

探討光照對葉綠素A濃度與藻類歧異度變化之影響

專題學生：許祐寧、袁孜銘、何峻安、謝志銘、涂兆廷



摘要

近幾年隨著科技進步，人們對生活上的便利有更多的渴望，導致市鎮排放的廢水量也越來越多，使這些廢水排到河川裡使河川的水優養化，因為水質的好壞對人類有著重大的影響，所以本研究團隊想探討藻類與水質的好壞會到那種環境因子的影響，在討論了影響藻類生長的因素，跟不同藻類適合棲息的水質地區，並進行一連串的交叉比對後，本研究團隊一致認為影響最多的環境因子是光照，而且選擇檢測葉綠素A濃度來代表藻類生長情況，觀察、計數藻類物種與數量來計算藻類的Shannon-Wiener歧異度代表藻類的多樣性。本研究團隊選擇大溪月眉濕地為主要採樣地點，此地有許多不同功用的池子，本研究團隊挑選出最具代表性的五個池子來分析，以一年的期間每個月進行採樣、水質分析及觀察藻類。由調查結果計算藻類的歧異度，這可以知道水中藻類的多樣性，並了解藻類受到光照因子影響的程度。

一、前言

在這個工業發達的年代，汙染與環境破壞和人類息息相關，不管是天上地下總是有人類留下的痕跡，其中最大宗的是以水資源為媒介擴散的汙染，造成水中魚蝦死亡或是水域優養化，其中水質優養化與藻類大量繁殖有非常大的關係，水中的藻類承擔著整個水域的生態環境，更可以藻類數量種類來判別這個水域是否優養化或是有其他的潛在干擾因素。而要探討一定要有一個固定的點和時間來採取藻類，於是本研究團隊到了大溪月眉濕地進行採樣去探討藻類多樣性與葉綠素A的關係。

影響藻類生長的原因有很多，像是酸鹼度、溶氧量和營養鹽等等，而其中光照度影響的範圍很廣，影響的層面也很多，它可能從各方面來影響藻類，比如溫度、時間和透光度等等，所以我們選擇分析藻類葉綠素A的濃度，而不是測定正確鹽度的濃度，為的是用藻類中的葉綠素A來印證光照對藻類的影響程度。

二、文獻回顧

1. 藻類的種類

藻類有許多不同的種類，有些特性相似，但更多的是有著不同的特性，這會影響水質和其他生物的生存。而根據所含色素、細胞構造、生殖方法和生殖器官構造的不同，分為微囊藻、隱藻、裸藻、小環藻、甲藻和矽藻。

(1) 微囊藻

常見於淡水中，其中包含會造成有害藻華的銅綠微囊藻。微囊藻的特徵是小型的細胞，且沒有鞘的包覆。細胞常聚集成大至肉眼可見的群落，本為圓形，但隨細胞數增多會逐漸出現孔洞並變不規則。其原生質體的顏色為淺藍綠色，但充滿氣體的囊泡常會呈暗色，這是在光學顯微鏡下用來鑑別微囊藻的特徵之一。如圖1。

(2) 隱藻

大都含有色素體，淡水中常見。其為單細胞，前端較寬，鈍圓或斜向平截，多數種類具有兩條鞭毛能運動，細胞大小約為10-50微米。顏色變化較大，多為黃綠色，葉綠體為盤狀或圓生，一個著名特徵是有紅藻寄生於其細胞中，形成一種共生關係，並把藻膽素帶給宿主。具噴射構造，噴射釋放可使細胞產生反向的推動力，作為躲避機制。如圖2。

(3) 裸藻

是古代原生動物眼蟲的植物學名稱，因為眼蟲同時具有動物與植物兩種特徵，同時眼蟲的細胞又有含葉綠素的葉綠體，能夠進行光合作用，自己製造營養。無細胞壁具葉綠素，有一根鞭毛，通過鞭毛和細胞扭動進行運動。多數生長於含有機質豐富的小型靜水水體中，特別是夏季陽光充足時，常常大量繁殖形成膠狀水華，使水呈深綠、紅等顏色。如圖3。

(4) 小環藻

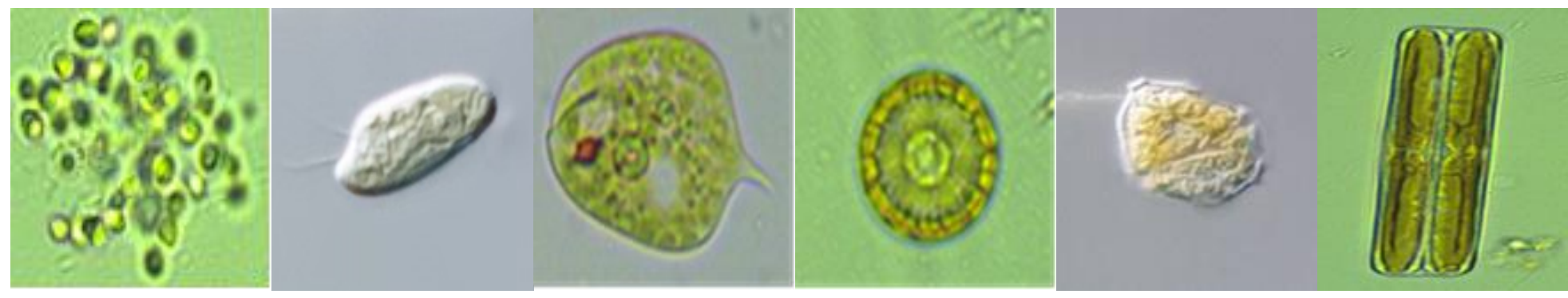
細胞圓盤形，很少呈橢圓形。殼面構造分成兩圈，外圈有向中心的帶條紋或條狀紋，有時有小刺，而內圈即中央部分，平滑無紋，或有向心排列的點紋，或有排列不規則的花紋。殼面平滑或有起伏，特別在中央部分。色素體多，小盤形，有復大孢子。細胞單獨生活，或兩到三個相連在一起，或包埋於自身分泌的膠質管內。如圖4。

(5) 甲藻

作為主要的初級生產者，在水生生物鏈中非常重要角色。單細胞，少數是球泡型或絲狀體。植物體略成球形，一般是黃綠色或黃褐色，載體為金褐色，含有葉綠素和多種類胡蘿蔔素，少數種類無色，腐生或寄生。細胞壁主要是由纖維素組成，壁上有花紋，少數種類無細胞壁，多數種類具有縱溝或縱、橫溝，因此，甲藻門分為橫裂甲藻綱和縱裂甲藻綱，主要以細胞分裂和產生孢子進行繁殖。如圖5。

(6) 矽藻

在食物鏈中屬於生產者，一個主要特點是細胞壁含大量矽化合物，由上殼及下殼嵌合而成，呈現各種微細條紋，但多呈對稱排列，但是這種對稱並不是完全的對稱，因為矽藻細胞壁的一側比另一側略大一點，這樣才能嵌合在一起。僅中心矽藻類的雌配子具鞭毛，可以遊動。矽藻一直以來是一種重要的環境監測指示物種，常被用於水質研究。如圖6。



2. 影響藻類生長之環境因子

大多數的藻類都生長在水中，因此水中的物理和化學環境都會影響藻類的生長，像是水的流速、溫度、酸鹼度、溶氧量、濁度、導電度、日照的長短、強度、營養鹽的成分等等。如各種氮鹽、磷、有機機、無機機、各種離子、陰離子、硬度、酸度等，都會直接或間接地影響藻類的生長，而當藻類生長時，也會反過來影響水中的環境。愈來愈多的研究發現，藻類與環境是相互影響的，而其例子多得不勝枚舉。

3. 藻類對環境的影響

水域中可能滋長多樣性的藻種，但是隨著水域遭受汙染的程度增高，許多藻種逐漸不能適應汙染環境而被淘汰，能夠適應汙染環境的藻種於是漸形成為優勢，並大量滋長。

(1) 紅潮

水域中過多的營養鹽會造成藻類大量孳生，甚至可能讓藻類的多樣性降低，而近海和河口正是常常形成紅潮的水域，甲藻是最常形成紅潮的藻類之一，其含有紅褐色色素，使水的顏色呈紅褐色而得名，會嚴重影響水質的環境。

(2) 藻毒

許多形成紅潮的藻類會產生藻毒，這些藻毒往往透過食物鏈蓄積於魚、貝類等水生動物體內，人類常因攝食帶有藻毒的魚貝類而中毒。

(3) 原生动物的攝食

原動物在水中以濾食的方式攝食藻類，濾食的顆粒大小可以至30μm。藻類對抗原動物攝食的方法包含了分泌黏液以增加群體體積，藉此抵抗原動物。而原動物攝食的数量會受到藻類的數量所影響，因此會影響藻類的生長，也會間接影響到原動物，而原動物的攝食選擇性也是影響原因之一。

4. 營養化指標

水質優養化是水域因為汙染或營養鹽偏高所引起的環境問題，其特徵是藻類的大量滋生。通常水質優養化與水中特定營養鹽有關，如氮鹽和磷鹽。在水質因為磷汙染而形成優養化時，水中汙染物會改變成物理和化學環境，形成一種篩選作用，使不能適應的藻種遭到淘汰，而能夠適應的藻種因少了競爭對象而大量滋長，有的藻種甚至因而形成藻華現象。這種現象除造成生態系中生物多樣性的降低，更造成水質劣化。

藻類多樣性指標分為Shannon-Wiener生物歧異度指數和Simpson生物歧異度指數，是用來計算群落多樣性的低，可從物種比例豐富度得出。本研究選擇使用Shannon-Wiener歧異度代表藻類多樣性。

三、研究方法

1. 研究架構

本研究討論之研究架構內容如圖7所示。

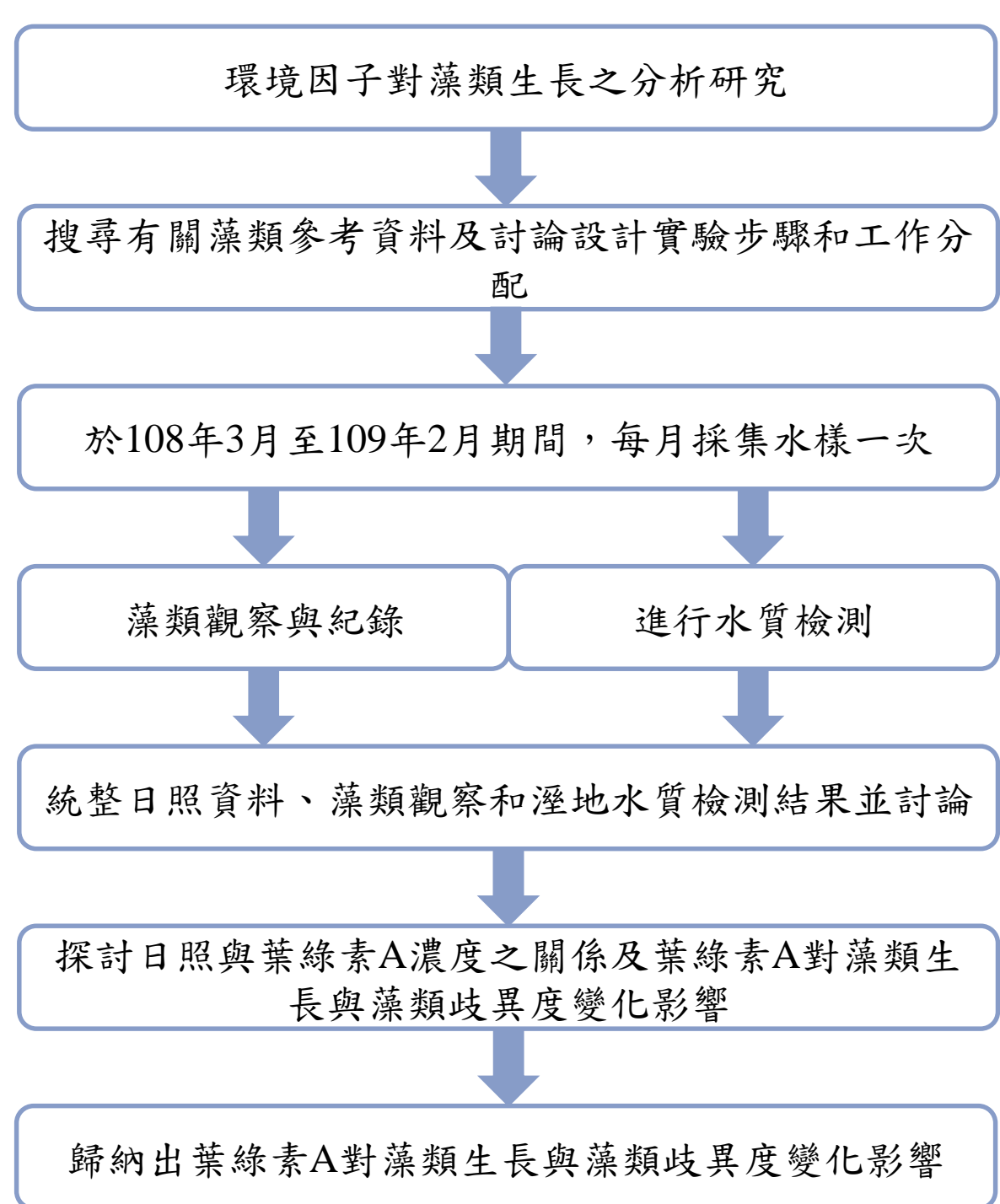


圖7、研究架構圖

2. 濕地水質檢測

前一天先把採樣器具準備好，當天出發前往大溪的月眉濕地，固定採樣水域為水力調整池、密植區、埤塘濕地、林澤濕地、生態池等五個池子，並標記好每種水樣的編號，紀錄每一個池子的溫度、酸鹼度、溶氧和顏色。採樣完成後至實驗室進行水質分析，先過濾水樣後再萃取葉綠素A，離心後取上層液來測定其吸光度，然後計算葉綠素A濃度。

3. 藻類觀察

將濃縮過後的水樣滴至載玻片並蓋上蓋玻片，再放上顯微鏡，最後轉到十倍鏡觀察，找出不同種類的藻類，並記錄每種藻類的數量，來當作計算藻類歧異度的依據。

4. 營養化指標

本研究中使用Shannon-Wiener生物歧異度指數代表藻類多樣性，計算方式如下：計算式中，S為藻類的總數；i為種類；Pi為藻類出現之機率，Pi=Ni/N，為各種藻類出現之頻率，其中Ni為藻類數量，N為所有藻類的總數。

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

5. 日照資料

蒐集中央氣象局距離大溪最近的新竹測站氣象資料，取用108年3月至109年2月期間，每個月的日照時數做為日照因子的數據。

四、結果與討論

1. 日照統計結果

彙整中央氣象局新竹測站氣象資料中，108年3月至109年2月期間之各月份的日照時數，做為日照因子的數據。如表1。

表1、中央氣象局新竹測站108年3月至109年2月日照時數統計表

月份	108/3	108/4	108/5	108/6	108/7	108/8	108/9	108/10	108/11	108/12	109/1	109/2
日照時數	96.8	147.5	100.9	161.2	236.0	212.7	196.1	238.6	190.7	119.6	134.4	150.7

2. 濕地水質檢測與藻類觀察結果

108年3月至109年2月期間於大溪月眉濕地，各月之採樣現場水質檢測結果，詳列於表2，而葉綠素A濃度檢測結果、Shannon-Wiener歧異度計算結果及優勢藻類觀察結果彙整於表3中。彙整各池水中葉綠素A濃度隨時間變化與圖8-圖12。

表2、108年3月至109年2月期間各月之採樣日期與現場水質檢測結果

採樣日期	108/3				108/4				108/5						
編號	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10
溫度(°C)	23.6	26.6	26.1	25.3	24.2	30.2	30.5	30.5	30.6	30.8	30	30.5	29.5	30	30
酸鹼度(pH)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6.5	7	7	7	7	7
溶氧量(DO, mg/L)	4.55	8.55	8.07	8.24	8.56	5.78	7.66	7.24	7.11	7.34	6.64	7.62	7.59	7.51	7.23
採樣日期	108/6				108/7				108/8						
編號	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10
溫度(°C)	28	27.5	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29.4	28.5	29.1	28.8
酸鹼度(pH)	7	6.5	7	7	7	7	7	6.5	7	7	7	6.5	7	6.5	6.5
溶氧量(DO, mg/L)	5.84	7.96	7.84	7.69	7.77	5.65	7.67	7.59	7.42	7.54	6.26	7.89	7.86	7.41	7.86
採樣日期	108/9				108/10				108/11						
編號	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10
溫度(°C)	26	25.5	26	26	26.5	26	26	26	25	27	19	18.5	18	20	19
酸鹼度(pH)	6.5	6.5	7	6.5	7	6	6	6	6	6.5	7	6	6.5	6.5	6.5
溶氧量(DO, mg/L)	6.01	8.14	8.24	7.88	7.94	7.01	8.94	8.76	8.63	8.41	7.17	8.47	7.61	6.59	7.84
採樣日期	108/12				109/1				109/2						
編號	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10	1	4	6	8	10
溫度(°C)	21	20.8	21	22	20	18	18	19	17	17	24	23.7	23.5	23.5	24
酸鹼度(pH)	6.5	6.5	6.5	7	6.5	7	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6	6	6.5
溶氧量(DO, mg/L)	8.67	8.59	7.27	8.19	8.23	6.55	9.29	9.11	9.78	9.61	7.38	8.33	8.89	8.36	8.12

表3、葉綠素A濃度、Shannon-Wiener歧異度指標及優勢藻類統計表

參考資料

1. 萬能科技大學環境工程系、桃園市政府、藤田生態有限公司，大溪月眉濕地-藻類多樣性調查簡摺頁，萬能科技大學環境工程系，2019年7月。
2. 張憲國、林立青、黃明揚，光環境因子對藻類生長速率之研究，第28屆海洋工程研討會論文集 國立中山大學，2006年11月。http://www.tsoe.org.tw/downloads/thesis/2006D7.pdf
3. 行政院環境保護署，環境水質「溶氧過飽和」現象說明，環境水質「溶氧過飽和」現象說明，行政院環境保護署，2010年3月。https://wq.epa.gov.tw/Code/Resource/LinkDoc/20100305025705_0E7%92%B0%E5%A2%83%E6%B0%B4%E8%B3%AA%E6%BA%B6%E6%B0%A7%E9%81%8E%E9%A3%BD%E5%92%8C%E7%8F%BE%E8%B1%A1%E8%AA%AA%E6%98%SE.pdf
4. 江漢全，水質分析，三民書局，2005年5月。
5. 林幸助、于淑芬，溪流中的藻類，科學發展，2007年9月。https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=9609/9609-01.pdf&vId=584F33EB-2DB2-4F7B-9CB3-F9E61E706B2&cd=0&ds=0
6. 侯俊宗，藻類與環境，科學研習，2012年7月。https://www.ntsec.gov.tw/File/At.ashx?id=1783
7. 張睿昇，海洋中的微細藻類，生物多樣性研習營，2007年7月。https://www.nmst.gov.tw/other/B116-wc.pdf 土木與環境工程學位論文，2006年1月，http://www.tasder.org.tw/meeting/2006/1/1-9.pdf
8. 余昌惠，磷營養供應模式在利瑪原甲藻生長及生產大環內脂天然物的影響，臺灣大學漁業科學研究所學位論文，2006年1月。https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?doi=U0001-2807200621033500
9. 黃富昌、林嘉鴻、顏冠忠，以多變量統計分析探討石門水庫水質優養化，南亞技術學院。

表3、葉綠素A濃度、Shannon-Wiener歧異度指標及優勢藻類統計表

日期	葉綠素A濃度(µg/L)	Shannon-Wiener歧異度指標	優勢藻	日期	葉綠素A濃度(µg/L)	Shannon-Wiener歧異度指標	優勢藻
108年3月	編號1: 20.70	2.8342	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 隱球藻	108年9月	編號1: 48.44	2.6987	1. 綠球藻 2. 四尾柵藻 3. 頭藻
	編號4: 3.75	2.3791			編號4: 38.12	2.9780	
	編號6: 0.42	2.3683			編號6: 66.03	2.0419	
108年4月	編號8: 1.04	2.2893	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 頭藻	108年10月	編號8: 32.81	2.8774	1. 四尾柵藻 2. 項圈月藻 3. 傾斜柵藻
	編號10: 0.45	2.2800			編號10: 51.78	3.1032	
	編號1: 3.12	2.5092			編號1: 1.87	2.0813	
108年5月	編號4: 156.25	3.8582	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 頭藻	108年11月	編號4: 190.62	3.5531	1. 四尾柵藻 2. 項圈月藻 3. 傾斜柵藻
	編號6: 40.00	2.7652			編號6: 283.33	4.0722	
	編號8: 65.62	3.1675			編號8: 188.54	3.4660	
108年6月	編號10: 54.37	2.9025	1. 四尾柵藻 2. 傾斜柵藻 3. 大羽紋藻	108年12月	編號10: 199.99	4.0122	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 四星藻
	編號1: -12.50	1.7472			編號1: 10.00	2.7824	
	編號4: 98.43	3.4216			編號4: 36.61	2.4293	
108年7月	編號6: 89.37	3.3564	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 傾斜柵藻	109年1月	編號6: 10.42	2.4110	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 四星藻
	編號8: 38.12	2.8822			編號8: 26.39	2.7875	
	編號10: 56.87	2.8089			編號10: 32.50	2.8450	
108年8月	編號1: 8.20	2.4223	1. 四尾柵藻 2. 頭藻 3. 平裂藻	109年2月	編號1: 3.12	2.6287	1. 綠球藻 2. 多芒藻 3. 二角盤星藻
	編號4: 85.94	2.8388			編號4: 11.61	2.1056	
	編號6: 18.75	2.7254			編號6: 3.12	2.3207	
108年9月	編號8: 250.00	3.8334	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 頭藻	109年3月	編號8: 2.92	2.4619	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 捲繞平裂藻
	編號10: 201.04	3.6373			編號10: 4.02	2.4373	
	編號1: 136.87	4.0760			編號1: 3.12	1.8426	
108年10月	編號4: 260.93	4.1894	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 傾斜柵藻	109年4月	編號4: 57.81	4.3524	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 頭藻
	編號6: 114.37	3.4446			編號6: 43.12	4.0571	
	編號8: 12.50	2.5090			編號8: 5.73	2.8565	
108年11月	編號10: 100.00	3.4646	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 頭藻	109年5月	編號10: 5.86	3.0530	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 頭藻
	編號1: 133.33	3.8882			編號1: 50.62	2.8330	
	編號4: 62.50	3.1041			編號4: 94.37	3.2049	
108年12月	編號6: 15.62	2.6393	1. 四尾柵藻 2. 平裂藻 3. 綠球藻	109年6月	編號6: 30.62	2.8442	1. 四尾柵藻 2. 綠球藻 3. 捲繞平裂藻
	編號8: 114.06	2.3573			編號8: 25.89	2.7577	
	編號10: 189.06	3.7961			編號10: 38.12	3.0019	

根據圖8可以知道葉綠素A的濃度在七月和八月為最高，又因為這幾個月是最溫暖且日照充足的氣候，因此可以推斷藻類在此時進行光合作用的時間最長，故在這時候大量繁殖，且此時的綠藻和裸藻應為最多的。

根據圖9所示，七月份的葉綠素A濃度最高，而此時剛好是暑期，所以氣溫悶熱，造成大量的日照而使藻類長時間進行光合作用並大量繁殖，由此可以推斷此時的綠藻和裸藻最多。

如圖10所示，十月的葉綠素A濃度最高，推估這個時候是綠藻和裸藻最多的時期，而三月的葉綠素A濃度最低，推估這個時候是隱藻等無葉綠體的藻類最多的時候，造成這樣的原因，可能是此水池在施工。

依圖11可以知道六月的葉綠素A濃度最高，但七月與九月的時候濃度突然降低，參照採樣紀錄，可以推估應該是溼地在此時施工，導致生態改變，而到十月又變高，則應該是此地的藻類恢復生長。

依照圖12的結果，可以知道此地在夏季時的葉綠素A濃度最高，綠藻和裸藻最多，而冬季時葉綠素A濃度最低，隱藻等無葉綠體的藻類最多，因此推斷藻類的生長會受到溫度和日照的影響。

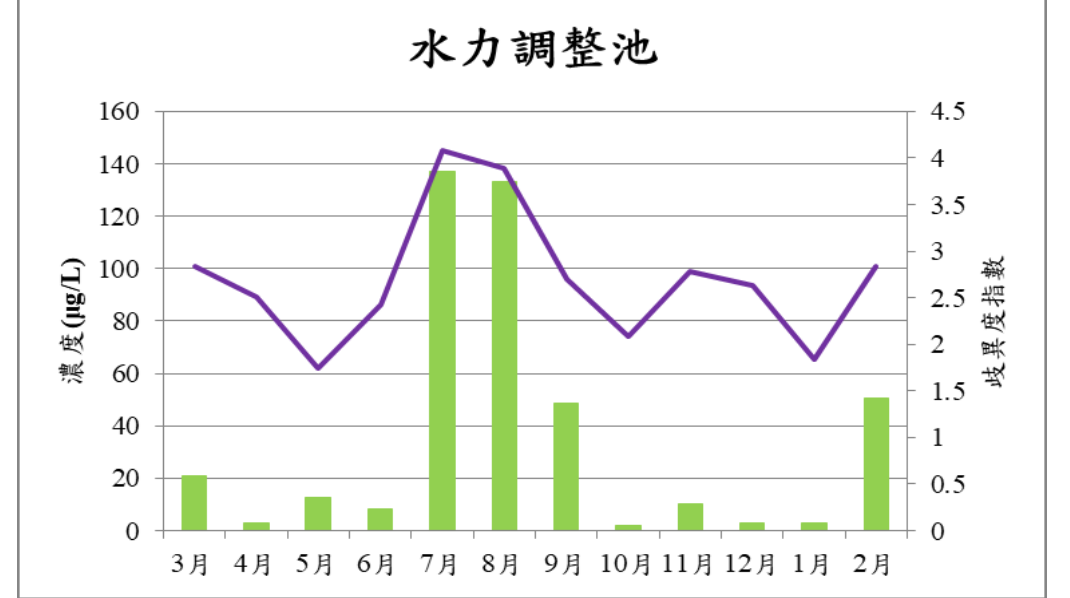


圖8、108年3月至109年2月水力調整池之葉綠素A濃度和Shannon-Wiener歧異度指標

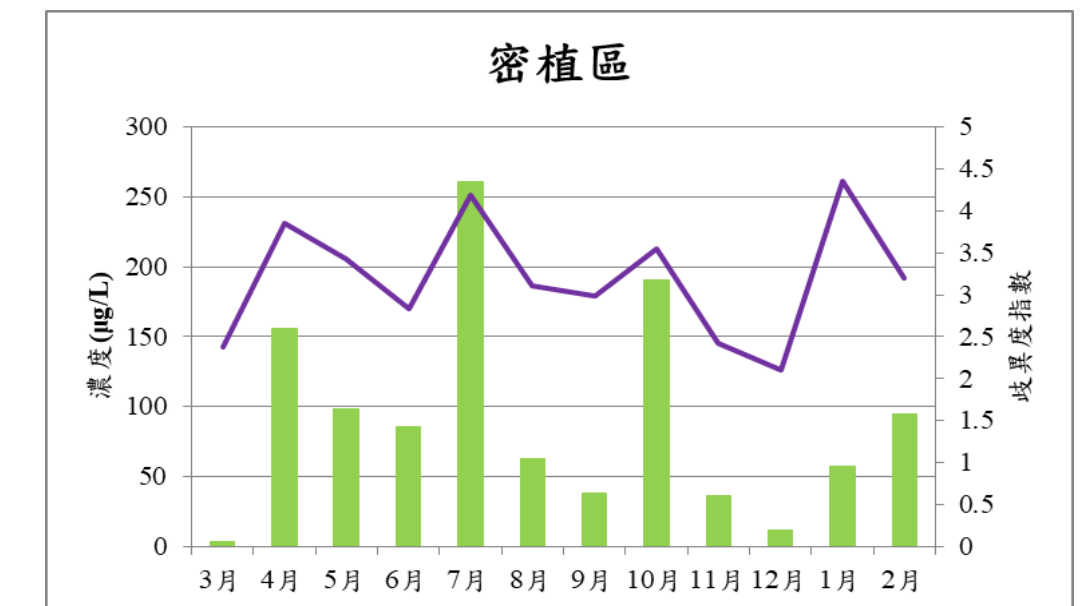


圖9、108年3月至109年2月密植區之葉綠素A濃度和Shannon-Wiener歧異度指標

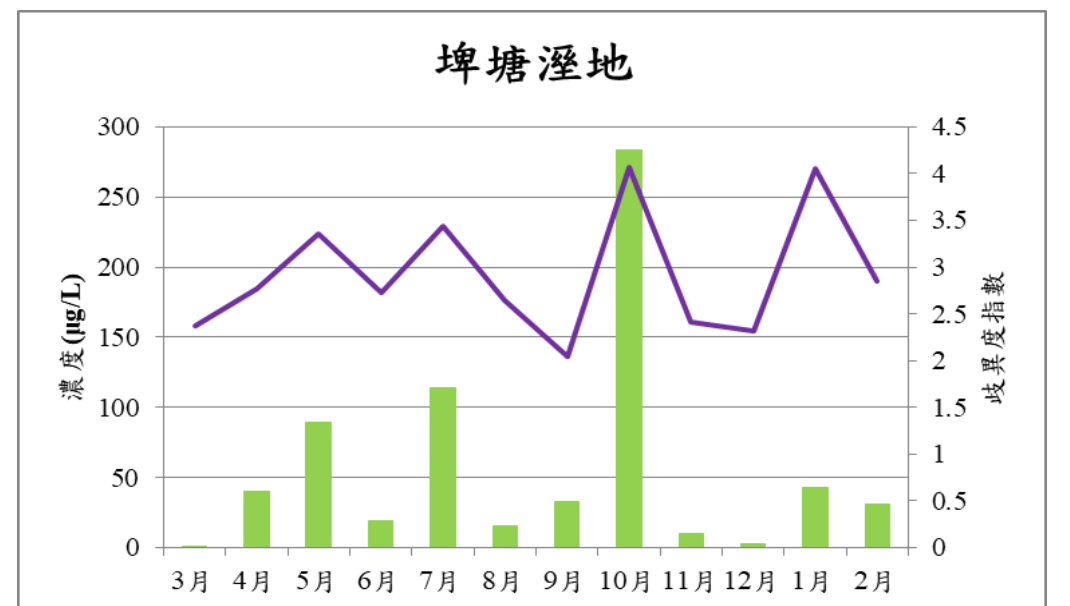


圖10、108年3月至109年2月埤塘溼地之葉綠素A濃度和Shannon-Wiener歧異度指標

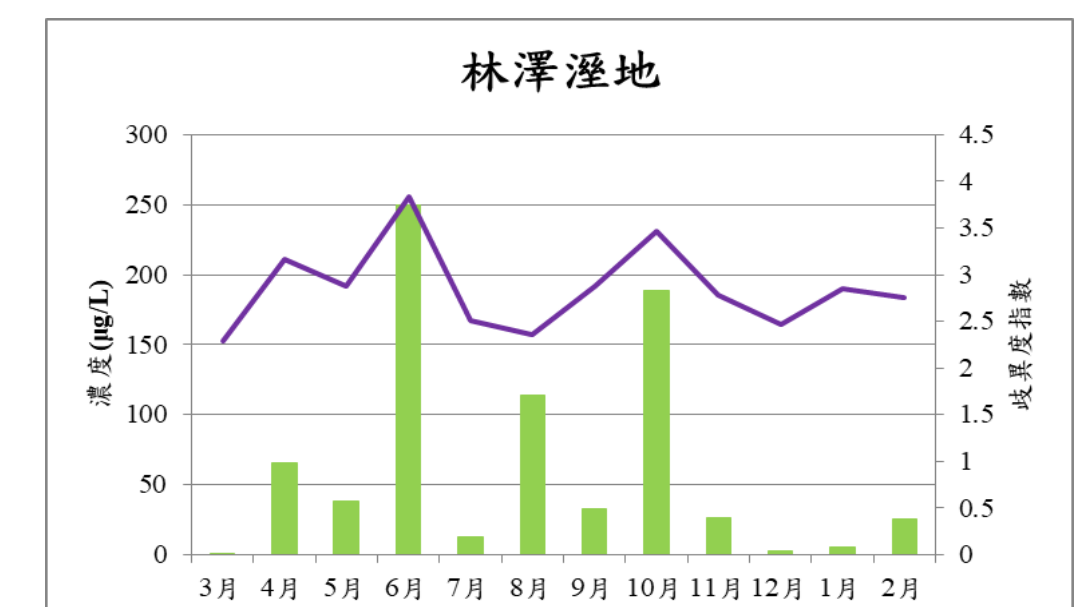


圖11、108年3月至109年2月林澤溼地之葉綠素A濃度和Shannon-Wiener歧異度指標

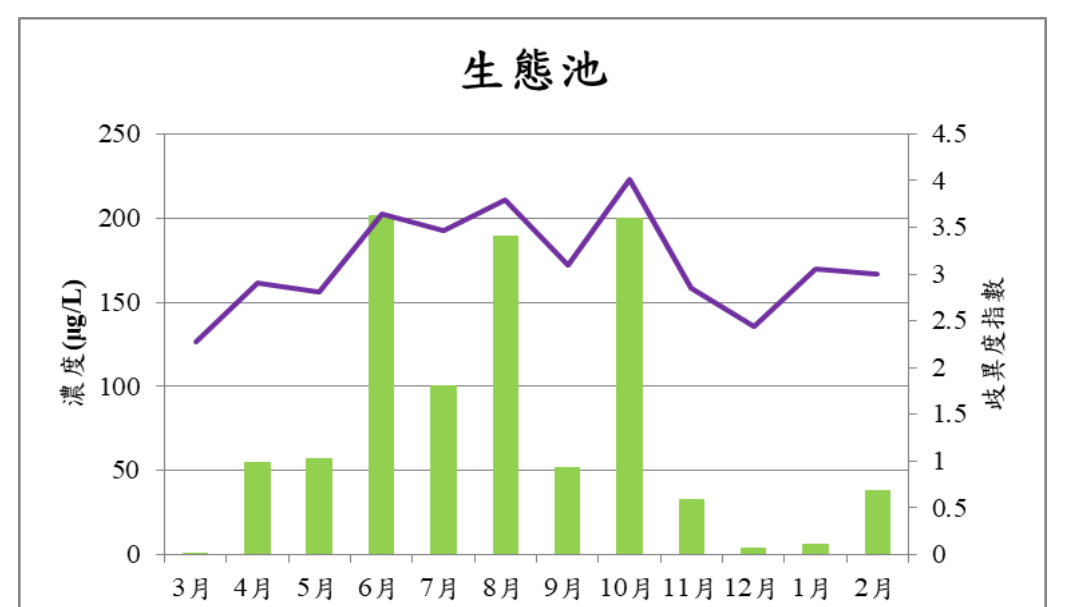


圖12、108年3月至109年2月生態池之葉綠素A濃度和Shannon-Wiener歧異度指標

五、結論與建議

1. 結論

研究比對發現水中的葉綠素A濃度與藻類的種類有明顯的相關性，葉綠素A濃度高於100µg/L時綠藻和裸藻為優勢種，小於100µg/L時隱藻為優勢種，各池又因為環境氣候等關係池內的優勢藻類並不固定，10月到隔年1月的葉綠素A濃度則小於100µg/L，但是綠藻和裸藻並不是優勢種，反而是被小環藻給取代，推測是氣溫降低引起而不適合綠藻和裸藻生存，且研究發現含有豐富葉綠素A的池子中，經過測定發現當中的磷酸鹽濃度偏高，由此來說明兩者之間呈正相關性。

2. 建議