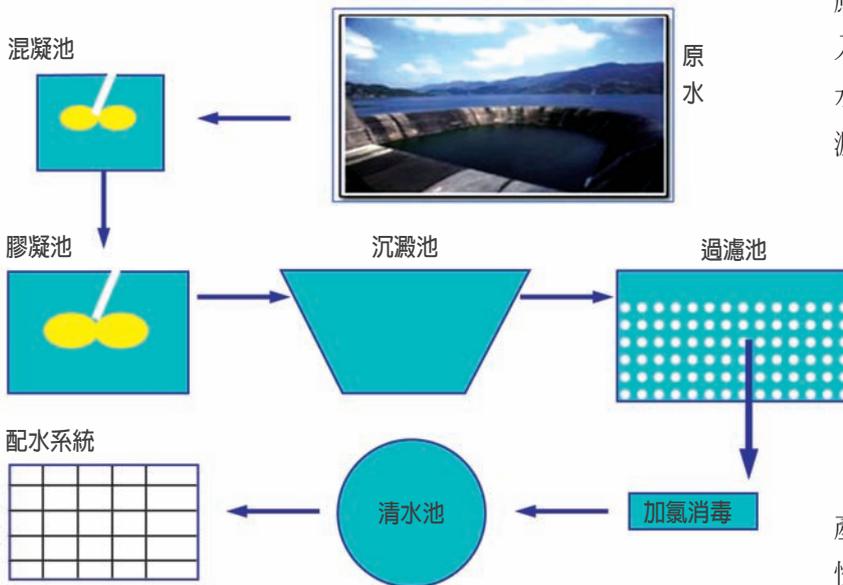
處理方法才能有效去除。

關於河川、水庫等自來水水源中藍綠藻的問題，長期而言，應該儘量減少水源中營養鹽的排入，包括集水區管理，如興建污水下水道、農牧廢水管理、污染源的管制等，以避免水的優養化。優養化水中藻類大量繁殖的結果，會使臭味物質和毒素出現機率大增。

中短期的工作，則需藉助對各個水庫的經常性監測，了解水庫中產臭、產毒藻種出現時機及其特性，才能對症下藥，選擇控制策略。另一方面，在下游端應該提升水廠處理能力，以因應突然的

藻華問題，在水廠中把藻毒素和臭味物質移除，以提供民眾安全可口的飲用水。 □

林財富 顏宏愷
成功大學環境工程系



傳統自來水處理程序示意圖。國內淨水廠以傳統處理為主要淨水程序，對於溶解性污染物的去除效果有限。

導致原先在藻體內的毒素和臭味物質釋出，增加這些溶解性物質處理的困難度。一旦污染物變成溶解態以後，部分毒素會被氧化，但是仍有許多無法在傳統程序中去，需要仰賴如薄膜、活性炭等高級