

夢幻湖水深對臺灣水韭(*Isoetes taiwanensis* DeVol) 與其他水生植物覆蓋度之影響

潘薪合¹，潘靖汶¹，江政人¹，施上粟²，林幸助^{3,4}

¹ 多樣性生態顧問有限公司；² 國立臺灣大學土木工程學系；³ 國立中興大學生命科學系；

⁴ 通訊作者 Email: hjlin@dragon.nchu.edu.tw

[摘要] 湖水位被認為是影響夢幻湖湖區植物組成之主要因子。為證明夢幻湖之水位變化對臺灣水韭與其競爭物種之分布範圍具有影響性，因此，本研究針對水深與臺灣水韭及其競爭物種(針蘭、荸薺、水毛花和柳葉箬)之覆蓋度進行探討。藉由自記式壓力水位計調查湖水位；植物覆蓋度則以穿越線進行調查，並輔以 GPS 定位。研究結果顯示臺灣水韭覆蓋度之優勢水深介於 0.25-0.67 m。水深 0.25-0.54 m 區域，針蘭、荸薺、水毛花覆蓋度之優勢分布範圍與臺灣水韭有所重疊。以迴歸分析推估臺灣水韭最適年平均水深為 0.59 m。水位過低除了面臨其他植物的競爭壓力外，淺水處的水位快速波動變化亦可能造成臺灣水韭生存負面影響；然而長期之高水位則可能導致水體光度降低、挺水植物入侵，同樣不利於臺灣水韭之生存。

關鍵字：競爭、光度、臺灣水韭、夢幻湖、水深

The Influence of Water Level on the Coverage of *Isoetes taiwanensis* DeVol and Other Aquatic Plants in Menghuan Pond

Sin-He Pan¹, Ching-Wen Pan¹, Zheng-Ren Jiang¹,
Shang-Shu Shih² and Hsing-Juh Lin^{3,4}

¹D.Y.X. Ecological Consultant Co., Ltd.; ²Department of Civil Engineering, National Taiwan University; ³Department of Life Sciences, National Chung Hsing University;

⁴Corresponding author Email: hjlin@dragon.nchu.edu.tw

ABSTRACT The water level is considered to be the main factor affecting the vegetation of Menghuan Pond. This study was aimed to determine the influence of water level on the coverage of *Isoetes taiwanensis* and its competing plant species in Menghuan Pond by constructing the relationships between water depth and the coverage of *I. taiwanensis* and other plant species, including *Eleocharis congesta*, *Eleocharis dulcis*, *Schoenoplectus mucronatus*, and *Isachne globosa*. We used a pneumatic water gauge to investigate the water level of the pond. Vegetation coverage was recorded by transect methods with GPS positioning. The results show that the dominant water depth of *I. taiwanensis* was 0.25-0.67 m. At the water depth of 0.25-0.54 m, *I. taiwanensis* overlapped partly with other plants (*E. congesta*, *E. dulcis*, and *S. mucronatus*). The optimal water depth of *I. taiwanensis* demonstrated by a regression analysis was 0.59 m. One possible explanation is the strong competition against other plants during low water level. In addition, the rapid fluctuation of shallow water level may also have a negative impact on the survival of *I. taiwanensis*. Conversely, long-term inundation may also

reduce water irradiance, which may facilitate the invasion of emergent plants and affect the survival of *I. taiwanensis*.

Keywords: competition, irradiance, *Isoetes taiwanensis*, Menghuan Pond, water depth

前言

臺灣水韭(*Isoetes taiwanensis* DeVol)是臺灣極度瀕危(critically endangered)之特有物種，為多年半水生植物，屬於石松門(Lycopodiophyta)、石松綱(Lycopodiopsida)(Huang *et al.* 2018)。臺灣水韭由徐國士先生與張惠珠女士於 1971 年首度發現；隔年，棟慕華(Charles E. DeVol)教授發表第 1 篇臺灣水韭之相關論文(DeVol 1972)。夢幻湖是臺灣水韭的唯一自然生育地，因此了解夢幻湖環境變動對於臺灣水韭之影響，為陽明山國家公園管理處(陽管處)經營管理的重要科學依據。

夢幻湖之水位變化主要受降雨所影響，豐水期為 8 月至翌年 1 月(施上粟和黃國文 2017)。臺灣水韭生活史配合夢幻湖之降雨模式，孢子體全年可生長，配子體形成於雨季(秋末冬初)，新孢子體則生成於春季(黃增泉等 1988)。

然自 2002 年起，降雨量不足導致湖區乾涸，改變臺灣水韭以往的生育環境，部分植物如：針蘭(*Eleocharis congesta*)、柳葉箬(*Isachne globosa*)入侵，與臺灣水韭競爭生存空間，使臺灣水韭分布面積減少，顯示水深變化對臺灣水韭之可能影響(張永達等 2002, 2003, 2004)。因此，陽管處於 2003 年起陸續執行浚深與陸生植物移除等工作，以維護臺灣水韭棲地。陳德鴻等(2010)之調查顯示，夢幻湖浚深區(湖區北邊)與湖央區(湖區中央)之臺灣水韭植株數量於 2010 年有增加趨勢，可能與 2009~2010 年之湖水位增加有關。至 2015~2018 年，臺灣水韭已成為浚深區與湖央區之優勢植物種(林幸助 2018)，僅於水深較淺之湖岸區仍有針蘭與臺灣水韭競爭而有季節性交替之現象。

在林幸助(2018)之夢幻湖植群調查結果中，顯示水位變化對植群消長之影響，如臺灣水韭、針蘭與水毛花(*Schoenoplectus mucronatus*)之

分布範圍隨乾、濕季而變動，因此湖水位被認為是影響夢幻湖植物社會組成變動之主要因子(林幸助和廖冠茵 2015)。然而，目前臺灣水韭與夢幻湖其他植物及水深之動態關係研究極為有限。因此，本研究針對水深對臺灣水韭覆蓋度，以及其競爭物種(針蘭、荸薺(*Eleocharis dulcis*)、水毛花和柳葉箬)之季節性動態關係進行探討，以作為陽管處後續經營管理操作之科學參考與依據。

材料與方法

一、湖水位調查

本研究從 2018 年 1 月至 2021 年 1 月，架設自記式壓力水位計(HOBO Water Level (100 ft) Titanium)於夢幻湖東區靠近觀景臺，以尼龍繩將自記式壓力水位計懸吊於 PVC 管中，使水位計保持垂直且可避免水位計受到破壞、減少誤差(圖 1a)。水位計內部以陶瓷壓力傳感器感應絕對壓力並記錄於水位計中，最高可存取 21,700 組資料。調查期間設定為每 15 分鐘記錄 1 次壓力，並透過於空氣中設置之氣壓計(圖 1b)所得之連續氣壓資料，計算水中及空氣中之壓力差來推估水深，再加上自記式水位壓力計之高程即可估計夢幻湖之湖水位(施上粟等 2011，施上粟 2018，Lei *et al.* 2018，Carmignani *et al.* 2019)。公式如下：

$$H_{WL} = H_g + (P_W - P_A) / \rho g$$

其中， H_{WL} 代表湖水位(m)； H_g 代表地面高(m)； P_W 代表水壓力(mba)； P_A 代表大氣壓力(mba)； ρ 代表水密度(kg m^{-3})； g 代表重力加速度(9.8 m s^{-2})。另使用由陽管處提供之穿越線地形高程資料，將湖水位扣除地形高程後即可得穿越線上每 1 m 間隔之水深。浸淹日數百分

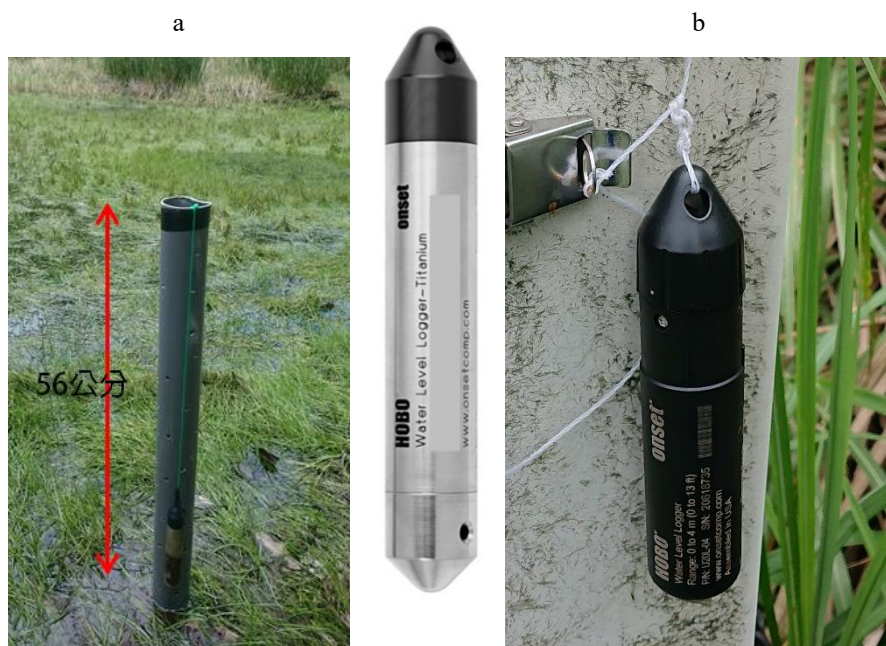


圖 1. (a) 夢幻湖中的自記式壓力水位計 (b) 空氣中的自記式氣壓計



圖 2. 夢幻湖植物穿越線位置

比(%)則是計算穿越線上湖水位高於地形高程之天數百分比(%)。

二、植物覆蓋度調查

1. 穿越線

本研究於 2019 年 3 月至 2021 年 1 月完成涵蓋兩年共 8 季之湖區穿越線調查，並結合林幸助 2018 年 4 季之植物穿越線之調查結果進

行分析。於夢幻湖湖區最北(A, N 25.10372°, E 121.333636°)至最南端(A', N 25.95885°, E 121.333705°)，設置 1 條南北向之穿越線(圖 2)，每 1 m 記錄 1 × 1 m² 樣框內之植物種類與覆蓋度。

2. GPS 標定

由於穿越線調查未涵蓋到荸薺與水毛花之優勢族群，故本研究於 2020 年 7 月與 2021

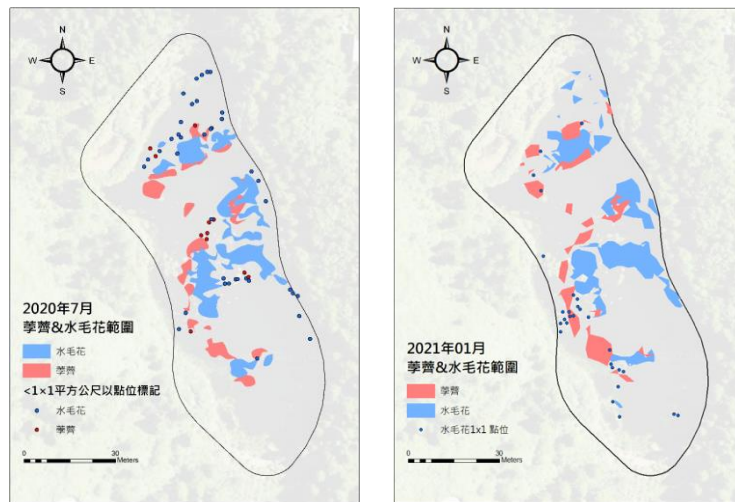


圖 3. 水毛花與荸薺分布位置(GPS 結果)

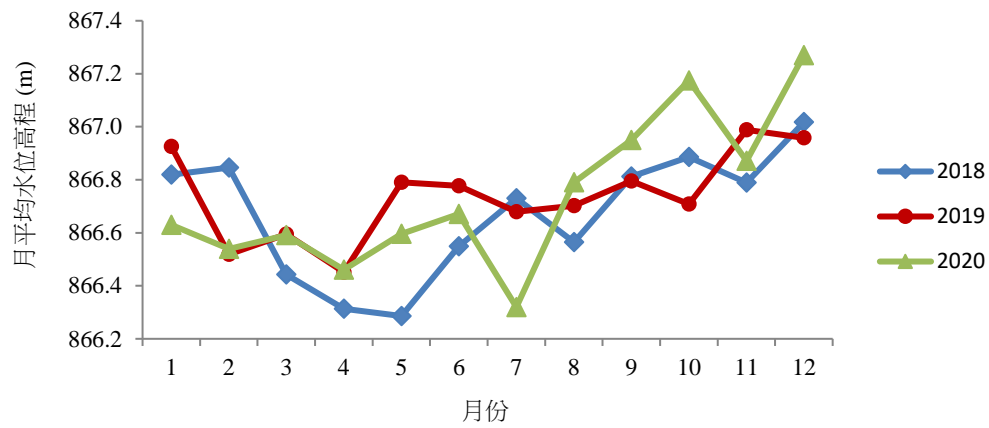


圖 4. 2018-2020 年 1 至 12 月月平均水位

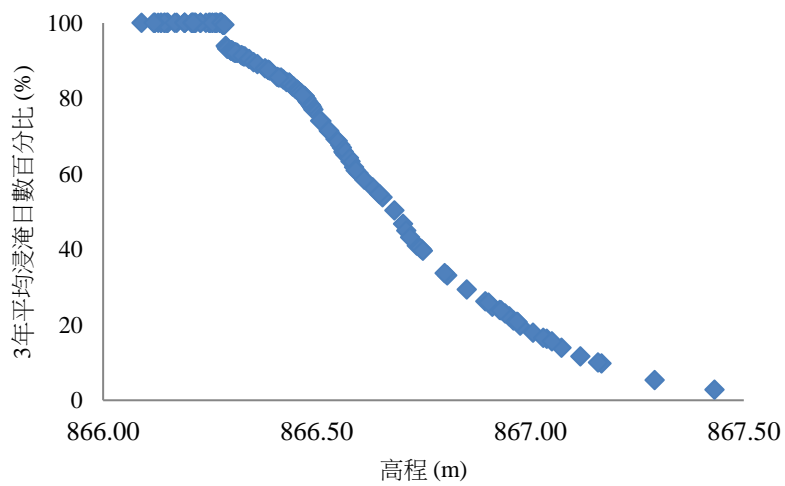


圖 5. 2018-2020 年 3 年平均湖底高程與浸淹機率

年 1 月另以 GPS 標定兩者之分布範圍(圖 3)，並配合地形資料估算其位置之平均湖底高程。

三、統計方法

本研究以 SigmaPlot 之非線性迴歸 (Nonlinear regression) 分析繪製臺灣水韭覆蓋度與水深之關係曲線，並推估最適臺灣水韭生存之水深。

結果

一、湖水位

1. 湖水位月變化

3 年間以 2020 年(含 2021 年 1 月)之平均水位最高；2018 年最低 (圖 4)。各月份間平均以 4 月之平均水位最低；12 月最高。

2. 浸淹日數百分比

本研究計算各湖底高程對應之浸淹日數百分比(%), 以利探討臺灣水韭對乾旱逆境之耐受性。結果顯示，臺灣水韭分布穩定之浚深區(湖底高程<866.2 m)於 3 年間平均浸淹日數百分比為 100% (圖 5)；湖央區(866.2 m<湖底高程<866.3 m)浸淹日數百分比為 93%；而在湖南區(866.3 m<湖底高程<866.5 m)，3 年平均之浸淹日數百分比為 77.1-92.1%。

二、水生植物分布與水深及湖底高程關係

1. 植物分布範圍

臺灣水韭之分布水深介於 0.02-0.67 m (圖 6)，幾乎與針蘭、荸薺、水毛花完全重疊。相較之下，臺灣水韭與柳葉箬分布高程之重疊性較低，僅在水深 0.02-0.50 m 間，兩者之水深棲地區位差異明顯。

2. 植物優勢之分布範圍

若以>50%之覆蓋度估算各種水生植物具競爭潛力(優勢程度與競爭植物相當或超越)之分布範圍，結合 GPS 調查結果以二季皆有出現之高程進行推估，結果顯示臺灣水韭具優勢之水深介於 0.25-0.67 m (圖 7)。

其中，年平均水深 0.54-0.67 m (圖 7)，僅

臺灣水韭覆蓋度達 50%，顯示此水深區段中臺灣水韭極具有競爭優勢。年平均水深為 0.25-0.54 m 之區段為臺灣水韭與荸薺、水毛花、針蘭競爭之範圍，顯示此水深區段會有植物間季節性消長現象；柳葉箬之優勢水深依然未與臺灣水韭之優勢水深有所重疊。

三、臺灣水韭適生水深推估

為量化臺灣水韭與水深之關係，本研究配適臺灣水韭覆蓋度與湖水深之關係曲線。配適結果顯示，臺灣水韭與水深間呈鐘形曲線之迴歸關係(圖 8)，曲線之決定係數(R^2)達 0.79，所得之理論年平均水深為 0.59 m。水深愈深則水韭覆蓋度愈低，顯示湖水過深對臺灣水韭亦有負面影響，臺灣水韭實際分布最低水深為 0.02 m，然而，年平均水深<0.23 m，臺灣水韭覆蓋度多為 0% (圖 6)。

討論

一、水生植物競爭水位

臺灣水韭具競爭優勢之年平均水深 0.54-0.67 m，該範圍之浸淹機率為 100%，多位於夢幻湖北邊之浚深區與中央之湖央區。本研究推測終年浸淹之區域可能不利於其他競爭物種，顯示夢幻湖北邊之浚深區似乎可作為臺灣水韭面臨乾旱時之避難場所。

陳寧庸和張文亮(2010)觀察夢幻湖臺灣水韭族群消長，發現臺灣水韭出現植株密度最高的水深在 0.25-0.49 m，而本研究之臺灣水韭優勢水深同樣以 0.25 m 為最低值，介於荸薺與針蘭之最適水深之間，顯示植物競爭可能為重要影響因素。另一方面，過去研究指出淺水位的快速波動變化導致臺灣水韭的葉片不斷發生枯萎、腐爛、死亡，使球莖所儲存養份大量耗損，不利於臺灣水韭生長(黃曜謀 2018)。因此，年平均水深<0.25 m 區域或許受水位波動變化頻繁之影響，降低臺灣水韭優勢，後續之影響機制需更進一步之探討。

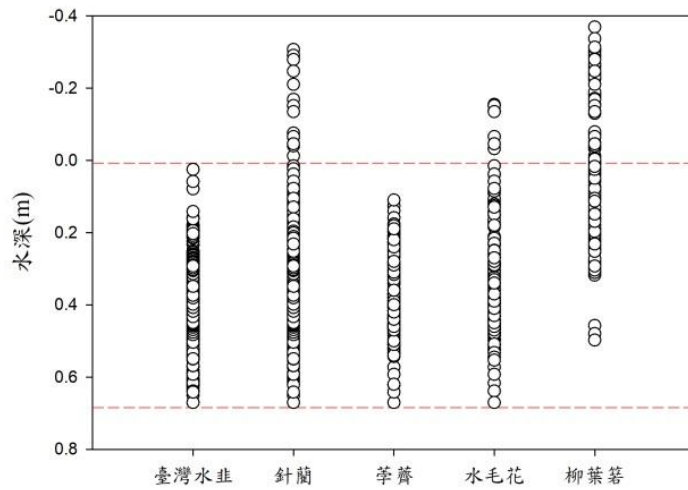


圖 6. 2018-2020 年夢幻湖水生植物分布水深(覆蓋度>0%)

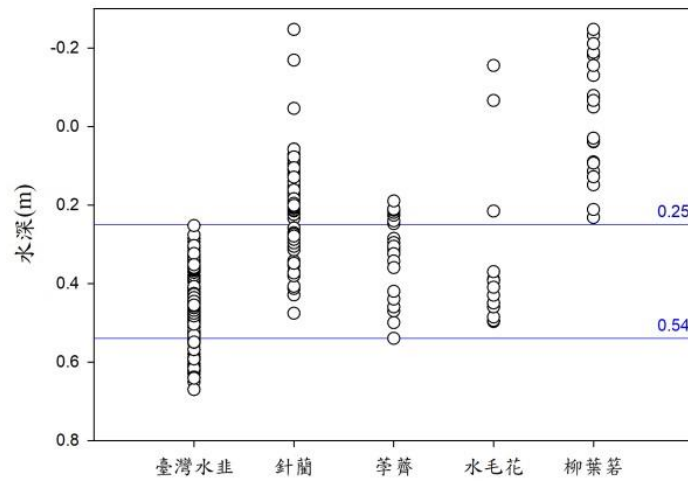


圖 7. 2018-2020 年夢幻湖水生植物可優勢水深(覆蓋度>50%)

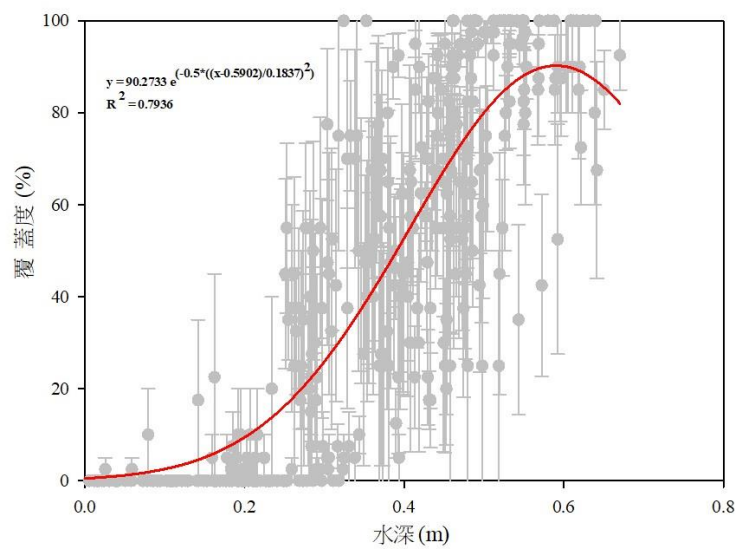


圖 8. 2018-2020 年臺灣水韭各年度四季平均覆蓋度與各年度平均水深關係

表 1. 臺灣水韭適生水深相關研究

文獻	調查時間	調查方法	最佳分布水深(cm)	最低分布水深(cm)
1	2008.6-2009.4	穿越線覆蓋度	48.5	4
2	2009.5-2010.12	24 區覆蓋度	50	30
3	2018	0~60 cm 水位實驗	60	--
4	2018.3-2021.1	穿越線覆蓋度	59	--
5	2018.3-2021.1	穿越線覆蓋度	47~60	2

(資料來源：文獻 1：陳寧庸和張文亮(2010)；文獻 2：游雅婷(2013)；文獻 3：黃曜謀(2018)；文獻 4：本研究含林幸助(2018)之理論值；文獻 5：本研究含林幸助(2018)之實際值，最佳分布水深以 3 年之平均覆蓋度 >95% 表示。)

二、臺灣水韭最適水深

本研究推估之臺灣水韭最佳分布水深為 0.59 m，與陳寧庸和張文亮(2010)、游雅婷(2013)以及黃曜謀(2018)之結果相仿(表 1)；但最低分布水深則為 0.02 m，與游雅婷(2013)之結果不同。陳寧庸和張文亮(2010)之研究指出，臺灣水韭在水深 >0.48 m 時對挺水植物方具有競爭優勢；而當水深 <0.25 m，臺灣水韭族群仍可存活；但在水深 <0.04 m 時，將導致該區域之臺灣水韭族群消失。此結果與游雅婷(2013)之部分結論相符，兩者均表示臺灣水韭之最適生長平均水深約為 0.5 m，但後者認為水深 <0.3 m 時即無臺灣水韭生長。在過去臺灣水韭的研究中，多強調水對臺灣水韭之重要性，但 Huang *et al.* (2018) 發現臺灣水韭經氣乾脫水放置 1 年後，仍有 30% 之植株在重新復水後可恢復生長，顯示臺灣水韭具有耐旱能力。然而在植株存活率、葉片數、葉片長度、球莖大小及孕性比例等生理面上，仍以深水位者(0.6 m)之表現較佳(黃曜謀 2018)。

本研究顯示臺灣水韭對夢幻湖短期的乾旱環境具有韌性。過去研究結果顯示即使在旱季，夢幻湖底泥仍保持濕潤狀態，有助於臺灣水韭渡過旱季(張永達等 2003)，因而水淺處仍有零星臺灣水韭存在。另一方面，本研究結果顯示過高的水位對臺灣水韭具有負面影響。林幸助和廖冠茵(2015)認為夢幻湖若一直處於淹水狀態，將有利於挺水植物(如水毛花)的生長，並會遮住臺灣水韭所需光線，產生生育地競爭壓力。

三、臺灣水韭保育

本研究顯示夢幻湖長時間的浸水與乾旱皆不利於臺灣水韭族群之生長，因此規劃合理的夢幻湖水位管理，將有助於臺灣水韭之保育(林幸助和廖冠茵 2015)。根據施上粟(2018)之研究結果指出夢幻湖於高水位時，湖水位下降速度快，可能與湖水由湖邊裂隙流出有關，顯示湖邊裂隙實際上可減少長期高水位之時間(施上粟和劉宏仁 2019)。近 10 年夢幻湖平均腐植質之沉積速率約為 2.0 cm yr⁻¹ (黃國文 2016)，而沉積物之堆積可能增加植物競爭區域，佔去臺灣水韭生存空間(黃增泉等 1988)。臺灣水韭本身具耐旱能力(Huang *et al.* 2018)，然而乾旱期間造成之植物入侵情形卻不利於臺灣水韭之復甦(黃曜謀等 2021)。過去，在適度的移除其他入侵物種後，許多臺灣水韭於原棲地恢復生長，可見適度之棲地管理對於臺灣水韭之保育有相當大助益(張永達等 2006；陳德鴻等 2007)。因此，藉由了解臺灣水韭及其競爭物種之優勢水深及高程，間接了解影響臺灣水韭族群之調控因子，可進一步提供陽管處管理夢幻湖水位之具體建議，並規劃夢幻湖需移除已影響臺灣水韭生育地的入侵物種範圍。有鑑於夢幻湖周邊裂隙可降低長期高水位之發生，因此裂隙造成之水位驟降情形為後續監測項目。建議未來建構夢幻湖水收支模式，並以此為依據制定夢幻湖水位管理策略，包括水位控制工程設計及維護管理方法，使臺灣水韭於夢幻湖自然保護區植群社會中持續保有競爭優勢(施上粟和劉宏仁 2019)。

結論

夢幻湖臺灣水韭之優勢水深介於 0.25-0.67 m，推估之最適年平均水深為 0.59 m。當水深低或高於 0.59 m 時，覆蓋度有下降趨勢，顯示水位對臺灣水韭有明顯影響。無論浸淹或乾旱，時間過長皆增加植物入侵機率，不利於臺灣水韭族群之生長。因此，臺灣水韭與競爭植物之優勢水深與高程關係可作為夢幻湖水位管理之科學依據，以維護臺灣水韭自然棲地之永續性。

引用文獻

林幸助、廖冠茵。2015。陽明山國家公園夢幻湖生態保護區棲地調查與監測。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

林幸助。2018。106~107 年度夢幻湖生態保護區基礎調查計畫。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

施上粟、袁孝維、黃國文、盧道杰、洪崇航。2011。新北市挖子尾自然保留區 100 年度生態資源監測作業委託服務成果報告。新北市政府農業局委託研究計畫。

施上粟、黃國文。2017。105~106 年陽明山國家公園夢幻湖生態保護區水文調查計畫。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

施上粟。2018。106~107 年陽明山國家公園夢幻湖生態保護區水文調查計畫。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

施上粟、劉宏仁。2019。夢幻湖生態保護區裂隙調查及示蹤劑試驗先期研究。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

張永達、黃鈞蕙、藍治平、郭章儀、張瑞謙、許長青。2002。陽明山長期生態研究計畫-夢幻湖生態系及環境變遷之研究。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

張永達、陳俊雄、郭章儀、黃馨萱、許長青、張瑞謙。2003。夢幻湖生態系保護區臺灣水韭保育與植群演替監測。陽明山國家公

園管理處委託研究計畫。

張永達、郭章儀、謝育慈、賴奕佐、洪淑珍、劉原光。2004。夢幻湖水生生態系及水韭棲地復育監測計畫。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

張永達、楊棋明、黃盟元。2006。陽明山國家公園夢幻湖陸生植物對臺灣水韭生長的影響。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

陳寧庸、張文亮。2010。以生態棲位寬度評估臺灣水韭在陽明山夢幻湖濕地適合生長之水深。農業工程學報 56(3):32-42。

陳德鴻、李偉文、張文亮、邱錦和、賴榮孝、陳啟融、陳江河、林軍廷、莊育偉、王瑞君、李慈雯、游東炎、曾慧雯、曾家瑜、張仲康、陳惠芬、鐘智明、黃翎翔、林琦珊、蔡孟樵、林美佑。2007。夢幻湖長期生態監測與臺灣水韭復育研究計畫。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

陳德鴻、陳啟融、朱仁輝、呂鎮沅、呂東杰、李慈雯、李宗德、林雅鈴、邱柏富、周雅玲、柯品薰、洪政耀、施駿鵬、游雅婷、游東炎、黃詩涵、楊建山、張嘉雯、張總欽、陳偉良、楊美貞、賴姝伶、賴怡穎、蔡永哲、蔡佳玲、劉祐伶。2010。夢幻湖臺灣水韭原棲地保育監測及維護工作。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

游雅婷。2013。環境因子和人為干擾對夢幻湖濕地臺灣水韭的影響。國立臺灣大學農藝學研究所博士論文。

黃國文。2016。105 年夢幻湖生態保護區地形量測計畫，內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。

黃增泉、江蔡淑華、陳尊賢、黃淑芳、楊國禎、陳香君。1988。夢幻湖植物生態系之調查研究。陽明山國家公園管理處委託研究計畫。

黃曜謀。2018。臺灣水韭適生水位研究。陽明山國家公園管理處委託研究報告。

黃曜謀、邱文良、張藝翰。2021。夢幻湖之臺

- 灣水韭休眠球莖分布及活力及活力。國家公園學報 31(1):1-8。
- Carmignani, J. R., A. H. Roy, P. D. Hazelton, and H. Giard. 2019. Annual winter water level drawdowns limit shallow-water mussel densities in small lakes. *Freshwater Biology* 64:1519-1533.
- DeVol, C. E. 1972. *Isoetes found on Taiwan*. *Taiwania* 17:1-7.
- Huang, Y. M., Y. Q. Yap, and C. W. Li. 2018. A semiaquatic but desiccation-tolerant plant, *Isoetes taiwanensis* DeVol (Isoetaceae; Lycophyta). *The International Journal of Plant Reproductive Biology* 10:10-13.
- Lei, Y., T. Yao, K. Yang, B. W. Bird, L. Tian, X. Zhang, W. Wang, Y. Xiang, Y. Dai, Lazhu, J. Zhou, and L. Wang. 2018. An integrated investigation of lake storage and water level changes in the Paiku Co basin, central Himalayas. *Journal of Hydrology* 562:599-608.