

投稿類別：自然科學類

篇名：
水質優養化之探討

作者：
陳榮光。花崗國中。八年 9 班
劉彥甫。花崗國中。八年 5 班
孟慶宸。花崗國中。八年 5 班

指導老師：
李恩銘老師
陳霽語老師

壹 • 前言

一、研究動機

花蓮是我們生於斯、長於斯的故鄉。從小我們就比城市長大的孩子，有更多機會接觸大自然的好山好水。不管是三棧溪、水源地、白鮑溪…，總讓我們覺得花蓮所有的溪流都是清澈見底、生氣勃勃的。

七年級上生物課，講到生態系時，老師提到了優養化(eutrophication)的危機。根據調查，亞洲有 54%的湖泊有優養化的現象。的確，每次去鯉魚潭時，整個潭的顏色看起來都是墨綠色的。這樣的問題激起了我們的好奇心 -- 說不定自以為得天獨厚的花蓮，也並非完全倖免於優養化的危害。因此，我們決定利用這次做小論文的機會，先深入查證相關的文獻，把問題先定義清楚

評估了我們現有的能力及設備，要完成實地踏查、取樣分析，似乎還不太成熟。所以我們回到了「釐清問題」的階段。也就是先問自己這個關乎定義的問題 - 到底「什麼是優養化」。畢竟，當時「優養化」這名詞對我們而言，還僅僅停留在「藻類過度增生、水質變差」的表淺認識。。

其次，我們也想知道，在我們周遭的花蓮鄉親們，是不是也和我們以前一樣，對優養化這件事一無所知（或一知半解）。如果大家都不知道湖泊河川有優養化的問題，當然就不可能防患於未然。如此一來，花蓮的好山好水，便有可能淪為人類文明活動的犧牲品。為了讓美麗的花蓮河川可以長存，我們決定從「提升優養化認知」開始。不僅自己先搞清楚，也借助問卷來調查並喚醒花蓮人的相關知能。

二、研究目的

- (一) 深入認識優養化：探討優養化的定義、成因、影響、過程及解決辦法
- (二) 釐清民眾的優養化認知
- (三) 研擬後續研究方向

三、研究架構及方法

(一)文獻查讀

1. 優養化的定義、2. 優養化的成因、3. 優養化的過程、4. 優養化的影響
5. 優養化的解決辦法

(二) 藉由查讀文獻之結果，設計 Google 問卷，測驗民眾的優養化認知

(三) 運用 Google 或 Excel 的統計功能分析問卷結果

(四) 討論研究心得

(五) 撰寫報告

貳 • 正文

一、認識優養化

(一) 優養化的定義

優養化(eutrophication)一詞是由希臘字根 eutrophos 而來，就是「富含營養」的意思。反義詞為少養化 (meiotrophication)，文獻上比較少討論。根據維基百科，優養化是指「湖泊、河流、水庫等水體中氮、磷等植物營養物質含量過多所引起的水質污染現象」。根據經濟合作暨發展組織 (OECD)在 1970 年代的定義，「優養化是營養鹽使水體豐富化(enrichment)而導致生態系統產生結構性的改變，例如：藻類及水中植物增生、魚種減耗、整體水質變差和其他減少或阻礙使用水的效果」。

(二) 優養化的過程

當水域中的營養鹽增加以後，水體表層的藻類 (或稱作浮游藻類)大量繁殖 (稱為藻華)。藻華阻擋陽光照射進水體，反而使水中較藻類更複雜的植物無法進行光合作用而死亡。同時，在水體底層的缺氧區，會使得厭氧細菌增生。另一方面，大量增生的藻類死亡後，水中的細菌需要消耗更多的氧氣以順利分解藻類殘骸，在此過程中還會釋放出氨及硫化氫等有毒氣體。因此，經光合作用產生的氧氣減少、細菌消耗的氧氣增加，致使水中的溶氧量下降，同時間有毒氣體的溶解量卻反而增加。結果，水中氧氣不足，進而造成植物和魚、蝦蟹、貝類窒息、衰亡甚至絕跡。至此，整個水體發臭、變質，最後會逐漸變成沼澤。發展到極端，整個生態系呈現厭氧的情況，反而有利於細菌如臘腸毒菌的生長，這些細菌製造出可致鳥類及哺乳類死亡的毒素，形成名符其實的「死亡地帶 (dead zone)」。

其實，我們原本的想法是「藻類光合作用不是也會產生氧氣嗎？為什麼藻類增生反而導致水域缺氧呢？」答案很簡單，藻類產生氧氣的速度，如果趕不上藻類被分解的速度時，這時候水域的缺氧情形就必然會發生。所以一開始藻類增生的時候，還不會立刻導致水域缺氧。然而藻類的壽命很短，大量增生的結果，一下子也會產生大量的藻類屍體。等到到了某個「失衡」的程度，產生氧氣的速度遠不及耗用氧氣的速度，缺氧狀態才終將不可逆轉。到了這個時候，對於生態系統勢必產生致命性的影響。

(三) 優養化的成因

水體優養化依其營養鹽的來源可概分為兩大類：

1. 天然性優養化 (Natural eutrophication)：

指湖泊或水庫於自然生態系中，由於自然營養鹽之沈降與累積，造成湖泊水質逐漸優養化。然而自然界的磷酸鹽含量很低，所以天然優養化的過程通常進行的相當緩慢。

一個湖泊在發展的過程中，會產生許多固態的沉積（又稱底泥）。這些底泥，因為可以吸附營養物及汙染物，其實具有淨化水質的效果。學者 Tonolli (2001) 認為，當沉積物累積到一個程度，漸漸覆蓋滿了湖體底層，就容易增加和水的交互作用，會重新被激活起來而成為懸浮狀態。這樣的狀態和優養化有關。

另一方面，某些天然災害，例如洪水或土石流，也會將土壤中大量的營養鹽沖刷進湖泊、河川，而加速天然性優養化的進程。如果以較宏觀的角度來看，全球氣候變遷對優養化而言可能是利弊參半的。例如：降雨強度與降雨量如果增加，會使集水區內營養物質被帶入至河川的量大幅提升，因而加速優養化的發生。然而相反的情形也可能發生，當降雨的強度與頻率增加後，反而可以減少水體分層並稀釋營養物質，進而降低優養化的發生。

其實，只要「陽光、二氧化碳、營養物質」這三個光合作用的必要因素，其中之一的供給過剩，就有可能導致浮游藻類大量增生，促使優養化的進行。不過在沒有人為的干預或介入下，自然界的水域通常可以維持很微妙的平衡。

2. 人為性優養化 (Artificial eutrophication)：

指湖泊或水庫等水體周邊之人為活動增加後，將使用的農藥、肥料、洗衣粉、及廢水直接或間接排放至湖泊或水庫水域。這些人類使用的物質含有大量營養鹽，主要是富有氮、磷等之植物所需的營養元素。氮、磷等元素的量又稱作有機負荷(organic load)。當負荷超過環境的所能承載的限度，也就是營養鹽對水體造成的負荷，已經超過了水體本身潛在的自我淨化能力，這時優養化必然會發生。人為性優養化也稱作「文化優養化 (cultural eutrophication)」。

另外值得一提的是，不僅是淡水水域才會優養化，連偌大的海洋也同樣會有優養化的現象⁶。不難想像，河川最後會匯集到大海，而大海也就無奈的承接了上游帶來的營養負荷。特別是在淡水、鹹水交會的地方，密度較輕的淡水滯留在水域表層。那些河水帶來表層的營養物，不但會繼續造成優養化，還會如

同過量增生的藻類一般，隔絕水域較深層的光合作用。海岸優養化時，也會產生藻類增生，甚至出現「巨藻」的增生。所謂赤潮，就是一種藻華現象。它是海洋水體中微小的浮游植物、原生動物或細菌，在一定的環境條件下突發性增殖和聚集，引發一定範圍和一段時間內水體變色現象。

(四) 優養化的影響

1986 年學者 Sechi 歸納出下列八項優養化主要的影響：

1. 產生大量影響水質濁度和顏色的顆粒性物質：包括浮游植物、浮游動物、細菌、黴菌及屍體殘骸。
2. 產生大量無機物質：例如氨、硝酸鹽、硫化氫…等。這些物質即使經過製造飲用水的處理過程，仍有機會產生如亞硝胺這種可能導致基因突變的物質。氮素穿透進入地下水中，使得飲用地下水的風險也大為提高。可怕的是，氮素還無法以過濾的方式除去。
3. 產生大量造成水質出現難聞氣味或口味的有機物質：這些物質所產生的異味即使經過製造飲用水的氯化過程，仍然無法被完全遮蓋掉。更有甚者，這些物質還會形成較複雜的化學結構，不但會阻礙水質淨化過程，還會沉積在淨水器的內管管壁，加速管壁的腐蝕並因而限制流量。
4. 由於特殊藻類的存在，水質會出現令人不舒服的氣味或口味：包括土味、腐魚味、丁香味、西瓜味…等。

除了有機物質會干擾飲用水的處理過程之外，藻類也會⁸。傳統水處理程序包括混凝、沈澱及過濾等步驟，但大量的藻細胞會消耗較多混凝劑，也會產生較多廢棄污泥，還會堵塞濾床、降低過濾效率。

5. 優質魚種的消失或顯著減少：這方面的改變對於漁業勢必會有顯著影響。優養化的結果使原本有限的營養素變得無所缺乏，此種情形會有可能會吸引新的競爭物種侵入，進而驅逐原來居住的物種，使生態系的物種結構產生改變。
6. 飲用這類水的人類或動物，可能會暴露在有毒藻類所製造的毒素風險之下。

2005 年郭振泰等人發現：造成水庫優養化的藻類中，顫藻（*Oscillatoria*）、魚腥藻（*Anabaena*）、尖頭藻（*Raphidiopsis*）會產生臭土味、霉味等異味。而在國內水庫之分布非常廣犯的微囊藻會產生一種肝毒，可能對人體有慢性的負面影響。

此外，人類位於整個食物鏈的最上層。當含有毒素的藻華被貝類所食用後，這些帶有生物毒性的貝類一旦成為人類的食物時，就會間接導致人類中毒⁴。

7. 影響觀光業：對於發臭又混濁的湖泊，所有人都會望之卻步，更遑論在其中游泳戲水。即便是划船，也會被浮在水面上的藻類或植物阻礙。
8. 導致水中溶氧減少：特別是在深層的湖域，且在夏季及秋季更為明顯。結果自然就是生態系中物種的減少、甚至消失，使生物多樣性降低。最嚴重的狀況，就是產生死區，無法再提供任何需氧生物的生存。

(五) 優養化的解決辦法

目前許多城市已經立法管制所謂的點源污染（就是污染產生與排放位置不變或為定期、持續性排放之污染源）。然而，對於營養鹽排放影響最大的，反而是多重來源的非點源污染，也就是包括從廚餘、廢水或土石流等不同、廣泛來源的污染。隨著氣候變遷及人口增加，水域被營養鹽污染的潛在風險愈來愈高。因此，如何防範並改善優氧化問題，實在是現今刻不容緩的議題。

過去水資源的管理者曾經運用以下的策略來降低人為性優養化：

1. 疏導富含過多營養鹽的逕流：河岸緩衝地帶是指水流與陸地的交界處。開闢附近的水道以濾除污染物，沉澱物與營養素會在此沉積而不會直接進入水中。同樣的，也可以在農場與道路附近開闢緩衝地帶。
2. 調整營養鹽的比例。
3. 物理性混合水體。
4. 以不透明襯墊遮蔽水體。
5. 運用強力的殺藻劑。

然而，以上的方法都比被證實對於大型的生態系統是不實用、甚至無效的。其實，最有效的策略還是預防性地降低營養鹽進入水域。

包括可以運用以下的方式：

1. 改善廢水處理的淨化模式，運用三級處理模式。（所謂一級處理是機械性處理，包括沉澱及氣浮，以去除砂石和油脂。二級處理是生物處理，以微生物將污染物轉化成汙泥。三級處理則是深度處理，去除營養物並以氯氣、紫外線輻射或臭氧進行消毒。）
2. 運用有效的生態系過濾系統以去除含氮、磷的汙水。例如在養殖水體中栽培高等水生植物，以吸收水中多餘的營養物質、抑制藻類生長，以創造一個優質的生態環境。
3. 降低清潔劑中的磷含量。

4. 建立合理的農業施肥模式。例如使用天然的堆肥以避免造成土地過多的氮、磷負荷。此外，土壤氮素測試是幫助農民使用最適量肥料的一種技術，採用此法農民會看到施肥的花費減少了，同時流進環境水域的氮素也跟著減少了，一舉兩得。
5. 使用替代方法，減少養殖農業動物排泄產生的廢水。以日本為例，他們將牲畜產生的氮素，供應農業肥料的需求。

對於已經產生較嚴重優氧化的水質，也則可以運用以下措施來改善水質：

1. 以水換水：移除那些與底泥(富含營養鹽)有直接接觸的較深層部分的水。
2. 挖掘底泥：直接引流掉 10-20 公分的底泥。
3. 直接供氧至水體以恢復生態的情形，以減少優氧化過程所導致的缺氧生態、阻斷無氧細菌的代謝。
4. 增加鐵或鋁鹽、鈣鹽，以協助產生磷的沉澱，因而降低水體沉積物中可釋出的磷含量。

二、民眾的優養化認知

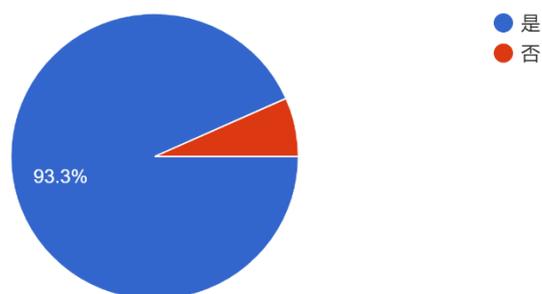
問卷設計是用小組腦力激盪的方式，讓大家各自提出最有興趣了解的問題，最後再彙整成一份完整的 11 題問卷。第 1-2 題是詢問填答者的自我認知，3-10 題是測驗養化知識，11 題則是開放性問題。(不過第 6 題老師認為答案有爭議，所以建議在分析時刪除。)

用 Google 表單回收的問卷共計 90 份。其中男性佔 34.4%，女性佔 65.6%。年齡分布為 11-20 歲 (31%)、21-30 歲 (17.8%)、31-40 歲 (15.6%)、41-50 歲 (21.1%)、51-60 歲 (13.3%)、60 歲以上 (1.2%)。

Google 分析初步結果如下：

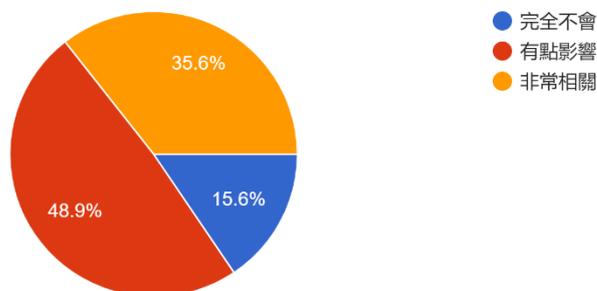
1. 是否曾聽聞過「水質優養化」？

90 則回應



2. 您覺得優養化是否會影響到您的生活?

90 則回應



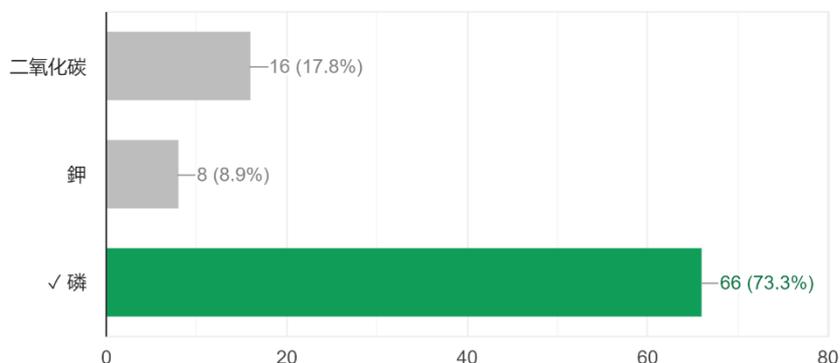
雖然有超過九成的人聽過水質優氧化，但僅僅只有 35.6% 的人認為優養化和自己的生活非常相關。這代表多數人對優氧化的認知可能僅停留在表面的知識，無法和自己的生活產生連結。當然，也有可能是花蓮地區湖泊的優氧化還不嚴重，所以民眾的感覺不深刻。

接下來的 3-9 題 (排除第 6 題)，回答的正確率都高達七成上下，顯示民眾的基礎知識一般都還不錯，這是環保教育普及的好現象。不過另一方面，這也代表民眾關於水質優氧化的認知還有繼續提升的空間。

第 10 題是關於海洋優氧化的問題，可能相對比較冷僻。所以答對的人大概只有將近一半而已。

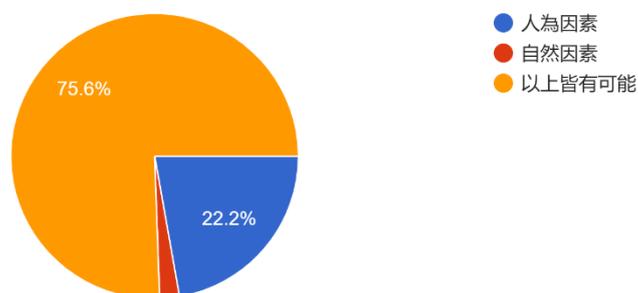
3. 試問下列會造成優養化的關鍵物質為?

答對次數: 66 (作答總數: 90)



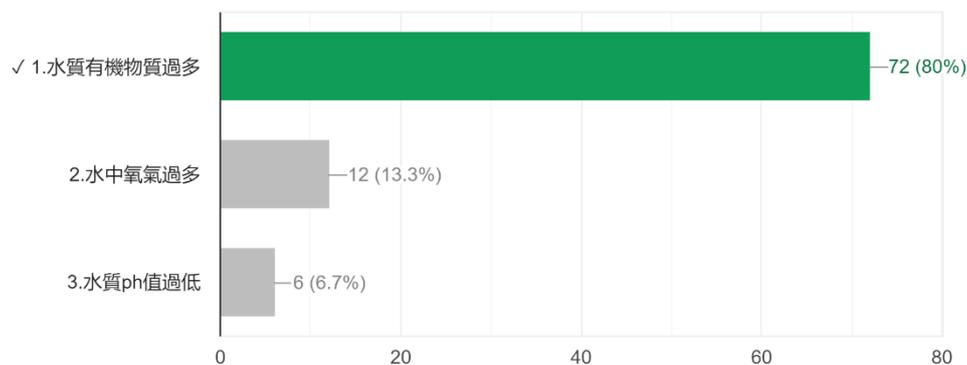
4. 試問優養化為「人為因素造成」或「自然因素造成」

90 則回應



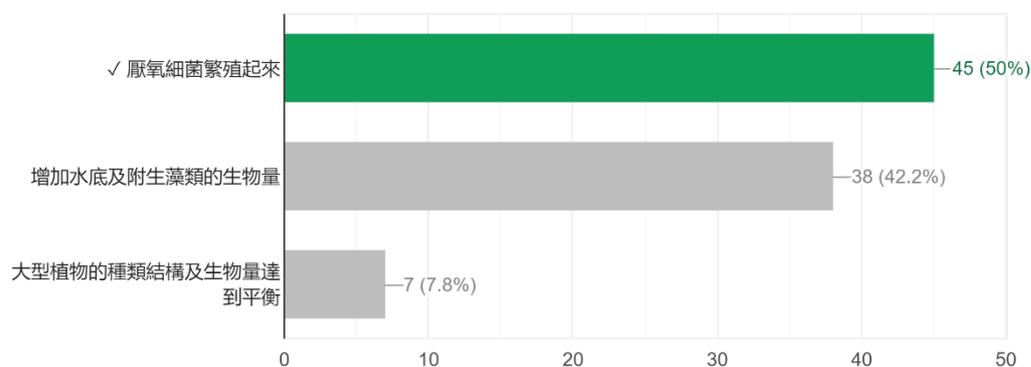
5. 試問下列水質優養化的成因何者正確?

答對次數: 72 (作答總數: 90)



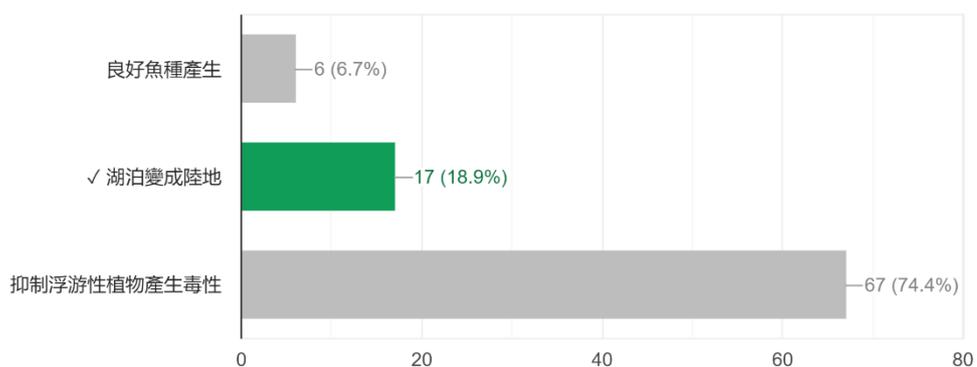
7. 試問下列水質優養化的影響何者正確?

答對次數: 45 (作答總數: 90)



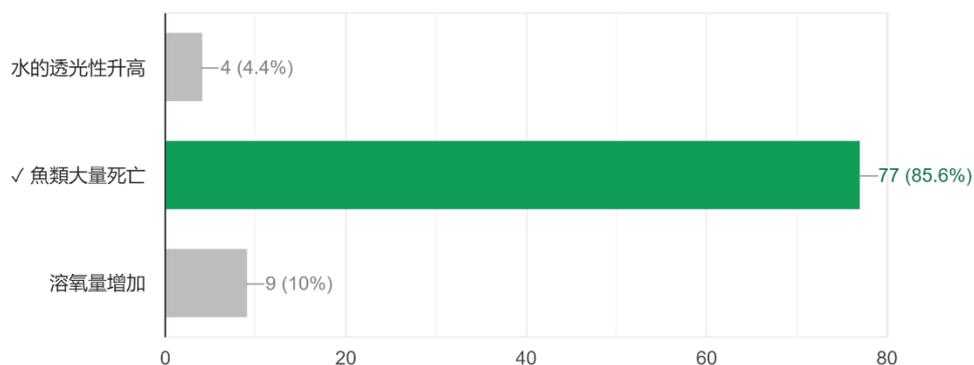
9. 試問下列水質優養化的影響何者正確?

答對次數: 17 (作答總數: 90)



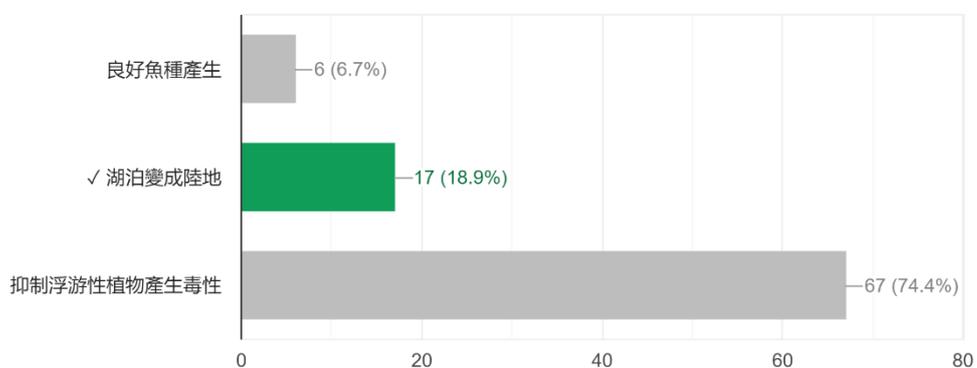
8. 試問下列水質優養化的影響何者正確?

答對次數: 77 (作答總數: 90)



9. 試問下列水質優養化的影響何者正確?

答對次數: 17 (作答總數: 90)



11. 是否具有什麼解決優養化的辦法?

除了 16 位填答者沒有回答之外, 其他每一位都可以提供一種符合學理的解

決辦法。最普遍的答案就是加強汗水的處理、減少廢水的排放。

參 • 結論

- 一、優氧化知識的深度及廣度，遠超過我們一開始選擇這個主題時的想像。評估水質的好壞、測試優養化的嚴重度，以及解決優養化的方法都可以從物理、化學及生物這三個項度來看。而天然性優養化則和地質、氣候等地球科學領域的學問相關。在準備小論文的過程中，終於體會到中學自然學科中每個科目都很重要，而且在水質優氧化這個主題上，所有科目的應用竟都可以完美交織在一起。這使得我們對這個主題更感興趣，打算繼續研究下去。
- 二、關於民眾的優養化認知，整體而言比我們預期的好。不過回答的人很多是學生和教育界人士，所以可能本身就具備較多的背景知識。由於我們最初的動機是了解花蓮在的水質優氧化情形，而這個動機支撐了我們完成初步的知識探索。所以我們也多少相信，如果環境教育能夠在地化，讓民眾覺得有溫度、有感，應該會產生更好的成效。
- 三、未來我們的研究方向，有可能會分成兩個路線。其一是在類似水族箱的小環境中，用照光和提供養分的方式，製造出優氧化的小環境，再做實驗操弄變因，看看那些介入會惡化優氧化，那些介入可以改善優氧化。其二，則是實地訪查美崙溪出海口附近及鯉魚潭周邊，可能出現的優氧化證據及成因。

肆 • 引註資料

1. What is eutrophication? Causes, effects and control.
<http://www.eniscuola.net/en/2016/11/03/what-is-eutrophication-causes-effects-and-control/>
2. 蔡韶恬、陳昭錦 (2014)。優養化 (Eutrophication) (二)。科學 Online。
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=57142>
3. 謝嘉 (2015)。缺氧而死，全球死區中的優養化與生態浩劫。地理眼 GEOGDAILY。
<https://www.geog-daily.org/morethanhuman/deadzone>
4. 科學少年。遠流出版社。2018年3月。
5. 郭振泰、吳俊宗、吳先琪 (2005)。以生態工法淨化水庫水質控制優養化研究計畫。國立台灣大學。
<http://ntur.lib.ntu.edu.tw/retrieve/168487/10.pdf>