

研究報告

臺中都會公園水化學之研究

呂淑瑋¹ 王秋嫻² 劉瓊霖^{1,*}

【摘要】本試驗目的為瞭解臺中都會公園園區池水水源、各水池(北方人工湖、南方人工湖、上方生態池及下方生態池)及雨水之水質狀況，並針對優養化嚴重的水池進行水質參數間相關分析，以提供未來環境教育及園區經營管理參考依據。本研究於2011年4月至2011年10月，每月進行水質參數(pH、電導度、溶氧值、葉綠素a、陰離子、陽離子、溶解性有機碳(DOC)、溶解性總碳(DC)、微量金屬元素、總懸浮固體物(TSS)等調查監測。其中北方人工湖(葉綠素a： $61.48 \mu\text{g L}^{-1}$)及南方人工湖(葉綠素a： $150.80 \mu\text{g L}^{-1}$)皆優養化相當嚴重，將水體葉綠素a與其他水質參數進行相關性分析，發現北方人工湖之葉綠素a與DOC、DC、TSS具顯著正相關，而南方人工湖之葉綠素a與pH、溶氧值、DOC、 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、TSS具有顯著正相關。此外，水體DOC與葉綠素a的回歸方程式之決定係數(R^2)為0.73，顯示DOC與葉綠素a濃度有顯著的正相關性。建議未來園區管理各座水池(特別是嚴重優養化的北方人工湖及南方人工湖)應控制水體中DOC的輸入量(遊客餵食行為之飼料及排泄物)或釋出量(底泥或泥沙之有機物釋出)，以減緩水池優養化的現象。

【關鍵詞】臺中都會公園、水化學、優養化、葉綠素a、溶解性有機碳

Research paper

Study on water chemistry of Taichung Metropolitan Park

Shu-Wei Lu¹ Chiu-Hsien Wang² Chiung-Pin Liu^{1,*}

【Abstract】The water chemistry (pH, conductivity, dissolved oxygen, chlorophyll a, anion, cation, dissolved organic carbon, total suspended solid etc.) was monitored from April to October, 2011 in Taichung Metropolitan Park. We analyzed the relationships among parameters of water chemistry in the eutrophical ponds to provide information for manager guidelines and environmental education. The chlorophyll a concentration at the north and south ponds were 61.48 and $150.80 \mu\text{g L}^{-1}$, respectively. Chlorophyll a concentration was significantly positive correlation with dissolved organic carbon (DOC), dissolved carbon (DC), total suspended solid (TSS) in the north pond. On the other hand, pH, dissolved oxygen, DOC, Na^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- and TSS were significantly positive correlation with chlorophyll a concentration in the south pond. Otherwise, R^2 was 0.73 between the chlorophyll a concentration and DOC in the four ponds,

1. 國立中興大學森林學系，402臺中市國光路250號。

Department of Forestry, National Chung Hsing University. No. 250 Kuo Kuang Rd., Taichung 402, Taiwan.

2. 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營組

Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

* 通訊作者。台中市402國光路250號。

電子郵件: cpliu@nchu.edu.tw。

indicating the eutrophication resulting from DOC. Therefore, the managers should control the DOC input from breeding behavior or liberation from mud in the ponds to reduce eutrophication.

【**Key words**】 Taichung Metropolitan Park, Water chemistry, Eutrophication, Chlorophyll a, Dissolved organic carbon (DOC)

一、前言

公園是提供大眾享受戶外之觀賞、修養、遊憩、運動的空間，可分為自然公園及都市公園(王鑫，1983)，都市公園綠地為位於都市發展地區內，包括了都會公園、中心公園、社區公園、特殊公園綠地、綠帶等(郭瓊瑩，1997)，具有多項生態、環境保護、景觀、生產、社會人文、休閒遊憩及環境教育等功能。遊客的遊憩行為，將會造成水質環境汙染(許秉翔，2011)。當水體(通常為靜止狀態或流速緩慢的水體，如湖泊、水庫、潭、池沼等)輸入大量的營養物質，如硝酸鹽(nitrates)及磷酸鹽(phosphates)，促使水中植物之藻類迅速大量繁殖，形成藻華(algal bloom)現象，稱之為優養化(eutrophication)(石鳳城，2005)。優養化程度評估指標可利用單變數指標法及多變數指標法進行評估。本研究試驗地為臺中都會公園園區內2座大型人工湖及生態池區，進行各項水質監測，藉由水質參數的調查及分析，推測水池優養化的原因，以科學數據為基礎，做為未來園區經營管理以及環境教育教材之參考依據。

二、材料與方法

(一) 園區水池

臺中都會公園園區內現有5座水池，分別是北方人工湖、南方人工湖、上方生態池、下方生態池及生態池下方的疏洪池。本研究主要針對北方人工湖、南方人工湖、上方生態池、下方生態池為調查對象，北方人工湖面積約為6,888 m²，南方人工湖面積約為6,550 m²，上方及下方生態池之面積總合約為950 m²。北方

人工湖及南方人工湖幾乎未栽植水生植物，而北方人工湖面上放置一只由PVC塑膠管製成的人工浮島(6 m×2 m)，人工浮島所栽種的植物為野薑花(*Hedychium coronarium*)；在北方人工湖的取樣點，湖面上有栽種小荇菜(*Nymphoides coreana*)。上方生態池栽種的植物有台灣萍蓬草(*Nuphar shimadai*)、小荇菜、野薑花、蘆葦(*Phragmites australis*)。下方生態池栽種的植物有香蒲(*Typha orientalis*)、風車草(*Cyperus alternifolius*)、齒葉睡蓮(*Nymphaea lotus*)、垂花水竹芋(*Thalia geniculata*)、黃花美人蕉(*Canna flaccida*)、台灣水龍(*Ludwigia × taiwanensis*)及紅辣蓼(*Polygonum glabrum*)等。

水池深度方面，北方人工湖之水池深度約為50 cm，南方人工湖之水池深度約為120 cm。上方生態池及下方生態池皆有底泥接觸水體，上方生態池水體與底泥有明顯的分層。上方生態池深度約為50 cm，而下方生態池深度約為30 cm。

(二) 園區補充水源、生態池及雨水之水樣收集

調查期間為2011年4月至2011年10月，池水及補充水源的水質調查頻率為每個月定期監測，在園區內之北方及南方人工湖、上方及下方生態池，共取12處具有代表池水的採樣點，採樣位置如表1及圖1所示。園區池水補充用水在2011年7月以前使用地下水做為補充水，自2011年8月改用自來水補充池水，收集樣品儘速送回實驗室分析。雨水收集裝置設在園區辦公室屋頂，由一個直徑20 cm的漏斗承接雨水，流入塑膠製的20公升收集桶，於每場雨後收集水樣。

表1. 臺中都會公園水環境調查各個採樣點的TWD97二度分帶座標值及經緯度座標值

Table 1. Location of sampling sites in Taichung Metropolitan Park

採樣點	TWD97 二度分帶座標值		經緯度	
	x	y	N (北緯)	E (東經)
北方人工湖1	209165.962	2678222.799	24° 12.537'	120° 35.880'
北方人工湖2	209130.292	2678182.292	24° 12.515'	120° 35.859'
北方人工湖3	209050.627	2678149.296	24° 12.497'	120° 35.812'
上方生態池1	208806.468	2678022.637	24° 12.428'	120° 35.668'
上方生態池2	208789.441	2677989.460	24° 12.410'	120° 35.658'
上方生態池3	208796.187	2677980.211	24° 12.405'	120° 35.662'
下方生態池1	208757.183	2677958.174	24° 12.393'	120° 35.639'
下方生態池2	208741.812	2677912.072	24° 12.368'	120° 35.630'
下方生態池3	208768.948	2677928.606	24° 12.377'	120° 35.646'
南方人工湖1	209087.463	2678007.057	24° 12.420'	120° 35.834'
南方人工湖2	209197.529	2678014.124	24° 12.424'	120° 35.899'



圖1. 臺中都會公園水環境調查之採樣點相對位置圖。

Fig. 1. Location of sampling sites in Taichung Metropolitan Park

(三) 水質參數分析

1. 現場分析

以攜帶式儀器進行現場分析，分析項目有酸鹼值 (pH) (EcoScan pH6, Singapore)、電導度 (electrical conductivity, E-. C-.) 及總溶解固體 (total dissolved solids, T-. D-. S-.) (WTW cond 330i, Germany)、葉綠素a (chlorophyll a)、水溫 (YSI6600V2, USA) 及溶氧 (dissolved oxygen, DO) (WTW Oxi 315i, Germany) 等，以在水面下測量並記錄各採樣調查地點的測值，藉此水化學現場資料，可瞭解水中浮游藻類的生物量變化和優養化情形。

2. 實驗室分析

將水樣儘速帶回實驗室後，利用0.45 μm 濾膜 (Gelmanscience GN-6 grid 0.45- μm sterilized filter paper, Germany) 進行抽氣過濾後，濾液置於恆溫箱 (4°C) 以備測定陽離子、陰離子、微量金屬元素及溶解性有機物。

總懸浮固體物 (total suspended solid, TSS) 的測定參照環保署標準方法NIEA W210.57A 水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103°C-105°C 乾燥。將水樣過濾於已知重量之濾膜，移入103-105°C 之烘箱續烘至恆重，所增加之重量即為懸浮固體重。陽離子 (Ca, Mg, K, Na, NH_4)、陰離子 (NO_3 , NO_2 , Cl, SO_4 , PO_4) 分析方式及流程參照金恆鏞與劉瓊霖 (1996) 之報告，過濾之水樣則以離子層析儀 (DX-120, USA) 分析之， HCO_3 則是將水樣以0.05 N H_2SO_4 滴定，以pH 4.5為滴定終點，測出 HCO_3 濃度 (APHA, 1995)。溶解性有機物以總有機碳分析儀 (High Temperature TOC, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany) 測定水樣中溶解性碳 (dissolved carbon, DC)、溶解性有機碳 (dissolved organic carbon, DOC) 和溶解性無機碳 (dissolved inorganic carbon, DIC) 濃度。

3. 統計分析

根據所測得資料，求出各個化學成份之當量濃度。利用SAS 9.1版套裝統計軟體進行園區之不同池水及補充水源之水質資料分析，

先以變異數分析 (ANOVA) 比較其差異。若處理間具顯著差異 ($p < 0.05$)，則進一步利用最小顯著差異法 (Least Significant Difference, LSD) 做不同水體間水質差異之比較。另將葉綠素a與各項水質參數進行皮爾森相關係數 (Pearson Correlation Coefficient) 分析。

三、結果與討論

(一) 雨水

臺中都會公園2011年5月至2011年10月調查雨水水化學之結果呈現於表2和表3，試驗期間雨水之pH值平均為5.82，園區在2011年的9月曾受到酸雨的危害 ($\text{pH} < 5.0$)，電導度值為33.3 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ，陽離子濃度以 NH_4^+ 為最高 (76.74 $\mu\text{eq L}^{-1}$)，其屬於非點源污染，來源為農業、林地或其他原因，推測此與施肥有關。陰離子濃度以 SO_4^{2-} 及 HCO_3^- 為最高 (72.16及73.38 $\mu\text{eq L}^{-1}$)， NO_3^- 及Cl $^-$ 次之 (40.00及36.08 $\mu\text{eq L}^{-1}$)，以F $^-$ 為最低0.33 $\mu\text{eq L}^{-1}$ 。Wang等 (2005) 對於沙塵暴與非沙塵暴期間之水溶性氣溶膠 (aerosol) 離子之分析結果，將空氣中水溶性離子分為3大類，來自地殼元素的離子 (Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+})、來自汙染 (NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 及F $^-$) 以及來自汙染-地殼元素離子 (SO_4^{2-} 、Cl $^-$ 、K $^+$)，Lin 等 (1996) 亦指出 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 屬人為汙染源，因此推測試驗期間，園區雨水可能受到鄰近和長程輸送的人為或工業汙染所影響。

園區雨水中的陽離子濃度平均值依序為 $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ ，而陰離子依序為 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_2^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{F}^-$ ；國立自然科學博物館所收集到的雨水組成陽離子濃度為 $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ ，而陰離子濃度為 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^- > \text{NO}_2^-$ (劉恩好和劉瓊霖, 2008)；四堵苗圃之雨水陽離子組成為 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+$ ；陰離子為 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{F}^-$ (鍾欣芸等, 2008)；烏石坑地區之雨水陽離子成分為 $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ，而陰離子為 $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$ (薛美莉, 2009)，可見雨水的水化學組成會隨

表2. 臺中都會公園雨水水化學 (2011年04月至2011年10月)

Table 2. Water chemistry of precipitation in Taichung Metropolitan Park (April, 2011 to October, 2011)

項目	pH	E-. C-	TDS	TSS	DIC	DC	DOC	DN	Na ⁺	NH ₄ ⁺
		(μS cm ⁻¹)				(mg L ⁻¹)			---	
									(μeq L ⁻¹)	
Max	6.48	60.5	33.4	31.0	1.52	11.55	11.22	1.25	66.39	150.43
Min	4.96	12.0	7.0	6.0	0.09	1.97	1.76	0.69	9.16	38.57
Median	5.99	29.0	19.0	26.0	0.24	3.40	3.17	0.83	31.85	68.84
Mean	5.82	33.3	21.5	17.60	0.48	6.15	5.67	0.97	34.10	76.74
項目	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	----- (μeq L ⁻¹) -----									
Max	85.39	24.97	60.99	0.50	61.90	33.45	51.09	3.42	115.37	176.00
Min	2.36	6.72	16.10	0.08	2.91	0.00	6.09	0.00	21.77	31.68
Median	23.83	15.82	22.15	0.31	42.61	5.47	44.74	1.13	75.80	54.72
Mean	31.45	14.99	32.14	0.33	36.08	11.39	40.00	1.16	72.16	73.38

註1：E-. C-為電導度值；TDS為溶解性固體物；TSS為總懸浮固體物；DIC為溶解性無機碳；DC為溶解性碳；DOC為溶解性有機碳；DN為溶解性氮。

註2：Max為最大值；Min為最小值；Median為中位數；Mean為均值。

表3. 臺中都會公園雨水中之重金屬濃度 (mg L⁻¹)

Table 3. Metal concentration of precipitation in Taichung Metropolitan Park

	As	Cd	Fe	Cr	Mn	Cu	Al	Ni	Zn	Pb	Co
	----- mg L ⁻¹ -----										
Max	0.05	0.03	0.13	0.12	0.22	0.02	0.09	0.05	0.06	0.27	0.20
Min	0.04	0.00	0.00	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
Median	0.04	0.01	0.03	0.08	0.03	0.00	0.03	0.02	0.02	0.12	0.00
Mean	0.04	0.01	0.05	0.09	0.07	0.01	0.04	0.02	0.03	0.16	0.01

註1：取樣期間為2011年05月至2011年10月。

註2：Max為最大值；Min為最小值；Median為中位數；Mean為均值。

監測地點而改變。有關園區雨水組成的特性，需待收集更長期的資料來加以確定。

雨水中重金屬平均濃度介於 0.01-0.16 mg L⁻¹之間，其濃度依序為 Pb>Cr>Mn>Fe>As>Zn>Ni>Co>Cd>Cu。重金屬間的相關性分析 (表4)，顯示Pb及Cr (r=0.99, P<0.01)、Co及Zn (r=0.97, P<0.01)、Cu及Mn

(r = 0.93, p < 0.05) 具有顯著正相關性。根據 Tsai *et al.*, (1998) 指出各種具有高度相關性的重金屬元素，可能來自同一個污染來源。因此，推測Pb及Cr、Co及Zn之污染來源相同，可能來自於油品燃燒時形成粒狀污染物逸散置空氣，後隨雨水淋洗帶進水體。

表4. 台中都會公園雨水重金屬濃度之相關性

Table 4. Correlation of precipitation metal concentration in Taichung Metropolitan Park

	Cd	Fe	Cr	Mn	Cu	Al	Ni	Zn	Pb	Co
Cd	1.00	-0.85	0.18	-0.09	0.07	-0.49	-0.48	-0.16	0.18	0.05
Fe		1.00	0.05	-0.04	-0.34	0.18	0.57	-0.27	-0.01	-0.47
Cr			1.00	-0.70	-0.77	-0.49	-0.66	-0.87	0.99**	-0.84
Mn				1.00	0.93*	0.80	0.30	0.47	-0.74	0.50
Cu					1.00	0.75	0.14	0.68	-0.74	0.74
Al						1.00	0.10	0.47	-0.45	0.42
Ni							1.00	0.34	-0.73	0.20
Zn								1.00	-0.80	0.97**
Pb									1.00	-0.76
Co										1.00

註1：*表示 $p < 0.05$ ；**表示 $p < 0.01$ ；***表示 $p < 0.001$ 。

註2：取樣期間為2011年5月至2011年10月。

(二) 園區水池補充水

地下水與自來水pH值(表5)分別為7.10及7.47, 而電導度值分別為241.54及361.00 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 。依據Mohamed等(2003)所提出的地下水水質菱形圖, 如圖2所示, 屬於第III型, 為鹼土類非碳酸鹽, CaSO_4 或 CaCl_2 , 屬於礦山、火山性的水、溫泉、坑內水或農業污染之地下水, 故可推測園區補充水源(2011年7月以前)屬於農業活動所汙染之地下水, 其農業活動利用的化學肥料形式主要為 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。自2011年8月開始園區池水補充水源改使用自來水當作補充之水源。自來水之陽離子組成中(表5), 以 Ca^{2+} 為最多61.18% (2017.43 $\mu\text{eq L}^{-1}$), Mg^{2+} 次之29.58% (975.49 $\mu\text{eq L}^{-1}$), K^+ 最少1.21% (39.81 $\mu\text{eq L}^{-1}$); 地下水之陽離子組成中, 以 Ca^{2+} 為最多45.63% (929.57 $\mu\text{eq L}^{-1}$), Na^+ 次之27.27% (555.41 $\mu\text{eq L}^{-1}$), K^+ 最少2.13% (43.32 $\mu\text{eq L}^{-1}$)。陰離子組成中, 自來水 NO_3^- 所佔全體陰離子的比例為0.78% (27.39 $\mu\text{eq L}^{-1}$), 而地下水則為10.67% (239.21 $\mu\text{eq L}^{-1}$)。因此園區池水之補充使用自來水, 可降低氮源(NO_3^-)的輸入, 推測可減緩水池優養化情形, 但實際改善情況有待後續的長期監測來驗證。

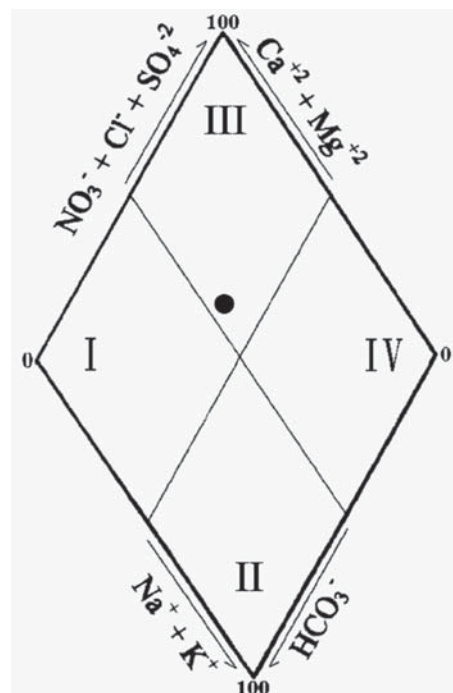


圖2. Piper水質分類圖 (Mohamed *et al.*, 2003), 原 $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 處修改為 $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$, 圓點(●)為臺中都會公園補充水源。

Fig. 2. Piper diagram of groundwater samples (Mohamed *et al.*, 2003) of (●) Taichung Metropolitan Park.

表5. 臺中都會公園園區各池水及水源之水化學

Table 5. Source, artificial pools and ecological ponds water chemistry in Taichung Metropolitan Park (April, 2011 to October, 2011)

	北方人工湖		南方人工湖		上方生態池		下方生態池		水源(地下水)		水源(自來水)	
pH	8.66 ± 0.32c	8.63 ± 0.71aa	6.66 ± 0.29ac	8.15 ± 0.68aa	7.10 ± 0.60bc	7.47 ± 0.51b						
E.C., $\mu\text{S cm}^{-1}$	175.64 ± 42.99c	212.75 ± 25.22cb	248.99 ± 70.96ab	315.49 ± 58.11aa	241.54 ± 128.25b	361.00 ± 13.00a						
TDS, mg L^{-1}	97.29 ± 23.99d	129.10 ± 37.2 cd	142.36 ± 47.34cb	177.10 ± 35.52ab	132.56 ± 67.01cd	238.00 ± 74.65a						
DC, mg L^{-1}	19.29 ± 3.99b	26.40 ± 1.95aa	24.94 ± 5.81aa	18.90 ± 4.90ab	14.42 ± 7.71c	22.72 ± 0.23ab						
DIC, mg L^{-1}	11.09 ± 2.18d	14.17 ± 3.68cd	18.55 ± 4.88ab	16.32 ± 5.08bc	12.55 ± 6.36cd	21.50 ± 0.43a						
DOC, mg L^{-1}	8.21 ± 2.94b	12.22 ± 3.97aa	6.58 ± 2.27ab	2.59 ± 0.60ac	1.87 ± 1.51c	1.21 ± 0.31c						
DN, mg L^{-1}	0.36 ± 0.05b	0.40 ± 0.02ab	0.25 ± 0.10ab	0.54 ± 0.68ab	3.69 ± 1.73a	-						
Na ⁺ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	718.98 ± 209.93a	605.15 ± 134.27ab	366.68 ± 169.62cd	473.79 ± 181.60bc	555.41 ± 186.67b	264.54 ± 04.05d						
K ⁺ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	53.11 ± 13.83b	68.80 ± 9.34aa	35.62 ± 18.16ac	42.19 ± 11.61cb	43.32 ± 3.03cb	39.81 ± 0.38c						
Mg ²⁺ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	239.30 ± 93.04e	389.04 ± 118.28de	632.17 ± 224.16cb	764.53 ± 284.26cb	508.10 ± 383.85cd	975.49 ± 25.58a						
Ca ²⁺ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	415.53 ± 179.64e	249.98 ± 751.39de	1160.91 ± 432.91ac	1611.19 ± 489.17ab	929.5 ± 849.48cd	2017.43 ± 41.68a						
NH ₄ ⁺ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	9.83 ± 40.46a	0.45 ± 0.99aa	0.35 ± 0.78aa	0.31 ± 0.71aa	0.6 ± 1.09a	0.00 ± 0.00a						
F ⁻ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	0.91 ± 0.19b	0.70 ± 0.21b	0.59 ± 0.13b	0.88 ± 0.32b	0.58 ± 0.18b	3.75 ±						
Cl ⁻ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	324.56 ± 112.17a	227.04 ± 62.78b	107.67 ± 49.28c	109.21 ± 66.93c	198.94 ± 83.94b	71.90 ± 9.65c						
NO ₂ ⁻ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	0.20 ± 0.30a	0.19 ± 0.61a	0.15 ± 0.29a	0.28 ± 0.61a	0.04 ± 0.13a	0.15 ± 0.25a						
NO ₃ ⁻ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	2.37 ± 2.06b	0.68 ± 0.90b	0.58 ± 1.10b	16.44 ± 36.81b	239.21 ± 155.18a	27.39 ± 2.67b						
PO ₄ ³⁻ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	0.08 ± 0.29b	0.01 ± 0.03b	0.03 ± 1.14b	0.00 ± 0.00b	0.43 ± 0.39a	0.00 ± 0.00b						
SO ₄ ²⁻ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	290.24 ± 244.22b	432.31 ± 174.89b	629.06 ± 433.74b	1526.47 ± 917.01a	751.70 ± 798.23b	1670.65 ± 138.63a						
HCO ₃ ⁻ , $\mu\text{eq L}^{-1}$	948.34 ± 150.56d	1288.05 ± 152.11bc	1476.24 ± 356.85ab	1402.22 ± 351.42b	1051.20 ± 624.17bc	1704.32 ± 100.39a						
DO, ml L^{-1}	5.23 ± 2.16b	10.05 ± 1.87a	3.68 ± 1.41c	9.99 ± 2.81a	±	±						
Chl-a, $\mu\text{g L}^{-1}$	61.48 ± 35.18b	150.80 ± 137.30a	14.50 ± 14.83c	9.28 ± 9.61c	±	±						
TSS, mg L^{-1}	102.65 ± 46.67a	42.40 ± 23.02b	35.79 ± 37.62b	34.35 ± 25.21b	±	±						

註1：北方人工湖、南方人工湖、上方生態池及下方生態池之4座池水取樣時間為2011年4月至2011年10月。

註2：地下水取樣時間為2011年4月至2011年7月。

註3：自來水取樣期間為2011年8月至2011年10月。

註4：DO為溶氧值；Chl-a為葉綠素a；TSS為總懸浮固體物；TDS為溶解性固體物；E.C.為電導度值；DIC為溶解性無機碳；DC為溶解性碳；DOC為溶解性有機碳；DN為溶解性氮。

註5：平均值±標準差，標準差後方的字母不同表示具有p<0.05的差異。

(三) 池水

園區池水及補充用水之水化學分析結果如表5所示，下方生態池及南方人工湖之pH為最高 (8.15-8.63)，上方生態池及北方人工湖最低 (6.66-6.86)。電導度值為下方生態池及補充水源 (自來水) 為最高 (315.49-361.00 $\mu\text{S cm}^{-1}$)，北方人工湖為最低 (175.64 $\mu\text{S cm}^{-1}$)。溶氧值以南方人工湖及下方生態池為最高 (9.99-10.05 mg L^{-1})，北方人工湖次之 (5.23 mg L^{-1})，上方生態池為最少 (3.68 mg L^{-1})。總懸浮固體物以北方人工湖池水 (102.65 mg L^{-1}) 相較於其他池水為高 (34.35-42.40 mg L^{-1})。

DOC濃度以南方人工湖為最高 (12.22 mg L^{-1})，北方人工湖及上方生態池次之 (8.21及6.58 mg L^{-1})，下方生態池 (2.59 mg L^{-1}) 及補充水源 (1.21-1.87 mg L^{-1}) 最低。DC濃度以南方人工湖 (26.40 mg L^{-1}) 及上方生態池 (24.94 mg L^{-1}) 為最高，北方人工湖 (19.29 mg L^{-1}) 及下方生態池 (18.90 mg L^{-1}) 次之，而以地下水最少為14.42 mg L^{-1} 。

陽離子方面，北方人工湖及南方人工湖之陽離子濃度都以 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$ ，上方生態池及下方生態池之陽離子濃度依序為 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$ 。在4座池水中， Na^+ 濃度以北方人工湖最高， Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 濃度最低； K^+ 濃度則是以南方人工湖為最高。

陰離子方面，自來水中的F⁻相較於園區內的池水 (及地下水) 皆高。池水中 Cl^- 濃度以北方人工湖為最高 (324.56 $\mu\text{eq L}^{-1}$)，南方人工湖次之 (227.04 $\mu\text{eq L}^{-1}$)，上方生態池及下方生態池為最少 (107.67-109.21 $\mu\text{eq L}^{-1}$)。

湖泊之鹼度 (alkalinity) 或酸中和能力 (acid-neutralizing capacity) 主要由 HCO_3^- 所組成 (Brouwer *et al.*, 2002)，Sharpe等 (1984) 曾定義地面水的 HCO_3^- 濃度若小於200 $\mu\text{eq L}^{-1}$ 為酸沉降敏感的區域，而園區內4座水池之 HCO_3^- 當量濃度 (表3) 介於948.34-1476.24 $\mu\text{eq L}^{-1}$ 皆非酸沉降敏感區。上方生態池之 HCO_3^- 當量濃度為4座水池中最高的 (1476.24 $\mu\text{eq L}^{-1}$)。劉瓊霏等 (2004)

於福山試驗林哈盆溪流域之水生植物池之池水 HCO_3^- 的當量濃度較 (溪流水) 高，也可能導因於水生植物池微生物呼吸作用旺盛。下方生態池池水中的 SO_4^{2-} 高於其他3座池水 (1526.47 $\mu\text{eq L}^{-1}$)，大約2.42-5.26倍。

(四) 水池優養化

若湖泊中發生優養化的現象，在此過程中浮游植物常過量繁殖，而植物細胞中均可發現葉綠素a，因此藉由葉綠素a測定，可以推估湖泊浮游植物的量。水中葉綠素a檢測可以評估湖泊水庫優氧化及海水水域生產力，為生態環境評估的檢測技術之一。園區各個池水之葉綠素a濃度，以南方人工湖池水之最高為150.80 $\mu\text{g L}^{-1}$ ，北方人工湖次之61.48 $\mu\text{g L}^{-1}$ ，上方生態池及下方生態池為最低9.28-14.50 $\mu\text{g L}^{-1}$ 。利用卡爾森單一參數及美國環境保護署單一參數 ($>7.2 \mu\text{g L}^{-1}$; $>10 \mu\text{g L}^{-1}$) 評判水質優養化情形，北方人工湖及南方人工湖皆為優養化的情形，而上方生態池則為 (美國環境保護署單一參數評判優養化) 普養 (4-10 $\mu\text{g L}^{-1}$) 的狀態。史健軍 (2009) 曾於宜蘭縣之龍潭湖、梅花湖、大湖、雙連埤及翠峰湖所做的水質調查，湖泊的葉綠素a濃度平均值分別為37、16、29、46及29 $\mu\text{g L}^{-1}$ ，皆為優養化狀態，而園區之北方人工湖及南方人工湖優養化程度亦相當嚴重。

另將優養化的池水 (北方人工湖及南方人工湖) 之葉綠素a與各水質參數進行相關性分析，表6為北方人工湖葉綠素a與各水質參數相關性，結果顯示DOC、DC、TSS與葉綠素a達顯著正相關； Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 則呈現負相關。北方人工湖造成優養化的原因與水中的黃褐色之泥沙有關，黃褐色泥沙可能造成懸浮固體物增加並使DC釋出，而導致水中葉綠素a濃度增加，但仍須未來進一步研究確認。南方人工湖葉綠素a與各水質參數相關分析，具有顯著正相關之參數有pH、溶氧值、DOC、 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、TSS，其中 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、TSS可能來自鳥禽糞便 (Edwards and Daniel, 1992)；具有負相關的參數有電導度

表6. 臺中都會公園園區內北方人工湖及南方人工湖之水葉綠素a與各水質參數相關性

Table 6. Correlation analysis for chlorophyll a concentration and water quality parameter of north pool and south pool in Taichung Metropolitan Park

北方人工湖						
pH	TDS	E-. C-.	DO	DIC	DC	DOC
0.32	-0.03	-0.13	0.04	0.25	0.67***	0.72***
DN	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻
0.24	0.35	-0.31	-0.32	-0.38	-0.44*	-0.06
Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TSS
0.19	-0.15	-0.26	0.13	-0.62**	0.03	0.46*
南方人工湖						
pH	TDS	E-. C-.	DO	DIC	DC	DOC
0.77***	-0.41	-0.71***	0.71***	-0.73***	0.27	0.81***
DN	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻
0.67*	0.90***	-0.35	-0.52*	-0.84***	-0.84***	0.21
Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TSS
0.89***	0.55***	0.66***	0.40	-0.70***	-0.69***	0.94***

註1：取樣期間為2011年4月至2011年10月。

註2：*表示p<0.5；**表示p<0.01；***表示p<0.001。

註3：DO為溶氧值；Chl-a為葉綠素a；TSS為總懸浮固體物；TDS為溶解性固體物；E-. C-.為電導度值；DIC為溶解性無機碳；DC為溶解性碳；DOC為溶解性有機碳；DN為溶解性氮。

值、DIC、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻。

圖3為園區內4座池水葉綠素a與DOC濃度的相關性，結果顯示DOC與葉綠素a的回歸方程式之決定係數 (R²) 為0.73，表示DOC與葉綠素a濃度具有高度的正相關性。Cheng和Chi (2003) 認為當水體發生藻華時，水體中有機物降解速率較慢於生物代謝的形成，於是當藻類開時繁殖時，溶解性有機物量隨之增加；而在南方人工湖的遊客餵食水禽及魚類的行為，投入水體飼料而造成水體有機物增加，亦會造成水禽及魚類的排洩物排放入水體，造成水體有機物增加。因此，園區各座水池 (特別是嚴重優養化的北方人工湖及南方人工湖) 應控制水體中DOC的輸入量 (遊客餵食行為之飼料及

有機物質) 或釋出量 (底泥或泥沙之有機物釋出)，以減緩水池優養化的發生。

四、結論

本研究以臺中都會公園源區內水池進行水質參數的收集及分析，園區水池補充水源在2011年7月以前是使用受農業污染的地下水，其NO₃⁻為239.21 μeq L⁻¹ (占陰離子組成比例為10.67%)，而在2011年7月以後則是使用自來水NO₃⁻為27.39 μeq L⁻¹ (占陰離子組成比例為0.78%)。以自來水補充池水，推測應可降低氮源的輸入，減緩水質優養化的發生，但仍有待進一步的監測來驗證。

以美國環境保護署單一參數 (葉綠素a濃

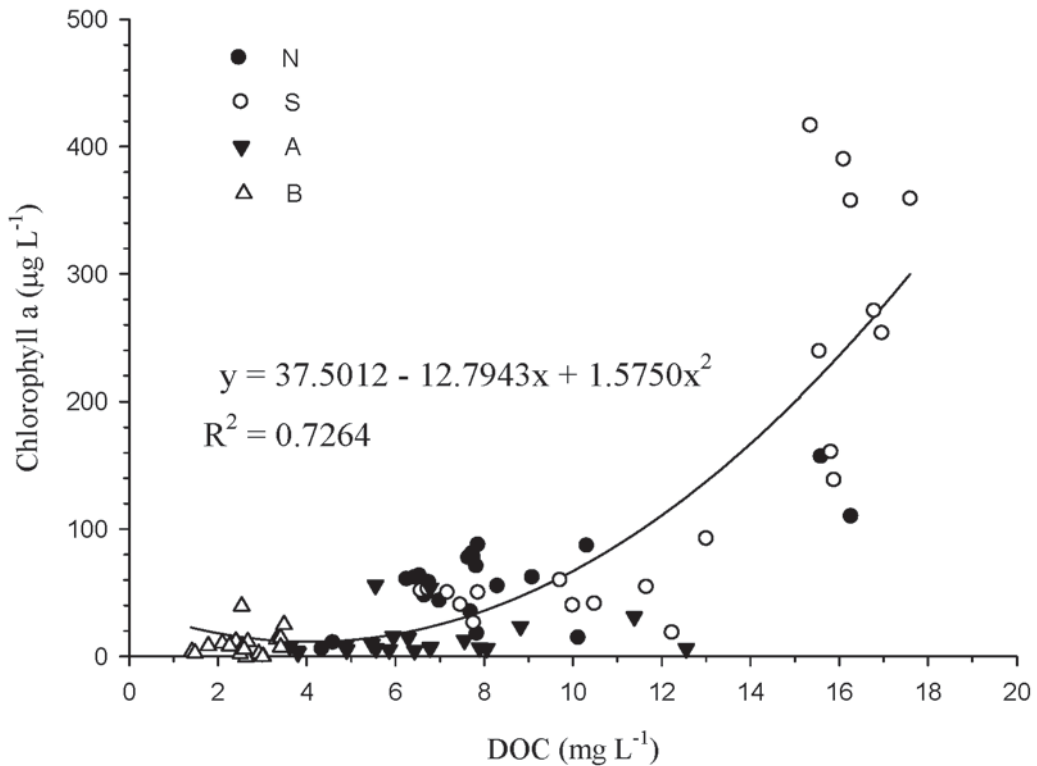


圖3. 臺中都會公園各水池 ((●) N表示北方人工湖 (○) S表示南方人工湖 (▼) A表示上方生態池 (△) B表示下方生態池) 之溶解性有機碳 (DOC) 與葉綠素a (chlorophyll a) 濃度的相關性 ($p < 0.05$)。

Fig. 3. Correlation analysis for chlorophyll a and dissolved organic carbon concentration of Pool water ((●) N means north pool (○) S means south pool (▼) A means above ecological pond (△) B means below ecological pond) in Taichung Metropolitan Park.

度) 評判優養化程度，下方生態池屬於普養的狀況，而上方生態池及北、南方人工湖皆為優養化的情形。南方人工湖池水之葉綠素a濃度是4座池水中最高的 ($150.80 \mu\text{g L}^{-1}$)，以北方人工湖次之 ($61.48 \mu\text{g L}^{-1}$)，這2座池水優養化情形相當嚴重。北方人工湖及南方人工湖之葉綠素a皆與DOC達顯著正相關。因此應控制水體中DOC的輸入，此結果可用於教育入園遊客，應儘量避免餵食行為，防止飼料及有機物質投入水池中，以減緩水池優養化的發生。

五、謝誌

本研究承行政院內政部營建署臺中都會公園計畫經費補助，劉恩好、陳思穎、黃筱茜、

王仁、王冠榮等協助現場及實驗室工作，僅此致謝。

六、參考文獻

- 王鑫 (1983) 風景區系統架構。交通建設 32(9): 2-9。
- 史健軍 (2009) 宜蘭地區湖泊優養化指標分析。蘭陽學報 8: 8-14。
- 石鳳城 (2005) 水質分析與檢測。新文京開發股份有限公司。
- 金恆鏞、劉瓊霖 (1996) 離子層析儀應用在水質分析的技術探討。林業試驗所林業叢刊 68號。
- 許秉翔、林鴻忠、李久先 (2011) 社區居民社區

- 型自然步道之觀光衝擊的認知。林業研究季刊 32(4): 81-96。
- 郭瓊瑩 (1997) 都市公園綠地系統示範區規劃。內政部營建署。
- 劉恩妤、劉瓊霏 (2008) 利用混沉降物的收集以推估林木對空氣污染物的截留能力。林業研究季刊 30(3): 1-12。
- 劉瓊霏、陳春雄、金恆鏞 (2004) 以主成份分析探討福山試驗林哈盆溪流域水化學的空間變異性。台灣林業科學 19(4): 363-374。
- 鍾欣芸、林鴻忠、王秋嫻、劉瓊霏 (2008) 苗圃育苗作業對水化學的影響。中華林學季刊 41(2): 199-209。
- 薛美莉 (2009) 烏石坑地區18年生台灣杉人工林雨水之質量組成。特有生物研究 11(1): 1-19。
- APHA (1995) Standard methods for the examination of water and wastewater. A. D. Eaton, L. S. Clesceri, and A. E. Greenberg, eds. 19th edition. United Book Press, Baltimore, MD.
- Brouwer, E., R. Bobbink and J. G. M. Roelofs (2002) Restoration of aquatic macrophyte vegetation in acidified and eutrophied softwater lakes: an overview. Aquatic botany 73: 405-431.
- Cheng, W. P. and F. H. Chi (2003) Influence of eutrophication on the coagulation efficiency in reservoir water. Chemosphere 53: 773-778.
- Edwards D.R. and T.C. Daniel (1992) Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal-A review. Bioresource Technology 41: 9-13.
- Lin, T. C., King, H. B., Hsia, Y. J., Wang, L. J., Horng, J. L. and C. P. Liu (1996) Evaluating rainfall contamination in Fu-Shan experimental forest by using factor analysis. Quarterly Journal of Chinese Forestry 29(1): 121-131.
- Mohamed, M. A. A., H. Terao., R. Suzuki., I. S. Babiker., K. Ohta., K. Kaori and K. Kato (2003) Natural denitrification in the Kakamigahara groundwater basin, Gifu prefecture, central Japan. The Science of the Total Environment 307: 191-201.
- Sharpe, W. E., D. R. Dewalle, R. T. Liebfriend, R. S. Dinicola, W. G. Kimmel and L. S. Sherwin (1984) Causes of acidification of four streams on Laurel Hill in southwestern Pennsylvania. Journal of Environmental Quality 13: 619-631.
- Tsai, L. J., K. C. Yu, J. S. Chang and S. T. Ho (1998) Fractionation of heavy metals in sediment cores from the ell-ren river, Taiwan. Water Science and Technology 37(6-7): 217-224.
- Wang, Y., G. Zhuang, Y. Sun and Z. An (2005) Water-soluble part of the aerosol in the dust storm season-evidence of the mixing between mineral and pollution aerosols. Atmospheric Environment 39: 7020-7029.

