

篇名:

「憂」養化--環境的汙染與變遷

作者:

王志豪。國立潮州高中。三年一班。

指導老師:林燈煙老師

壹•前言

台灣地形狹長，山脊又為較陡峭，大量雨水往往流失迅速，儘管台灣降雨量遠高於世界平均值，每人所獲得的平均用水卻明顯不足，此時水庫成爲重要的儲水設備，暫時紓解用水的困境，卻也帶來難以挽救的生態危機。

要維護環境和人類的生存之間維持平衡相當不容易，生態的平衡往往需要眾人各盡一份心力，在許多人的努力之下才能創造出解決許多生態變遷的辦法，在眾多案例當中經常需要生物與環境相互制衡與合作才能永續的發展，許多自然產生的有害物質需要細菌分解或是過量的各種化合物則需生物的吸收以取得平衡，所以我們先整理出優氧化的相關訊息，在深入探討可能的應變方法，最佳的方式應是以生物鏈的方式處理營養鹽的問題，如此就不會造成生態危害，讓大自然自己取得最佳的平衡點。

貳•正文

一、「優養化」又稱爲富營養化，水體優養化依其營養鹽的來源可概分爲兩大類：

1、天然性優養化(Natural Eutrophication)：

指湖泊於自然生態系中，由於自然營養鹽之沈降與累積，造成湖泊水質逐漸優養化，換句話說，該湖泊正在逐漸老化中，是水域自然生態系必然的演替過程。

2、人爲性優養化(Artificial Eutrophication)：

指湖泊或水庫由於集水區或水體上之人爲活動增加，如：蔬果栽種、遊憩活動等，將大量營養鹽帶入湖泊或水庫中，導致水體中浮游動植物大量繁殖，造成水體生態系急遽變化，使得水質嚴重惡化。通常此種變化情形極快，往往只在短短數年時間內即可形成。水體優養化將造成藻類大量繁殖，一般而言，影響藻類生長之主要因素有營養鹽、日照、氣候、滯留時間等，其中最重要者爲營養鹽。隨著人們增加農藥、肥料、大量廢水與洗衣粉的使用，造成人爲加速優養化現象。由於農藥、肥料、廢水與洗衣粉中，含有豐富的硝酸鹽與磷酸鹽；硝酸鹽經分解後可成爲植物所需養分，而磷酸鹽可以增進去污功效，也可以增加泡沫。在自然界中，氮、磷是稀有的成分，爲植物成長中的一種限制因素。當含磷酸鹽物排放到湖水中時，水草、藻類獲得大量養分因此增生，藻類大量繁殖後，因光合作用及呼吸作用造成水體溶氧量晝夜變化差異大，於夜間常使溶氧量太低，呈缺氧狀態，造成魚類等水中生物無法生存，因而死亡，水體也產生惡臭，這就是「優養化」的現象。

二、為何會造成水庫水質優氧化？造成水庫水質優氧化的原因有下面幾點：

- 1、上游上農民種的高冷蔬菜及水果，噴灑的肥料被水冲刷到水庫，導致水質變肥。
- 2、上游農民養的雞豬鴨排出糞便直接沖洗到河川裡，間接再流入水庫使水中肥料太多。
- 3、水庫養殖魚類所吃的餌料及排泄物，會使水中的磷肥過高，藻類大量繁殖。
- 4、釣客釣魚的人工餌料

三、優養化指標

1、定性指標

水體優養化之重要特徵為水生生物大量增生，及水體透明度降低，依此特性可對優養化作定性之評估。然而由於各地環境因子不盡相同，且水質變化受地理、氣候等影響極為複雜，故以一單純之透明度或藻類種為定性評估，易流於主觀。不過定性指標易於使用及了解，對一般民眾有其適用性。

2、定量指標

定量評估即為將水體優養化之各類理化參數儘量予以量化，來評估其優養程度，依其所使用指標之不同可分為以下幾種：

A、單一參數指標法:

單一指標可採用各種營養鹽濃度、物理參數及藻類或浮游動物，其評斷係以該單項指標是否超過界限值為標準。共有 3 項標準值可供參考：

- a、世界經濟合作及發展組織(OECD)調查檢定標準
- b、卡爾森(Carlson)判斷標準
- c、美國環保署判斷標準

B、多變數指標法:

水體優養化是因營養鹽增多，故判斷水體優養化程度，水中營養鹽氮及磷為重要指標。另由於營養鹽濃度增加，造成藻類大量繁殖，促使水中葉綠素 a 增高及透明度降低，故計算水體優養化多以總磷量、葉綠素 a、總有機氮及透明度為計算參數。此法有 3 個標準值：

a、卡爾森(Carlson)優養指數法

卡爾森優養指數則代表水質優養化程度，數值越低代表水質越好，50 以上則進入優養化狀態。

水質項目

總磷 (mg/L)

透明度 (m)

葉綠素 a (mg/L)

$$『Chl.a=9.81 \times \ln(Chl.a)+30.6 \dots (1)』$$

$$TSI(SD)=60 - 14.4 \times \ln(SD) \dots (2)$$

$$TSI(TP)=14.42 \times \ln(TP)+ 4.15 \dots (3)$$

式中：Chl.a=葉綠素 a 濃度(ppb)；SD=透明度(m)；TP=總磷濃度(ppb)。CTSI 為(1)~(3)式各值之平均，即(4) 式所示：

$$CTSI=【TSI(Chl.a)+ TSI(SD)+ TSI(TP)】 \div 3 \dots (4)』$$

(注三)

TSI < 40 為貧養(oligotrophic)

40 < TSI < 50 為中養性(mesotrophic)

TSI > 50 為優養性 (eutrophic)

b、Morihiro 優養指數法

c、北卡優養指數法

3、以微生物、藻類、水棲昆蟲、底棲無脊椎動物與魚類等作為為指標生物：

| 污染程度 | 微生物 | 藻類 | 水棲昆蟲 | 底棲無脊椎動物 | 魚類 |
|--------|-----|-------|-------|----------|-------|
| 未 / 稍受 | | 水棉藻屬 | 石蠶科 | 錐螺 澤蟹 | |
| | | 橋彎藻屬 | 長鬚石蠶科 | | |
| | | 肘狀針桿藻 | 流石蠶科 | | |
| | | 隱頭舟形藻 | 扁蜉蝣科 | | |
| | | | 石蛉科 | | |
| 輕度 | | 舟形藻屬 | 縞石蠶科 | | 台灣石 |
| | | 異極藻屬 | 網石蠶科 | | |
| | | 扁圓卵型藻 | 水蠶 | | 台灣平鰭鯽 |

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|----------------|-------------------|
| | | | 小裳蜉蝣科 | | |
| | | | 四節蜉蝣科 | | |
| 中度 | 總細菌數 | 舟形藻屬 | 姬蜉蝣科 | 水蛭 大口螺類 | 羅漢魚、平頷 |
| | 大腸桿菌群 | 異極藻屬 | 四節蜉蝣科 | | 短吻鏟柄魚 |
| | 念珠菌屬 | 扁圓卵型藻 | 水藓 | | 、鯽魚 |
| 嚴重 | | 顫藻屬 | | 顫蚓 水蟲 水蛭 | 吳郭魚 塘蝨魚 大肚魚 |
| | | 柵藻屬 | | | |
| | 總細菌數 | 眼蟲屬 | 紅蟲 | | |
| | 大腸桿菌群 | 菱形藻屬 | | | |
| | 念珠菌屬 | 梅尼小環藻 | | | |
| | | 微小異極藻 | | | |

表一（注四）

4、藻類歧異度指數:

傳統利用藻類作為水體優養化指標，係以水中出現之藻類種類為指標。常用者有:

- a、Shannon 指數
- b、Margalet 指數
- c、Pielou 指數
- d、McIntosh 指數

5、藻類優養指標值 ATSI :

此指數係以 Shannon 指數及 McIntosh 指數複合計算而得

$$ATSI = (H/5 + McI) / 2 \times 100\%$$

內水庫評估可參考以下數值判定：

- 貧養狀態 (oligotrophic) ATSI > 75
- 中養狀態 (mesotrophic) 75 > ATSI > 50
- 優養狀態 (eutrophic) ATSI < 50

6、生物需氧量(BOD)

細菌進行分解作用所需的氧氣量，稱為生物需氧量(BOD)。因生物是有機物構成，死後會被細菌分解，其過程需要大量氧氣。如果水中的氧氣降低到魚類等生物無法生存時，將使更多藻類、魚類死去，水域就宣告死亡，因此生物需氧量常作為水質管理的權衡標準。

生物需氧量是在 20°C 下經過 5 天，每公升消耗多少毫克的氧氣，生物需氧量高，表示在水中分解的有機物濃度很高。在河流中的有機物來自自然界，就像森林的落葉、農業，或是人類排放的工廠、城市的廢水。河流約有 33%的生物需氧量是來自農業活動，而城市也有可觀的生物需氧量進入河流。當洪水來臨時，有下水道的地區因處理廠的廢水超載，常直接溢出而流入河流，造成污染事件。

事實上，即使水體不受污染，大自然的植物腐敗及沖蝕現象，也會使河川有一最低的生物需氧量濃度，其值大約是 1~2mg/L。

7、化學需氧量(COD)

化學藥品也能使水中的有機物所需的化學劑量換算成相當氧量，就稱為化學需氧量(COD)。水中污染物越多，生物需氧量和化學需氧量也會提高，一個良好的水域須具有高的溶氧量及低的生物需氧量與化學需氧量。

當水中的污染物超過了一定的限度，河川中的溶氧量就會大量降低，而生物需氧量和化學需氧量也相對的提高，水中微生物的種類及作用型態也跟著改變，轉為產生甲烷、硫化物、氨等惡臭物質，這時就成了所謂死的河川。這種死的河川，水色黑濁，時而散發臭氣出來，不適合於魚貝生長，更影響都市觀瞻及環境衛生，甚至威脅到自來水的供應和農產品的安全性。

8、底層水氧飽合程度

藉由野外用水中溶氧電極，測量湖泊底層水的溶氧量，參酌同一環境湖泊氧之飽合濃度，計算底層水氧飽合度。若飽合度 > 50%，此湖泊處於貧養狀態，若飽合度 < 10%或趨於 0%，此湖泊已處於優養狀態。

9、藻類生長潛勢 (AGP)：AGP 是以水體的水樣培養某一特定藻類一段時間後，視該藻類增殖的情形來判斷水樣所含營養物質的多寡，並可表示水體潛在的優養能力。

影響藻類增殖之因包含有營養鹽類、陽光、氣候狀況、湖盆形狀、庫內滯留時間等，而以營養鹽類最重要。藻類需有多種營養鹽類才能增殖，研究發現，植物的生長不受制於大量需要的元素，稱為限制因子，以磷、氮是需要量最低的元素，因此如何控制水中的磷及氮元素的濃度，以緩和或抑制藻類成長生殖，乃成為二十年來優養化問題的研究重點。地殼中磷的蘊含量約 0.12%，大都以磷酸鹽類的形態出現，以供水中生態系的平衡；唯有人為活動造成過剩營養，才致失衡，因而刺激藻類的生殖，例如生活廢水、農牧業廢水、施肥、施藥及開墾所造成的水土流失，均是水中磷含量劇增的主要來源。氮的存量在空氣中佔 78%，水體

中的氮則以氨氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮等無機形態及蛋白質、多氨基酸和尿素等有機形態出現。由於閃電及某些植物的根瘤菌均有固氮作用，而每年人工施肥或廢污水中挾帶大量的氮，因此水體中的氮含量高於磷含量的好幾倍。

10、湖泊清澈程度

利用沙奇盤於晴天中午前後 2 小時內置入水中直至無法看見之深度，稱為沙奇盤深度。沙奇盤深度愈淺，表示湖泊生產力高，藻類或顆粒愈多，水愈濁，優養化愈嚴重。若沙奇盤深度 < 1m，表有優養化傾向。

11、光於湖泊中消滅程度

利用測光計比較表層水與底層水之光強度，即可知道光在湖泊中消滅程度，即光消滅係數。若光消滅係數愈高(> 1)，表示湖泊生產力高，藻類或顆粒愈多，優養化愈嚴重。

12、湖泊水色

利用佛氏標準比色瓶，判別湖泊水色。若為貧養狀態，水清澈而呈藍色。若因優養化而致浮游藻類過多，水呈碧綠色。若是溶解態之腐植質多，水會呈棕色。

13、表層水與底層水之比例

測量溫度隨湖泊深度變化之曲線，判斷表層水與底層水之體積，計算表層水與底層水之比例。若此比例 < 1，表示底層水較多，底層水之溶氧量應足夠供應分解在表層水產生的有機質所需之耗氧。若此比例 > 1，表示底層水較少，其溶氧量可能不足以供應分解有機質所需之耗氧，而導致下層水缺氧，此為湖泊優養化最主要症狀之一。

14、溶氧隨水深變化之曲線

藉由野外用水中溶氧電極，測量湖泊水中溶氧隨深度變化之曲線。若此湖泊處於貧養狀態，此溶氧變化之曲線會呈緩降趨勢。若此湖泊已處於優養狀態，溶氧變化的曲線會呈急降趨勢，甚至在甚淺處即趨近於無氧狀態。

15、湖泊底土顏色

若此湖泊處於貧養狀態，底層水之溶氧高，處於氧化環境，底土呈現黃色。若此湖泊已處於優養狀態，底層水之溶氧低至缺氧狀態，底土會因處於還原狀態而呈現黑色（注一）。

貧養湖泊和優養湖泊比較

| 特徵 | 貧養湖泊 | 優養湖泊 |
|-----------|--|---|
| 營養鹽輸入量 | 低 | 高 |
| 深度 | 深 | 淺 |
| 表層水與下層水比例 | <1 | >1 |
| 水色 | 清澈 | 碧綠 |
| 基礎生產量 | 低(50-300 mg C m ² d ⁻¹) | 高(>1000 mg C m ² d ⁻¹) |
| 藻類生物量 | 少(0.02-0.1 mg C l ⁻¹ 0.3-3 μg) | 多(>0.3 mg C l ⁻¹ 10-500 μg) |

| | Chl a l ⁻¹) | Chl a l ⁻¹) |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 營養鹽濃度 | 低。總磷濃度(季節充分混合後)<10 μg l ⁻¹ | 多。總磷濃度(季節充分混合後)>30 μg l ⁻¹ |
| 藍綠菌 | 少 | 大量生長(藻華) |
| 底層水氧飽合度 | >50% | 缺氧，甚至無氧 |
| 溶氧隨水深趨勢線 | 緩降 | 急降 |
| 底土表面 | 氧化狀態(呈黃色) | 還原狀態(呈黑色) |

表二 (注一)

四、優養化對水庫水質的影響：

1、死亡之藻團影響觀瞻，腐敗之藻類引發臭味甚至湖水變色，影響景觀與遊憩的價值。

2、由於藻類白天行光合作用及隨時行呼吸作用，造成水體溶氧在一天中產生相當大的變異，致使晚間的溶氧質太低時，常令魚類等水生生物無法生存。

3、沉降至水體底部的浮游植物常會引起底泥需氧量的增加，當藻類在生長和死亡的同時，伴隨發生的氧氣產生及消耗，降低了水體深水層的容氧。此外，水體的優氧化對於水質尚有以下幾種直接的影響

A、增加顆粒狀有機質之數量，如浮游性生物、底棲生物、細菌、真菌和殘屑、及排泄物。

B、藻類族群發生改變，產生某些吾人不欲其存在水體中之優勢藻類，如藍綠藻等。

C、增加溶解性之有機化合物的濃度，使水質：

a.具有螯合或其它更複雜的特性。

b.增加水中的臭味及色度。

c.提高形成三鹵甲烷類化合物的可能性，因有機化合物本身是形成三鹵甲烷(致癌物質)的前驅物質。

d.提供處理廠和給配水系統中細菌生長的基質。

e.易於腐蝕配水管線。

4、增加 pH 值，同時使得一天之 pH 值變化量加大。

5、使水層中的溶氧降低，造成水體底部與底泥接觸帶溶氧減低，導致底泥有機質礦化作用不完全，而釋出 H₂S、NH₃、P、Fe、Mn 及其它金屬，甲烷及其它還原物質於水中，這些皆造成水質的直接污染。

水庫蓄水後，整個個流域的水文狀況受到改變，下游水量受到水庫調節或攔截，導致下游河川的稀釋與自淨能力，及溶氧濃度降低，造成下游河段河川水質惡化；被水庫淹沒之草木腐爛而釋出有機物及氮、磷等營養質，造成藻類繁生，加速水庫水質優氧化現象。另外水庫施工期間會造成下游河道水質污染。而水庫完成後之水質保護、污染源管制、觀光遊憩是否開放等營運管理政策，對水質環境、水棲生態、都有很大影響。

五、解決方式：

許多國家地區的學者正進行改善優氧化的措施：物理性的有撈除法、遮斷日光法、曝氣循環法、前壩法、水氣洩降法等，化學性的有混凝沉降法、氣提法等，但實施起來卻事倍功半，僅局部性治標效果。治本之道在於嚴格執行水源與集水區的保護、保育措施，有效將人為的活動，如開墾、養殖、遊憩等和廢污物質阻絕於保護區之外。以取水水源的湖泊、水庫而言，初級或二級廢水處理無法遏止優氧化發生，須仰賴三級處理，以去除水中的氮、磷。

1、磷的去除

加入石灰於污水中，形成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 與溶解水中的磷酸鹽結合，形成不溶解化合物，沉澱後可將磷與廢水分離。

2、氮的去除

A、氣提法:

廢水中加入鹼將 pH 值提高，銨離將變成氨氣，再通入空氣。將氨氣由水中階逸出,完成去氮。

B、生物法:

分二大階段，一為硝化作用、一為脫氮作用。先用硝化菌的硝化作用，將銨根氧化成亞硝酸根；再氧化成硝酸根，利用脫氮菌的脫氮作用將硝酸根變為 N_2 逸至大氣。

3、『貝類可濾食造成優養化的元兇藻類，尤其是珍珠貝和蜆仔，經考量蜆仔的濾食能力，以及水庫應達到的水質程度，研究提出水庫內每平方公尺的放養密度只要一到三粒。但環保署也說，蜆仔濾食效果相當好，但必須定期更換，才能降低水中氮磷（營養鹽），需以箱網方式置入水庫養殖。

環保署表示，目前會造成水庫優養的有微細浮游植物、一般浮游植物和水草、水生藻類。一般浮游植物和水草可利用魚類攝食，細微浮游植物卻很難清除，即使放養魚類，效果也不明顯，還可能因魚類排出排泄物和體表溶出物，催化藻類大量爆發。

另方面，水庫中常見的鯉魚和吳郭魚等，雖然會攝食藻類，但該魚種的習性常會

翻攪淤泥，造成水庫底泥釋出營養鹽，反而造成優養化更快速。

該研究利用蜆仔，先在肥水池內增加養分提供藻類大量生長，葉綠素濃度高達每公升二百到三百微克，倒入養蜆池後，葉綠素 A 濃度降為每公升三十到四十微克；數小時後更明顯下降，幾天後幾乎是零，顯示蜆仔的濾食藻類能力極佳。』（注二）

4、『培地茅的龐大根系，對於造成河川優氧化的元素，氮與磷則有賴生物作用將之代謝利用而達到去除的目的，同時植物本身對於氮與磷兩元素有極高的吸收利用性，對於清除水體中的氮、磷元素有極大的應用價值』。（注五）



（注五）。

參●結論

只要是水庫、湖泊等都會面臨優養化的到來，原本要耗費數百數千年才會行成優養化，但人類所建築的水庫卻迅速的增加優養化的速率，水是許多人生活所需，而水庫就是重要來源的其中之一，在這個處處須與大自然和平共處、達成生態平衡的這個時代，所以我們就想要了解有關優養化的一切，對於環境保育有更深一層的了解，這樣對於環境保育才有機會貢獻其所長。

要找出能吸收營養鹽且對水庫也不會有其他危害的生物是不常見的，有些生物雖

然能吸收有機物，但如果該生物喜愛鑽入水底淤泥之中，往往會揚起更大量的有機物質，反而收不到預料成效，然而如培地茅等植物，只適用於沼澤、低窪地等才有較大的成效，對於向水庫等大型蓄水設施就必須仰賴如牡蠣、蜆這類的生物，有較高的淨化能力且活動力不大，不會揚起大量淤泥，而且成本低，不會造成大型的環境危害，都是其優點，所以需要積極尋找適合的生物放置於適當的位置，對於環境改善才有很大的幫助。

肆●引註資料

注一 林幸助、黃俊翰。金門湖泊優氧化監測。金門雙鯉湖生態監測研討會。2000年。

注二 林倖妃。2007年12月24日。養貝清藻類 摸蜆仔兼洗「庫」。中國時報台北報導。

注三 奇摩知識家。

<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1106081500606>。(檢所日期2008/8/21)

注四 田志仁 汪碧涵。淡水生物多樣性調查方法與評估指標。東吳大學微生物學系。2004年10月。環檢通訊雜誌第50期。

注五 草地研究室。http://grassland.agron.ntu.edu.tw/Vet_water_control.htm(檢所日期2008/8/22)。