

知本濕地火災生態植被研究

呂佩倫*, 梁珣碩

摘要

知本溼地為台東縣射馬干溪與知本溪沖積形成的大面積海岸草地區域，與其他海岸溼地不同之處，在於本處為射馬干溪沒口形成的淡鹹水草澤區，同時擁有乾旱陸域植被外觀及零星的湧泉溼地，位於花東縱谷之末，造就了鳥類生物多樣性的豐富環境，為東部國際級重要野鳥棲息環境(IBA)。以前知本濕地從未有研究分析火災和未受火災地區植物的變化，因此本研究調查了2017年至2019年的火災植被演替情況(Succession)，以了解2017年三月大火後到2019年四月火災中間火災干擾因子對於物種豐富度，植物密度和木本、草本植物在被燒毀和未燒毀地點之間的各项比較。結果顯示知本濕地優勢物種均以萌蘗更新為主，同時也能以種子更新，在火災後快速更新的物種當中，除茵陳蒿之外均為外來物種，推測頻繁的火災是知本濕地以外來種為主的成因，外來種植物比本地植物火災後具有更好的競爭能力來佔領開放的冠層土地。本研究建議除了需要繼續加強防止外來植物入侵以及通過人為方式移除外來入侵物種來恢復知本濕地地區的原生植被，尤其火災後的自然演替方式並無法恢復原生植物物種，還需要藉由人工種植本土種植物方式來達成復育知本濕地原生植被以維持良好濕地生態系統。

關鍵字：知本濕地、植被生態、火災干擾因子、植物優勢度

呂佩倫(通訊作者)，國立臺東大學生命科學系副教授。Email: peiluen@nttu.edu.tw

梁珣碩，江蘇省中國科學院植物研究所南京中山植物園標本館，助理研究員。E-mail: jayron@mail2000.com.tw

投稿日期：2020年11月18日；修改日期：2020年12月1日；通過日期：2020年12月5日。

The study of Fire Ecology on the Vegetation of Zhiben Wetland

Pei-Luen Lu* , Yi-shuo Liang

Abstract

The Zhiben Wetland is a large coastal grassland area formed by the alluvial accumulation of Shemagan River and Zhiben River in Taitung County. It is different from other coastal wetlands in that it is a brackish grassy area formed by the Shemagan River, and has a dry land vegetation appearance and sporadic springs in the wetland, located at the end of East Rift Valley, therefore creating a rich environment for birds' biodiversity. It is a well-known International level important bird area (IBA) in the east of Taiwan. However, no previous research and investigations for plant ecology on this wetland. This study investigates vegetation succession from 2017 to April 2019, following a fire on March 2017 which caused significant differences in species richness, plant density, and the frequency of woody, herb, and grass between burned and unburned sites. Our results show the growth rate of alien seedlings is faster than native seed regeneration. The dominant species of Zhiben wetland are mainly based on the resprout ability, and can also be regeneration with seeds. Among the species that are rapidly renewed after the fire, all of them are alien species except for the native species *Artemisia capillaris*. It is speculated that frequent fires are the main cause of the dominance by alien species. Alien plants have better competitive ability to occupy open canopy lands than native plants after fire. This research suggests that in addition to continuing to strengthen the prevention of alien plant invasions and the artificial removal of alien invasive species to restore the native vegetation in the Zhiben Wetland, especially the way of natural succession after the fire cannot restore native plant species. It also needs to use artificial planting of native plants to regenerate the native vegetation of Zhiben Wetland after fires to maintain a good wetland ecosystem.

Keyword : Zhiben Wetland, Vegetation ecology, Fire disturbance, Plant dominance

Pei-Luen Lu (Corresponding Author), Associate Professor, Department of Life Science, National Taitung University. E-mail: peiluen@nttu.edu.tw

Yi-shuo Liang, Assistant Researcher, Herbarium, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences E-mail: jayron@mail2000.com.tw

壹、前言

濕地對於人類生存至關重要。它們的總面積為一千兩百一十萬平方公里，佔全球總面積的40.6%生態系統服務價值(Ecosystem Service)，然而全球濕地卻也極受人為活動的威脅而損害其在生態系統服務所貢獻的高度價值(Costanza et al., 2014; Costanza et al., 2017; Ramsar Convention on Wetlands, 2018)。知本濕地屬於海岸自然溼地，位於花東縱谷與海岸山脈南端，在地質上，為射馬干溪與知本溪沖積形成的大面積海岸草地，範圍內包含了淡水草澤、河口植被、海岸林、沙灘、高草叢、灌叢等環境，是台灣東部少有且未受開發的海岸濕地環境，該處動物的種類豐富，尤以鳥類為最，同時為國際鳥盟在台灣劃設的重要野鳥類棲息地(編號:IBA-TW040)(BirdLife International 2020)。海岸濕地並不是泛指所有類型的海岸邊的潮濕有水的地區，而是特別定位在河海交匯處，會受到潮汐影響的局部封閉的區域，它有一出口通向海，漲潮時海水自海流入，而淡水則是來自河流注入，或自陸地排入，或自地下滲入，而知本溼地當冬天東北季風強時，海沙堆積出海口，導致知本溪與射馬溪匯集形成在出海口的沒口溪，無法排除的溪水，加上多處天然湧泉，因而形成面積廣大的草澤湖泊區(台東縣 102 年度國家重要濕地保育行動計畫 2014)。台東縣的濕地與其他西部縣市相較，數量少很多，因此更為珍貴，尚未列入國家重要濕地的知本濕地，具有瀕危植物台東火刺木原生地與族群，以及保育類鳥類環頸雉棲息地，是水鳥在東部過境棲息重要的場所，中華鳥會記錄有160種，但目前面臨嚴重的人為開發壓力，人文地理上屬於卑南族卡大地布部落的傳統領域(羅文龍 2004;台東縣 102 年度國家重要濕地保育行動計畫 2014; 林金德 2016; 彭杏珠2018; 陳文姿2019)。

火災對全球生態系統具有重大影響，大火影響森林植被組成，物種特徵和形成，降低植株的生物量(Robertson et al 2015; Bond et al. 2005; Lu and DeLay 2016)。野火是森林生態系主要干擾因子之一，因為火燒導致林冠疏開，表土溫度顯著提高，增加了土壤有機養分與日照，促進了新生植物循環，植物為了適應火燒，演化出特殊的機制，同時火災重置了群落生態動態平衡，成為生物多樣性的主因之一(Wesolowski et al 2014; Koltz et al., 2018; Pausas and Keeley 2019; He et al. 2019)。前人研究也指出野火是一種強大的生態和演化力量，可調節生物特徵、種群數量、物種之間相互作用、生物群落組成、碳和養分循環以及生態系統功能，帶動不耐火的物種淘汰，並將喜歡火的物種的帶入此變動生態系，它也帶來了迅速增長的新生環

境挑戰(McLauchlan et al., 2020)。自上世紀延續至今，不可否認的，人為活動對於森林火災不管在頻率、程度和強度方面都具有高度的相關性扮演強烈關聯性，火災生態學常常傾向於研究這種人與自然系統之間關係(Coughlan and Petty 2012)。而知本溼地多年來因私人放牧牛羊，畜牧主人為促進植物長新芽，而放火燒地，因此對於該處的植被演替壓力除了草食性動物因子，火災因子更是造成很大生態衝擊。

屬於自然濕地的知本溼地具有多樣化的棲地環境，帶給鳥類們足夠的自然棲息空間，為台灣海岸濕地少見，過去約20年因各種問題而停止人為開發壓力，使的該處動物的種類豐富，尤以鳥類更為國際知名的鳥類棲地，也是國際鳥盟所登錄的重要野鳥棲息環境之一(台東縣 100 年度國家重要濕地保育行動計畫2009; BirdLife International 2020)。而在地質上，該處為知本溪形成的沖積扇，且緊鄰山系，因此範圍內多處天然湧泉(台東縣 102 年度國家重要濕地保育行動計畫 2014;林金德 2016)。知本濕地為東部重要的鳥類棲地，長期以來為賞鳥人士與地方團體所關注，而該處近幾年亦陷入光電開發案而面臨濕地消失的處境，與過去民間推動此濕地為濕地法劃設的國家重要濕地，或依據海岸管理法所推動的海岸保護區產生明顯的矛盾(林莉庭 2020;陳文姿2019, 2020)。雖然此處為國際鳥盟正式的野鳥棲息地，然而迄今尚未有該處系統性長期的植群生態研究及調查，因此對於此區域的基礎調查有其必要性，且私人的放牧行為廢棄物傾倒與季節性放火燒地的狀況，均造成該處明顯的人為擾動。

沿海草澤濕地植群生態屬於不安定且仍在自然演替的範圍，而沿海濕地也常受到人為的干擾，加劇了環境的變動，然而沿海草澤溼地對於減輕海岸帶天然災害和降低氣候變遷對地球的影響上具有重要的價值。(羅文龍，2004;葉秋好，2005; Shepard et al. 2011)。透過本研究，期探討火災對於同屬於變動性高的草澤溼地_知本濕地植被組成的影響，從物種組成、原生物種的比例、植被更新速度等面向，了解火災對於植被復原的影響，同時討論是否因此造成大量外來優勢物種佔據空間。在這項研究中，通過比較知本濕地燒毀和未燒毀的區域兩者之間植物演替程序、景觀尺度監測與植物相的差異來研究火災的影響。此研究測試了三個假設，第一個假設是草本植物在火災發生的燒毀區域占主導地位而且以萌蘖方式繁殖的草本植物會比經由種子繁殖的草本物種更快成為優勢物種，因為草本植物本是強勢的先驅物種，經此研究來測試不同繁殖方式草本植物的競爭能力。第二個假設是原生植物在燒毀的場地成為弱勢物種，因為外來植物具有更好的競爭能力來佔據大火後開放空間，

即使原生植物和外來植物的繁殖期相似，但燒毀的將逐漸變成一片外來種植物相。第三個假設是未發生火災的地塊物種豐富度和植物密度比發生火災的地塊更高，因為知本濕地頻繁的火災發生率，導致植物物種最多恢復時間只有一年，反覆的火災造成沒有足夠時間讓一些需要更長時間生長發育的植物物種重新回到這塊土地上，降低火災燒毀地區的植物多樣性。本研究目的在研究知本濕地長期火災干擾植被現象，並為知本濕地可能因開發而消失前建立第一手植被資料，以兩年整的時間觀察與紀錄植被消長，並了解火災對於植被的影響，以此結果作為未來維護管理的依據，提供未來復育計畫的科學建議。

貳、研究方法

一、研究地點

知本溼地位在台東平原最南端，範圍從知本溪口的北側，東沿射馬干溪（知本大排）至太平洋海岸，西至省道台 11 線公路至知本溪河岸堤防，南以沿知本溪河堤至知本溪出海口為界，北至射馬干溪與省道台 11 線公路交會點，面積約 149 公頃，如圖 1 與圖 2，除了防風保安林以外多屬於台東縣政府管轄。昔日由北往南，曾是利嘉溪、射馬干溪和知本溪等三個溪流劇烈擺盪的河口沖積扇，今日所見，已是 1980 年代起，兩岸築起堤防、河道限縮南移後的河口新生地（台東縣 102 年度國家重要濕地保育行動計畫 2014）。但來自射馬干圳和知本圳的農田灌排水，依然溢流到這段舊日的出海口，在這片沼澤地形成湖面漸漸擴大的水澤，造就成為東海岸最大的草澤濕地，整個河口涵蓋水澤、灌木、草原、樹林、沙灘和河口等鑲嵌式的地景結構（台東縣 102 年度國家重要濕地保育行動計畫 2014）。水澤區地理位置座標為 22°41'47.8"N 121°04'19.2"E，如圖 3。平均最低溫為一月，約 16°C，最高溫為七月，約 30°C，年平均降雨量約為 2,100 公釐，主要集中在五月到十月間（中華民國交通部中央氣象局資料 2020）。本實驗範圍知本濕地屬於海岸自然溼地，除了廣闊的草澤區之外，濕地旁還有相當大面積的陸域環境，導致知本溼地的生物多樣性非常地可觀，但是長期有人為火燒的干擾，導致知本溼地內包括草澤區、防風林、沿岸環境，以及旁邊大面積的陸域生態，大型喬木並不常見，大部分都是灌木草叢居多，而每當人為火燒完，大部分的植物都會被火燒影響而不見，如圖 4。



Imagery ©2019 DigitalGlobe, TerraMetrics, Map data ©2019 Google 200 m

圖 1. 知本濕地範圍圖，黃色框裡面為濕地範圍。



圖 2. 知本溼地草澤區域環境 2018 Jan. 24



圖 3. 知本溼地射馬干溪出海口形成的沒口湖 2018 Jan. 24



圖 4. 大火過後的知本溼地 2018. May.29

二、蒐集資料及探勘

為了增加野外調查效率以及對野外地形、植物社會、前人研究以及過去歷史與環境資料，首先要先蒐集衛星拍攝的空照地圖，以及查閱行政院農業委員會林務局出版的台灣現生天然植群圖集 (邱祈榮等人 2009)，以了解地形、地貌、交通等資料，同時查閱由 kateatritulr 卡大地布部落文史資料-心知地名蒐集過去地質、水文、人文、氣候之文獻資料，有助於了解對於研究區域的環境概況及濕地之特性(林金德 2016)。取得交通資訊以及環境等資料後，至知本溼地進行實地的探勘，沿途將探勘結果標註在衛星地圖上，期望對研究地區的地形、環境、植群、植被有初步的資料掌握，並根據實地探勘的結果，決定樣區以及取樣調查的方法。

三、取樣方法及樣區調查

海岸地區本身人類活動就較為頻繁，濕地也常常作為其他用途，導致濕地範圍逐漸減少，僅存在於被保護之區域或急須被保護之地區，尤其在廢棄農田、放牧地、魚塭等，受干擾的情況也極為劇烈，導致植群常呈現片段化的現象(fragmentation)(Zhi and Ji 2012; Xu et al., 2020)。而知本溼地本身長期有火燒的現象，所以導致片段化區塊呈現甚為明顯，我們取樣的時間也非常急迫。

樣區範圍界定方法，根據衛星航照圖、GPS 以及實際踏勘，來判斷濕地的實際火災與無火災位置，範圍界定內的皆為研究範圍，根據上述原則，在有草澤以及植被的地區進行調查，且讓樣區分布於研究範圍內，進而增加整個研究範圍統計資料的精準度。

本研究方法採用多樣區法(multiple plot method)，在研究區域範圍內設置 10X10m 的方形樣區，火災樣區 33 個與無火災樣區 25 個，總計 58 個大樣區，裡面再細化成 2x2 m 小樣區，總計 1450 小樣區(黃增泉等人 1999)。每個樣區內紀錄胸高

直徑(Diameter at breast height, DBH)，大於 1cm 木本植物記錄其 DBH、植物名稱、樣區內覆蓋度，小於 1 的則視為地被植物記錄其植物名稱，紀錄每個小樣區內的覆蓋度，植物學名依據台灣植物誌第二版(Huang et al., 1993-2003)和 TaiBIF(2020)為依據，調查時紀錄之環境因子包括日期、經緯度座標，用於分析植群多樣性及其與環境之關係(黃增泉等人 1999)。

四、資料統計及分析

1. 野外記錄之原始資料為紙本記錄

後攜回實驗室以 Excel 等軟體電腦建檔，分成火災干擾與無火災干擾兩大主要樣區，最後所有的數據將以 T-Test 進行兩者差異性比較分析。

2. 組成及優勢度分析

野外記錄之原始資料以 Microsoft Office Excel 等軟體建檔後，計算及分析各植種之重要值指數(importance value index, IVI 指數)等分析(劉崇瑞、蘇鴻傑 1983)。重要值顯示該種植物於當地植群中所佔有的角色，其值越大則重要程度愈高，通常以優勢度最大的種類或特徵種類，來決定該地區之植群類型(劉崇瑞、蘇鴻傑 1983; 黃增泉等人 1999)。

(1) 木本植物之重要值

$$IVI = (\text{相對密度} + \text{相對優勢度} + \text{相對頻度}) \times 100/3$$

$$\text{相對密度} = (\text{某一種的密度} / \text{樣區總密度}) \times 100$$

$$\text{相對優勢度(相對底面積)} = (\text{某一種的底面積} / \text{樣區總底面積}) \times 100$$

底面積由 dbh 換算

$$\text{相對頻度} = (\text{某一種類出現之樣區數} / \text{總樣區數}) \times 100$$

(2) 草本植物之重要值

$$IVI = (\text{相對優勢度} + \text{相對頻度}) \times 100/2$$

$$\text{相對優勢度(相對覆蓋度)} = (\text{某一種的覆蓋度} / \text{所有種總覆蓋度}) \times 100$$

$$\text{相對頻度} = (\text{某一種類出現之樣區數} / \text{總樣區數}) \times 100$$

(3) 物種豐富度(species richness)

木本植物以株數計算，草本植物則以覆蓋度計算。另有估計出現頻度，即某植物出現之樣區數除以總樣區數。

參、結果與討論

一、知本濕地植被架構

調查樣區範圍內維管束植物的種類，統計共有 34 科 100 屬 154 種維管束植物，其中草本物種為 133 種，木本物種 21 種，植物型態以草本植物佔大部分為 86.4% (表一)。包含 92 種原生植物，62 種外來種，原生物種比例為 0.59 (表一)。樣區內具有一台灣特有種植物_台東火刺木(*Pyracantha koidzumii*)族群，知本濕地為其原生地 (Huang et al., 1993-2003; TaiBIF 2020)。

本研究結果顯示，知本濕地植被火災之前以原生物種居多，無火災區以原生植物為主要物種，但火災過後以外來物種為優勢(圖 5)，草本優勢物種以大黍(*Megathyrsus maximus*)、茵陳蒿(*Artemisia capillaris*)、大花咸豐草(*Bidens pilosa*)、黃茅(*Heteropogon contortus*)、毛西番蓮(*Passiflora foetida*)為主，僅有茵陳蒿(*Artemisia capillaris*)為原生物種(圖 6)；木本優勢物種為銀合歡(*Leucaena leucocephala*) (圖 7)。比火災與非火災樣區比較，木本植物的優勢度受火災影響小，而草本物種組成受火災影響較為明顯。火災後植被更新有萌蘗更新與種子更新兩種，萌蘗更新速度要快於種子更新；而知本濕地優勢物種均以萌蘗更新為主，同時也能以種子更新。在火災後快速更新的物種當中，除茵陳蒿之外均為外來物種，推測頻繁的火災是知本濕地以外來種為主的成因。本研究中發現台東火刺木(*Pyracantha koidzumii*)、琉球野薔薇(*Rosa bracteata*)兩種於國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄列為 VU (易危物種，Vulnerable) 等級的物種，應加予保育，而台灣零星分布且數量不多的灰葉蕓(*Caryopteris incana*)也是知本濕地具保護價值的種類 (IUCN 2020)。

濕地是地球上生態最茂盛的地區之一，匯聚各種有機物質，中華民國濕地保育法第一條即明訂：為確保濕地天然滯洪等功能，維護生物多樣性，促進濕地生態保育及明智利用，特制定本法(註¹)。根據國際組織拉姆薩公約(Ramsar Convention)對濕地定義如下：無論天然或人為、永久或暫存、靜止或流動、淡水或鹹水、或兩者混合者，由沼澤、泥沼、泥煤地或水域所構成之區域，包括水深在低潮時不超過六公尺之沿海區域者(Ramsar Convention Secretariat 2013)。拉姆薩公約的宗旨是：通過國家行動和國際合作來保護與合理利用濕地。全世界的濕地面積精確資料雖不得而知，但根據聯合國組織 2016 年統計資料中指出，約五億七千萬公頃，佔陸地總面積約

註¹中華民國 102 年 7 月 3 日總統令茲制定濕地保育法，公布之

6% (Ramsar Convention Secretariat 2016)，或佔 5–8% 地球陸地表面積 (Mitsch and Gosselink 2015)。經本研究結果指出，知本濕地具有良好的植被環境，構成生態系統最基礎的基礎能源供應者，吸引許多珍稀候鳥與台灣本土鳥類與保育類鳥種過境覓食與生存的棲地。

二、知本濕地優勢物種火災後更新方式

調查期間發生火災後，均會前往樣區觀察物種更新的方式，設定樣區觀察紀錄。火燒後更新的方式可以分為萌蘗更新與種子更新兩種；萌蘗更新是指物種於火災後，以地下部或殘存的地上部萌芽更新。據本計畫觀察結果，萌蘗更新速度較種子更新迅速，以萌蘗更新的物種有大黍、茵陳蒿、馬纓丹、銀合歡等物種(圖 8)。以種子更新的則有蓖麻、銀合歡、敏感合萌等物種(圖 6)。整體而言火災後快速更新的物種以外來物種為主，僅有茵陳蒿為原生種。

比較火災區與無火災區一年的植被演替資料顯示，無火災樣區物種豐富度高於火災發生區(圖 10)，植物密度無火災區高於火災區(圖 11)，原生植物頻率無火災區高於火災發生地區(圖 12)。

火災區長期下來草本物種的優勢物種以大黍、大花咸豐草、毛西番蓮、蓖麻、芻薈草、馬鞍藤、敏感合萌、臭根子草、茵陳蒿、黃茅等物種(圖 6)。大黍於火災區一個月內快速晉升為最優勢物種，而其餘優勢物種則隨不同季節而有消長(圖 8)。優勢木本物種以外來種為主，以銀合歡最為優勢，馬纓丹其次。無火災區木本植物種類以銀合歡、木麻黃與苦楝三種最為優勢。木麻黃均為海岸造林的個體，數量少但胸徑大。

火災後最先更新的物種以外來種為主，其中又以萌蘗更新的大黍、銀合歡最為迅速，其後則有種子更新的銀合歡、蓖麻等種類。火災後更新的原生植物當中，僅有茵陳蒿的萌蘗更新速度與其他外來物種相同，其餘如甜根子草、五節芒、苦楝等原生植物，其萌蘗更新速度均較外來物種更慢。知本濕地植被外觀最主要的高草叢類型而言，組成物種以大黍、茵陳蒿、銀合歡、黃茅、敏感合萌等種類為主，除茵陳蒿之外均為外來種。因此反覆的火燒造就了知本濕地的外來物種為主要植被的成因，未來將持續進行火災後物種更新的觀察與紀錄，以釐清火災長期更新的物種消長。

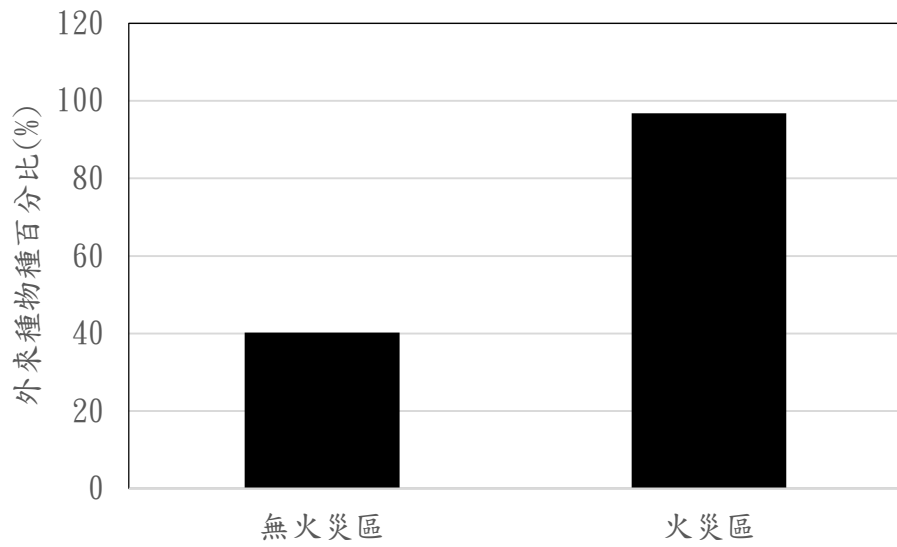


圖 5. 無火災樣區與火災樣區外來物種占全部物種比例。

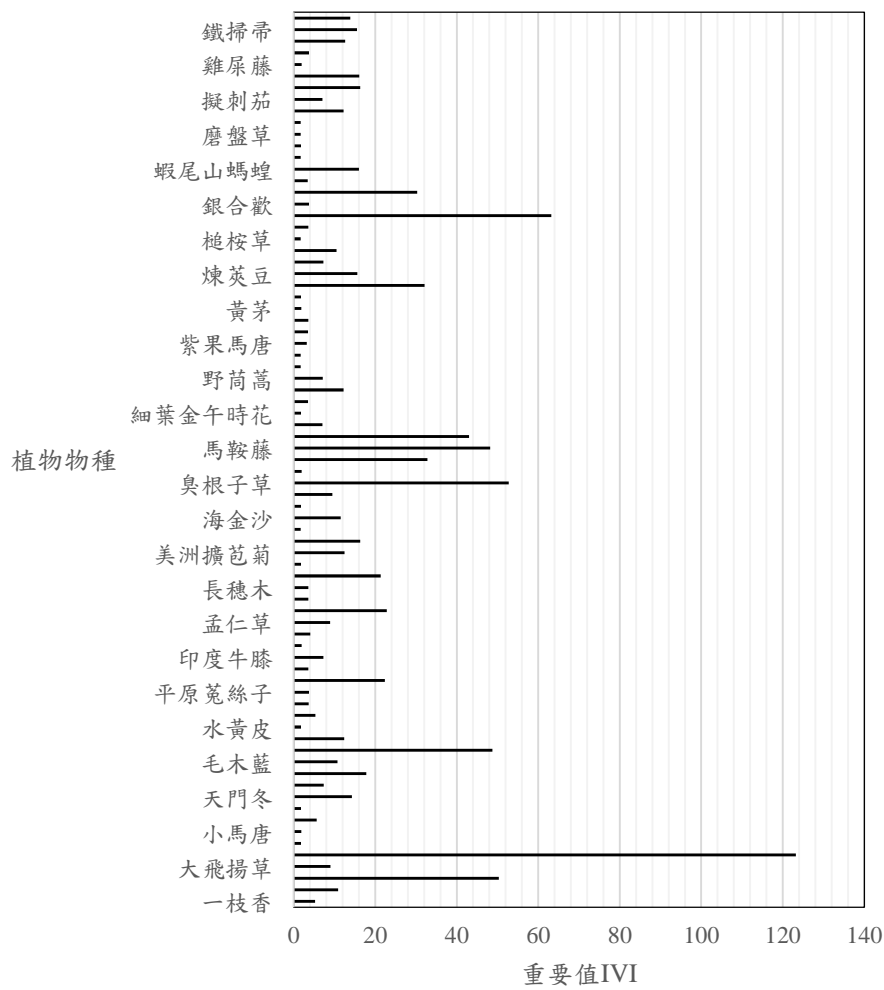


圖 6. 火災後一年內火災區草本植物物種重要值 IVI

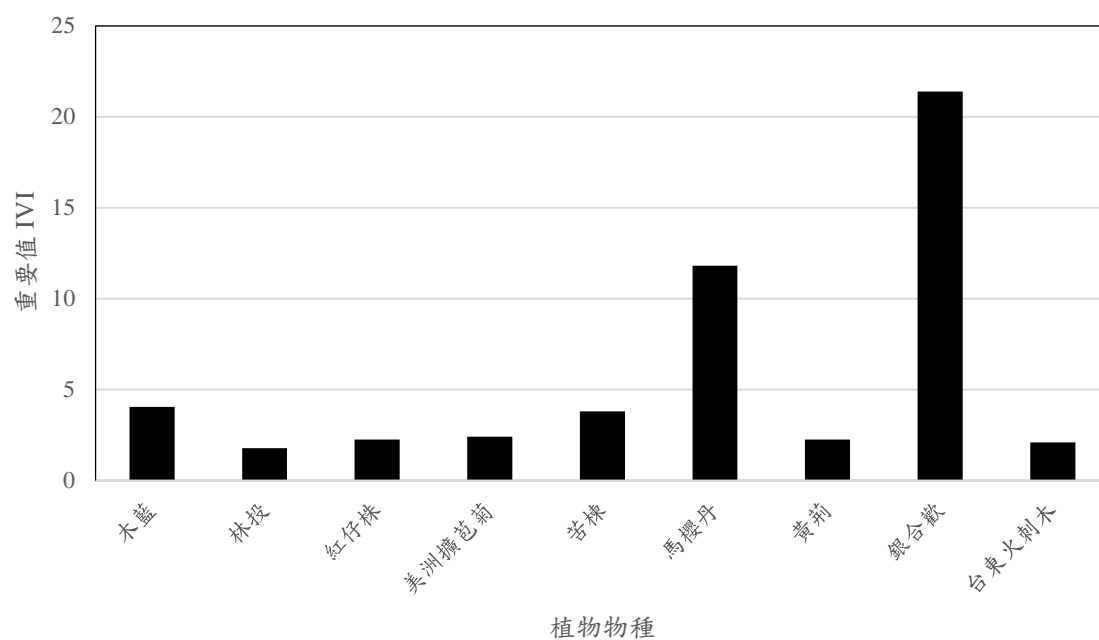


圖 7. 火災區一年內木本植物物種重要值 IVI

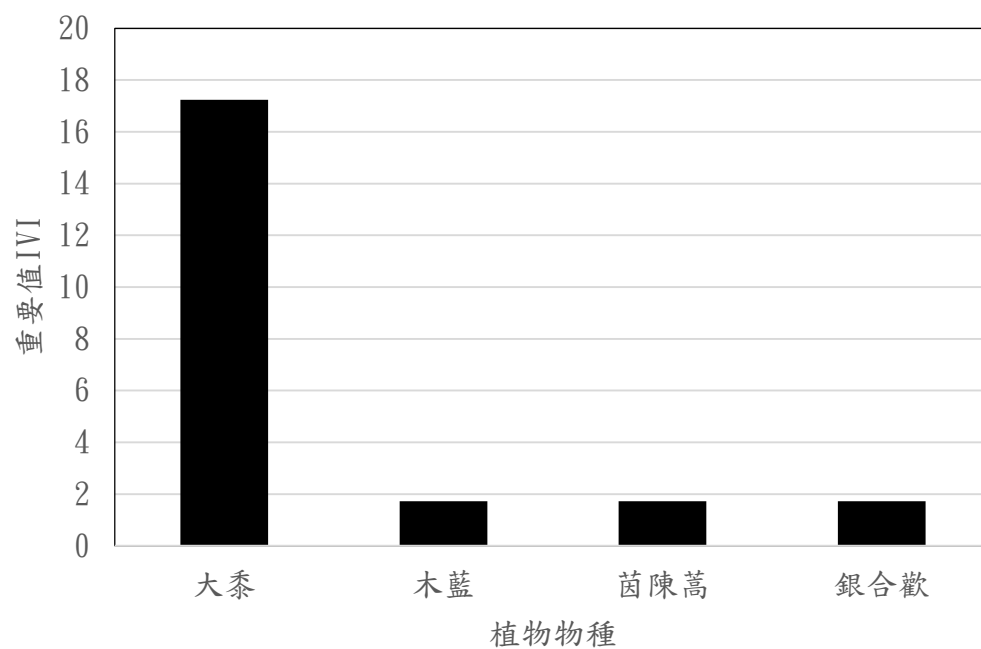


圖 8. 火災後一個月內出現的植物物種 IVI 值。

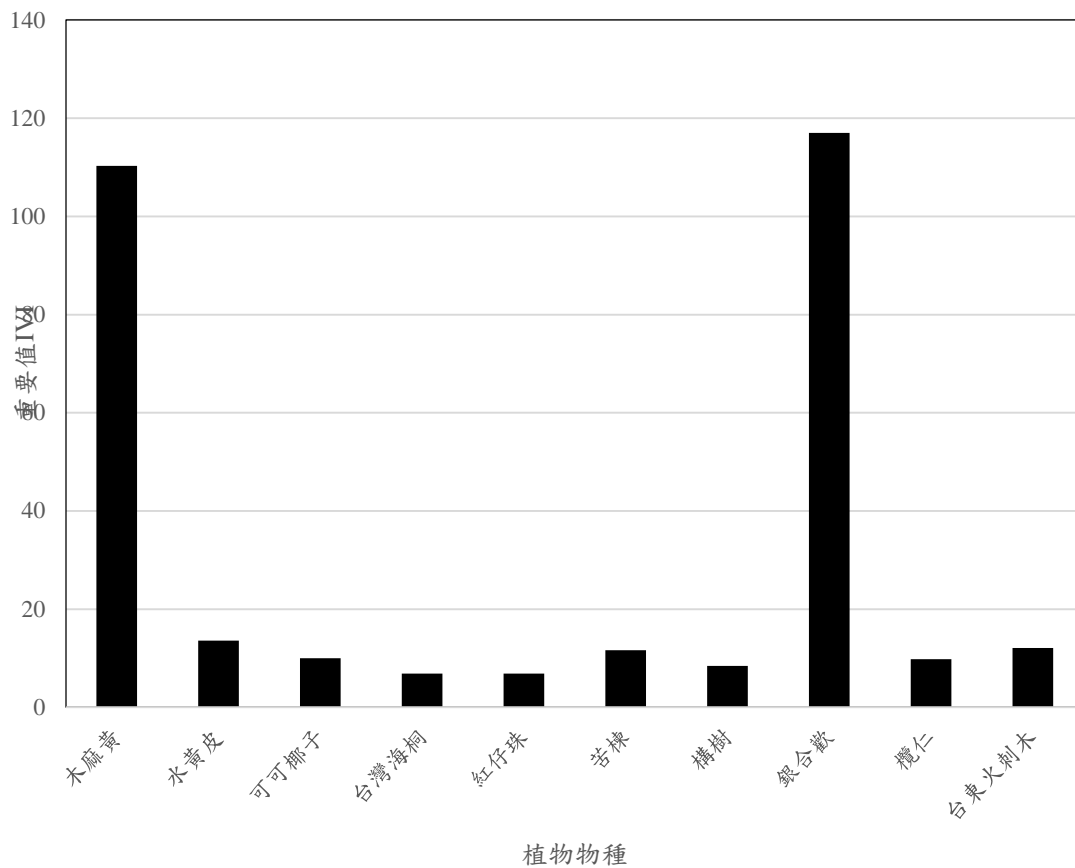


圖 9. 無火災區木本植物重要值 IVI

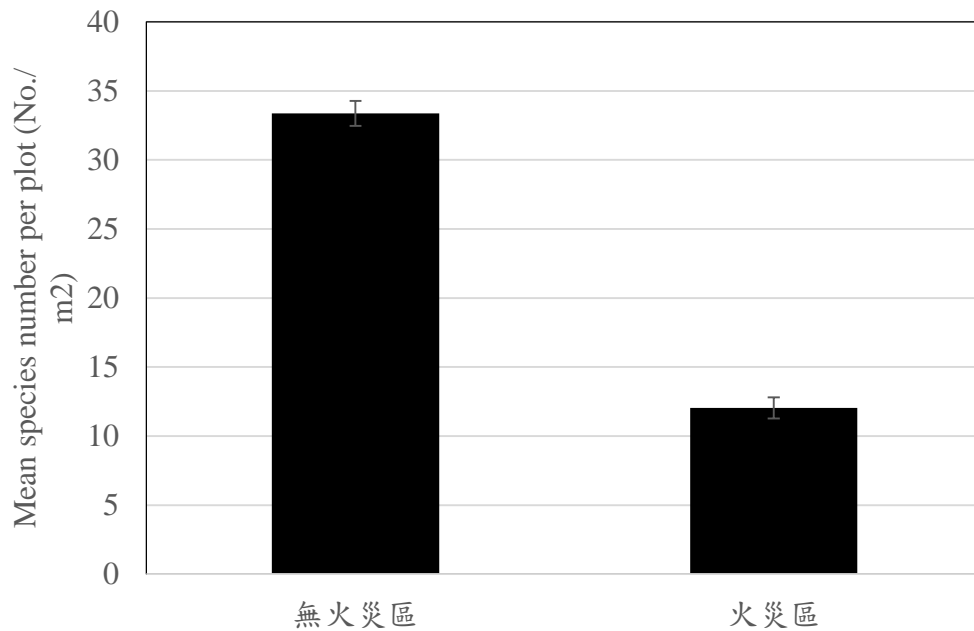


圖 10. 火災與無火災樣區物種豐富度。誤差線 \pm SD (n=1450)， T-value =14.86， P-value < 0.001。

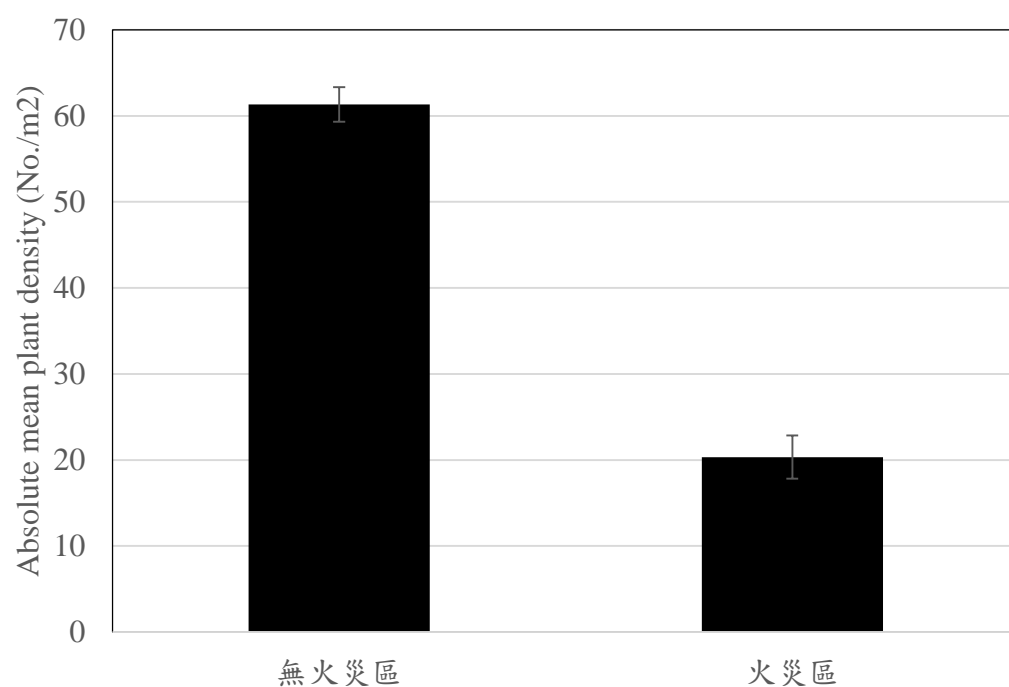


圖 11. 火災與無火災樣區植物密度。誤差線± SD (n=58)， T-value =35.20， P-value < 0.001。

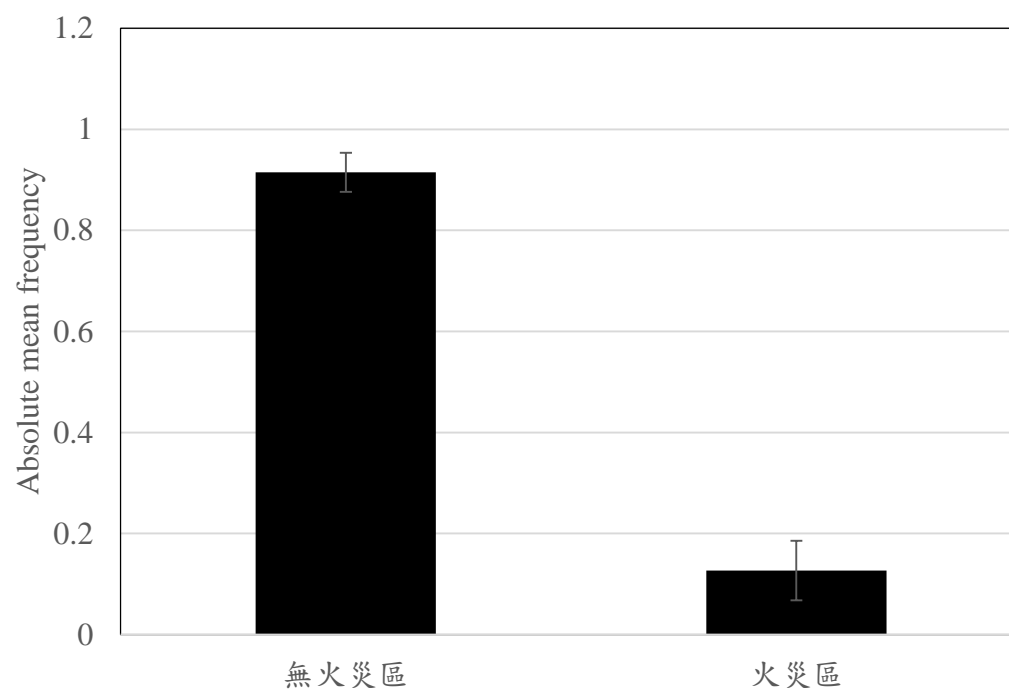


圖 12. 火災與無火災樣區原生植物物種頻度。誤差線± SD (n=58)， T-value =27.37， P-value < 0.001。

三、知本濕地植被變化

知本濕地木本植被優勢度而言，火災區與無火災區銀合歡均為最優勢物種，馬纓丹為火災區第二優勢物種(圖 7)，木麻黃為無火災區的第二優勢物種(圖 9)。銀合歡於一年四季中均為最優勢物種，其快速的萌蘗更新，與大量的種子更新是最重要的原因。馬纓丹在火災初期中並未顯著優勢於其他物種，而後期開始透過萌蘗更新的方式開始快速擴張。草本植物為知本濕地最主要的植被成分，整體而言，草本植被受季節雨量變化影響較大，大黍、大花咸豐草、茵陳蒿、馬鞍藤等優勢物種，受季節影響的因素不大，其餘物種則能反映不同的季節成分；而毛西番蓮、臭根子草、蓖麻、黃茅等物種則有季節的差異。秋季調查時可見大量的銀合歡小苗，顯示銀合歡在夏季果熟之後產生大量的種子並且萌發。而其餘季節則未見草本層有大量的銀合歡出現。

知本濕地在近二十多年的植被外觀並未由高草叢演替為木本植物為主的森林，頻繁火災可能是一個重要的營力，維繫此一區域的草原環境。據訪談資料得知，知本濕地過去數十年期間反覆的發生火災，可能為當地放牧農家為維持草原環境，並刺激草本植物萌蘗新芽供牛羊覓食。再比較知本濕地與東部其他河口高草叢環境會發現，知本濕地以外來物種大黍與原生的茵陳蒿為主，黃茅、臭根子草等物種亦有大面積的分布，而其他則為甜根子草與五節芒為主(羅文龍 2004)。相較之下，台灣低海拔荒地，二十年時間足以演替為銀合歡為主的純林，或野桐、血桐、構樹為主的雜木林(林信輝等人 2011; 廖俊奎等人 2014)。本研究認為定期的火燒是造就知本濕地這種植被外觀的主因，據觀察，火災後大約半年即可恢復火災之前原先的覆蓋度，顯示火燒對於知本濕地的高草叢環境的維持是有幫助的。

四、知本濕地火災頻率與面積概估

本研究自 2017 年即開始記錄知本濕地火災的次數與面積，並透過訪談資料取得更早之前的火災資料，當地人指出大約每年冬季會發生大面積火災(圖 13)。2017-2019 年底為止，共計發生 8 起火災，分別是 2017 年 3 月，損害面積約 25 公頃；2017 年 12 月，損害面積約 166 公頃；2018 年 3 月，損害面積 7 公頃；2018 年 5 月，損害面積約 9.2 公頃；2018 年 12 月，損害面積 2.1 公頃；2019 年 1 月，損害面積 1.2 公頃；2019 年 3 月，損害面積約 24.5 公頃；2019 年 4 月，損害面積約 5 公頃。火災成因據訪談資料所得，皆為人為，原本應為當地農家放牧牛隻與羊隻所需，促進草本植物生長而放火燒地，但其餘非此原因的火災情況也發生幾次。研究火燒

對瑞芳地區植群之影響，將近幾年的火災次數做統計，並分析出哪一些季節為火燒的高危險期，當中提到火燒過後樹木致死率高達 27.6%，並提出乾季實為火燒頻繁時間，應在此期間加強防範以保護植物的多樣性(李海瑞，1996)。



圖 13. 知本溼地大火現場 2018 May 27

五、知本濕地需要保護的物種

知本濕地內大面積存在的珍貴稀有或具有保護價值的植物，共計有三種，有台東火刺木、琉球野薔薇以及灰葉蕚三種(臺灣植物紅皮書編輯委員會 2017)。前兩種為臺灣植物紅皮書所記載的種類，而後者為台灣野外已少見的物種，但在我們調查期間珍稀植物皆面臨人為火災的威脅。

台東火刺木又名台灣火刺木，據臺灣植物紅皮書評估為 VU (易危，Vulnerable) 等級，知本濕地範圍內仍有若干的台東火刺木個體分布，本種為知本濕地最需要保護的稀有物種(臺灣植物紅皮書編輯委員會 2017; TaiBIF 2020)。然而本計畫期間，知本濕地光電廠開發案新聞曝光後，卻發現 90% 台東火刺木被人為惡意砍伐，應為有心人士避免紅皮書物種影響開發計畫所為。

琉球野薔薇於臺灣植物紅皮書評估為 VU (易危，Vulnerable) 等級，而台灣東部的紀錄甚少，而知本濕地更是台東地區唯一已知的分布地點。琉球野薔薇亦為知本濕地急需保護的物種(臺灣植物紅皮書編輯委員會 2017; TaiBIF 2020)。

灰葉蕚於知本濕地範圍內仍有穩定的族群，以台灣的分布而言，都是零星分布

於易受人為破壞的荒地，族群數量並不穩定。知本濕地仍能保有一定的族群量，對於在台灣少見物種的保護仍有一定的貢獻(TaiBIF 2020)。灰葉蕩每年能產出足夠數量的種子，據野外觀察，其種子更新與萌蘖更新良好，只要維持知本濕地環境不開發，就能維繫其族群數量。

六、知本濕地保護策略建議

知本濕地為台灣東部唯一一大面積且少人為干擾的高草叢環境，未來保育策略應以維持現地環境，保持高草叢環境的存在為主，同時避免開發與利用(圖 14)。知本濕地的保護價值，在於重要的鳥類棲息環境，包含了三十餘種保育類鳥類，其中更有環頸雉、黃鸝、台灣畫眉、黑翅鳶、燕鴿、烏頭翁等保育類物種在當地繁殖，102 年共記錄到鳥類 37 科 72 種 6,390 隻次(台東縣 102 年度國家重要濕地保育行動計畫 2014)。推測知本濕地以外來物種為主的植被並不影響鳥類的棲息，而更重要的是高草叢環境的存在與否，以及較少的人為擾動。



圖 14. 知本溼地灌木高草環境 2017 June 5

以這兩年的調查結果而言，放牧行為對於知本濕地植被的影響不大，而人為的週期性火燒可能維持知本濕地的草原環境，但也促使了原生物種被外來物種所取代。在考量鳥類棲地的前提之下，不宜貿然進行外來物種的移除工作，而應當以原生物種(如甜根子草、五節芒、茵陳蒿等)逐步取代外來物種為主的高草叢。銀合歡為主的疏林則可逐步以苦楝、野桐、蟲屎等原生樹種取代。但如何在維繫高草叢環境與移除外來種之間權衡，則需要更長期的觀察與紀錄，才能擬訂更完整的策略；在了解知本濕地植被更長期生態自然消長之前，任何的開發都必須避免。

伍、結論

我們的研究結果支持我們的三個研究假設，假設一：草本植物在火災發生的燒毀區域占主導地位而且以萌蘖方式繁殖的草本植物會比經由種子繁殖的草本物種更快成為優勢物種，經此研究證明萌蘖方式競爭能力較優；假設二：原生植物在火災發生的場地成為弱勢物種，逐漸被外來種植物所取代，無火災區域的外來種比例較低；假設三是未發生火災的區域物種豐富度和植物密度比發生火災的地塊更高。因為知本濕地頻繁的火災發生率，導致植物物種最多恢復時間只有一年，反覆的火災造成沒有足夠時間讓一些需要更長時間生長發育的植物物種重新回到這塊土地上，降低火災燒毀地區的植物多樣性，同時也助長外來種在釋出新空間的取代速度。本研究在知本濕地可能因光電開發案而消失之前建立第一手植被資料，以兩年整的時間觀察與紀錄植被消長，並了解火災對於植被的影響，研究結果提供未來復育計畫的科學性參考與建議。

致謝

感謝國立台東大學彭仁君教授與其研究團隊對於知本濕地動物的調查與黃丞鴻、謝心蓓、陳瑋晴、邱瀚陞、曾子軒等一群學生們與呂縉宇山豬大哥協助此實驗。最後感謝台東野鳥學會、卡大地布部落與荒野保護協會台東分會與無數的志工們對於知本濕地的守護。

表一
知本溼地植物名錄

中文名	學名	生活型	來源
一枝香	<i>Vernonia cinerea</i>	草本	原生
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	喬木	原生
九重葛	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	藤本	外來種
三角葉西番蓮	<i>Passiflora suberosa</i> L.	藤本	外來種
土密樹	<i>Bridelia tomentosa</i>	喬木	原生
大安水蓑衣	<i>Hygrophila pogonocalyx</i>	草本	台灣特有
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i>	草本	外來種
大苞水竹葉	<i>Murdannia bracteata</i>	草本	原生
大飛揚草	<i>Chamaesyce hirta</i>	草本	外來種
大黍	<i>Panicum maximum</i>	草本	外來種
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	藤本	外來種
小馬唐	<i>Digitaria radicata</i>	草本	原生
小葉桑	<i>Morus australis</i>	喬木	原生
山珠豆	<i>Centrosema pubescens</i>	喬木	外來種
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	草本	原生
五蕊油柑	<i>Phyllanthus tenellus</i>	草本	外來種
升馬唐	<i>Digitaria ciliaris</i>	草本	原生
天門冬	<i>Asparagus cochinchinensis</i>	草本	原生

中文名	學名	生活型	來源
巴拉草	<i>Brachiaria mutica</i>	草本	外來種
木麻黃	<i>Casuarina equisetifolia</i>	喬木	外來種
木藍	<i>Indigofera spicata</i>	灌木	原生
毛木藍	<i>Indigofera hirsuta</i>	草本	原生
毛西番蓮	<i>Passiflora foetida</i>	藤本	外來種
毛細花乳豆	<i>Galactia tenuiflora</i>	草本	台灣特有
毛畫眉草	<i>Eragrostis ciliaris</i>	草本	外來種
水黃皮	<i>Millettia pinnata</i>	喬木	原生
牛筋草	<i>Eleusine indica</i>	草本	原生
牛膝	<i>Achyranthes bidentata</i>	草本	原生
冬葵子	<i>Abutilon indicum</i>	草本	原生
可可椰子	<i>Cocos nucifera</i>	喬木	外來種
台灣油桐	<i>Vernicia fordii</i>	喬木	外來種
台灣海桐	<i>Pittosporum pentandrum</i>	喬木	原生
台灣欒樹	<i>Koelreuteria henryi</i>	喬木	台灣特有
四生臂形草	<i>Brachiaria subquadripara</i>	草本	原生
平原菟絲子	<i>Cuscuta campestris</i>	藤本	外來種
白芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	草本	原生
白茅	<i>Imperata cylindrica</i>	草本	原生
白飯樹	<i>Flueggea suffruticosa</i>	喬木	外來種
光果龍葵	<i>Solanum americanum</i>	草本	外來種
印度牛膝	<i>Achyranthes aspera</i>	草本	原生
印度茄	<i>Solanum violaceum</i>	草本	原生
印度草木犀	<i>Melilotus indicus</i>	草本	原生
合萌	<i>Aeschynomene indica</i>	草本	原生
多枝扁莎	<i>Pycnus polystachyos</i>	草本	原生
多穗雀稗	<i>Paspalum paniculatum</i>	草本	外來種
灰葉蕓	<i>Caryopteris incana</i>	草本	原生
竹仔菜	<i>Commelina diffusa</i>	草本	原生
米碎莎草	<i>Cyperus iria</i>	草本	原生
羊耳草	<i>Inula rubricaulis</i>	草本	原生
羊蹄	<i>Rumex crispus</i>	草本	外來種
西番蓮	<i>Passiflora raedulis</i>	藤本	外來種
芒稷	<i>Echinochloa colona</i>	草本	原生
兩耳草	<i>Paspalum conjugatum</i>	草本	外來種
刺莧	<i>Amaranthus spinosus</i>	草本	外來種
刺蒴麻	<i>Triumfetta bartramia</i>	草本	原生
葉下珠	<i>Phyllanthus urinaria</i>	草本	原生
孟仁草	<i>Chloris barbata</i>	草本	外來種
林投	<i>Pandanus odoratissimus</i>	喬木	原生
牧地狼尾草	<i>Pennisetum polystachion</i>	草本	外來種
狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>	草本	原生
長葉煉莢豆	<i>Alysicarpus bupleurifolius</i>	草本	原生
長穗木	<i>Stachytarpheta urticaefolia</i>	草本	外來種
槌按草	<i>Triumfetta bartramia</i>	草本	原生
紅毛草	<i>Melinis repens</i>	草本	外來種
紅仔珠	<i>Bryonia officinalis</i>	喬木	原生
紅花野牽牛	<i>Ipomoea triloba</i>	藤本	外來種
紅鱗扁莎	<i>Pycnus sanguinolentus</i>	草本	原生
美洲含羞草	<i>Mimosa diplotricha</i>	草本	外來種
美洲闊苞菊	<i>Pluchea carolinensis</i>	灌木	外來種
苦瓜	<i>Momordica charantia</i>	藤本	外來種
苦楝	<i>Melia azedarach</i>	草本	原生
輪傘莎草	<i>Cyperus involucratus</i>	草本	外來種
香澤蘭	<i>Chromolaena odorata</i>	草本	外來種
倒地鈴	<i>Cardiospermum halicacabum</i>	草本	外來種

中文名	學名	生活型	來源
海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>	藤本	外來種
海埔姜	<i>Vitex rotundifolia</i>	草本	原生
蒺藜草	<i>Cenchrus echinatus</i>	草本	外來種
祕魯苦蕒	<i>Physalis peruviana L.</i>	草本	外來種
臭根子草	<i>Bothriochloa intermedia</i>	草本	原生
芻蓄草	<i>Thuarea involuta</i>	草本	原生
茵陳蒿	<i>Artemisia capillaris</i>	草本	原生
馬唐	<i>Digitaria sanguinalis</i>	草本	外來種
馬鞍藤	<i>Ipomoea pes-caprae</i>	藤本	原生
馬櫻丹	<i>Lantana camara</i>	灌木	外來種
假柳葉菜	<i>Ludwigia epilobioides</i>	草本	原生
掃帚菊	<i>Aster subulatus</i>	草本	外來種
敏感合萌	<i>Aeschynomene americana</i>	草本	原生
甜根子草	<i>Saccharum spontaneum</i>	草本	原生
細葉木藍	<i>Indigofera linifolia</i>	草本	原生
細葉水丁香	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	草本	原生
細葉金午時花	<i>Sida acuta</i>	草本	外來種
細葉煉莢豆	<i>Alysicarpus bupleurifolius</i>	草本	原生
野木藍	<i>Indigofera suffruticosa</i>	草本	原生
野甘草	<i>Scopia dulcis</i>	草本	原生
野香茅	<i>Cymbopogon goeringii</i>	草本	原生
野苘蒿	<i>Conyza sumatrensis</i>	草本	外來種
野棉花	<i>Urena lobata</i>	草本	外來種
野霍香	<i>Rubiteucris palmata</i>	草本	原生
野蔞葵	<i>Allium chinense</i>	草本	外來種
短角苦瓜	<i>Momordica charantia</i>	草本	外來種
短葉水蜈蚣	<i>Kyllinga brevifolia</i>	草本	原生
紫果馬唐	<i>Digitaria violascens</i>	草本	原生
紫花藿香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	草本	外來種
象草	<i>Pennisetum purpureum</i>	草本	外來種
黃田野牽牛	<i>Ipomoea obscura</i>	藤本	外來種
黃花酢醬草	<i>Oxalis pes-caprae</i>	草本	原生
黃茅	<i>Heteropogon contortus</i>	草本	外來種
黃荊	<i>Vitex negundo L.</i>	灌木	原生
黃野百合	<i>Crotalaria pallida</i>	草本	原生
圓葉金午時花	<i>Sida cordifolia</i>	草本	原生
圓葉煉莢豆	<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	草本	外來種
煉莢豆	<i>Alysicarpus vaginalis</i>	草本	原生
睫穗蓼	<i>Polygonum longisetum</i>	草本	原生
鼠尾粟	<i>Sporobolus indicus</i>	草本	原生
構樹	<i>Broussonetia papyrifera</i>	喬木	原生
漢氏山葡萄	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i>	草本	原生
瑪瑙珠	<i>Solanum diphyllum</i>	草本	外來種
蒲公英	<i>Taraxacum formosanum</i>	草本	台灣特有
蓖麻	<i>Ricinus communis</i>	草本	外來種
銀合歡	<i>Leucaena leucocephala</i>	喬木	外來種
銀膠菊	<i>Parthenium hysterophorus</i>	草本	外來種
線葉野百合	<i>Crotalaria linifolia</i>	草本	原生
蓮子草	<i>Alternanthera sessilis</i>	草本	外來種
蔓蟲豆	<i>Cajanus scarabaeoides</i>	草本	原生
蝦尾山螞蝗	<i>Desmodium scorpiurus</i>	草本	外來種
豬屎豆	<i>Crotalaria micans</i>	草本	外來種
銳葉小返魂	<i>Phyllanthus debilis</i>	草本	原生
鋪地黍	<i>Panicum repens</i>	草本	外來種
鋪地蝙蝠草	<i>Christia obcordata</i>	草本	原生
磨盤草	<i>Abutilon indicum</i>	草本	原生

中文名	學名	生活型	來源
鴨舌癩	<i>Phyla nodiflora</i>	草本	原生
鴨趾草	<i>Commelina communis</i>	草本	原生
鴨嘴草	<i>Ischaemum crassipes</i>	草本	原生
龍爪茅	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	草本	原生
龍葵	<i>Solanum nigrum</i>	草本	原生
擬刺茄	<i>Solanum sisymbriifolium</i>	草本	外來種
濱刀豆	<i>Canavalia rosea</i>	藤本	原生
賽葵	<i>Malvastrum coromandelianum</i>	草本	原生
賽菊豆	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	草本	原生
點頭莎草	<i>Cyperus nutans</i>	草本	原生
蟲屎	<i>Melanolepis multiglandulosa</i>	草本	原生
雙花草	<i>Dichanthium annulatum</i>	草本	外來種
雙穗雀稗	<i>Paspalum distichum</i>	草本	原生
雞屎藤	<i>Paederia foetida</i>	藤本	原生
鯽魚草	<i>Eragrostis amabilis</i>	草本	原生
蠅翼草	<i>Desmodium triflorum</i>	草本	原生
霧水葛	<i>Pouzolzia zeylanica</i>	草本	原生
蘆竹	<i>Arundo donax</i>	草本	原生
蘆葦	<i>Phragmites australis</i>	草本	原生
釋迦	<i>Annona squamosa</i>	喬木	外來種
鐵掃帚	<i>Lespedeza cuneata</i>	草本	原生
變葉藜	<i>Chenopodium acuminatum</i>	草本	外來種
鹽地鼠尾粟	<i>Sporobolus virginicus</i>	草本	原生
欖仁	<i>Terminalia catappa</i>	喬木	外來種

引用文獻

一、中文部分

台東縣 100 年度國家重要濕地保育行動計畫(2009)。台東縣政府知本濕地資源調查計畫報告書。

台東縣 102 年度國家重要濕地保育行動計畫(2014)。台東縣政府期末報告書。

吳宜靜。(2020)光電板落地以前 看看知本濕地之美。2020 June 7。

<https://e-info.org.tw/node/224969>。Accessed 15 Nov 2020。環境資訊中心出版。

李海瑞(1996)。瑞芳地區火燒對植群影響之研究。國立中興大學植物學系碩士論文。台中市。

林金德(2016)。kateatritulr 卡大地布部落文史資料-心知地名。臺東縣原住民主體文化發展協會出版。

林莉庭(2020)。知本濕地光電案亂象：當原住民行使諮商同意權，投票設計卻爭議叢生。2020 Feb 20。

<https://www.twreporter.org/a/opinion-indigenous-areas-chihpen-electro-optical-case>。Accessed 15 Nov 2020。The reporter 報導者出版。

呂佩倫，梁珣碩 知本濕地火災生態植被研究

林信輝、程怡婕、陳建男(2011)。崩塌地整治地區植被類型與棲地特性。林業研究專訊，Vol.18，No.4，40-45。

邱祈榮、陳子英、劉和義、王震哲、葉慶龍、謝長富(2009)。台灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局出版。

陳文姿(2019)。187:173 知本濕地光電爭議聲中部落「諮商同意權」過關。2019 June 1。https://e-info.org.tw/node/218310。Accessed 15 Nov 2020。環境資訊中心出版。

陳文姿(2020)。知本濕地光電陷僵局 環團喊出「換地」解爭議。2020 July 2。https://e-info.org.tw/node/225430 Accessed 15 Nov 2020。環境資訊中心出版。

彭杏珠(2018)。瘋光電怪象 3〉全國最大光電示範區 扼殺生態？台東 226 公頃濕地種電蓋在「是非之地」。2018 Feb 7。https://www.gvm.com.tw/article/43040。Accessed 15 Nov 2020，遠見出版。

黃增泉、吳俊宗、謝長富(1999)。環境影響評估及環境影響說明書有關陸域植物生態調查及撰寫規範-臺灣地區稀有植物名錄。中華民國自然生態保育協會，台北市。

葉秋好(2005)。台灣沿海濕地草澤知植群生態研究。國立中山大學生物科學系碩士論文，高雄市。

廖俊奎，周富三，林朝欽(2014)。低海拔山地劣化森林之演替。台灣林業科學，29，S13-26。

臺灣植物紅皮書編輯委員會(2017)。2017 臺灣維管束植物紅皮書名錄。行政院農業委員會特有生物研究保育中心、行政院農業委員會林務局、臺灣植物分類學會出版，南投縣。

劉崇瑞、蘇鴻傑(1983)。森林植物生態學。臺灣商務印書館出版，台北市。

羅文龍 (2004)。臺東縣臺 11 線以東濱海植群之研究。國立屏東科技大學森林系碩士論文，屏東縣。

二、外文部分

BirdLife International (2020) Important Bird Areas factsheet: Chihben Wetlands. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 11/11/2020.

Bond, W.J., Woodward, F.I., & Midgley, G.F. (2005) The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist* 165(2), 525–537.

- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017) Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Service* 28, 1-16.
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R.K. (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environment Change* 26, 152-158.
- Coughlan, M.C. & Petty, A.M. (2012) Linking humans and fire: a proposal for a transdisciplinary fire ecology. *International Journal of Wildland Fire*, 21(5), 477-487.
- He, T., Lamont, B. B., & Pausas, J. G. (2019) Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*, 94, 1983–2010. <https://doi.org/10.1111/brv.12544>
- Huang, T.-C.(1998a).The floristic relationship among the islands of Taiwan, *Tai ping tao and Tungshatao*,43(3),165-176.
- Huang, T.-C.*et.al.*(eds.)(1993).Flora of Taiwan Vol.3(2nd.ed.) Editorial Committee, Taipei, Taiwan, Dept. Bot, NTU.
- Huang, T.-C.*et.al.*(eds.)(1994).Flora of Taiwan Vol.1(2nd.ed.)Editorial Committee, Taipei, Taiwan, Dept. Bot,NTU.
- Huang, T.-C.*et.al.*(eds.)(1996). Flora of Taiwan Vol.2(2nd.ed.)Editorial Committee, Taipei, Taiwan, Dept. Bot,NTU.
- Huang, T.-C.*et.al.*(eds.)(1998b).Flora of Taiwan Vol.4(2nd.ed.)Editorial Committee, Taipei, Taiwan, Dept. Bot,NTU.
- Huang, T.-C.*et.al.*(eds.)(2000).Flora of Taiwan Vol.5(2nd.ed.)Editorial Committee, Taipei, Taiwan, Dept. Bot,NTU.
- Huang, T.-C.*et.al.*(eds.)(2003).Flora of Taiwan Vol.6(2nd.ed.)Editorial Committee, Taipei, Taiwan, Dept. Bot, NTU
- Koltz, A. M., L. A. Burkle, Y. Pressler, J. E. Dell, M. C. Vidal, L. A. Richards, A.M. & Murphy, S. M. (2018) Global change and the importance of fire for the ecology and evolution of insects. *Current Opinion in Insect Science* 29, 110–116.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2020). IUCN Red List categories and criteria, version 3.1, second edition. Update record on 2020 April 10. <https://portals.iucn.org/library/node/10315>

- Lu, P.-L., & DeLay, J. (2016). Vegetation and fire in lowland dry forest at Wa'ahila Ridge on O'ahu, Hawai'i. *PhytoKeys*, 68, 51-6. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.68.7130>
- Marozas, V., Racinkas, J., & Bartkevicius, E. (2007). Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests. *Forest Ecology and Management*, 250 (1-2), 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.008>.
- McLauchlan et al., K.K. McLauchlan, P.E. Higuera, J. Miesel, B.M. Rogers, J. Schweitzer, J.K. Shuman, A.J. Tepley, J.M. Varner, T.T. Veblen, S.A. Adalsteinsson, J.K. Balch, P. Baker, E. Batllori, E. Bigio, P. Brando, M. Cattau, M.L. Chipman, J. Coen, R. Crandall, L. Daniels, N. Enright, W.S. Gross, B.J. Harvey, J.A. Hatten, S. Hermann, R.E. Hewitt, L.N. Kobziar, J.B. Landesmann, M.M. Loranty, S.Y. Maezumi, L. Mearns, M. Moritz, J.A. Myers, J.G. Pausas, A.F.A. Pellegrini, W.J. Platt, J. Roozeboom, H. Safford, F. Santos, R.M. Scheller, R.L. Sherriff, K.G. Smith, M.D. Smith, & Watts, A.C. (2020). Fire as a fundamental ecological process: research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108, 2047-2069.
- Mermoz, M., Kitzberger, T., & Veblen, T. T. (2005). Landscape Influences on Occurrence and Spread of Wildfires in Patagonian Forests and Shrublands Mnica Mermoz; Thomas Kitzberger; Thomas T . Veblen. *Ecology*, 86(10), 2705-2715.
- Mitsch, W. J. & Gosselink, J. G. (2015) *Wetlands* 5th edn Wiley. New Jersey USA.
- Newman, E. A., Winkler, C. A., & Hembry, D. H. (2018). Effects of anthropogenic wildfire in low-elevation Pacific island vegetation communities in French Polynesia. *PeerJ*, 6, e5114. <https://doi.org/10.7717/peerj.5114>
- Pausas, J. G. & Keeley, J. E. (2019) Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17, 289–95.
- Ramsar Convention on Wetlands (2018) *Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and Their Services to People*. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- Ramsar Convention Secretariat, (2013) *The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*, 6th ed. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- Ramsar Convention Secretariat, (2016) *An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands (previously The Ramsar Convention Manual)*. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.

- Robertson, K.M., Poulos, H.E., Camp, A.E., & Tyrrell, M. (2015) Introduction to Fire Ecology of the Northeast: Restoring Native and Cultural Ecosystems. *Journal of Sustainable Forestry* 34(1), 1-5.
- Shepard, C.C., Crain, C.M., & Beck, M.W. (2011) The Protective Role of Coastal Marshes: A Systematic Review and Meta-analysis. *PLoS ONE* 6(11), e27374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027374>
- Taiwan Biodiversity Information Facility. TaiBIF. (2020)Taiwan Academia Sinica. (<http://taibif.tw/>). Accessed date: 22 October 2020.
- Wesolowski, A., Adamsb, M.A., & Pfautsch, S. (2014) Insulation capacity of three bark types of temperate Eucalyptus species. *Forest Ecology and Management* 313(1), 224–232.
- Xu, X., M. Chen, G. Yang, & Zhang, J. (2020). Wetland ecosystem services research: A critical review. *Global Ecology and Conservation* 22, e01027. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01027>
- Zhi, W., & G. Ji. (2012) Constructed wetlands, 1991–2011: a review of research development, current trends, and future directions. *Science of The Total Environment*, 441, 19-27.