

吳俊宗研究員兼副主任（生物多樣性研究中心）

國內飲用水超過七成係由水庫供應，因此水庫水質的優劣也就直接影響我們飲用水的品質，和關係著我們的健康。近年來，國內水庫因遭受污染而呈水質優氧化現象，有些水庫由於藻類的大量滋長而形成藻華現象（Algal bloom）。藻華是嚴重水質優氧化的現象，國內多數水庫尤其在春季至秋季溫度較高的季節都曾發生。藻華現象係因水環境中物理因子、化學因子、和生物因子等一起作用的結果，其前因主要是營養鹽（化學因子）等污染物流入水庫，這些污染物質在水庫經由溫度、光度、水體水文等物理因子的交互作用，再加上各種水生物的參與，因而造就有利於某些藻類大量滋長的環境，再透過食物鏈關係，水中之生物質量於是驟增，水質因而變差。

國內水庫常形成藻華現象的藻種為藍藻類（cyanobacteria）、綠藻類（green algae）、渦鞭毛藻類（dinoflagellates）和金藻類（golden-brown algae）等。其中最常出現，造成的問題也最嚴重的首推藍藻類，而以微囊藻屬（Microcystis）、魚腥藻屬（Anabaena）、束絲藻屬（Aphanizomenon）、柱胞藻屬（Cylindrospermopsis）和顫藻屬（Oscillatoria）等佔絕大多數。此外，也有少數綠藻類如葡萄藻屬（Botryococcus）和渦鞭毛藻類如多甲藻屬（Peridinium）等也偶會產生藻華，這些藻類分別在不同水庫和不同季節形成藻華現象。

藻華現象對飲用水影響較大的是藻類所產生的有毒物質和異臭味，尤其有毒物質對人體健康有直接的影響，因而較受注目。藻類產生的有毒物質有許多種，較常被報導的，是屬於生物鹼類而具有神經毒性的沙西貝毒（saxitoxin）和屬於環狀肽類的肝毒：微囊藻毒（microcystins）（圖 1），尤以後者因其具普遍性而較被重視。前者之致毒機制在抑制鈉傳導，而導致神經細胞間的傳導失靈；後者之致毒機制主要在抑制蛋白磷酸酶（protein phosphatase），因此會影響許多代謝生理，嚴重的並可能在數十分鐘內致死。此外，對飲用水水質影響較大的尚有同屬於神經毒性的安納毒（anatoxin）、會造成皮膚過敏或消化系統問題的林比毒（lyngbyatoxin）及會造成肝細胞病變的柱胞藻毒 cylindrospermopsin 等。這些毒素主要由藍藻類產生，例如沙西貝毒由束絲藻產生，安納毒由魚腥藻產生，林比毒由林比藻（Lyngbya）產生，柱胞藻毒則由柱胞藻產生等。在國內，除沙西貝毒和微囊藻毒被調查研究較多外，其他的藻毒被研究得很少，所知也就很有限。

和在世界其他地區一樣，台灣最普遍分佈的藻毒是微囊藻毒。此藻毒主要的作用在肝臟，是一種肝毒（hepatotoxin），且會造成腫瘤（tumor promoter），誘發急性肝炎並致肝癌。其主要的產毒生物為微囊藻屬（Microcystis）（圖 2），該屬有許多種都會產生此毒素；此外，也有許多藻類如顫藻屬（Oscillatoria）、魚腥藻屬（Anabaena）、浮絲藻屬（Planktothrix）和念珠藻屬（Nostoc.）等也會產生此毒素。此藻毒係由七個氨基酸組成的環狀肽，分子量從最低的 909 Da（MCYST-LA）到最大的 1115 Da（[L-MelLan]MCYST-LR）不等。結構上的差異主要在環狀結構之第 2、4 位置的 L-胺基酸及 3、7 位置之氨基酸的甲基化。此胺基酸結構上的差異，使得其毒性也就不同。其毒性大小一般在 50~300 µg/kg 之間，但是也有 >1200 µg/kg 者。目前已知有超過六十餘種的微囊藻毒，不同的藻株所產生的微囊藻毒種類也不同，有的甚至一種藻株會產生多種藻毒。

國外曾發生過幾件大型動物喝了含有微囊藻毒的水而死亡的報導，也有人類飲用含微囊藻毒素而致死的案例。例如巴西曾發生洗腎用水遭微囊藻毒汙染，導致洗腎病患數十人集體急性腎衰竭而死亡。實際上，微囊藻毒問題在世界各地都有；研究證明，微囊藻毒素可通過胎盤屏障引起胎鼠畸形和肝腎受損；從老鼠之致癌研究並發現：肝炎病毒、黃麴黴素和微囊藻毒素聯合作用可使老鼠肝癌發生率高達 40%。流行病學調查也顯示，微囊藻毒素能引起學齡兒童肝臟病害。此外，長期飲用含微囊藻毒素的飲用水，肝癌、腸胃道癌症的風險也大幅上升 7 倍以上。可能毒素能夠啓動人體內的致癌基因，同時抑制抗癌基因的作用，進而促進惡性腫瘤成長，使癌症易發生。國人偏高的罹癌率是否部份和此有關，過去乏人研究，尚不得而知。

本人在 1988 年開始進行研究國內水庫之微囊藻毒問題，從分離藻株和鑑定藻毒著手，並先後指導幾位研究生進行生理、生化、生態等之研究，及對微囊藻毒素進行鑑定。研究發現，微囊藻毒問題除在台灣本島普遍存在外，也在金門、馬祖等離島有相同甚至更嚴重的問題。實際上，此問題比一般人所知道的嚴重許多，台灣許多水庫之原水中所含的微囊藻毒素，常超過世界衛生組織對飲用水所建議的安全值（1 µg/L）。

目前國內自來水廠的淨水過程不太能去除藻毒，傳統自來水廠之過濾、膠凝及加氯消毒等處理程序雖可去除原水中部份的微囊藻毒，但是成效不及 4~5 成。藻類的毒素大多屬於胞內毒素（endotoxin），往往於藻體死亡或細胞壁遭受破壞時才會大量釋放到水體中。所以，傳統水廠常用之添加前氧化劑操作步驟，往往會增加水體中藻類毒素的濃度，且所加的氧化劑劑量愈高，水體中藻類毒素的濃度會愈高。實際上，若要將自來水處理到所含毒素低於安全範圍，必須用高級處理才能辦到，如光化學降解、薄膜過濾、逆滲透、臭氧處理、活性碳處理等。當然，這些處理設備的價格昂貴，淨水成本自然也高。而問題更棘手的是，國內目前普遍欠缺這類高級處理的設備。

近年來國人生活水準提升，民眾對於水質的要求也愈來愈高，現今自來水的淨化處理程式對於異臭味及藻毒卻無法有效去除，這是造成國人憂心的主因。目前在國外的自來水高級處理系統中，漸被使用的包括臭氧處理，活性碳處理、生物膜處理等，雖各有其優點，但由於各地水源性質的不同，在處理上有不同的成效。以目前頗為流行的臭氧處理為例，其殺菌力雖強，但容易增加水中可同化有機碳（assimilable organic carbon）的含量，並可能形成一些副產物如甲醛等有害物質。因此，並沒有一套能適用於各種水源而又最有效的淨水處理法，未來國內得衡量國情、經濟效益及處理效果，自行研究出最符合我國需要的淨水程式，以提供國人安全、衛生、可口的飲用水。

對於藻毒問題的根本治理策略，應是「爲之于未有」和「圖難于其易」，即從如何防患於未然著手，治難於始生之處，從水源區之環境保育著手，不使有毒藻類有機會滋長。過去，由於國人經濟掛帥的觀念作祟，盲目而不當地開發山坡地和水源區，造成集水區的破壞和汙染，不僅造成土石流等問題，環境破壞的結果已造成水質的汙染和水質優氧化。此外，也由於政治人物的短視，污水下水道興建緩慢，民眾又無知或自私地常將污水逕自排入溪流和水

源地，加深水質的優氧化和前述毒藻滋長的可能性。因此，環保概念的推廣和藻毒基礎研究須同時並重，才能有效解決當前此藻毒與飲用水的問題。

目前人類所知的藻毒和藻類異臭味物質種類其實相當少，多僅限於少數藻種的幾類物質；例如，有一種藻華魚腥藻（*Anabaena flos-aquae*）會產生多種的毒素類物質，包括前述的微囊藻毒，這些物質其實都具有生物活性，可是過去的文獻多側重於微囊藻毒的研究，對於其他的活性物質卻極少留意。事實上，藻毒和異臭味物質只是藻類所產生的諸多活性物質中的一小類，藻類尚產生許多種對人體有用的活性物質，只是人類對於水中微生物的細微世界實在所知極少，對於其所產生的活性物質更是不及於萬一。顯然地，這是一片尚待開發，且很值得開發的領域。

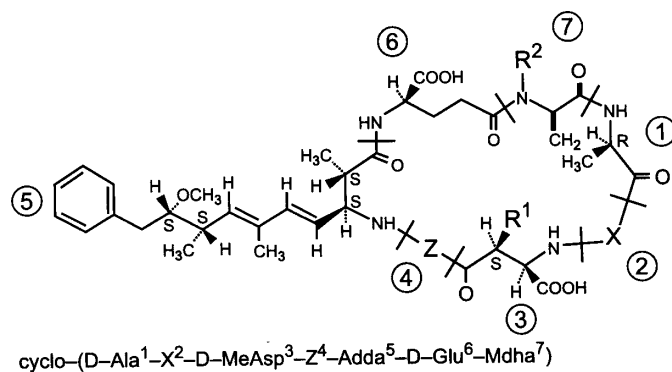


圖 1. 微囊藻毒的化學構造。毒素種類隨圖中 X 和 Z 位置之氨基酸種類不同而有不同。

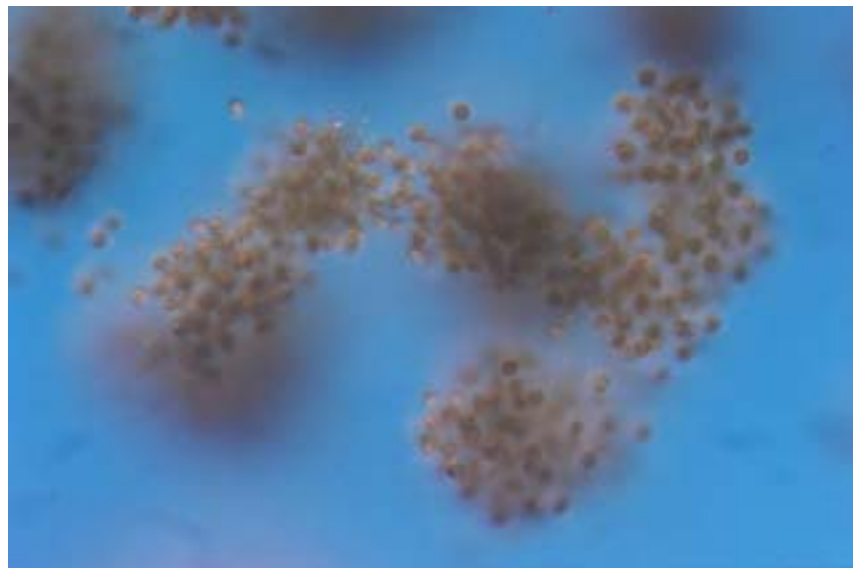


圖 2. 常形成藻華且具毒性的銅綠微囊藻（*Microcystis aeruginosa*）。