

大安森林公園生態基礎調查

107-108 年度大安森林公園生態池的水質監測 及水體污染評估

期末報告

國立台學大生物環境系統工程學系

中華民國 108 年 7 月

摘要

本計畫針對大安森林公園三座生態為研究樣點，進行定期水質監測，建立三座生態池水水質長期變化之理解。結果顯示大生態池中央樹島聚集大群水鳥棲息及周邊園藝施肥作業，鳥類排泄物過多及肥料沖刷流入大生態池，致水質優養化及藻華現象嚴重，營養鹽濃度高度超過其餘二座生態池，水質劣化問題於夏季更見嚴重。大生態池早年為調節夏季猛烈陽光造成水溫暴升問題，水池植北方植有大片大萍生長區，本研究結果證實大萍生長茂盛並無助於降低水溫，反而導致其下層的藻類因照不到陽光而沉入水底死亡，被池底細菌分解藻類屍體過程中消耗氧氣使得水中更加缺氧，導致魚類等生物窒息死亡，即為優養化惡性循環的過程。至於二號池(第一、二期生態池)與三號池(第三生態池)，在日曬較多的區域有水綿孳生，過度生長水綿死亡後再細菌耗養分解，使水中缺氧導致更多生物死亡，建議須定期管理以防其生長過度纏繞其餘水生植物及水生生物。本研究針對大生態池水質改善之可行方法建議(1)藉由疏枝減低中央樹島過度茂密植被以減少鳥群數量及減少岸邊施肥用量來降低營養來源；(2)藉由多種植挺水性與沉水性水生植物與藻類競爭營養鹽以抑制水中藻類數量，並定期整理將水生植物移除遠離岸邊丟棄，以便清除其生長所吸收的營養鹽。本研究建議必須藉由進行長期定期水質監測，為水體污染評估提供科學數據，準確掌握水體污染程度、污染來源及污染防治方法的有效性，實施妥善管理大安森林公園三座生態池水質。

關鍵詞：生態池、污染評估、優養化、藻華現象、定期水質監測、水質改善

目錄

摘要.....	2
圖目錄.....	4
表目錄.....	5
第一章 緒論	6
1.1 研究動機	6
1.2 研究目的	6
1.3 研究流程與架構.....	7
第二章 研究方法	8
2.1 樣點設定	8
2.2 採樣設計	11
2.3 定期水質監測.....	11
2.4 生態池水質污染程度探討.....	11
第三章 結果與討論.....	12
3.1 生態池水質因子調查	12
3.2 生態池水域環境及水質變化之關係	21
3.3 水質污染程度評估及水質改善之可行方法.....	22
第四章 結論與建議.....	24
4.1 結論	24
4.2 建議	24
參考文獻	26
附錄 工作人員名錄	27

圖目錄

圖 1 - 1、研究流程圖	7
圖 2 - 1、三座生態池現地採樣位置	8
圖 2 - 2、一號池(大生態池)現地照片	9
圖 2 - 3、一號池(大生態池)北方的大萍生長區現地照片	9
圖 2 - 4、二號池(第一期與第二期生態池) 現地照片	10
圖 2 - 5、三號池(第三期生態池) 現地照片	10
圖 3 - 1、2018 年冬季至 2019 年夏季三座生態池水質因子調查結果	16

表目錄

表 3 - 1、2018 年冬季至 2019 年夏季三座生態池水質因子調查結果.....	15
表 3 - 2、三座生態池水質季節性差異比較結果	18
表 3 - 3、大生態池 2019 年夏季有無大萍生長之水質差異比較結果.....	19

第一章 緒論

1.1 研究動機

近年不少國內外研究對於都市中人工濕地或人造水域的鳥類、魚類、兩棲類、水生無脊椎動物及水生植物等物種多樣性皆有記錄，也對於其中影響生物多樣性的因子作探討，說明了淡水生物於都市環境中人造水域的適應能力及人為活動的忍耐力，亦初步證實了都市中人工濕地或人造水域作為野生生物保護區(或避難所)的潛力(Huang et al. 2013; Yam et al. 2015)。大安森林公園位於台北市都會區，素有城市之肺、城市森林的美譽，以往國內學者對大安森林公園的都市氣溫調節效應、野生生物(包括植物、藻類、昆蟲、蚯蚓、脊椎動物)的生物多樣性、水環境及洪水調節等層面已作完善的探討，綜合前人建議大安森林公園的棲地若能作適宜的經營管理，生態功能將可以逐漸提升或改善。

大安森林公園共有三座生態池，包括面積較大且建立更久的大生態池、以及後來建成、面積較小的第二、第三小生態池，三座生態池者雖為人造水域，但因周圍種有茂密植被，環境優美，成為大群鳥類的棲息地，吸引大批遊客的熱門賞鳥及休憩地點。然而，近年大生態池因過多鳥類聚集，鳥類排泄物大量堆積，已導致水質劣化，水體常見混濁，更有異味傳出，這不僅大大降低生態池作為都市中重要棲地的生態品質及生態功能，更會造成環境衛生問題及影響公園遊客活動。以往針對大安森林公園這三座生態池的水域環境及水質變化之關係少有研究，對三座生態池水水質長期變化缺乏全面性理解，難以正確評估水體污染程度，導致提出有效水質改善策略之困難。

1.2 研究目的

本計畫針對大安森林公園三座生態為研究樣點：

- (1)藉由進行定期水質監測，建立三座生態池水體水質長期變化之理解

(2)探討三座生態池水域環境及水質變化之關係，研析水質污染程度及探討水質改善之可行方法

1.3 研究流程與架構

本計畫研究流程為首先於三座生態池內各選定三處作為採樣位置，再至現地使用水質儀量測物理化學因子之水溫、溶氧量、導電度、氧化還原電位與pH值。並分別採集250ml與500ml之水樣運回實驗室，於採集後48小時內依據環檢所標準方法，分別量測水樣之營養鹽濃度包括氨氮(NH₄-N)、硝酸鹽氮(NO₃-N)與正磷酸鹽(PO₄-P)，以及葉綠素 *a*(Chlorophyll *a*)濃度。

研究流程圖如下：

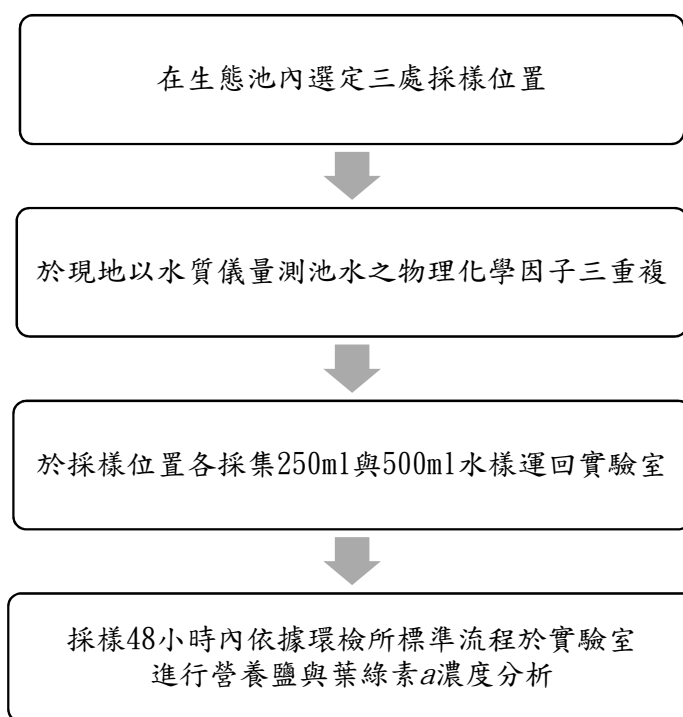
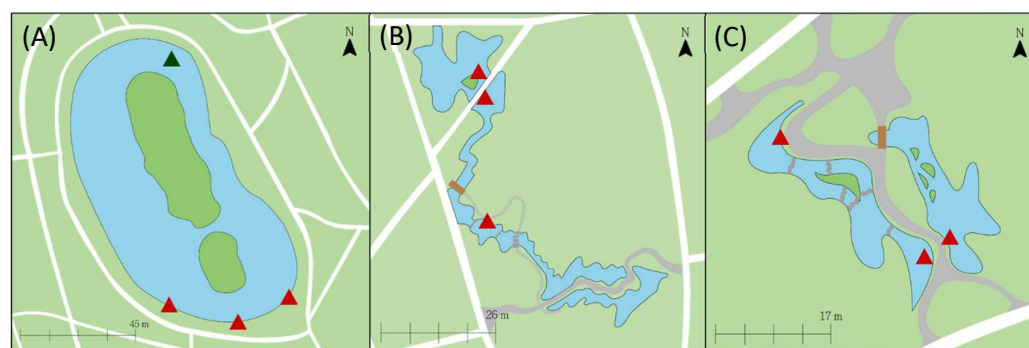


圖 1 - 1、研究流程圖

第二章 研究方法

2.1 樣點設定

本計畫以大安森林公園三座生態池為研究樣點，並將大生態池標示為一號池，第一期與第二期生態池標示為二號池，第三期生態池則標示為三號池。在三座生態池內各再選擇三處採樣位置，一號池之採樣位置依完全無遮蔭、半遮蔭與全遮蔭之環境狀況所定，並在夏季新增生態池北方的大萍生長區之採樣；二號池之採樣位置分別為透水鋪面左右側與二期河流區域；三號池之採樣位置則分別為生態池的北方與南方左右兩池。三座生態池之採樣位置圖與現地照片如下：



(A)一號池(大生態池)、(B)二號池(第一期與第二期生態池)、(C)三號池(第三期生態池)
▲:採集位置、▲:大萍生長區採集位置

圖 2 - 1、三座生態池現地採樣位置



圖 2 - 2、一號池(大生態池)現地照片

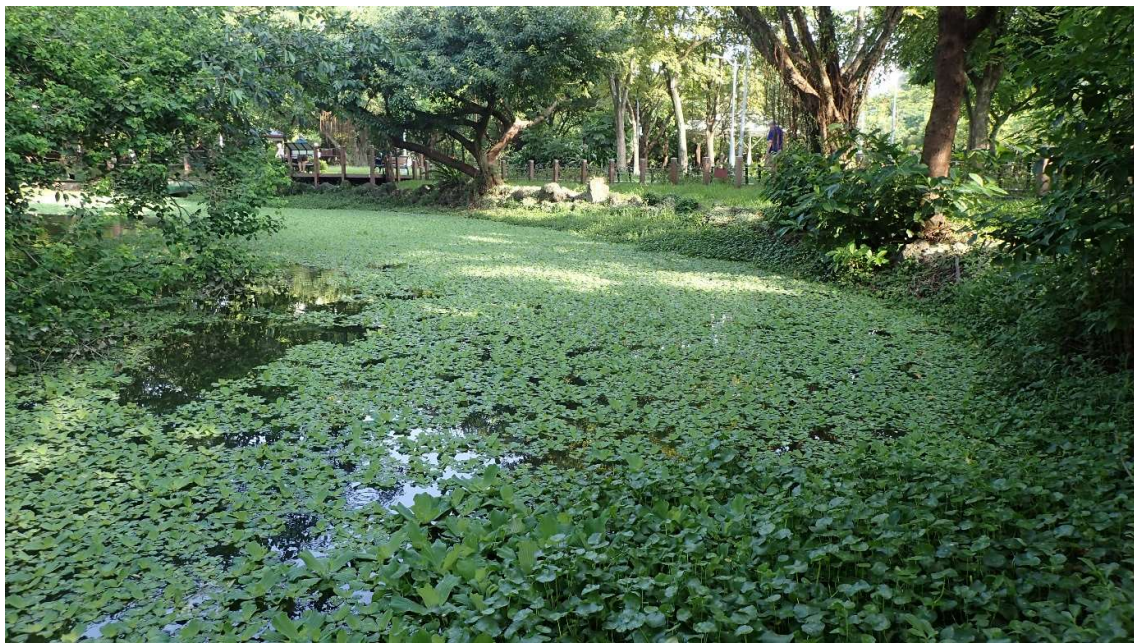


圖 2 - 3、一號池(大生態池)北方的大萍生長區現地照片



圖 2 - 4、二號池(第一期與第二期生態池) 現地照片



圖 2 - 5、三號池(第三期生態池) 現地照片

2.2 採樣設計

從 2018 年 10 月開始至 2019 年 6 月，每三個月視為一季分成冬、春、夏季，定期至三座生態池之採樣位置，現地以水質儀量測物理化學因子及採集水樣回實驗室進行營養鹽與葉綠素 *a* 濃度分析 (APHA 2005)。

2.3 定期水質監測

本計畫在三座生態池樣點分別以水質儀針對物理化學因子包括水溫、溶氧量、導電度、氧化還原電位、pH 值於現地進行三重複水質量測，並以環檢所標準方法「河川、湖泊及水庫水質採樣通則(W104.51C)」採集三重複水樣，運回實驗室依據環檢所標準方法於採集後 48 小時內，分別量測水中營養鹽濃度包括氨氮 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$)，以及水中葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*)濃度作為水質優養化及藻華程度的量化評估。

2.4 生態池水質污染程度探討

本計畫透過定期水質監測收集不同季節的三座生態池水質狀況，藉此觀察水質長期變化程度，並透過量測溶氧量、pH 值、營養鹽濃度及葉綠素 *a* 濃度等水質因子分析三座生態池水質汙染程度、優養化與藻華程度為何，提供未來水質改善規劃之資料。

第三章 結果與討論

3.1 生態池水質因子調查

1、2018 年冬季(10~12 月)生態池水質因子調查

(1) 一號池(大生態池)

2018 年冬季調查之平均水溫為 23.0 ± 3.3 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 7.5 ± 1.2 mg/L，平均導電度 248.5 ± 18.2 μ S/cm，平均 pH 值 7.7 ± 0.3 ，平均氧化還原電位 289.2 ± 27.4 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.094 ± 0.057 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 0.19 ± 0.11 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.19 ± 0.05 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 153.6 ± 23.5 μ g/L。

(2) 二號池(第一、二期生態池)

2018 年冬季調查之平均水溫為 21.7 ± 3.4 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 3.9 ± 1.9 mg/L，平均導電度 471.4 ± 29.1 μ S/cm，平均 pH 值 7.5 ± 0.4 ，平均氧化還原電位 232.1 ± 88.9 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.009 ± 0.005 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 為零，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.14 ± 0.03 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 2.9 ± 4.7 μ g/L。

(3) 三號池(第三期生態池)

2018 年冬季調查之平均水溫為 22.5 ± 3.2 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 3.6 ± 0.9 mg/L，平均導電度 285.8 ± 77.6 μ S/cm，平均 pH 值 7.2 ± 0.2 ，平均氧化還原電位 243.8 ± 57.3 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.037 ± 0.020 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 0.10 ± 0.08 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.12 ± 0.05 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 5.8 ± 2.7 μ g/L。

2、2019 年春季(1~3 月)生態池水質因子調查

(1) 一號池(大生態池)

2019 年春季調查之平均水溫為 21.4 ± 1.5 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 8.2 ± 1.2 mg/L，平均導電度 252.7 ± 29.5 μ S/cm，平均 pH 值 7.8 ± 0.5 ，平均氧化還原電位 304.5 ± 38.6 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.208 ± 0.206 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 0.33 ± 0.18 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.20 ± 0.06 mg/L，平均葉綠素 a (Chlorophyll a) 200.8 ± 26.2 μ g/L。

(2)二號池(第一、二期生態池)

2019 年春季調查之平均水溫為 20.6 ± 1.6 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 5.1 ± 1.9 mg/L，平均導電度 441.6 ± 27.0 μ S/cm，平均 pH 值 7.7 ± 0.4 ，平均氧化還原電位 279.6 ± 78.9 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.008 ± 0.002 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 為零，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.12 ± 0.02 mg/L，平均葉綠素 a (Chlorophyll a) 0.3 ± 0.7 μ g/L。

(3)三號池(第三期生態池)

2019 年春季調查之平均水溫為 21.2 ± 1.4 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 3.7 ± 1.0 mg/L，平均導電度 398.9 ± 35.0 μ S/cm，平均 pH 值 7.3 ± 0.2 ，平均氧化還原電位 265.9 ± 75.8 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.052 ± 0.050 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 為零，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.12 ± 0.05 mg/L，平均葉綠素 a (Chlorophyll a) 10.5 ± 11.5 μ g/L。

3、2019 年夏季(4~6 月)生態池水質因子調查

(1) 一號池(大生態池)

2019 年夏季調查之平均水溫為 28.9 ± 2.2 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 5.1 ± 0.8 mg/L，平均導電度 279.1 ± 31.1 μ S/cm，平均 pH 值

7.3±0.3，平均氧化還原電位 319.4±21.3 mV，平均氨氮(NH₄-N) 1.487±0.504 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 1.07±0.28 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.50±0.09 mg/L，平均葉綠素 a (Chlorophyll a) 194.4±42.7 µg/L。另外，大萍區域的平均水溫則為 28.6±1.7 °C，平均溶氧量 2.8±1.3 mg/L，平均導電度 260.8±24.9 µs/cm，平均 pH 值 6.9±0.1，平均氧化還原電位 316.1±17.4 mv。

(2)二號池(第一、二期生態池)

2019 年夏季調查之平均水溫為 26.5±1.7°C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 2.6±1.8 mg/L，平均導電度 412.4±98.1 µs/cm，平均 pH 值 7.2±0.4，平均氧化還原電位 222.5±48.3 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.032±0.020 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 0.08 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.15±0.07 mg/L，平均葉綠素 a (Chlorophyll a) 0.9±1.3 µg/L。

(3)三號池(第三期生態池)

2019 年夏季調查之平均水溫為 27.5±1.6 °C(表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 2.5±1.8 mg/L，平均導電度 193.2±28.9 µs/cm，平均 pH 值 6.8±0.3，平均氧化還原電位 283.3±46.5 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.094±0.051 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 0.04±0.02 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.16±0.07 mg/L，平均葉綠素 a (Chlorophyll a) 11.8±11.7µg/L。

表 3 - 1、2018 年冬季至 2019 年夏季三座生態池水質因子調查結果
(平均±標準差)

	季節	一號池	二號池	三號池	大萍生長區
水溫 (°C)	2018年冬季	23.0±3.3	21.7±3.4	22.5±3.2	N/A
	2019年春季	21.4±1.5	20.6±1.6	21.2±1.4	N/A
	2019年夏季	28.9±2.2	26.5±1.7	27.5±1.6	28.6±1.7
溶氧量 (mg/L)	2018年冬季	7.5±1.2	3.9±1.9	3.6±0.9	N/A
	2019年春季	8.2±1.2	5.1±1.9	3.7±1.0	N/A
	2019年夏季	5.1±0.8	2.6±1.8	2.5±0.7	2.8±1.3
導電度 (μ S/cm)	2018年冬季	248.5±18.2	471.4±29.1	285.8±77.6	N/A
	2019年春季	252.7±29.5	441.6±27.0	398.9±35.0	N/A
	2019年夏季	279.1±31.1	412.4±98.1	193.2±28.9	260.8±24.9
pH值	2018年冬季	7.7±0.3	7.5±0.4	7.2±0.2	N/A
	2019年春季	7.8±0.5	7.7±0.4	7.3±0.2	N/A
	2019年夏季	7.3±0.3	7.2±0.4	6.8±0.3	6.9±0.1
氧化還原電位 (mV)	2018年冬季	289.2±27.4	232.1±88.9	243.8±57.3	N/A
	2019年春季	304.5±38.6	279.6±78.9	265.9±75.8	N/A
	2019年夏季	319.4±21.3	222.5±48.3	283.3±46.5	316.1±17.4
NH ₄ - N (mg/L)	2018年冬季	0.094±0.057	0.009±0.005	0.037±0.020	N/A
	2019年春季	0.208±0.206	0.008±0.002	0.052±0.050	N/A
	2019年夏季	1.487±0.504	0.032±0.020	0.094±0.051	N/A
NO ₃ - N (mg/L)	2018年冬季	0.19±0.11	N. D.	0.10±0.08	N/A
	2019年春季	0.33±0.18	N. D.	N. D.	N/A
	2019年夏季	1.07±0.28	0.08	0.04±0.02	N/A
PO ₄ - P (mg/L)	2018年冬季	0.19±0.05	0.14±0.03	0.12±0.05	N/A
	2019年春季	0.20±0.06	0.12±0.02	0.12±0.05	N/A
	2019年夏季	0.50±0.09	0.15±0.07	0.16±0.07	N/A
葉綠素 a (μ g/L)	2018年冬季	153.6±23.5	2.9±4.7	5.8±2.7	N/A
	2019年春季	200.8±26.2	0.3±0.7	10.5±11.5	N/A
	2019年夏季	194.4±42.7	0.9±1.3	11.8±11.7	N/A

N.D.: 低於偵測極限、N/A: 未量測

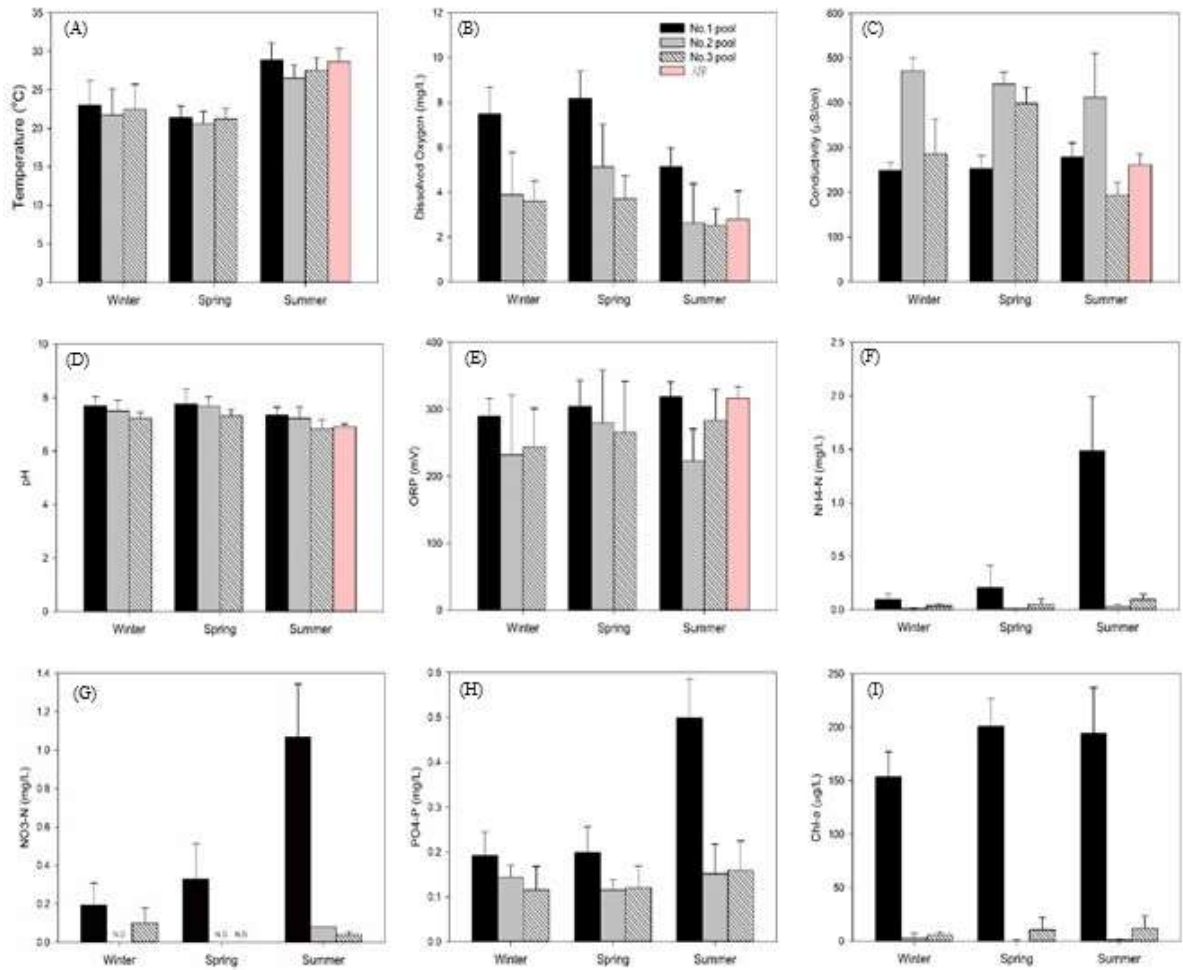


圖 3-1、2018 年冬季至 2019 年夏季三座生態池水質因子調查結果。
 (A)水溫、(B)溶氧量、(C)導電度、(D)pH 值、(E)氧化還原電位、(F)氨
 氮、(G)硝酸鹽氮、(H)正磷酸鹽、(I)葉綠素 *a*。N.D.: 低於偵測極限。

4、比較生態池水質之季節性差異

於大安森林公園三個生態池樣點分別以單因子變異數分析(One-way ANOVA)及後檢定(Tukey's Test)比較九種生態池水質因子包括水溫、溶氧量、導電度、pH值、氧化還原電位、氨氮濃度、硝酸鹽氮濃度、正磷酸鹽濃度及葉綠素 a 濃度，並探討三個生態池水質之冬、春、夏季三個季節的差異。

(1)一號池(大生態池)

2018年冬季至2019年春、夏季的水溫、溶氧量、導電度、pH、氧化還原電位、氨氮濃度、硝酸鹽濃度、正磷酸鹽濃度及葉綠素 a 濃度皆有顯著差異($p < 0.05$) (表 3-2)。平均水溫以2019年春季最低，而溶氧量則以2019年春季最高，2019年春季與夏季的葉綠素 a 濃度則差異不大卻遠高於2018年冬季。導電度及氧化還原電位以2018年冬季最低，pH值則以2019年夏季最低。而氨氮濃度、硝酸鹽氮濃度與正磷酸鹽濃度則以2019年夏季最高。

(2)二號池(第一、二期生態池)

比較2018年冬季至2019年春、夏季的水質因子，其中水溫、溶氧量、導電度、pH、氧化還原電位、氨氮濃度皆有顯著差異($p < 0.05$) (表 3-2)。平均水溫以2019年夏季最高，2018年冬季與2019年春季則差異不大。溶氧量以2019年春季最高，2019年夏季最低。導電度及pH皆為2019年夏季最低。氧化還原電位以2019年春季最高，氨氮濃度則為2019年夏季最高。硝酸鹽濃度、正磷酸鹽濃度及葉綠素 a 濃度於2018年冬季與2019年春、夏季之間無顯著差異。

(3)三號池(第三期生態池)

2018年冬季至2019年春、夏季的水溫、溶氧量、導電度、pH、

氧化還原電位、氨氮濃度皆有顯著差異($p<0.05$)(表 3-2)。平均水溫以 2019 年夏季最高，2018 年冬季與 2019 年春季則差異不大，而溶氧量以 2019 年夏季最低，2018 年冬季與 2019 年春季最高且差異不大。導電度及 pH 於 2019 年夏季最低。氧化還原電位與氨氮濃度於 2019 年夏季最高，2018 年冬季則最低。硝酸鹽濃度、正磷酸鹽濃度及葉綠素 *a* 濃度於 2018 年冬季與 2019 年春、夏季之間則無顯著差異。

表 3-2、三座生態池水質季節性差異比較結果

	一號池			二號池			三號池		
	F	P	Tukey' s	F	P	Tukey' s	F	P	Tukey' s
水溫	94.51	***	夏>冬>春	62.47	***	夏>冬=春	72.53	***	夏>冬=春
溶氧量	78.75	***	春>冬>夏	15.36	***	春>冬>夏	18.87	***	春=冬>夏
導電度	13.04	***	夏>春=冬	6.92	**	冬 $\geq$ 春 $\geq$ 夏	124.51	***	春>冬>夏
pH值	11.26	***	春=冬>夏	10.66	***	春=冬>夏	30.94	***	春=冬>夏
氧化還原電位	9.37	***	夏 $\geq$ 春 $\geq$ 冬	5.65	**	春>冬=夏	3.79	*	夏 $\geq$ 春 $\geq$ 冬
NH ₄ -N	53.82	***	夏>春=冬	10.62	***	夏>冬=春	4.38	*	夏 $\geq$ 春 $\geq$ 冬
NO ₃ -N	48.01	***	夏>春=冬	1.00		n. s.	1.78		n. s.
PO ₄ -P	60.61	***	夏>春=冬	1.72		n. s.	1.63		n. s.
葉綠素 <i>a</i>	5.78	**	春=夏>冬	2.03		n. s.	0.99		n. s.

*: $p<0.05$, **: $p<0.01$, ***: $p<0.001$

n.s.: 無顯著差異

5、比較大生態池 2019 年夏季有無大萍生長之水質差異

於 2019 年夏季之大生態池的大萍生長區域與非大萍生長區之採樣樣點，分別以單因子變異數分析(One-way ANOVA)及後檢定(Tukey's Test)比較五種生態池水質因子包括水溫、溶氧量、導電度、pH 值、氧化還原電位，以探討大生態池有無大萍生長的水質差異。分析結果顯示溶氧量、pH 值與導電度有顯著差異($p<0.05$)(表 3-3)。平均溶氧量、pH 值與導電度皆是非大萍生長區域高於大萍生長區域。水溫、氧化還原電位則無顯著差異。因此，本研究結果證實

大萍生長茂密會導致生態池水質劣化，其不但無法有效降低水溫，甚至會阻擋陽光導致下層生物死亡，再經大量細菌分解屍體消耗掉氧氣造成水中缺氧。此外，大萍大量生長也造成水質偏酸，且大萍的根部將水中離子阻攔使得量測出的導電度變低，其會造成水生生物可獲取的離子減少。建議須妥善管控大萍數量並逐漸移除，並將所移除之大萍屍體遠離岸邊丟棄，以免其於岸邊腐爛後原先被大萍吸收的營養鹽再度經雨水沖刷流回水池中，造成水中營養鹽濃度增加。

表 3-3、大生態池 2019 年夏季有無大萍生長之水質差異比較結果

	大生態池		
	F	P	Tukey' s
水溫	0.23		n. s.
溶氧量	69.66	***	非大萍生長區>大萍生長區
導電度	4.66	*	非大萍生長區>大萍生長區
pH值	35.26	***	非大萍生長區>大萍生長區
氧化還原電位	0.31		n. s.

n.s: 無顯著差異

6、小結

比較 2018 年冬季至 2019 年夏季的水質，水溫顯示 2019 年夏季為最高溫，最低溫則是 2019 年春季，而溶氧量也隨水溫呈相反情況，且一號池三季的溶氧都遠高於二、三號池與一號池的大萍生長區(表 3-1、圖 3-1)。三座生態池之 pH 值則皆是 2019 年春季與 2018 年冬季相似且高於 2019 年夏季($p<0.05$, 表 3-2)。導電度與氧化還原電位於三座生態池的三季較沒有一致趨勢，但大生態池的平均導電度比其餘兩座生態池為低，而氧化還原電位比其餘兩座生態池高(表 3-1、圖 3-1)。氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)濃度於三座生態池皆呈現 2019 年夏季大於春季與 2018 年冬季，且一號池 2019 年夏季之濃度遠高過其餘兩座生態池($p<0.05$, 表 3-1、表 3-2)。一號池之硝酸

鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$)濃度則是在 2019 年夏季遠高於春季與 2018 年冬季，其餘兩座生態池三季比較結果則無顯著差異($p<0.05$, 表 3-2)。一號池三個季節之葉綠素 a 濃度皆遠高於其餘兩座生態池，並於 2019 年春季與夏季最高($p<0.05$, 表 3-1、表 3-2)。

總結以上調查結果可知：

(1) 水溫、溶氧量：

三座生態池皆是 2019 年夏季的水溫最高，而溶氧量因其物理特性會與水溫成相反情況，反而於夏季為最低。此外，大生態池水中的含氧量遠高於其他兩座生態池，且在夏季的大萍生長區域之缺氧狀況比非大萍生長區明顯(圖 3-1)。

(2) pH 值：

三座生態池皆為 2019 年夏季比其餘兩季酸，但仍在中性範圍。

(3) 導電度：

因二、三號生態池底部為田土且水池的岸邊長度與面積之比值遠高於大生態池，所以從底泥及岸邊的土壤溶解於水中之離子比底部為水泥的大生態池多，故大生態池的平均導電度比其餘兩座生態池低。另外，大生態池的大萍生長區導電度較非大萍生長區低，可能原因為大萍的根部將水中離子阻攔使得量測出的導電度較低。

(4) 氧化還原電位：

大生態池的氧化還原電位遠高於其餘兩座生態池，原因為大生態池的溶氧量極高使得池中氧化反應較多，故其氧化還原電位較高。

(5) 氨氮、硝酸鹽氮濃度：

三座生態池於 2019 年夏季的氨氮濃度最高，可能與春夏季生

物開始繁殖個體數量增加，使得排至水中的排泄物增加。另外，因大生態池的氧化還原電位高，有較多氨氮被氧化成硝酸鹽氮，故其硝酸鹽氮濃度也較其餘兩座生態池高。

(6) 正磷酸鹽濃度:

總磷濃度為水體中包含正磷酸鹽等各種型態的磷全部轉換成正磷酸鹽型態後的濃度，而本計畫僅檢測水體中未被轉換成的正磷酸鹽濃度。將三座生態池每季的正磷酸鹽濃度與環保署水庫監測法中公布的陸域地面水體總磷濃度相比，可發現三座生態池的正磷酸鹽濃度遠高於環保署訂的陸域地面乙級水體要求的總磷 0.05mg/L，表示生態池中的總磷也超過環保署所訂標準。若排除施肥的可能性，三座生態池的正磷酸鹽濃度可能來自在其生活的肉食性生物排泄物及底泥經擾動後釋出累積的磷，而夏季大生態池的鷺科鳥類數量龐大即是其正磷酸鹽濃度遠高過其餘兩座生態池的原因。正磷酸鹽易被植物吸收，與藻華現象最為相關，若水中正磷酸鹽過高，除了會造成水質惡臭，也會造成水體優養化與藻華現象。

(7) 葉綠素 *a* 濃度:

大生態池的葉綠素 *a* 濃度遠高過其餘兩座生態池，表示有大量浮游藻在大生態池中，而這些浮游藻也是大生態池水中含氧量高於其餘兩座生態池的主要原因。

3.2 生態池水域環境及水質變化之關係

大生態池周遭及中央樹島樹林茂密，是大群水鳥的棲息地，因進入水中的鳥糞過多造成水質營養鹽濃度高過其餘二座生態池，並於夏季正值中央樹島的鷺科鳥類繁殖季開始後，營養鹽濃度更飆高許多。也

因進入水中的營養來源多，加上水池為死水環境使得營養鹽長期累積，提供浮游藻類大量生長，所以葉綠素 a 濃度也遠高過其餘兩座生態池，其顯示優養化及藻華現象比其餘兩座生態池嚴重。

此外，大生態池北方植有一大片大萍生長區，調查結果發現大萍生長區的水溫與非大萍生長區無差異，但溶氧量卻明顯低於非大萍生長區。本研證實大萍生長茂盛並無助於降低水溫，反而導致其下層的藻類因照不到陽光而沉入水底死亡，被池底細菌分解藻類屍體過程中消耗氧氣使得水中更加缺氧，若水池過於缺氧則會導致其他魚類等生物接連窒息死亡，屍體分解後釋出的營養鹽加助藻類大量生長後，再接續下層藻類搶不到陽光而死亡的循環，此即為優養化惡性循環的過程。建議在大萍夏季生長旺盛之時妥善管理或移除，若任其恣意生長反而降低水中溶氧量，恐造成其餘好氧之水生生物缺氧死亡與加速優養化。

二號池(第一、二期生態池)與三號池(第三生態池)因為遮蔭面積較大生態池多，故在夏季水溫相對較低。另外營養鹽濃度與葉綠素 a 濃度方面皆較大生態池低，表示其優養化現象輕微，唯有在日曬較多的區域有水綿孳生，須定期管理以防其生長過度纏繞其餘水生植物及水生生物，影響其生理生長導致死亡後再經細菌耗養分解，會使水中缺氧導致更多生物死亡。

3.3 水質污染程度評估及水質改善之可行方法

從 2018 年冬季至 2019 年夏季針對大安森林公園的三處生態池座定期水質監測結果，可知二號池與三號池優養化狀況輕微，僅需注意控制池中水綿生長數量及無岸邊施肥之狀況發生。若需種植新的水生植物，建議先將其浸泡在遮蔭的淨水槽中一至兩天確認無受水綿或福壽

螺等附著後，再將其種入生態池中。

而大生態池的優養化與藻華狀況於三座生態池中最為嚴重，其主因為水中營養鹽濃度過高造成浮游藻類大量生長，而營養鹽來源大多來自生活在岸邊及中央樹島的鳥群產生之糞便，岸邊夾帶肥料之土壤經大雨沖刷自池中亦會提供池水營養來源。故針對大生態池水質改善之目前可行方法建議：

(1) 減少營養來源：

減少中央樹島的鳥群數量及岸邊施肥用量來降低營養來源。並於將池中生長過剩的大萍移除時遠離岸邊丟棄，以防其腐爛後將原先吸收的營養鹽再度流回池中。

(2) 減少藻類數量：

可多種植挺水性與沉水性水生植物與藻類競爭營養鹽以抑制藻類數量，並定期整理將水生植物移除遠離岸邊丟棄，以便清除其生長所吸收的營養鹽。另外也可養殖貝類濾食藻類來減少藻類數量。

(3) 改善池底環境：

除了運用深層曝氣機等增加池底溶氧量及水之流動率以外，也可移除會翻攪底泥使磷釋出於水中的吳郭魚等鯉科魚類，以減少底泥干擾及磷的釋出。

第四章 結論與建議

4.1 結論

- (1) 大生態池的溶氧量、葉綠素 a 濃度與營養鹽濃度高於其餘兩座生態池，其優養化與藻華現象嚴重。
- (2) 大生態池的大萍生長區對水溫降低效果不顯著，反而使得該區更加缺氧。
- (3) 夏季正值生物繁殖，其所產生的排泄物導致生態池水中營養鹽濃度上升。
- (4) 若排除施肥的可能性，三座生態池的正磷酸鹽濃度來源可能為在該池生活的肉食性生物排泄物及底泥經擾動後釋出累積的磷。

4.2 建議

(1) 大生態池:

- [1] 減少中央樹島的鳥群數量及岸邊施肥用量來降低營養來源。並於將池中生長過剩的大萍移除時遠離岸邊丟棄，以防其腐爛後將原先吸收的營養鹽再度流回池中。
- [2] 可多種植挺水性與沉水性水生植物與藻類競爭營養鹽以抑制藻類數量，並定期整理將水生植物移除遠離岸邊丟棄，以便清除其生長所吸收的營養鹽。另外也可養殖貝類濾食藻類來減少藻類數量。
- [3] 除了運用深層曝氣機等增加池底溶氧量及水之流動率以外，也可移除會翻攪底泥使磷釋出於水中的吳郭魚等鯉科魚類，以減少底泥干擾及磷的釋出。

(2) 小生態池:

- [1] 控制池中水綿生長數量及無岸邊施肥之狀況發生。
- [2] 若需種植新的水生植物，建議先將其浸泡在遮陰的淨水槽中一至兩天確認無受水綿或福壽螺等附著後，再將其種入生態池中。

參考文獻

- APHA (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater: including bottom sediment and sludges*, 21st ed.; American Public Health Association: New York, USA.
- Huang K.-P., Yam R.S.W., Peng W.-C. and Lin H.-J. (2013) Does ecosystem service valuation reflect importance of habitat quality and biodiversity in constructed wetlands? *Journal of Taiwan Agricultural Engineering* 59: 32-49.
- Yam R.S.W., Huang K.-P., Hsieh H.-L., Lin H.-J. and Huang S.-C. (2015) An ecosystem-service approach to evaluate the role of non-native species in urbanized wetlands. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12: 3926-3943.

附錄 工作人員名錄

姓名	工作內容	相關經歷及專長
任秀慧	水質調查及分析	國立台灣大學生物環境系統工程學系副教授、濕地生態學、水質化學、生監測、生態復育
黃宥禎	水質調查及分析	國立台灣大學生物環境系統工程學系研究生、濕地生態學、水質化學
楊沛荳	水質調查及分析	國立台灣大學生物環境系統工程學系研究生、濕地生態學、水質化學