

大安森林公園生態基礎調查

**108–109 年度大安森林公園生態池長期水質監測
及水體污染評估**

期末報告

國立台灣大學
生物環境系統工程學系

中華民國 109 年 11 月

摘要

本計畫針對大安森林公園三座生態池為研究樣點，進行定期水質監測，建立三座生態池水質長期變化之理解，並研析水質污染程度及探討水質改善之可行方法。結果顯示大生態池的優養化與藻華狀況於三座生態池中最為嚴重，主要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岸邊及中央樹島鳥群產生之糞便，周邊肥料流入池中，以及過量有機物質於水體積聚，為水體提供過盛營養來源，使嚴重藻華現象發生，成為導致水體渾濁及水質劣化主因。第二、第三生態池因水深較淺致水中溶氧量及導電度較為波動不穩，水位稍微變化已直接影響水體體積，破壞生態池棲地穩定性。本研究建議生態池主要水質改善策略包括定期為大生態池中央樹島進行疏枝、避免大生態池周邊進行施肥、禁止餵飼生物、移除水中過量有機物質包括落葉、動植物屍體、垃圾等，以減低營養源輸入水體；種植挺水性與沉水性水生植物吸收水中過量營養鹽；應用生物操控技術設置濾食性貝類去除藻類及懸浮有機物質總量加強淨化水質；減低底泥缺氧程度及維持生態池水位穩定。本計畫針對大生態池於2020年夏季所進行之水質改善工程，比較工程前、後期的水質變化，評估水質改善工程的效益。結果顯示大生態池已初步達到水質改善的效果，完工後兩個月，水中葉綠素 a 濃度呈現下降趨勢。然而，水質淨化系統設置後，水中溶氧量大幅下降，以及水中營養鹽濃度偏高且不穩定，必須進一步探討確定原因及改善方法。本研究建議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可行性。實施水質改善工程，配合生物操控技術提升淨水效益，以生態友善策略改善大安森林公園生態池水質，為民眾提供生態教育的實例。

關鍵詞：生態池、優養化、藻華現象、水質監測、水質改善效益評估

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.....	7
1.3 研究流程與架構.....	7
第二章、研究方法.....	9
2.1 樣點設定.....	9
2.2 採樣設計.....	11
2.3 定期水質監測.....	11
2.4 生態池水質監察及污染程度探討.....	12
第三章、結果與討論.....	14
3.1 生態池定期水質監測.....	14
3.2 大生態池水質淨化工程效益評估.....	26
3.3 水質污染程度評估及水質改善知可行方法.....	34
第四章、結論與建議.....	37
4.1 結論.....	37
4.2 建議.....	37
參考文獻.....	39
附錄.....	40

圖目錄

圖 1-1、研究流程圖.....	8
圖 2-1、三座生態池現地採樣位置.....	9
圖 2-2、大生態池現地照片.....	10
圖 2-3、第二生態池現地照片.....	10
圖 2-4、第三生態池現地照片.....	11
圖 2-5、工作人員現地調查實況.....	12
圖 2-6、大生態池水質改善工程施工位置及水質監測位置圖.....	13
圖 3-1、2019 至 2020 年三座生態池水質因子的季節性變化.....	20
圖 3-2、2020 年大生態池水質淨化工程前、後水質調查結果.....	29

表目錄

表 3-1、2019 至 2020 年三座生態池水質調查結果.....	18
表 3-2、2019 至 2020 年三座生態池水質參數季節性變化分析.....	22
表 3-3、大生態池水質淨化工程前、後水質調查結果.....	27
表 3-4、大生態池水質淨化工程前、後的水質變化的統計結果....	33

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。

大安森林公園共有四座生態池，包括面積較大且建立於 1995 年的大生態池、以及後來別於 2015 建成的第二生態池(亦稱為第一期與第二期生態池)；以及於 2018 年建成的第三生態池(亦稱為第三期生態池)及大灣草圳。四座生態池雖為人造水域，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。此外，第二生態池、第三生態池近年受到外來種入侵問題影響，有數量頗多的福壽螺、大理石紋螯蝦出現，造成生態池棲地環境及復育生物的不少衝擊。

大安森林公園之友基金會與公園管理處，近年致力改善大生態池水體優養化及藻華所引致的水質劣化問題，除了於大生態池中央樹島進行疏枝，作為減低過度茂密的植被減少鳥群聚集數量，以控制外來營養源輸入大生態池水體。於 2020 年夏季展開大生態池水質改善工程，藉由設置水

循環系統及過濾系統，加強水體循環，以及過濾水中過多的浮游藻類及懸浮固體，以達到改善水質污染的效果。

以往針對大安森林公園生態池的水域環境及水質變化之關係少有研究，對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。此外，近年針對大生態池水質改善措施之成效，亦必須進行量化的評估，確認不同水質改善措施及其實施方法的成效。本研究結果預期可為大安森林公園生態池的水域環境及水質變化加強解，為制定未來水質改善措施、管理策略提供重要基礎。

1.2 研究目的

本計畫以大安森林公園三座生態池，包括大生態池、第二生態池及第三生態池，作為研究樣點：

- 一、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
- 二、探討三座生態池水體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
- 三、針對大生態池於2020年夏季所進行之水質改善工程，比較及分析工程前、後期的水質變化，評估水質改善工程的效益

1.3 研究流程與架構

本計畫針對定期水質監測的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，再至現地使用多參數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。本研究採集水樣運回實驗室，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($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$)與正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$)，以及葉綠素 a (Chlorophyll a)濃度，並計算靜止水體水質優養化常用卡爾森優養指數法

〔 Carlson's index 〕 (Carlson 1977)，評估三座生態池水質優養化程度的長期變化。

此外，本計畫為探討2020年夏季大生態池所實施水質改善工程的效益，分別在施工區及非施工區進行水質監察(圖)，比較施工前期、中期、完工後的水化學特性、營養鹽濃度及葉綠素 a (Chlorophyll a)濃度，並計算卡爾森優養指數〔 Carlson's index 〕 (Carlson 1977)，量化生態池水質優養化程度，作為評估水質淨化工程的效益。

本計畫研究流程如下：

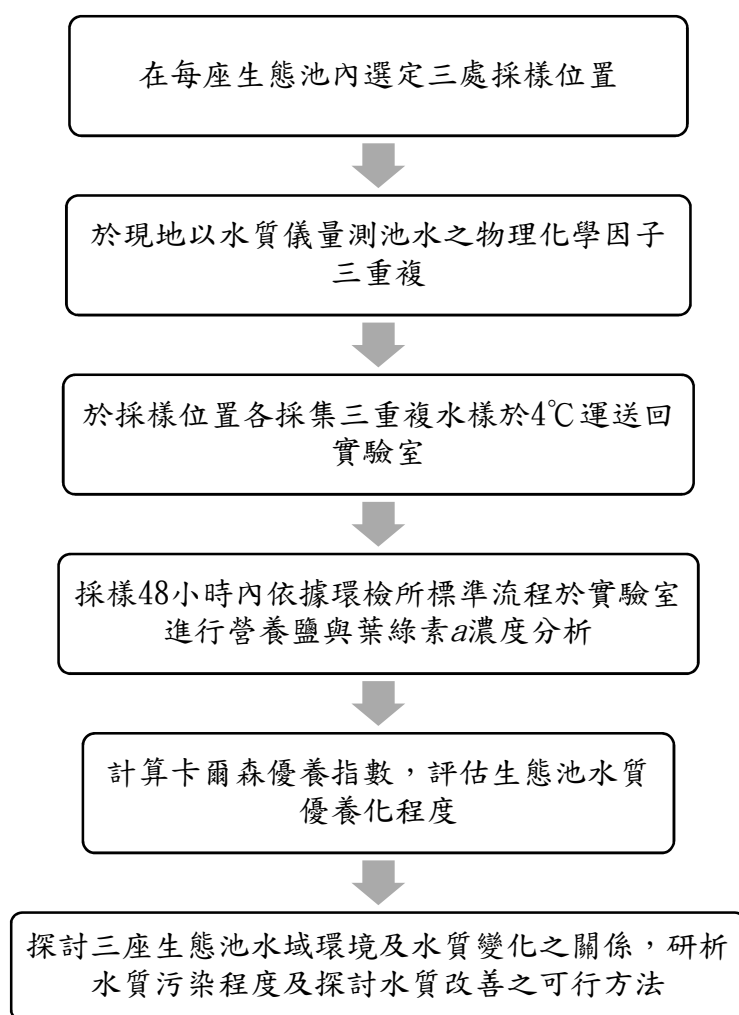
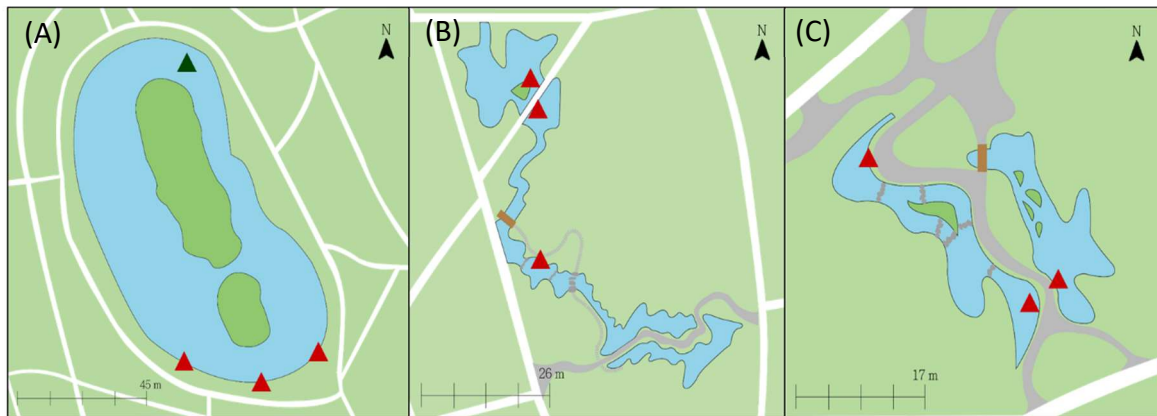


圖 1-1、研究流程圖

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，包括大生態池、第二生態池(亦稱為第一期與第二期生態池)、第三生態池(亦稱為第三期生態池)(圖 2-1 至 2-4)。在三座生態池內各選擇三處採樣位置，大生態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；第二生態池之採樣位置分別為透水鋪面左右側與二期河流區域；第三生態池之採樣位置則分別為生態池的北方與南方左右兩池。



(A)大生態池、(B) 第二生態池(第一期與第二期生態池)、(C) 第三生態池(第三期生態池)。 ▲：採集位置；▲：大萍生長區

圖 2-1、三座生態池現地採樣位置



圖 2-2、大生態池現地照片



圖 2-3、第二生態池現地照片



圖 2-4、第三生態池現地照片

2.2 採樣設計

從 2019 年 1 月開始至 2020 年 3 月，每三個月為一季，一年共分成春、夏、秋、冬四季，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。2020 年春季僅至大生態池進行採樣。

2.3 定期水質監測

本計畫在三座生態池樣點分別以多參數水質儀(YSI Proplus)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，依據環保署環境所標準方法，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(APHA 2005; 環保署環檢所 2018)。



圖 2-5、工作人員現地調查實況。(A) 應用多參數水質儀作現地水質量測；
(B) 採集水樣運回實驗室作化學分析。

2.4 生態池水質監測及污染程度探討

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為何。生態池水質污染主要為優養化與藻華問題，本研究應用水中葉綠素 *a* 濃度計算靜止水體水質優養化常用卡爾森優養指數〔Carlson's index〕(Carlson 1977)，評估生態池水質優養化程度。Carlson's index 計算方法如下：

$$\text{Carlson's index} = 30.6 + 9.81 \times \ln(\text{Chlorophyll } a)$$

Chlorophyll *a* (葉綠素 *a*)之單位為 $\mu\text{g/L}$ 。Carlson's index 在 40 以下者為貧養(水質較佳)，指數在 40-50 之間為普養，指數在 50 以上者則為優養(水質較差)。

此外，本計畫為探討 2020 年夏季大生態池實施水質改善工程的效益，於施工前期、中期、完工後，分別在施工區及非施工區進行水質監察(圖 2-5)，收集水質數據包括水溫、溶氧量、導電度、氧化還原電位、pH 值、氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$)與正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 等營養鹽濃度及葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*)濃度，並計算卡爾森優養指數〔Carlson's index〕(Carlson 1977)，量化生態池水質優養化程度，作為評估水質淨化工程的效益。

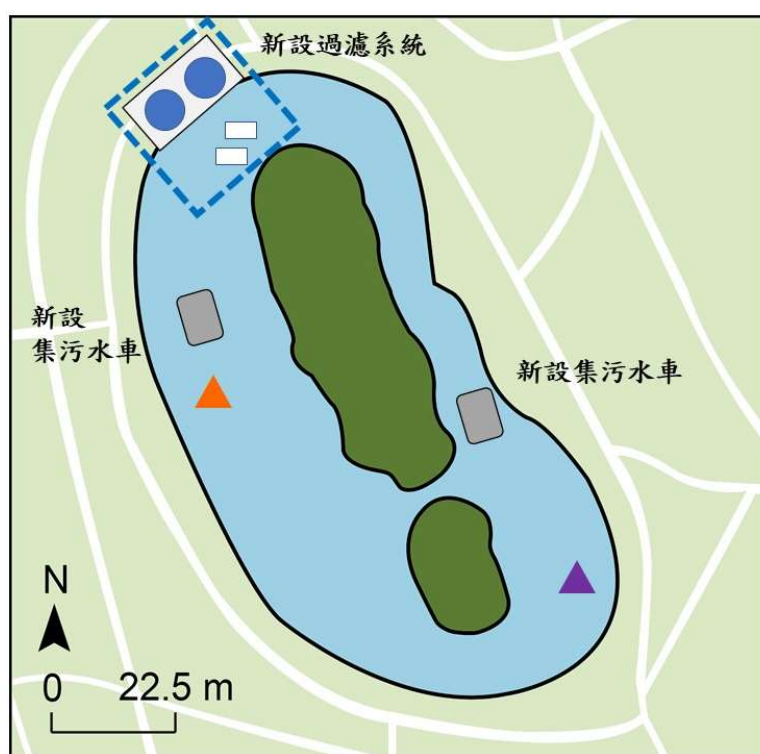


圖 2-6、大生態池水質改善工程施工位置及水質監測位置圖。▲= 施工區水質監測採樣位置；▲= 非施工區水質監測採樣位置

第三章 結果與討論

3.1 生態池水質定期水質監測

一、2019 年春季(1－3 月)生態池水質因子調查

[1] 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 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，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($\text{NH}_4\text{-N}$) 0.208 ± 0.206 mg/L，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) 0.33 ± 0.18 mg/L，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 0.20 ± 0.06 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 200.8 ± 26.2 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

[2] 第二生態池

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 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，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($\text{NH}_4\text{-N}$) 0.008 ± 0.002 mg/L，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) 為零，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 0.12 ± 0.02 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 0.3 ± 0.7 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

[3] 第三生態池

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 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，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($\text{NH}_4\text{-N}$) 0.052 ± 0.050 mg/L，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) 為零，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 0.12 ± 0.05 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 10.5 ± 11.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

二、2019 年夏季(4－6 月)生態池水質因子調查

[1] 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 μ g/L。

[2] 第二生態池

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 μ S/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 μ g/L。

[3] 第三生態池

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 μ S/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 ± 11.7 μ g/L。

三、2019 年秋季(7－9 月)生態池水質因子調查

[1] 大生態池

2019 年秋季調查之平均水溫為 27.7 ± 1.9 °C (表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 4.6 ± 1.2 mg/L，平均導電度 174.3 ± 30.4 μ S/cm，平均 pH 值 6.9 ± 0.2 ，平均氧化還原電位 354.6 ± 52.1 mV，平均氨氮(NH₄-N) 0.33 ± 0.13 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 0.78 ± 0.34 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.38 ± 0.08 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 154.6 ± 74.6 μ g/L。

[2] 第二生態池

2019 年秋季調查之平均水溫為 $26.5 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ (表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 $2.3 \pm 1.1 \text{ mg/L}$ ，平均導電度 $271.4 \pm 84.4 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ，平均 pH 值 6.7 ± 0.5 ，平均氧化還原電位 $306.5 \pm 35.5 \text{ mV}$ ，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) $0.03 \pm 0.01 \text{ mg/L}$ ，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) $0.13 \pm 0.08 \text{ mg/L}$ ，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) $0.14 \pm 0.02 \text{ mg/L}$ ，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) $1.5 \pm 1.8 \text{ }\mu\text{g/L}$ 。

[3] 第三生態池

2019 年秋季調查之平均水溫為 $27.1 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ (表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 $4.4 \pm 0.9 \text{ mg/L}$ ，平均導電度 $148.3 \pm 25.2 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ，平均 pH 值 7.0 ± 0.2 ，平均氧化還原電位 $330.2 \pm 39.1 \text{ mV}$ ，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) $0.03 \pm 0.01 \text{ mg/L}$ ，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) $0.16 \pm 0.10 \text{ mg/L}$ ，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) $0.08 \pm 0.02 \text{ mg/L}$ ，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) $3.0 \pm 4.3 \mu\text{g/L}$ 。

四、2019 年冬季(10 – 12 月)生態池水質因子調查

[1] 大生態池

2019 年冬季調查之平均水溫為 $21.3 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ (表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 $8.6 \pm 1.9 \text{ mg/L}$ ，平均導電度 $231.4 \pm 10.3 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ，平均 pH 值 7.6 ± 0.3 ，平均氧化還原電位 $311.6 \pm 16.6 \text{ mV}$ ，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) $0.03 \pm 0.01 \text{ mg/L}$ ，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) $0.21 \pm 0.04 \text{ mg/L}$ ，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) $0.11 \pm 0.03 \text{ mg/L}$ ，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) $115.6 \pm 30.2 \text{ }\mu\text{g/L}$ 。

[2] 第二生態池

2019 年冬季調查之平均水溫為 $20.6 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ (表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 $4.5 \pm 0.7 \text{ mg/L}$ ，平均導電度 $515.3 \pm 50.2 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ，平均 pH 值 7.4 ± 0.1 ，平均氧化還原電位 $308.5 \pm 46.0 \text{ mV}$ ，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) $0.01 \pm 0.01 \text{ mg/L}$ ，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) $0.09 \pm 0.04 \text{ mg/L}$ ，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) $0.13 \pm 0.02 \text{ mg/L}$ ，

平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) $0.5\pm1.4\ \mu\text{g/L}$ 。

[3] 第三生態池

2019 年冬季調查之平均水溫為 $20.1\pm1.3\ ^\circ\text{C}$ (表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 $4.8\pm0.7\ \text{mg/L}$ ，平均導電度 $348.5\pm45.1\ \mu\text{s/cm}$ ，平均 pH 值 7.0 ± 0.2 ，平均氧化還原電位 $336.9\pm45.2\ \text{mV}$ ，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) $0.01\pm0.004\ \text{mg/L}$ ，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) $0.10\pm0.05\ \text{mg/L}$ ，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) $0.06\pm0.01\ \text{mg/L}$ ，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) $5.5\pm3.4\ \mu\text{g/L}$ 。

五、2020 年春季(1－3 月)生態池水質因子調查

2019 年春季調查僅針對大生態池進行調查，其餘兩座生態池未採樣。大生態池的平均水溫為 $17.6\pm1.8\ ^\circ\text{C}$ (表 3-1、圖 3-1)，平均溶氧量 $8.5\pm1.8\ \text{mg/L}$ ，平均導電度 $161.9\pm20.7\ \mu\text{s/cm}$ ，平均 pH 值 7.7 ± 0.4 ，平均氧化還原電位 $288.8\pm13.7\ \text{mV}$ ，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) $0.15\pm0.13\ \text{mg/L}$ ，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) $0.40\pm0.16\ \text{mg/L}$ ，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) $0.17\pm0.07\ \text{mg/L}$ ，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) $155.4\pm18.3\ \mu\text{g/L}$ 。

六、比較生態池水質之長期變化

於大安森林公園三座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) 統計方法比較九項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，並探討三座生態池水質之季節性差異。此外，本研究應用卡爾森優養指數配合水中營養鹽及葉綠素*a*濃度，評估三座生態池的優養化程度。

表 3-1、2019 至 2020 年三座生態池水質調查結果 (平均值±標準差)

水質參數	季節	大生態池	第二生態池	第三生態池
水溫(°C)	2019 春季	21.4±1.5	20.6±1.6	21.2±1.4
	2019 夏季	28.9±2.2	26.5±1.7	27.5±1.6
	2019 秋季	27.7±1.9	26.5±1.1	27.1±1.0
	2019 冬季	21.3±1.0	20.6±1.2	20.1±1.3
	2020 春季	17.6±1.8	N/A	N/A
溶氧量(mg/L)	2019 春季	8.2±1.2	5.1±1.9	3.7±1.0
	2019 夏季	5.1±0.8	2.6±1.8	2.5±0.7
	2019 秋季	4.6±1.2	2.3±1.1	4.4±0.9
	2019 冬季	8.6±1.9	4.5±0.7	4.8±0.7
	2020 春季	8.5±1.8	N/A	N/A
導電度(μs/cm)	2019 春季	252.7±29.5	441.6±27.0	398.9±35.0
	2019 夏季	279.1±31.1	412.4±98.1	193.2±28.9
	2019 秋季	174.3±30.4	271.4±84.4	148.3±25.2
	2019 冬季	231.4±10.3	515.3±50.2	348.5±45.1
	2020 春季	161.9±20.7	N/A	N/A
pH 值	2019 春季	7.8±0.5	7.7±0.4	7.3±0.2
	2019 夏季	7.3±0.3	7.2±0.4	6.8±0.3
	2019 秋季	6.9±0.2	6.7±0.5	7.0±0.2
	2019 冬季	7.6±0.3	7.4±0.1	7.0±0.2
	2020 春季	7.7±0.4	N/A	N/A
氧化還原電位 (mV)	2019 春季	304.5±38.6	279.6±78.9	265.9±75.8
	2019 夏季	319.4±21.3	222.5±48.3	283.3±46.5
	2019 秋季	354.6±52.1	306.5±35.5	330.2±39.1
	2019 冬季	311.6±16.6	308.5±46.0	336.9±45.2
	2020 春季	288.8±13.7	N/A	N/A

表 3-1(續)、2019 至 2020 年三座生態池水質調查結果 (平均值±標準差)

水質參數	季節	大生態池	第二生態池	第三生態池
NH ₄ -N 濃度 (mg/L)	2019 春季	0.21±0.21	0.01±0.00	0.05±0.05
	2019 夏季	1.49±0.50	0.03±0.02	0.09±0.05
	2019 秋季	0.33±0.13	0.03±0.01	0.03±0.01
	2019 冬季	0.03±0.01	0.01±0.01	0.01±0.004
	2020 春季	0.15±0.13	N/A	N/A
NO ₃ -N 濃度 (mg/L)	2019 春季	0.33±0.18	N.D.	N.D.
	2019 夏季	1.07±0.28	0.08	0.04±0.01
	2019 秋季	0.78±0.34	0.13±0.08	0.16±0.10
	2019 冬季	0.21±0.04	0.09±0.04	0.10±0.05
	2020 春季	0.40±0.16	N/A	N/A
PO ₄ -P 濃度 (mg/L)	2019 春季	0.20±0.06	0.12±0.02	0.12±0.05
	2019 夏季	0.50±0.09	0.15±0.07	0.16±0.07
	2019 秋季	0.38±0.08	0.14±0.02	0.08±0.02
	2019 冬季	0.11±0.03	0.13±0.02	0.06±0.01
	2020 春季	0.17±0.07	N/A	N/A
葉綠素 <i>a</i> 濃度 (µg/L)	2019 春季	200.8±26.2	0.3±0.7	10.5±11.5
	2019 夏季	194.4±42.7	0.9±1.3	11.8±11.7
	2019 秋季	154.6±74.6	1.5±1.8	3.0±4.3
	2019 冬季	115.6±30.2	0.5±1.4	5.5±3.4
	2020 春季	155.4±18.3	N/A	N/A
卡爾森優養 指數	2019 春季	82.6(優養)	19.7 (貧養)	53.7(優養)
	2019 夏季	82.3(優養)	29.8(貧養)	54.9(優養)
	2019 秋季	80.1(優養)	34.7(貧養)	41.5(普養)
	2019 冬季	77.2(優養)	24.3(貧養)	47.4(普養)
	2020 春季	80.1(優養)		

N.D.：低於偵測極限、N/A：未採樣。

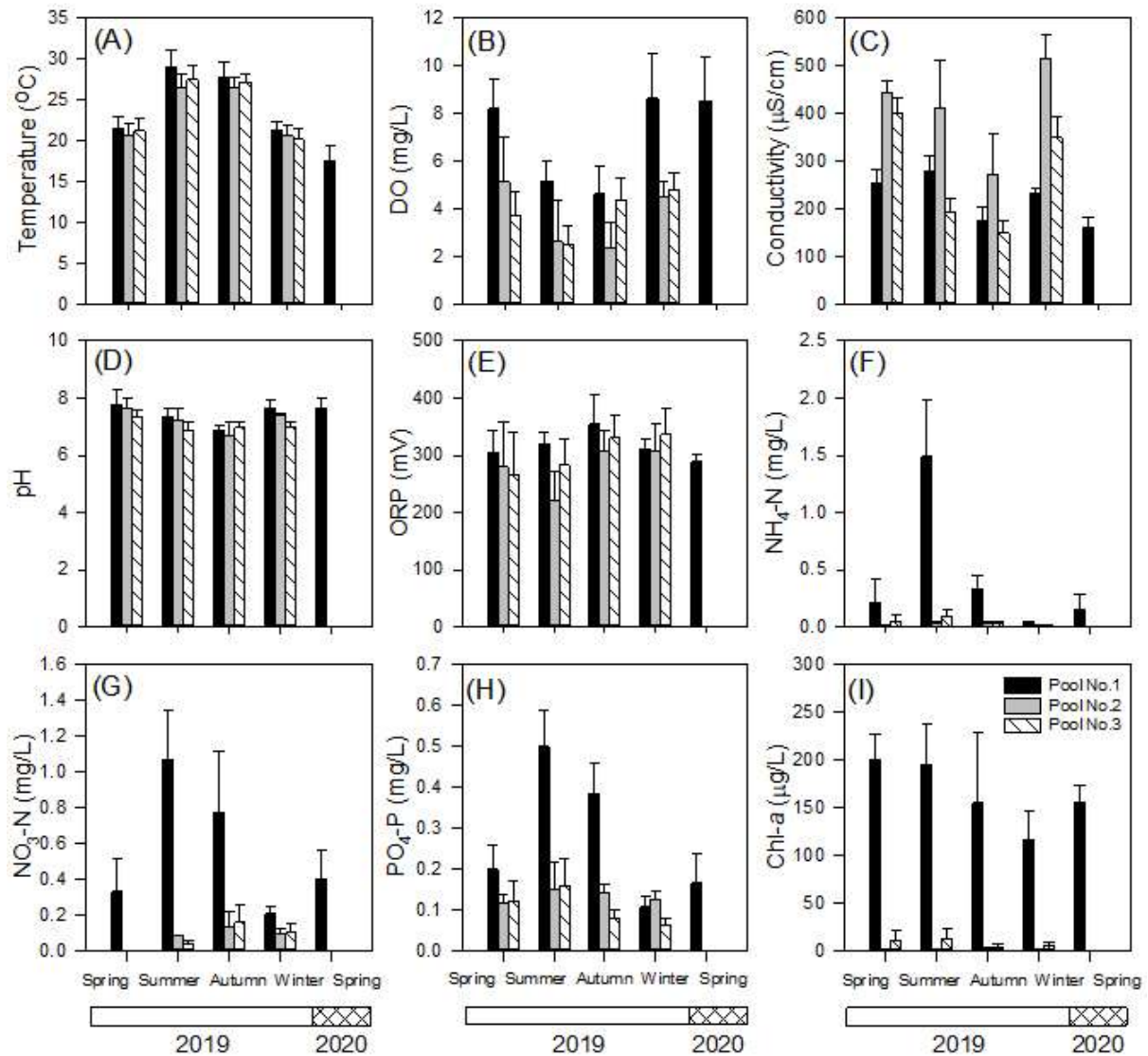


圖 3-1、2019 至 2020 年三座生態池水質因子(平均值±標準差)的季節性變化。(A)水溫、(B)溶氧量、(C)導電度、(D)pH 值、(E)氧化還原電位、(F)氨氮濃度、(G)硝酸鹽氮濃度、(H)正磷酸鹽濃度、(I)葉綠素濃度 a 。Pool No.1 = 大生態池；Pool No.2 = 第二生態池；Pool No. 3 = 第三生態池

#：未採樣；†：低於儀器偵測極限。

[1] 大生態池水質特性

2019 年春季至 2020 年春季的水溫、溶氧量、導電度、pH、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* 濃度皆有顯著差異($p<0.05$) (表 3-2)。平均水溫以 2020 年春季最低且 2019 年夏季最高，溶氧量以 2019 年冬季最高且 2019 年夏季與秋季最低，葉綠素 *a* 濃度則是 2019 年春季與夏季最高。導電度及氧化還原電位以 2020 年春季最低，pH 值則以 2019 年秋季最低。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] 第二生態池水質特性

比較 2019 年春季至冬季之水質，其中水溫、溶氧量、導電度、pH、氧化還原電位、氨氮及硝酸鹽氮濃度皆有顯著差異($p<0.05$) (表 3-2)。平均水溫以夏季與秋季高於春季與冬季，溶氧量則以春季與冬季高於夏季與秋季。導電度及 pH 皆為秋季最低。氧化還原電位以夏季最低，氨氮與硝酸鹽氮濃度則為秋季最高。正磷酸鹽濃度及葉綠素 *a* 濃度於春季至冬季之間無顯著差異。

[3] 第三生態池水質特性

2019 年春季至冬季的水溫、溶氧量、導電度、pH、氧化還原電位、氨氮、硝酸鹽氮與正磷酸鹽濃度皆有顯著差異($p<0.05$) (表 3-2)。平均水溫以夏季與秋季最高，溶氧量則以夏季最低。導電度及 pH 於春季最高。氧化還原電位以冬季與秋季最高，氨氮與正磷酸鹽濃度以夏季最高且冬季最低，硝酸鹽氮濃度則是以秋季最高且春季最低。葉綠素 *a* 濃度於春季至冬季之間無顯著差異。

表 3-2、2019 至 2020 年三座生態池水質參數季節性變化分析

水質 參數	大生態池			第二生態池			第三生態池		
	F	P	Tukey's	F	P	Tukey's	F	P	Tukey's
水溫	310.55	***	夏>秋>春 =冬>春 [#]	209.59	***	夏=秋> 春=冬	324.23	***	夏=秋> 春>冬
溶氧 量	67.64	***	冬=春 [#] =春 >夏=秋	34.42	***	春=冬> 夏=秋	46.32	***	冬=秋> 春>夏
導電 度	156.39	***	夏>春>冬 >秋=春 [#]	76.94	***	冬>春= 夏>秋	563.31	***	春>冬> 夏>秋
pH	37.49	***	春=春 [#] =冬 >夏>秋	45.52	***	春≥冬≥ 夏>秋	26.61	***	春>冬= 秋>夏
氧化 還原 電位	24.28	***	秋>夏=冬 ≥春≥春 [#]	22.96	***	冬=秋= 春>夏	17.38	***	冬=秋> 夏=春
氨氮	57.03	***	夏>秋=春 =春 [#] =冬	10.88	***	秋=夏> 冬=春	12.05	***	夏≥春≥ 秋≥冬
硝酸 鹽氮	27.18	***	夏>秋>春 [#] =春=冬	12.04	***	秋>冬= 夏=春	12.73	***	秋>冬= 夏=春
正磷 酸鹽	63.25	***	夏>秋>春 ≥春 [#] ≥冬	1.59	0.212	n.s.	8.97	***	夏≥春≥ 秋≥冬
葉綠 素 <i>a</i>	7.31	***	春=夏≥春 [#] =秋≥冬	1.35	0.275	n.s.	2.07	0.124	n.s.

春[#]: 2020 年春季。

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001。n.s.：無顯著差異。

七、小結

比較 2019 年春季至 2020 年春季三座生態池的水質，水溫顯示三座生態池於 2019 年夏季與秋季高於春季與冬季，2020 年春季的大生態池水溫則為最低；而溶氧量也隨水溫呈相反情況，且大生態池的溶氧量都遠高於第二、三生態池(表 3-1、圖 3-1)。三座生態池之 pH 值則皆是 2019 年春季與 2019 年冬季相似且高於 2019 年夏季與秋季($p < 0.05$, 表 3-2)。導電度與氧化還原電位於三座生態池的四季較沒有一致趨勢，但第二生態池的平均導電度比其餘兩座生態池高，大生態池的平均氧化還原電位則比其餘兩座生態池高(表 3-1、圖 3-1)。

氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)濃度於大生態池分別高過第二生態池 3 至 46 倍、第三生態池 4 至 16 倍。三座生態池的氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)濃度一致以 2019 年夏季最高，而且大生態池的氨氮濃度遠高過其餘兩座生態池($p < 0.05$, 表 3-1、表 3-2)。大生態池的硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度於四季較其餘兩座生態池高出 2-27 倍，且於 2019 年夏季最高($p < 0.05$, 表 3-1、表 3-2)。大生態池正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$)濃度分別高於第二生態池 1.7 至 3.3 倍、第三生態池 1.6 至 5.0 倍。正磷酸鹽濃度於大生態池與第三生態池同樣在 2019 年夏季高於冬季，於第二生態池的四季比較結果則無顯著差異($p < 0.05$, 表 3-1、表 3-2)。研究期間，大生態池葉綠素 *a* 濃度分別高於第二生態池 102 至 610 倍、第三生態池 16 至 51 倍。大生態池葉綠素 *a* 濃度於 2019 年春季與夏季顯著較高，另外兩座生態池四季比較結果則無顯著差異($p < 0.05$, 表 3-1、表 3-2)。在 2019 年春季至 2020 年春季的研究期間，大生態池水體呈現嚴重優養化及藻華現象，卡爾森優養指數顯示大生態池水體全年不同季節皆為優養狀態；第二生態池水質水質較佳，在四季皆為貧養狀態。三號則在春夏季呈現優養狀態，而秋冬季呈現普養狀態。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至池中，以及過量有機物質(包括落葉、動植物屍體、垃圾)於水體積聚，亦會提供池水過盛營養來源，成為導致水質劣化主因。總結以上調查結果可知：

[1] 水溫、溶氧量：

三座生態池水溫依照季節變化，皆是 2019 年夏季的水溫最高，春季及冬季的水溫最低。至於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，大生態池水中的溶氧量遠高於其他兩座生態池 (圖 3-1)。水體中懸浮藻類的光合作用會釋放出氧氣，水中葉綠素 a 濃度與溶氧有直接關係，所以大生態池水中的溶氧量反映水體嚴重的優養化及藻華程度。

[2] pH：

三座生態池的 pH 於四季相當穩定，只有在 2019 年夏季與秋季較酸，但仍保持在中性範圍。

[3] 導電度：

因第二、三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，故第二、三生態池的平均導電度較大生態池高。

[4] 氧化還原電位：

大生態池的氧化還原電位普遍高於其餘兩座生態池，原因分別為大生態池的溶氧量大大高於第二、三生態池，而開闊的大生態池受充足的陽光照射，加上水中營養鹽濃度偏高，加強懸浮藻類的光合作用效率，促使水體環境偏向氧化狀態，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，可能原因為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、卡爾森優養指數:

大生態池的葉綠素 a 濃度遠高過其餘兩座生態池，表示有大量懸浮藻類在大生態池中，而這些懸浮藻類因水體受到光照充足及優養化而行強烈的光合作用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。因此，根據卡爾森優養指數顯示大生態池水體全年四季皆為優養狀態；第二生態池水質水質較佳，在四季皆為貧養狀態。三號則在春夏季呈現優養狀態，而秋冬季呈現普養狀態。

3.2 大生態池水質淨化工程效益評估

本研究於 2020 年夏季大生態池水質淨化工程的施工前期、中期、完工後，分別在施工區及非施工區進行水質監測，收集水質數據，作為評估水質淨化工程的效益。

一、水質淨化工程的施工前、後水質監測

[1] 施工前水質監測

本研究於 2020 年 6 月 17 日，進行水質淨化工程施工前水質監測。結果顯示施工區平均水溫為 33.2 ± 0.3 °C(表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 9.4 ± 0.8 mg/L，平均導電度 207.3 ± 2.7 μ S/cm，平均 pH 值 8.8 ± 0.1 ，平均氧化還原電位 248.6 ± 9.4 mV，平均氨氮(NH₄-N) 1.0 ± 0.1 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 1.6 ± 0.1 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.6 ± 0.1 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 159.9 ± 25.2 μ g/L。

非施工區平均水溫為 33.5 ± 0.5 °C(表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 13.8 ± 2.0 mg/L，平均導電度 211.4 ± 2.6 μ S/cm，平均 pH 值 9.2 ± 0.3 ，平均氧化還原電位 220.1 ± 14.0 mV，平均氨氮(NH₄-N) 1.0 ± 0 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 1.5 ± 0.1 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.6 ± 0 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 250.2 ± 5.1 μ g/L。

[2] 施工中水質監測

本研究於 2020 年 7 月 1 日，進行水質淨化工程施工中水質監測。結果顯示施工區平均水溫為 30.7 ± 0.2 °C(表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 3.4 ± 0.7 mg/L，平均導電度 245.7 ± 0.8 μ S/cm，平均 pH 值 7.4 ± 0.2 ，平均氧化還原電位 264.9 ± 5.6 mV，平均氨氮(NH₄-N) 2.7 ± 0.1 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 為 0.9 ± 0 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.8 ± 0 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 275.5 ± 10.7 μ g/L。

表 3-3、大生態池水質淨化工程前、後水質調查結果(平均±標準差)

水質參數	大生態池		
	時期	施工區	非施工區
水溫(°C)	施工前	33.2±0.3	33.5±0.5
	施工中	30.7±0.2	31.0±0.3
	完工後-1	31.3±0.1	32.3±0.3
	完工後-2	30.8±0.1	31.4±0.5
溶氧量(mg/L)	施工前	9.4±0.8	13.8±2.0
	施工中	3.4±0.7	4.4±1.1
	完工後-1	2.6±0.1	4.8±0.7
	完工後-2	2.4±0.1	3.5±0.3
導電度(μs/cm)	施工前	207.3±2.7	211.4±2.6
	施工中	245.7±0.8	256.5±1.2
	完工後-1	248.0±0.6	249.4±0.8
	完工後-2	280.1±0.8	282.1±2.4
pH 值	施工前	8.8±0.1	9.2±0.3
	施工中	7.4±0.2	7.4±0.1
	完工後-1	6.9±0.1	7.2±0.1
	完工後-2	6.8±0.1	7.1±0.2
氧化還原電位(mV)	施工前	248.6±9.4	220.1±14.0
	施工中	264.9±5.6	266.7±4.8
	完工後-1	292.5±9.3	277.2±12.1
	完工後-2	276.3±10.3	289.6±15.5

表 3-3(續)、大生態池水質淨化工程前、後水質調查結果(平均±標準差)

水質參數	大生態池		
	時期	施工區	非施工區
NH ₄ -N (mg/L)	施工前	1.0±0.1	1.0±0
	施工中	2.7±0.1	3.0±0.1
	完工後-1	2.4±0.1	2.2±0.1
	完工後-2	4.3±0.2	4.4±0
NO ₃ -N (mg/L)	施工前	1.6±0.1	1.5±0.1
	施工中	0.9±0	0.8±0.1
	完工後-1	1.3±0.1	1.4±0.1
	完工後-2	0.8±0	0.9±0.1
PO ₄ -P (mg/L)	施工前	0.6±0.1	0.6±0
	施工中	0.8±0	0.9±0
	完工後-1	0.6±0	0.6±0
	完工後-2	0.8±0	0.8±0
葉綠素 <i>a</i> (μg/L)	施工前	159.9±25.2	250.2±5.1
	施工中	275.5±10.7	314.4±11.8
	完工後-1	276.8±48.7	267.6±31.7
	完工後-2	160.9±24.1	105.6±20.4
卡爾森優養指數	施工前	80.4(優養)	84.7(優養)
	施工中	85.7(優養)	87.0(優養)
	完工後-1	85.7(優養)	85.4(優養)
	完工後-2	80.4(優養)	76.3(優養)

完工後-1：完工後第一次水質監測；完工後-2：完工後第二次水質監測。

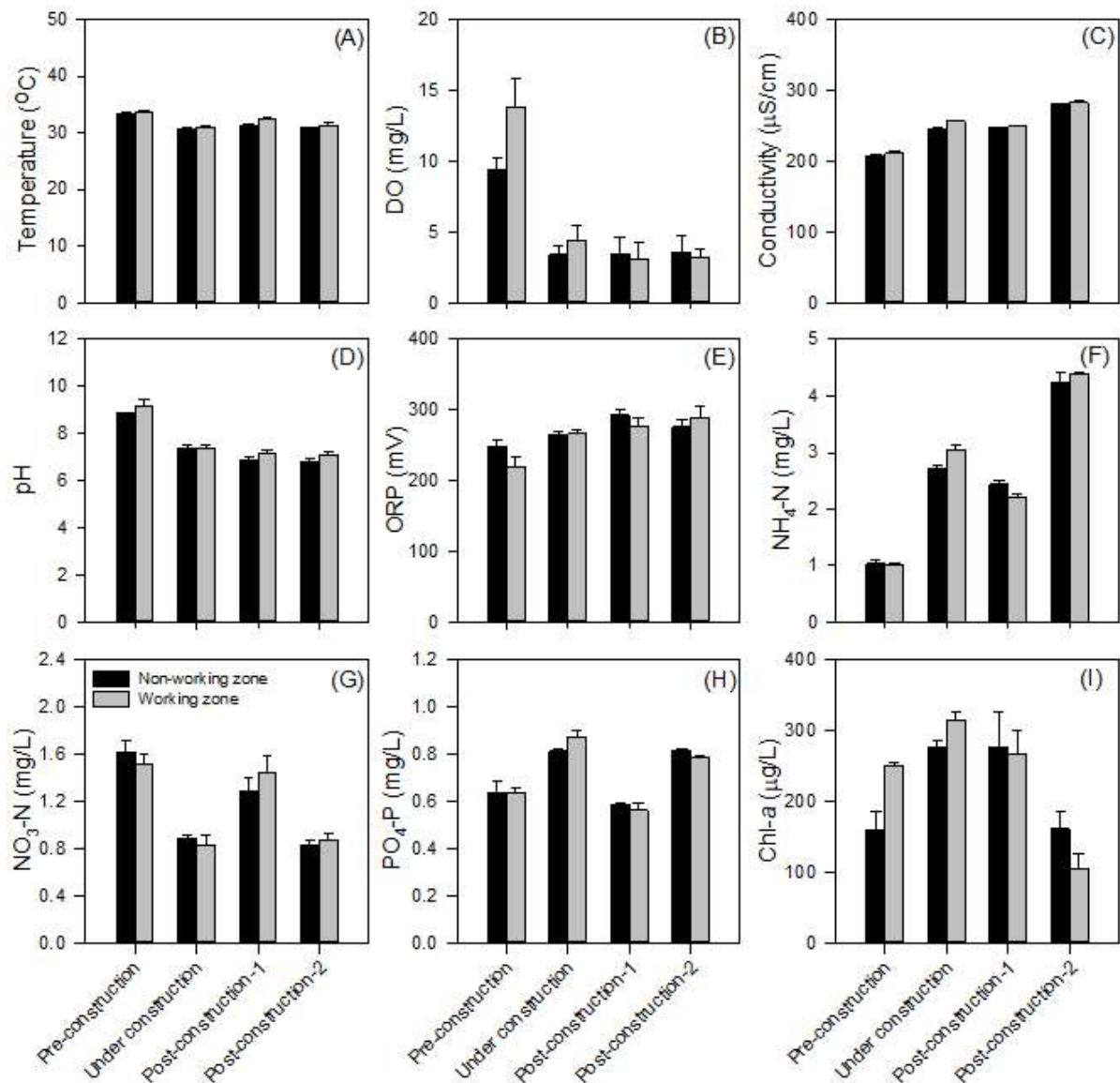


圖 3-2、2020 年大生態池水質淨化工程前、後水質調查結果。(A)水溫、(B)溶氧量、(C)導電度、(D)pH 值、(E)氧化還原電位、(F)氨氮、(G)硝酸鹽氮、(H)正磷酸鹽、(I)葉綠素 *a*。

Pre-construction = 施工前；Under construction = 施工中；Post-construction-1 = 完工後第一次水質監測；Post-construction-2 = 完工後第二次水質監測；Working zone = 施工區；Non-working zone = 非施工區。

非施工區平均水溫為 $31.0 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 4.4 ± 1.1 mg/L，平均導電度 256.5 ± 1.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，平均 pH 值 7.4 ± 0.1 ，平均氧化還原電位 266.7 ± 4.8 mV，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) 3.0 ± 0.1 mg/L，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) 為 0.8 ± 0.1 mg/L，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 0.9 ± 0 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 314.4 ± 11.8 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

[3] 完工後第一次水質監測

本研究於 2020 年 7 月 22 日，進行水質淨化工程完工後第一次水質監測。結果顯示施工區平均水溫為 $31.3 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 2.6 ± 0.1 mg/L，平均導電度 248.0 ± 0.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，平均 pH 值 6.9 ± 0.1 ，平均氧化還原電位 292.5 ± 9.3 mV，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) 2.4 ± 0.1 mg/L，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) 為 1.3 ± 0.1 mg/L，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 0.6 ± 0 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 276.8 ± 48.7 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

非施工區平均水溫為 $32.3 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 4.8 ± 0.7 mg/L，平均導電度 249.4 ± 0.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，平均 pH 值 7.2 ± 0.1 ，平均氧化還原電位 277.2 ± 12.1 mV，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) 2.2 ± 0.1 mg/L，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) 為 1.4 ± 0.1 mg/L，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 0.6 ± 0 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 267.6 ± 31.7 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

[4] 完工後第二次水質監測

本研究於 2020 年 9 月 10 日，進行水質淨化工程完工後第二次水質監測。結果顯示施工區平均水溫為 $30.8 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 2.4 ± 0.1 mg/L，平均導電度 280.1 ± 0.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，平均 pH 值 6.8 ± 0.1 ，平均氧化還原電位 276.3 ± 10.3 mV，平均氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$) 4.3 ± 0.2 mg/L，平均硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$) 為 0.8 ± 0 mg/L，平均正磷酸鹽($\text{PO}_4\text{-P}$) 0.8 ± 0 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 160.9 ± 24.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

非施工區平均水溫為 31.4 ± 0.5 °C(表 3-3、圖 3-2)，平均溶氧量 3.5 ± 0.3 mg/L，平均導電度 282.1 ± 2.4 μ S/cm，平均 pH 值 7.1 ± 0.2 ，平均氧化還原電位 289.6 ± 15.5 mV，平均氨氮(NH₄-N) 4.4 ± 0 mg/L，平均硝酸鹽氮(NO₃-N) 為 0.9 ± 0.1 mg/L，平均正磷酸鹽(PO₄-P) 0.8 ± 0 mg/L，平均葉綠素 *a* (Chlorophyll *a*) 105.6 ± 20.4 μ g/L。

二、大生態池水質淨化工程效益評估

本研究比較大生態池九項水質因子包括水溫、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，探討水質淨化工程施工前期、施工期、完工後的水質變化，並應用雙因子變異數分析(Two-way ANOVA)及後檢定(Tukey's Test) 統計方法分析水質淨化工程前、後，以及大生態池不同區域水化學參數的差異，作為評估水質淨化工程的效益。

研究結果顯示大生態池的水溫、溶氧量、導電度、pH、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，在水質淨化工程施工前、後皆有顯著差異($p<0.05$) (表 3-4)，然而各項水質參數變化趨勢卻並不一致。大生態池不同區域之平均水溫於施工前皆顯著高於施工後，然水溫變化範圍在 31°C 上下，此為大生態池夏季正常水溫變化範圍，應該為與淨化工程無關。水中葉綠素 *a* 濃度在大生態池水質淨化工程開始實施至完工後第一次水質監測不降反升，在施工區及非施工區分別呈現 72%及 26%的增幅。至第二次水質監測，即是淨化工程完工後約兩個月，大生態池水中葉綠素 *a* 濃度呈現明顯下降至稍低於施工前的濃度(表 3-3)，雖然卡爾森優養指數指出大生態池水質仍在優養狀態的範圍，但是優養化程度而有減輕，顯示水質逐漸改善的趨勢。

然而，因水中氨氮、硝酸鹽氮與正磷酸鹽等營養鹽濃度仍然偏高且

並不穩定，尤其是正磷酸鹽濃度在監察期間波幅近 30–50%。此外，水質淨化工程實施後的水中磷濃度，皆高於歷年的水質監測濃度範圍(圖 3-1；3-1)，水中磷濃度上升主要有兩個原因，第一為新設集污水車的運作造成水體及底泥的擾動，底泥經擾動後釋出累積的磷；第二為大生態池周圍仍有磷源輸入水體，導致水中營養狀態忽高忽低，造成水體污染常見的磷源主要包括動物排泄物、肥料、飼料及食物殘渣等有機物質。水質淨化系統的集污水車的運作，可加強水體運轉流動，減慢浮游藻類生長，有助改水中善藻華現象，但因水車運作而造成的底泥擾動所釋放出的磷，可藉由栽種水生植物或濾食性貝類以合適的生物操控技術逐漸減低，達到水質淨化的目標。因此，要達到有效改善大生態池水質優養化程度，水質淨化系統實為輔助作用，主要水質改善工作在於污染源頭的處理，必須嚴格控制有機物質輸入水體，如避免肥料流入水體中、禁止餵飼生物、減低大生態池中央樹島的鳥類聚集數量從而減輕排泄物輸入水體總量。

水中溶氧量在大生態池水質淨化系統設置後，水中溶氧量大幅下降。完工後的溶氧量維持在水質淨化工程前的 30%，在施工區及非施工區平均於低 5 mg/L，在完工後的水質監測期溶氧量更低至 2 mg/L (圖 3-2；表 3-2)。相比於歷年的水質監測結果，過往夏季平均的溶氧量大約為 5–6 mg/L，證實大生態池水中溶氧量在水質淨化工程後顯著降低。因水中溶氧量減低，水體中氧化還原電位同樣較歷年夏季降低約 15–30%，因而導致水中氧化還原平衡的改變，轉移至偏向還原的狀態，導向水體中的微生物活動傾向脫硝作用(denitrification)，這正好反映在水質淨化工程後水中氨氮濃度逐漸上升而硝酸鹽氮濃度則逐漸下降。另一個重點，水體中傾向還原狀態，促進水中微生物進行厭氧呼吸作用，是污染水體產生現臭味的主因之一。事實上，縱觀水質淨化工程實施前後的水中氮營養鹽濃度，皆高於歷年的水質監測濃度範圍，這顯示現時大生態池水中氮營養鹽濃度已達的污染水平，必須加強關注，著重削減大生態池周圍的氮源輸入水體。

表 3-4、大生態池水質淨化工程前、後的水質變化的統計結果

水質參數	2-way ANOVA	F	P	Tukey's test
水溫	Period	234.107	***	1>3>4≥2 非施工區>施工區
	Location	51.370	***	
	Period × Location	4.768	**	
溶氧量	Period	217.300	***	1>2=3=4 非施工區>施工區
	Location	18.897	***	
	Period × Location	17.154	***	
導電度	Period	5247.207	***	4>2>3>1 非施工區>施工區
	Location	125.044	***	
	Period × Location	27.974	***	
pH	Period	671.187	***	1>2>3≥4 非施工區>施工區
	Location	39.761	***	
	Period × Location	3.552	*	
氧化還原 電位	Period	85.696	***	3≥4>2>1 施工區>非施工區
	Location	8.012	**	
	Period × Location	13.327	***	
氨氮	Period	1454.735	***	4>2>3>1
	Location	1.701	n.s.	
	Period × Location	11.267	***	
硝酸鹽	Period	101.922	***	1>3>2≥4
	Location	0.0774	n.s.	
	Period × Location	2.618	n.s.	
正磷酸鹽	Period	145.103	***	2≥4>1>3
	Location	0.0502	n.s.	
	Period × Location	3.584	*	
葉綠素 <i>a</i>	Period	48.152	***	2≥3>1>4
	Location	2.365	n.s.	
	Period × Location	8.892	**	

*：p<0.05、**：p<0.01、***：p<0.001、n.s.：無顯著差異。

2-way ANOVA (period x location)：4 periods (1 = 施工前、2 = 施工中、3 = 施工後第一次水質監測、4 = 施工後第二次水質監測) x 2 locations (非施工區、施工區)。

3.3 水質污染程度評估及水質改善之可行方法

本研究 2019 年春季至 2020 年春季針對大安森林公園的三處生態池座定期水質監測結果，可知第二生態池並沒有優養化及藻華問題，但第三生態池開始出現優養化及輕微藻華現象，必須加強注意避免周邊氮、磷源的輸入水體，如避免肥料流入水體中、禁止餵飼生物、移除水中過量有機物質包括落葉、動植物屍體、垃圾等，以及維持水體的循環以減慢水中浮游藻類生長。同時，第二生態池、第三生態池水中溶氧量及導電度較為不穩定，因這兩座生態池水深較淺，水位變化直接影響水體體積，造成溶氧濃度(溶氧量)及離子濃度(導電度)的波動，而破壞生態池棲地穩定性。因此，必須加強注意第二生態池、第三生態池水位維持在穩定的水平。

大生態池的優養化與藻華狀況於三座生態池中最為嚴重，主要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至池中，以及過量有機物質(包括落葉、動植物屍體、垃圾)於水體積聚，皆為池水提供過盛營養來源，促使水體發生嚴重藻華現象，成為導致水體渾濁及水質劣化主因。

近年，大生態池的水質水質優養化及藻華問題受到不少關注，不同的水質改善措施陸續實行，包括大生態池中央樹島進行疏枝，作為減低過度茂密的植被減少鳥群聚集數量，以控制外來營養源輸入大生態池水體。於 2020 年夏季展開大生態池水質改善工程，藉由設置水循環系統及過濾系統，加強水體循環，以及過濾水中過多的浮游藻類及懸浮固體。根據本研究水質監測結果顯示，水質淨化工程已初步達到水質改善的效果，完工後兩個月，水中葉綠素 a 濃度呈現下降趨勢。然而水質淨化系統設置後，水中溶氧量大幅下降，以及水中營養鹽濃度偏高且不穩定，必須進一步探討確定原因及改善方法。

依據水質調查及分析結果，本研究針對大生態池水質淨化工程的水質改善效益，以及長期水質改善策略提出可行建議。

一、加強大生態池水質淨化工程效益的改善建議：

[1] 改善水中溶氧量

依據水質監測結果，大生態池水質淨化系統設置後，水中溶氧量大幅下降。因水中溶氧量、pH 與水體中氧化還原狀態息息相關，為避免水體因溶氧量過低傾向還原狀態，而促進水中微生物進行厭氧呼吸作用致水體產生臭味，建議藉由加強水體循環及種植水生植物，提升水體含氧量。

[2] 嚴格控制避免周邊氮、磷源的輸入水體

要達到有效改善大生態池水質優養化程度，水質淨化系統實為輔助作用，主要水質改善工作在於截斷污染源頭，必須嚴格控制周邊氮、磷源、有機物質輸入水體，如避免肥料流入水體中、禁止餵飼生物、減低大生態池中央樹島的鳥類聚集數量從而減輕排泄物輸入水體總量、移除水中過量有機物質包括落葉、動植物屍體、垃圾等。

[3] 設置濾食性貝類去除藻類及懸浮有機物質總量加強淨化水質：

水質淨化系統的集污水車的運作，可加強水體運轉流動，減慢浮游藻類生長，有助改水中善藻華現象，但因水車運作而造成的底泥擾動所釋放出的磷，建議應用合適的生物操控技術設置濾食性貝類以逐漸減低水中磷濃度、去除藻類生物量及懸浮有機物質總量，改善藻華問題及提升水體清澈度，達到水質淨化的目標。

[4] 維護集污水車、水質過濾系統正常操作運作

大生態池水質過濾系統運作兩個月至第二次完工後水質監測，水中葉綠素 *a* 濃度呈現明顯下降至稍低於施工前的濃度，雖然卡爾森優養指數

指出大生態池水質仍在優養狀態的範圍，但是優養化程度已有減輕，顯示水質逐漸改善的趨勢。為有效去除水中過量的浮游藻類，必須定期檢查集污水車、水質過濾系統正常操作運作，確保淨水設施沒有被過量的藻類及雜物阻塞，方能達到水質淨化的目標。

二、 大生態池長期水質改善策略:

[1] 減少營養源輸入水體：

定期為大生態池中央樹島進行疏枝，作為減低過度茂密的植被減少鳥群聚集數量減少中央樹島的鳥群數量，避免大生態池周邊進行施肥，禁止餵飼生物、移除水中過量有機物質包括落葉、動植物屍體、垃圾等，作為減低營養源輸入水體。此外，將池中生長過剩的藻類或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] 種植挺水性與沉水性水生植物吸收水中過量的營養鹽：

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。

[3] 設置濾食性貝類去除藻類及懸浮有機物質總量加強淨化水質：

應用合適的生物操控技術設置本土濾食性貝類(如田蚌)淨化水質，藉由貝類濾食性攝食行為，逐漸減低水中營養鹽濃度、去除藻類生物量及懸浮有機物質總量，改善藻華問題及提升水體清澈度。

[4] 改善底質環境、減低底泥缺氧程度：

運用水車及曝氣機等加強水體流動及增加池底溶氧量，減低底泥缺氧程度，避免底泥出現到過度還原的化學狀態，可減低微生物進行厭氧呼吸作用，從而減輕水體臭味的產生。此外，建議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

- 一、大生態池的優養化與藻華狀況於三座生態池中最為嚴重，主要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岸邊及中央樹島鳥群產生之糞便，周邊肥料流入池中，以及過量有機物質於水體積聚，為水體提供過盛營養來源，使嚴重藻華現象發生，成為導致水體渾濁及水質劣化主因。第二生態池並沒有優養化及藻華問題，但第三生態池開始出現優養化及輕微藻華現象。建議生態池水質管理必須加強注意避免周邊氮、磷源的輸入水體；以及應用生物操控技術設置濾食性貝類去除藻類及懸浮有機物質總量加強淨化水質。
- 二、第二生態池、第三生態池因水深較淺致水中溶氧量及導電度較為波動不穩，水位稍微變化已直接影響水體體積，易破壞生態池棲地穩定性，必須加強注意維持水位的穩定及水體的循環。
- 三、本研究水質監測結果顯示，2020 年夏季大生態池水質改善工程已初步達到水質改善的效果，完工後兩個月，水中葉綠素 a 濃度呈現下降趨勢。然而，水質淨化系統設置後，水中溶氧量大幅下降，以及水中營養鹽濃度偏高且不穩定，必須進一步探討確定原因及改善方法。

4.2 建議

- 一、大生態池長期水質改善策略:
 - [1] 定期為大生態池中央樹島進行疏枝減低鳥群聚集數量及過量鳥類排泄物輸入水體
 - [2] 避免大生態池周邊進行施肥、禁止餵飼生物、移除水中過量有機物質

包括落葉、動植物屍體、垃圾等，作為減低營養源輸入水體

- [3] 池中生長過剩的藻類或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
- [4] 應用生物操控技術設置濾食性貝類去除藻類及懸浮有機物質總量加強淨化水質
- [5] 種植挺水性與沉水性水生植物吸收水中過量的營養鹽
- [6] 改善底質環境、減低底泥缺氧程度

二、第二生態池、第三生態池長期水質改善策略:

- [1] 第二生態池並沒有優養化及藻華問題，但第三生態池開始出現優養化及輕微藻華現象，必須加強注意避免周邊氮、磷源的輸入水體，如避免肥料流入水體中、禁止餵飼生物、移除水中過量有機物質包括落葉、動植物屍體、垃圾等，以及維持水體的循環以減慢水中浮游藻類生長。
- [2] 第二生態池、第三生態池水中溶氧量及導電度較為不穩定，因這兩座生態池水深較淺，水位變化直接影響水體體積，造成溶氧濃度(溶氧量)及離子濃度(導電度)的波動，而破壞生態池棲地穩定性。因此，必須加強注意第二生態池、第三生態池水位維持在穩定的水平。

三、提升大生態池水質淨化工程效益的改善建議：

- [1] 改善水中溶氧量
- [2] 嚴格控制避免周邊氮、磷源的輸入水體
- [3] 設置濾食性貝類去除藻類及懸浮有機物質總量加強淨化水質
- [4] 維護集污水車、水質過濾系統正常操作運作

參考文獻

- 環保署環檢所 (2018)水中葉綠素 a 檢測方法－乙醇萃取法 (NIEA E508.00B) 。 <https://www.epa.gov.tw/niea/2F85E6455A9FD0DB>
- 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.
- Carlson R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22: 361–369.
- 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	專長
任秀慧	● 水質調查及化學分析 ● 資料分析 ● 報告撰寫	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、生物監測、生態復育、水生無脊椎動物分類學
黃宥禎	● 水質調查及化學分析 ● 協助資料分析 ● 協助報告撰寫	國立台灣大學生物環境系統工程學系碩士生	濕地生態學、水質化學
楊沛荳	● 水質調查及化學分析	國立台灣大學生物環境系統工程學系碩士生	濕地生態學、水質化學
曾繁安	● 水質調查及化學分析	國立台灣大學生物環境系統工程學系碩士生	濕地生態學、水質化學
黃日聖	● 水質調查及化學分析 ● 協助資料分析	國立台灣大學生物環境系統工程學系研究助理	濕地生態學、水質化學