

台灣東北部山區湖沼水質與底棲無脊椎動物群聚之關係

Relationships between Water Quality Variables and Benthic Invertebrate Assemblages in Mountain Ponds of Northeastern Taiwan

林斯正¹ 黃朝慶¹ 邱錦和² 楊平世³ 謝森和^{4,*}

Sue-Cheng Lin¹, Chao-Ching Huang¹, Chin-Her Chiu²,
Ping-Shih Yang³ and Sen-Her Shieh^{4,*}

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路 1 號

² 宜蘭社區大學 宜蘭縣宜蘭市復興路二段 77 號

³ 國立台灣大學昆蟲學系 台北市羅斯福路四段 1 號

⁴ 靜宜大學生態學系 台中縣沙鹿鎮中棲路 200 號

¹ Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

² Yilan Community University, Yilan, Taiwan

³ Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

⁴ Department of Ecology, Providence University, Taichung, Taiwan

* 通訊作者：shshieh@pu.edu.tw

* Corresponding author: shshieh@pu.edu.tw

摘 要

本研究於 2002-2003 年每季在加羅湖群之撤退池、豪邁池、偉蛋池、加羅湖等 4 個池沼進行水質與底棲大型無脊椎動物調查，共記錄底棲大型無脊椎動物 2 綱 7 目 13 科 22 種(taxa) 14,719 隻，包括蜻蛉目 7 種、雙翅目 6 種、毛翅目 3 種、半翅目及鞘翅目各 2 種、貧毛綱及蜉蝣目各 1 種。其中，台灣大仰泳蟴(*Notonecta saramao*)與黃基蜻蛉(*Sympetrum speciosum taiwanum*)為台灣特有種。另外，以共構分析法(co-inertia analysis, CIA)探討水質因子與物種分布關係中，與腐水

性質相關之濁度、氨氮，以及與水體酸化相關之 pH 值、總硬度等水質因子，最能解釋底棲動物分布形式。其中，貧毛綱(*Oligochaeta*)建議作為低腐水池塘之生物指標，叉搖蚊(*Dicrotendipes* sp.)與四節蜉蝣(*Cloeon* sp.)作為水體酸性程度較低之生物指標。

Abstract

A seasonal survey of water quality and benthic macroinvertebrates was conducted for a mountain lake Chia-Lo and three mountain ponds, Che-Tui, Hao-Mai, and Wei-Tan, in the northeastern Taiwan, 2002 to 2003. A total of 14,719 specimens of benthic macroinvertebrates were collected. They were consisted of 22 taxa, of that seven taxa belonged to Odonata, six taxa to Diptera, three taxa to Tricoptera, two taxa to each of Hemiptera and Coleoptera, and a taxon to each of Oligochaeta and Ephemeroptera. *Notonecta saramao* and *Sympetrum speciosum taiwanum* were found to be the endemic species. Relationships between the water quality and the benthic macroinvertebrate assemblages were assessed with the co-inertia analysis. The results showed that turbidity and ammonia were related to water saprobity, and pH and total hardness to water acidification. They were the most important water quality variables that explained the formation and distributional pattern of macroinvertebrate assemblages in the mountain ponds. Oligochaeta was recommended as a bio-indicator for the water saprobity, and *Dicrotendipes* sp. and *Cloeon* sp. for water acidification.

關鍵詞：加羅湖、山區湖沼、水質、底棲大型無脊椎動物、台灣

Key words: Chia-Lo Lake, mountain ponds, water quality, benthic macroinvertebrates, Taiwan

收件日期：99年8月10日

接受日期：99年10月19日

Received: August 10, 2010

Accepted: October 19, 2010

緒 言

分布在台灣海拔 1,500m 以上的山區湖沼，是相當珍貴且稀少的地理景觀，也是野生動植物重要的水源與棲地。由於山區湖沼景色優美，很早就有相關的踏查報告(吳 2002)，但因路途較遠交通不便，且一般需重裝備徒步前往，因此有關湖沼學研究並不多。少數有研究

報導的高山湖沼，包括：雪山翠池、七彩湖群、嘉明湖、天巒池、合歡翠池等海拔約 3,000m 高海拔湖沼(鹿野及吉村 1934; 大津等 1992a; Liew and Huang 1994; 羅等 1994; 陳等 1997; 顏等 1998; 林等 2006)，以及翠峰湖、鴛鴦湖、松嶺池群、大鬼湖(又名他羅瑪琳池)、小鬼湖(又名巴油池)等海拔 1,500-3,000m 中海拔湖沼(鹿野及吉村 1934; 大津等 1987, 1988, 1989,

1992b; 林及陳 1992)。

由於前人研究不多，且偏重水質(鹿野及吉村 1934; 大津等 1987, 1988, 1989, 1992a, 1992b; 林及陳 1992; 羅等 1994; 林等 2006)、底質(林及陳 1992; Liew and Huang 1994; 羅等 1994; 陳等 1997)與湖濱植物(大津等 1987, 1988, 1989; 羅等 1994; 顏等 1998)，有關底棲大型無脊椎動物報導較少。尤其是中海拔湖沼底棲無脊椎動物資料，比已有初步整理的高海拔湖沼(林等 2006)，更加不足，因此有必要加強這方面研究。為了解台灣中海拔湖沼底棲大型無脊椎動物生態，本研究選定湖沼數量頗多的台灣東北部宜蘭縣加羅湖群進行調查，目的在建立加羅湖群水質與底棲大型無脊椎動物基礎資料，並探討水質與無脊椎動物群聚的相關性。

材料與方法

加羅湖群位於宜蘭縣大同鄉與南澳鄉交界之加羅山(2,319m)附近，也就是給里洛山(2,792m)向北經加羅山到太平山間寬廣稜脈上，並已有 18 座大小池沼被發現並命名(陳及邱 2002)。本區氣候涼冷，依據李等(2003)報導加羅湖畔氣象站 2002 年資料顯示，最低溫 1 月的平均溫度為 6.0°C，最高溫 7 月的平均溫度為 15.1°C。在植被方面，過去本地多有有紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、台灣扁柏(*Chaemacyparis obtusa* var. *formosana*)、台灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)等高經濟林木，然因採伐作業，原有林木已不多見。現今所存喬木植物，多為人為更新或自然回復，並以紅檜及台灣鐵杉為多。

圖 1 為 4 個調查池沼位置。撤退池(Che-Tui Pond)(圖 2)是登山步道第一個遇到的水池，由於本池已漸淤積，水池大小端賴雨水豐沛而定，景觀有相當大差異。本調查期間皆僅存一充滿水生植物的狹長水窪。豪邁池(Hao-Mai Pond)(圖 3)位於撤退池東北方約 300m，黃褐

色湖水接近一般所稱的黑水塘。偉蛋池(Wei-Tan Pond)(圖 4)在豪邁池南方約 220m 處，此圓形水池長有很豐富的水生植物。湖面開闊的加羅湖(Chia-Lo Lake)(圖 5)，位於偉蛋池南方約 300m 處，為一東西走向的長形谷地蓄水而成。現場並曾以皮尺測量並計算湖形、周長及面積(表 1)。

水質與底棲大型無脊椎動物於 2002 年 9、12 月及 2003 年 3、6 月各採樣 1 次。湖沼水質是以 CYBERSCAN-310 酸鹼度計、CYBERSCAN-100 溶氧量計及 HACH-CO150 導電度計，配合調查行程於當日 9-13 時測量 pH 值、溶氧量(dissolved oxygen)、導電度(conductivity)、總溶解固體(total dissolved solids)與水溫。另取表水攜回實驗室分析，試水經孔徑 0.45 μm 玻璃纖維濾紙過濾後，分析懸浮固體(suspended solids)，並以硫酸滴定測量甲基橙總鹼度(total alkalinity)，EDTA 滴定法測量總硬度(total hardness)。濁度(turbidity)、氨氮(ammonia)、硫化物(sulfide)、總磷酸鹽(total phosphorus)、總凱氏氮(total Kjeldahl nitrogen)及化學需氧量(chemical oxygen demand)則依 HACH DR/2000 水質分析儀之操作程序測定。生物樣品是以半徑 10 cm、長 50 cm 之圓形塑膠採樣筒，每次取樣在水深約 30 cm 處的底質，隨機取 10 cm 深的底質樣品 4 重複，分析時則將此 4 樣品合併為一個生物樣品。底質樣品經 0.5 mm 網目篩出大型無脊椎動物後，先經 5% 福馬林固定再攜回。攜回的樣品先以水清洗，再以肉眼由採集物中挑出動物標本，標本經鑑定後置入 80% 酒精保存。底棲大型無脊椎動物分類主要參考 Wiederholm (1983)、林(1999)等。

底棲大型無脊椎動物樣品在顯微鏡下鑑定種類，並計算種數、密度、多樣性指數(Shannon-Wiener's index, H')與均勻度指數(Pielou's evenness index, e)。多樣性指數公式為： $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_{10} P_i$ ， P_i 為第 i 種所占隻數比例， S 為種數。均

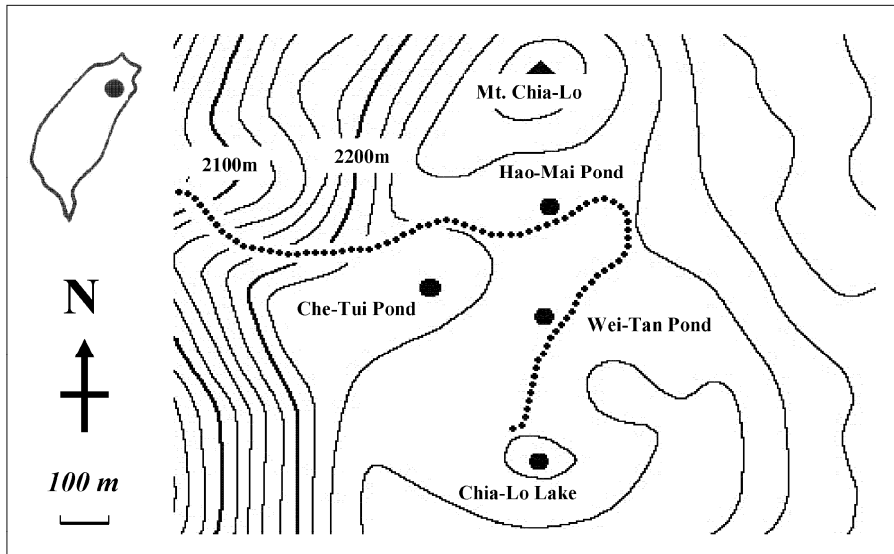


圖 1. 加羅湖、撤退池、豪邁池與偉蛋池位置圖(實心圓形代表湖沼樣點，曲線代表等高線，虛線代表步道)。

Fig. 1. Locations of Chia-Lo Lake, and Che-Tui, Hao-Mai and Wei-Tan ponds (solid circles) in the northeastern Taiwan (solid lines, contour lines; dotted line, footpath).



圖 2. 撤退池。

Fig. 2. Che-Tui Pond.



圖 3. 豪邁池。
Fig. 3. Hao-Mai Pond.



圖 4. 偉蛋池。
Fig. 4. Wei-Tan Pond.



圖 5. 加羅湖。

Fig. 5. Chia-Lo Lake.

表 1. 撤退池、豪邁池、偉蛋池、加羅湖之簡稱、海拔高度、湖形、周長與面積

Table 1. Abbreviations, elevations, shapes, shoreline lengths and surface areas of Chia-Lo Lake, Che-Tui, Hao-Mai and Wei-Tan ponds

Site	Che-Tui	Hao-Mai	Wei-Tan	Chia-Lo
Abbreviation	CT	HM	WT	CL
Elevation (m)	2,213	2,243	2,259	2,246
Shape	Narrow	Oblong	Orbicular	Triangular
Shoreline (m)	26	57	75	313
Surface (m ²)	30	80	280	2700

勻度指數公式為： $e=H/\log_{10} S$ ， H 為多樣性指數， S 為種數。

水質與底棲無脊椎動物分布相關性方面，由於兩者關係常無法預先研判，且水質間又有程度不等的交互作用，僅用少數水質特徵研判可能較不適合，多變量分析之排序技術(ordination techniques)是近來漸被採用的方法。本

研究先以降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA)進行試算，結果顯示生物群聚梯度在DCA前二軸的長度分別為 1.8 及 1.5 標準偏差(standard deviation, SD)，皆小於 2 SD，故選用適合線性模式的主成分分析法(principal components analysis, PCA)進行後續分析(ter Braak 1995; 許及李 2003)。在群聚資料的PCA

分析中，為降低優勢物種對排序分析影響，群聚資料皆經 $\log_{10}(X+1)$ 轉換。此外，因稀有種會干擾排序結果，群聚分析僅使用至少在2個樣區出現且總豐度大於1%的17個物種。其次，在環境資料的PCA分析方面，14項水質資料皆經標準化轉換(normalized transformation)後分析。生物資料與環境因子資料分別經PCA分析後，再以共構分析法(co-inertia analysis, CIA)將生物與環境兩組經PCA分析結果整合連結在一起，並使它們的變異與相關最大，以獲得這兩組資料的共同結構(co-structure)(Doledec and Chessel 1994; Dray *et al.* 2003)。在生物與環境資料間共同結構最佳表達方式上，可將環境資料與相對生物資料的CIA值繪在CIA第1與第2軸的平面上，並以箭將此兩點連接在一起，箭的長度即代表共同結構強度，長度愈短代表生物資料與環境資料間結構愈一致，長度愈長則愈不一致。以上多變量分析主要使

用 ADE-4 套裝軟體進行運算繪圖(Thioulouse *et al.* 1997)。

結 果

表 2 為 4 個池沼水質在 4 次調查的平均值，其中水溫介於 14.6-16.5°C，溶氧量介於 3.3-4.4 mg/l，pH 介於 4.5-5.2 之間。導電度介於 8.9-16.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、總溶解固體介於 4-8 mg/l、總硬度介於 1.1-2.0 mg/l、總鹼度介於 2.1-3.5 mg/l。氨氮與硫化物的濃度在加羅湖最低，分別為 0.12 mg/l 與 2 $\mu\text{g}/\text{l}$ ，豪邁池最高，分別為 1.56 mg/l 與 9 $\mu\text{g}/\text{l}$ ，而且有較大數值變動。在總磷酸鹽、總凱氏氮、濁度、懸浮固體及化學需氧量方面，加羅湖除了總磷酸鹽、懸浮固體外，其他皆呈現最低值。相反地，豪邁池的值皆最高，而且有較大的變動。

表 2. 撤退池、豪邁池、偉蛋池、加羅湖水質 (abbr. 代表簡寫；mean \pm SD， $n=4$)

Table 2. Water quality measurements (mean \pm standard deviations, $n=4$) at Chia-Lo Lake, and Che-Tui, Hao-Mai and Wei-Tan ponds, 2002-2003 (abbr., abbreviation)

Water quality variables	Abbr.	Che-Tui	Hao-Mai	Wei-Tan	Chia-Lo
Water temperature (°C)	Temp	14.6 \pm 4.6	16.2 \pm 5.6	16.4 \pm 6.7	16.5 \pm 6.9
Dissolved oxygen (mg/l)	DO	4.4 \pm 1.4	3.3 \pm 1.0	3.9 \pm 1.9	4.0 \pm 1.3
pH	pH	4.6 \pm 0.2	5.2 \pm 0.5	4.5 \pm 0.3	4.7 \pm 0.2
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cond	10.5 \pm 0.2	16.4 \pm 14.1	8.9 \pm 0.8	9.2 \pm 1.7
Total dissolved solids (mg/l)	TDS	5 \pm 0	8 \pm 7	4 \pm 1	4 \pm 1
Total hardness (mg/l)	Hard	1.2 \pm 0.5	1.1 \pm 0.2	1.1 \pm 0.2	2.0 \pm 1.1
Total alkalinity (mg/l)	Alk	3.4 \pm 0.9	2.9 \pm 1.5	2.1 \pm 0.6	3.5 \pm 0.8
Ammonia (mg/l)	Am	0.34 \pm 0.15	1.56 \pm 1.98	0.26 \pm 0.03	0.12 \pm 0.04
Sulfide ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Sul	3 \pm 2	9 \pm 11	4 \pm 2	2 \pm 2
Total phosphorus (mg/l)	TP	0.18 \pm 0.08	0.24 \pm 0.14	0.11 \pm 0.02	0.13 \pm 0.03
Total Kjeldahl nitrogen (mg/l)	TKN	2.5 \pm 1.0	4.1 \pm 3.5	2.3 \pm 1.1	1.8 \pm 0.5
Turbidity (FTU)	Tur	14 \pm 4	47 \pm 50	12 \pm 2	6 \pm 2
Suspended solids (mg/l)	SS	6.8 \pm 6.2	7.8 \pm 7.7	3.6 \pm 3.6	5.5 \pm 4.8
Chemical oxygen demand (mg/l)	COD	27 \pm 18	50 \pm 47	30 \pm 20	8 \pm 5

底棲大型無脊椎動物共採獲昆蟲綱(Insecta)、貧毛綱(Oligochaeta)等 2 綱 7 目 13 科 22 種(taxa) 14,719 隻。其中昆蟲綱蜻蛉目(Odonata)計 7 種，占總種類數的 31.8%，雙翅目(Diptera) 6 種(31.8%)，毛翅目(Trichoptera) 3 種(13.6%)，半翅目(Hemiptera)、鞘翅目(Coleoptera)皆 2 種(各占 9.1%)，貧毛綱、蜉蝣目(Ephemeroptera)皆 1 種(各占 4.5%)。就數量比較，雙翅目 11,618 隻最多，占總隻數的 78.93%，貧毛綱 2,080 隻(14.13%)，蜉蝣目 608 隻(4.13%)，蜻蛉目 184 隻(1.25%)，鞘翅目 171 隻(1.16%)，毛翅目 53 隻(0.36%)，半翅目 5 隻(0.03%)。就各類而言，搖蚊科之叉搖蚊(*Dicrotendipes* sp.) 5,444 隻最多，次為素搖蚊(*Polypedilum* sp.) 3,458 隻，貧毛綱 2,080 隻，原搖蚊(*Procladius* sp.) 1,528 隻，搖蚊(*Chironomus* sp.) 1,101 隻，此 5 類占總隻數的 92.12%。

表 3 為 4 個池沼 22 種底棲大型無脊椎動物總調查量，其中貧毛綱、四節蜉蝣(*Cloeon* sp.)、扶桑蜻蜓(*Orthetrum japonicum internum*)、篩板沼石蛾(*Limnephilus* sp.)、豆龍蝨(*Agabus fulvipennis*)、東方黃緣龍蝨(*Cybister tripunctatus orientalis*)、搖蚊、素搖蚊與原搖蚊等 8 種在 4 個池沼皆有紀錄，為本調查常見種類。昧影細蟴(*Ceriagrion fallax fallax*)、青紋絲蟴(*Lestes cyaneus*)、黃基蜻蜓(*Sympetrum speciosum taiwanum*)、叉搖蚊、粗腹搖蚊(*Pentaneura* sp.) 等 5 種只在其中的 3 個池沼發現。褐紋石蛾(*Oligotricha* sp.) 只在豪邁池與偉蛋池 2 個池沼發現。而奇異沼石蛾(*Limnephilus alienus*)與台灣大仰泳蟴(*Notonecta saramao*) 只在豪邁池與加羅湖 2 個池沼發現。泰雅晏蜓(*Aeshna petalura taiyal*)、烏帶晏蜓(*Anax nigrofasciatus*)、灰黑蜻蜓(*Orthetrum melania*)、大水黽(*Aquarius elongatus*)、斑翅家蚊(*Culex mimeticus*)等 5 種僅在 1 個池沼中發現。

4 個池沼中，撤退池計調查到底棲大型無脊椎動物 2 綱 7 目 9 科 13 種 5,529 隻，豪邁池

2 綱 7 目 9 科 16 種 2,750 隻，偉蛋池 2 綱 6 目 11 科 17 種 566 隻，加羅湖 2 綱 7 目 9 科 15 種 5,874 隻(表 3)。底棲大型無脊椎動物群聚特徵上，4 個池沼在種數、多樣性指數與均勻度指數方面較接近，但密度方面差異較大(表 4)。

共構分析法(CIA)結果顯示，CIA 第 1 與第 2 軸分別解釋總變異的 60.4%、25.4%。第 1 軸主要與氨氮、硫化物與濁度等呈正相關，而與總鹼度、溶氧量等呈負相關(圖 6)。第 2 軸主要與總硬度及 pH 呈強負相關，與化學需氧量、懸浮固體、溫度呈弱正相關。在生物資料方面，粗腹搖蚊、奇異沼石蛾、昧影細蟴、素搖蚊、扶桑蜻蜓等與第 1 軸呈正相關(圖 7)，即這些物種在硫化物、氨氮與濁度較高下有較大豐度。貧毛綱與第 1 軸呈負相關，即在硫化物、氨氮與濁度較低，以及溶氧量較高的採樣站有較多數量。大多數的底棲大型無脊椎動物與第 2 軸不呈正相關，只有台灣大仰泳蟴及青紋絲蟴與第 2 軸呈些許的正相關。叉搖蚊、四節蜉蝣則與第 2 軸呈現較強的負相關，顯示在總硬度及 pH 較高情況下有較大豐度。

在生物資料與環境資料間的共同結構強度上，由於偉蛋池生物資料與環境資料間，箭的長度最短，因此共構程度較其他 3 個湖泊一致(圖 8)。就生物資料而言，位於 CIA 的第 1 軸右方之偉蛋池、豪邁池與其左方之撤退池、加羅湖，其生物資料的變異主要在貧毛綱上的變異。位於 CIA 的第 1 軸上方之撤退池、偉蛋池與其下方之豪邁池、加羅湖，其生物資料的變異主要在叉搖蚊與四節蜉蝣上的變異。此外，加羅湖與偉蛋池兩湖排序分布較撤退池與豪邁池為聚集，顯示群聚結構在季節間的變異上，加羅湖與偉蛋池較撤退池與豪邁池為小。就環境資料而言，偉蛋池在排序分布較其他 3 個湖為聚集，顯示偉蛋池的環境變數在季節上的變異較其他 3 個湖為小。而且豪邁池的排序分布分散在第 1 軸，表示其環境的變異主要在硫化物、氨氮與濁度上的變異。加羅湖與撤退池

表 3. 撤退池、豪邁池、偉蛋池、加羅湖之底棲大型無脊椎動物總調查量(abbr.代表簡寫) (單位：隻/16 個樣本，1 個樣本=314 cm²)

Table 3. Total number of individual benthic macroinvertebrates from 16 samples, each 314 cm², collected at Chia-Lo Lake, and Che-Tui, Hao-Mai and Wei-Tan ponds, 2002-2003 (abbr., abbreviation)

Taxa	abbr.	Che-Tui	Hao-Mai	Wei-Tan	Chia-Lo
Oligochaeta	Oc	1455	2	1	622
Ephemeroptera					
<i>Cloeon</i> sp.	Cl	10	263	23	312
Odonata					
<i>Ceriagrion fallax fallax</i>	Cf	12	5	8	
<i>Lestes cyaneus</i>	Lc	4		2	1
<i>Aeshna petalura taiyal</i>	Ap			1	
<i>Anax nigrofasciatus</i>	An				1
<i>Sympetrum speciosum taiwanum</i>	Ss		1	1	1
<i>Orthetrum japonicum internum</i>	Oj	4	83	33	26
<i>Orthetrum melania</i>	Om		1		
Trichoptera					
<i>Limnephilus alienus</i>	La		1		1
<i>Limnephilus</i> sp.	Li	11	10	22	2
<i>Oligotricha</i> sp.	Ol		2	4	
Hemiptera					
<i>Aquarius elongates</i>	Ae	1			
<i>Notonecta saramao</i>	Ns		3		1
Coleoptera					
<i>Agabus fulvipennis</i>	Af	57		5	2
<i>Cybister tripunctatus orientalis</i>	Ct	4	48	25	30
Diptera					
<i>Chironomus</i> sp.	Ch	909	109	63	20
<i>Polypedilum</i> sp.	Po	2888	366	130	74
<i>Dicrotendipes</i> sp.	Di		1299	8	4137
<i>Procladius</i> sp.	Pr	110	547	227	644
<i>Pentaneura</i> sp.	Pe	64	10	11	
<i>Culex mimeticus</i>	Cm			2	
Total		5529	2750	566	5874

表 4. 撤退池、豪邁池、偉蛋池、加羅湖底棲大型無脊椎動物種數、密度、多樣性指數、均勻度指數 (mean±SD, $n=4$)

Table 4. Number of taxa, density, diversity, and evenness (mean±standard deviations, $n=4$) of benthic macroinvertebrates sampled at Chia-Lo Lake, and Che-Tui, Hao-Mai and Wei-Tan ponds, 2002-2003

Lake and ponds	No. of taxa	Diversity (H)	Evenness (e)	Density (no./ m ²)
Che-Tui	8.8±1.5	0.52±0.15	0.56±0.17	11005.5±9117.6
Hao-Mai	10.5±1.3	0.68±0.07	0.67±0.10	5473.9±4334.9
Wei-Tan	11.5±2.4	0.71±0.07	0.68±0.08	1126.6±162.1
Chia-Lo	9.8±1.7	0.43±0.06	0.44±0.09	11692.2±3199.2

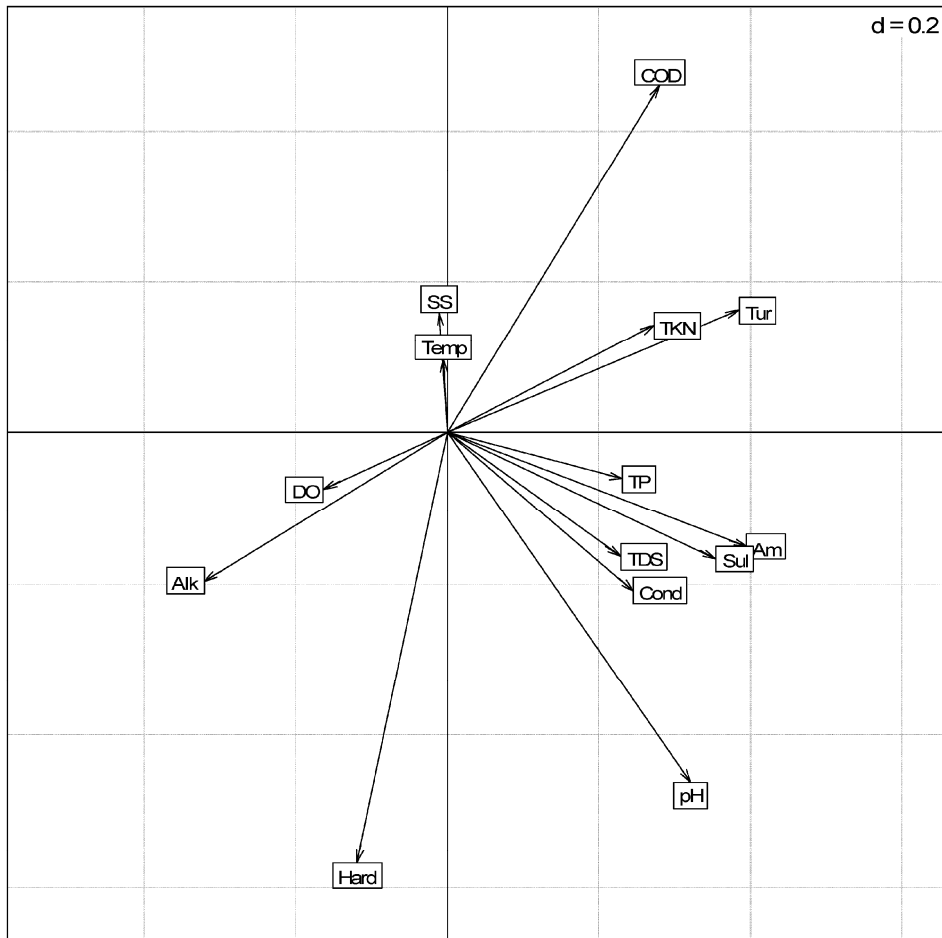


圖 6. 台灣東北部 4 個山區湖沼 4 個採樣日的 14 個環境因子在 CIA 前 2 軸之分布排序圖(環境因子之簡寫見表 2)。

Fig. 6. Ordinations of 14 environmental variables of 4 mountain lake and ponds in northeastern Taiwan, 2002-2003 (co-inertia analysis) (abbreviations of environmental variables denoted to Table 2).

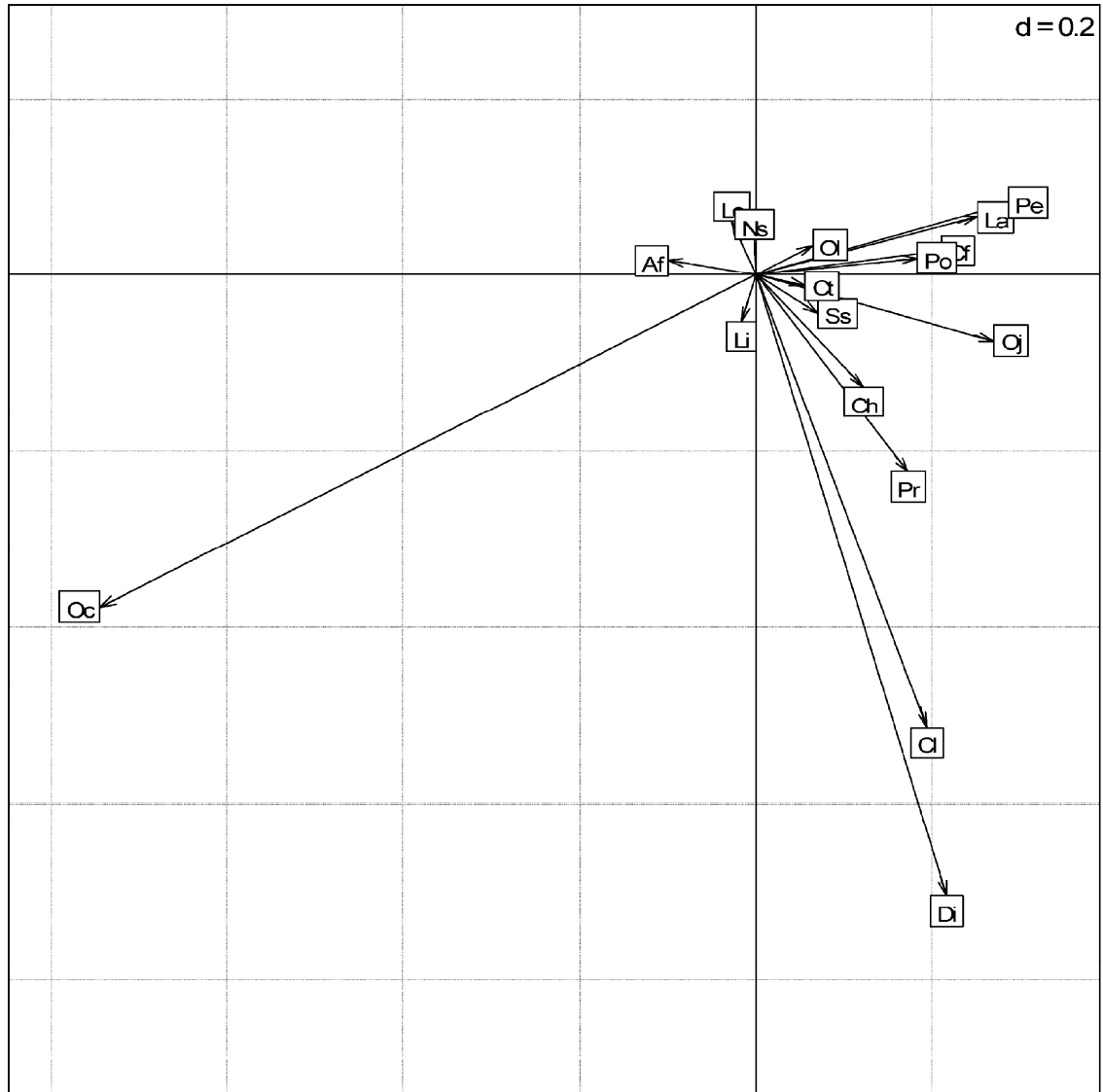


圖 7. 台灣東北部 4 個山區湖沼 4 個採樣日的 17 種底棲動物在 CIA 前 2 軸之分布排序圖(物種之簡寫見表 3)。

Fig. 7. Ordinations of 17 taxa of benthic macroinvertebrates collected from 4 mountain lake and ponds in northeastern Taiwan, 2002-2003 (co-inertia analysis) (abbreviations of macroinvertebrate taxa denoted to Table 3).

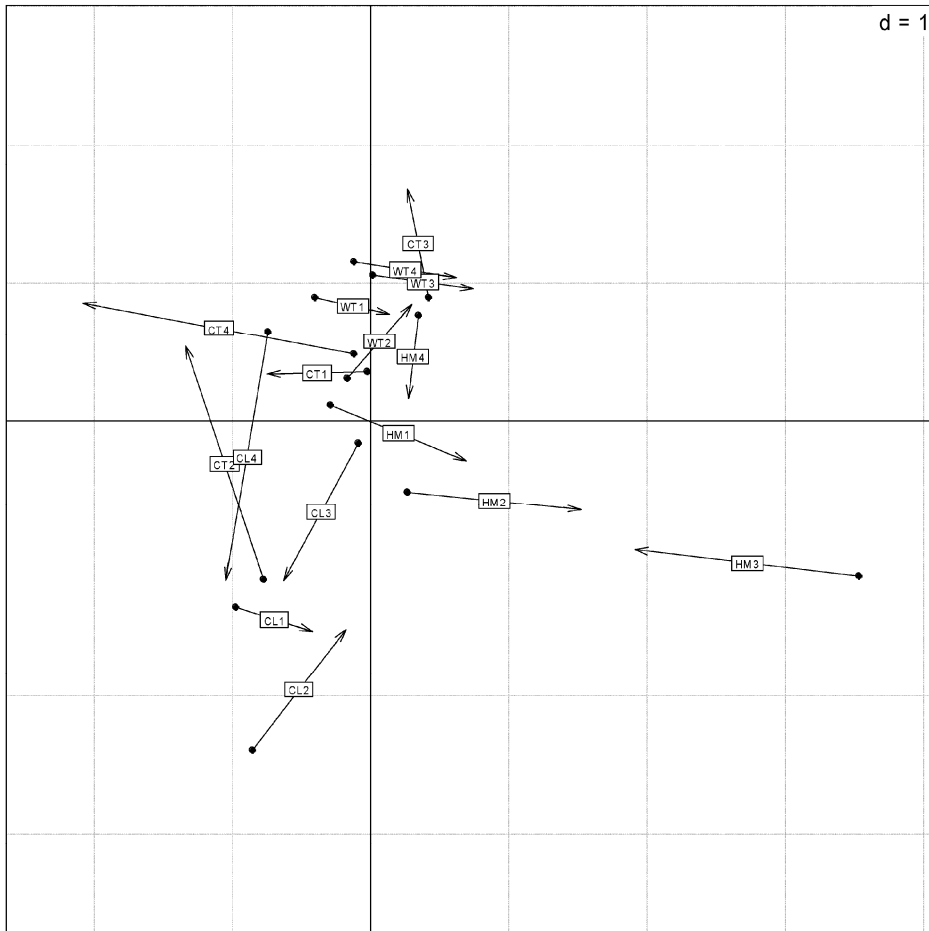


圖 8. 共構分析中第 1 軸與第 2 軸，環境資料與大型無脊椎動物資料共構的標準化值。箭連接了環境資料的標準化值(箭的起始點)與大型無脊椎動物資料的標準化值(箭頭) (池沼之簡寫見表 1；數字 1-4 分別代表秋、冬、春、夏 4 個季節)。

Fig. 8. Standardized co-inertia scores of the environmental and macroinvertebrate data projected onto the 1st and 2nd axes of co-inertia analysis (arrows linked between environmental scores (arrowtails) to macroinvertebrate scores (arrowheads)) (abbreviations of ponds denoted to Table 1; numbers 1 to 4, respectively, autumn, winter, spring and summer).

兩湖的排序分布分散在第 2 軸，表示其環境的變異主要在總硬度及 pH 上的變異。

討 論

林等(2006)報導台灣中部海拔 2,900-3,200m

合歡山區天巒池等 8 個池沼底棲大型無脊椎動物 7 目 8 科 17 種，與本調查加羅湖等 4 個池沼 7 目 13 科 22 種相比，種類數接近。可能本地氣候仍較寒冷且冬季有降雪現象，故只有少數適應的種類才能生存。其次，在合歡山區與加羅湖群區都有調查紀錄的 9 種底棲動物中，素

搖蚊、搖蚊、原搖蚊、豆龍蟲為兩地常見種類。泰雅晏蜓、奇異沼石蛾較常見於合歡山區，貧毛綱、四節蜉蟬、叉搖蚊較常見於加羅湖區，褐紋石蛾則皆不常見。其次，與較低海拔湖沼相比，劉及林(1992)報導海拔 1,050m 宜蘭南澳神秘湖水生動物，計有豌豆蜆(*Pisidium casertanum*)等螺貝類 9 種，水棲昆蟲 9 目 36 科約 50 種，比起中、高海拔山區湖沼的底棲動物，種類明顯複雜許多。在屬級及種級分類水平上，兩地亦有若干共通種，包括黃細蟴屬(*Ceragrion* sp.)、絲蟴屬(*Lestes* sp.)、綠晏蜓屬(*Anax* sp.)、赤蜻屬(*Sympetrum* sp.)及東方黃綠龍蟲等。因此，加羅湖群底棲無脊椎動物兼有合歡山池群及神秘湖部分種類。

就池沼水質方面，由於 4 個池沼水質調查數值接近，並不易由表 2 直接看出水質項目差異。比較值得注意的是豪邁池的氨氮、硫化物、總磷酸鹽、總凱氏氮、濁度及化學需氧量等，比其他 3 個池沼有更大變異。此因 2003 年 3 月水質調查中，與毒性物質及有機物有關水質項目較其他 3 次測值高出許多，包括氨氮濃度高達 4.5 mg/l、總凱氏氮 9.16 mg/l、化學需氧量 119 mg/l，其原因為季節性變化或有機物偶然匯入或其他因素，仍待後續監測調查。

水質與底棲無脊椎動物分布相關性方面，林等(2006)曾以典型對應分析法(canonical correspondence analysis, CCA)將合歡山池群依有機物消費分解之異營性(heterotrophy)程度，區分為貧、中、富等 3 腐水型(saprobity)。本研究中，由於 CIA 第 1 軸也與有機物消費分解有關的水質因子，如氨氮、硫化物及濁度等呈正相關，而與溶氧量呈負相關，顯示 CIA 第 1 軸亦代表有機物堆積分解的程度，即其腐水性質。故在 CIA 第 1 軸最右方的豪邁池，污濁程度最高，湖水黃褐至深褐色，接近一般登山界所稱的黑水塘或紅茶池。在 CIA 第 1 軸右方對應耐污力強的物種，包括粗腹搖蚊、奇異沼石蛾、素搖蚊、扶桑蜻蜒等。反之，CIA 第 1 軸

左方的加羅湖與撤退池，污濁程度較低，故對應到耐污力弱物種，如貧毛綱。其次，由 CIA 第 2 軸主要與代表水中 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 等鹼土族陽離子的總硬度及 pH 有較強負相關，顯示 CIA 第 2 軸代表湖沼酸化程度(acidification)。即 CIA 第 2 軸上方之撤退池、偉蛋池，湖水酸化程度較高，惟於生物資料上，無明顯對應到的物種。在 CIA 第 2 軸下方之豪邁池、加羅湖，湖水酸化程度較低，主要對應耐酸力弱物種，如叉搖蚊及四節蜉蟬。

由於水體採樣較容易，在過去高山湖泊調查中，這方面資料較為豐富。其中對於鹼性離子與鹼度不足所產生湖水變酸的湖沼酸化現象，以及有機物堆積分解所帶來腐植化(humification)現象，已有不少討論(鹿野及吉村 1934; 大津等 1992a, 1992b; 林及陳 1992; 羅等 1994; 林等 2006)。本研究中，加羅湖群在 CIA 第 1、2 軸上的分布形式，恰可由前人所歸納的腐水性質與湖沼酸化程度等二方面加以解釋，並由 CIA 第 1、2 軸對應到的物種，建議貧毛綱作為低腐水性質之生物指標，叉搖蚊與四節蜉蟬作為湖沼酸化程度較低之生物指標。後續可進行水質耐受試驗，評估作為湖沼水質生物指標的適切性。

湖沼腐植化與酸化是一個漸進而複雜過程，湖盆有機物堆積分解所產生的腐植質(humic substance)、腐植酸(humic acids)、黃酸(fulvic acids)，以及周圍植被、水草吸收 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 等鹽類而釋出 H^{+} 等，都會造成水體腐植化與酸化。在未進行深入研究前，實難闡明加羅湖群在 CIA 第 1、2 軸分布形式的原因，惟現場觀察，加羅湖、豪邁池、偉蛋池、撤退池之植被演替與陸化過程(territorial process)，頗吻合其在 CIA 前二軸所呈現的分布形式。例如，面積最大的加羅湖，底質以砂泥為主，有機碎屑少，湖水清澈，水生植物不多，僅有少數水毛花(*Schoenoplectus mucronatus robustus*)分布在淺水區，屬於演替較初期湖沼。面積次大的豪

邁池，由於底質已有有機物的大量堆積、分解，所以池底與水體富含有機碎屑，為明顯的腐植型池沼。此外，由於豪邁池水深較深，水生植物不多，僅水岸邊有少量的水毛花。面積小且深度淺的偉蛋池，底質除枯枝落葉等有機碎屑外，並附著大量可生存於較酸性水域的泥炭苔(*Sphagnum* sp.) (Szankowski and Klosowski 2004)等濕生植物(hygrophytic plant)，顯示本地已屬湖沼演替較後期階段。由於偉蛋池深度較淺，水體內的有機物可能易於在溶氧較多水層分解，因此水質較豪邁池清澈許多。近乎淤積的撤退池，除有泥炭苔大量滋生外，宜蘭蓼(*Polygonum foliosum*)、金髮苔(*Polytrichum* sp.)、玉山針蘭(*Trichophorum subcapitatum*)等濕生植物也生長茂密，幾乎已布滿整個湖底，除大雨期間有較大臨時性積水外，本地已接近陸化。所以，加羅湖群在 CIA 第 1、2 軸的分布形式可能與水生植物演替及陸化過程有某種程度的關聯性，值得後續再深入探究。

綜言之，加羅湖群這一帶的高山池沼群，不但是台灣高山地區重要的地理景觀，也是台灣大仰泳蟾、黃基蜻蜓等台灣特有水生生物重要棲地，泥炭苔所形成泥炭苔濕原(*Sphagnum* bog)更是亞熱帶台灣所罕見的奇景，極具湖沼保護價值。本研究顯示底棲大型無脊椎動物種類多、密度高且有不同的生活習性，很適合作為湖群保護監測生物指標，如能深入研究並善加利用，對歷經伐木、火燒而仍待恢復的加羅湖群之保護與永續利用，將有很大助益。

謝 誌

研究期間承蒙林務局羅東林區管理處的支持與協助，兩位審稿委員費心指正並提供寶貴建議，謹此一併致謝。

引用文獻

- 大津 高、加藤 武雄、曾晴賢、張萬福。1987。南台灣高山湖「巴油池」之概況。大自然 16: 106-111。
- 大津 高、曾晴賢、呂勝由、張萬福、大竹 直、蔡百峻。1989。台灣北部高山湖泊—鴛鴦湖湖沼生物學之調查。台灣省立博物館年刊 32: 17-33。
- 大津 高、曾晴賢、蘇建隆、佐藤 五郎。1992a。記台灣七彩湖的湖沼學現況。台灣省立博物館年刊 35: 39-50。
- 吳永華。2002。台灣高山湖泊發現小史。宜蘭文獻雜誌 58: 85-106。
- 李玲玲、郭奇芊、陳雅婷。2003。嘉羅湖地區野生動物相調查。農委會林務局保育研究系列 91-21 號。
- 林志明、陳鎮東。1992。小鬼湖水質與沉積物概況。大自然 37: 114-119。
- 林斯正。1999。台灣產蜻蜓科(蜻蛉目)幼蟲分類研究。東海大學生物學研究所碩士論文。
- 林斯正、謝森和、楊平世。2006。合歡山池沼群底棲大型無脊椎動物之分布。台灣昆蟲 26: 261-272。
- 許皓捷、李培芬。2003。群聚變異梯度長度對排序結果的影響。台灣林業科學 18(3): 201-211。
- 陳建志、邱錦和。2002。蘭陽湖泊初探。宜蘭文獻雜誌 58: 3-33。
- 陳鎮東、羅建育、林志明、陳佳奇。1997。台灣地區湖泊水庫沉積速率初步探討。海洋與湖沼 28(6): 624-631。
- 劉焜錫、林曜松。1992。神祕湖水生動物相及其分布調查研究。生物科學 35(2): 51-64。
- 顏仁德、陳添水、賴國祥、何健鎔、張仕緯。1998。台灣高山湖泊—七彩湖。科學月刊 339: 218-223。
- 羅建育、王冰潔、徐寶琛、陳鎮東。1994。台

- 灣高山湖—嘉明湖之初步研究。大自然 44: 98-104。
- 大津 高、呂勝由、加藤 武雄、張萬福、大竹直、蔡百峻。1988。他羅瑪琳池周辺の陸水学的・生物学的概況。東北地理 40(4): 258-271。
- 大津 高、曾晴賢、水野 寿彦、佐藤 五郎。1992b。台湾太平山翠峰湖の陸水学的概況。季刊地理學 44: 129-131。
- 鹿野忠雄、吉村信吉。1934。次高山附近に於ける高山池沼に就いて。陸水學雜誌 4: 54-65。
- Doledec, S. and D. Chessel. 1994. Co-inertia analysis: An alternative method for studying species-environmental relationships. *Freshwater Biology* 31: 277-294.
- Dray, S., D. Chessel and J. Thioulouse. 2003. Co-inertial analysis and the linking of ecological data tables. *Ecology* 84: 3078-3089.
- Liew, P. M. and S. Y. Huang. 1994. A 5000-year pollen record from Chitsai Lake, central Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Ocean Sciences* 5(3): 411-419.
- Szankowski, M. and S. Klosowski. 2004. Distribution and habitat conditions of the phytocoenoses of *Sphagnum denticulatum* Bridel and *Warnstorfia exannulata* (B., S. & G.) Loeske in Polish Lobelia Lakes. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 73: 255-262.
- ter Braak, C. J. F. 1995. Ordination. pp. 91-173. *In*: R. H. G. Jongman, C. J. F. ter Braak and O. F. R. van Tongeren (eds). *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge Univ. Press, UK.
- Thioulouse, J., D. Chessel, S. Doledec and M. Olivier. 1997. ADE-4: A multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7: 75-83.
- Wiederholm, T. 1983. Chironomidae of the holarctic region-keys and diagnoses, part 1 larvae. *Entomologica Scandinavica Supplement* 19: 1-457.

