

美國佛羅里達州大濕地國家公園復育計畫

方偉達^{1,2}

¹ 國立臺灣師範大學環境教育研究所；² 通訊作者 Email: wtfang@ntnu.edu.tw

[摘要] 大濕地國家公園 (Everglades National Park) 係為美國最大的濕地保護區，面積達 6,097 平方公里，其面積僅次於黃石公園。在美國國家公園管理局 (National Park Service) 下轄之 412 處國家公園、自然保護區中，濕地國家公園係以保持美國最大的亞熱帶野生地區文明。該區生態系統，自北邊的奇色米湖到南邊的佛羅里達灣，總保護地帶面積有 4 萬平方公里，生態體系內有邁阿密、羅德岱爾及西棕櫚灘等城市系統，擁有俄奇卻比湖泊系統，以及濕地國家公園生態系統。該區提供農業生產及都市居聚功能，係為佛羅里達州人口密集地區，生產甘蔗及水果，孕育出紅樹林、黑樹林及白樹林等濕地生態系，同時也是世界級的觀光勝地。本文係以報導型文獻回顧方式，提出濕地國家公園之特色、美國的濕地復育政策及措施，以及國家公園經營管理之評估方式，建議該公園規劃、經營和管理特色，可以提供我國濕地規劃政策之參考。

關鍵字： 國家公園、復育、環境規劃、濕地

The Restoration Project of Everglades National Park in Florida, USA

Wei-Ta Fang^{1,2}

¹The Graduate Institute of Environmental Education, National Taiwan Normal University;

²Corresponding author Email: wtfang@ntnu.edu.tw

ABSTRACT Everglades National Park is the largest wetland reserve in the United States. This park, second largest to Yellowstone Park with an area of 6,097 square kilometers, is among the 412 national parks and nature reserves managed by the U.S. National Park Service. The Everglades, therefore, maintains the largest subtropical wilderness civilization in the United States. The ecosystem of the area, stretching from north of Kissimmee Lake to south of Florida Bay, has a protected area of 40,000 square kilometers in total. The ecosystem comprises urban systems including Miami, Fort Lauderdale and West Palm Beach as well as national park wetland ecosystems. The area supports agricultural production and urban agglomeration. As a densely populated area in Florida that produces sugar canes and fruits, this area covers wetland ecosystems such as black and white mangroves. It is also a world-class tourist attraction. This study proposes the characteristics of a wetland rehabilitation project associated with policies and measures of national park management. The operating characteristics can serve as reference for wise wetland planning policies.

Keywords: national parks, rehabilitation, environmental planning, wetlands

前言

大濕地國家公園 (Everglades National Park, 26.0°N 80.7°W ; 26.0°N 80.7°W)位於美國佛羅里達州南部。屬於亞熱帶和熱帶濕地的交界地帶。其中大型河川自北邊的奇色米湖開始，奇色米河流入俄奇卻比湖 (Okeechobee)，向南流至南端的佛羅里達灣，總保護地帶面積有 4 萬平方公里。大濕地(Everglades)原住民塞米諾爾 (Seminole)部落稱呼這一片草澤湖泊為俄奇卻比，意思是草河 (River of Grass)，描述了草澤濕地、紅樹林等熱帶環境系統。本區自 1900 年代初，實施水源管理控制以來，約 56 種植物和動物列為瀕危。2000 年，佛羅里達州與聯邦政府建立了夥伴關係，美國聯邦政府國會在 2000 年通過了位於佛羅里達濕地國家公園預算之《綜合濕地復育計畫》(Comprehensive Everglades Restoration Plan, CERP)，以 30 年時間，運用 105 億美金推動 68 個子計畫。計畫目標為復育該區尚未受到人為干擾之狀況，同時提供 600 多萬人次的城市供水，藉以復育全世界最大的濕地國家公園，這個全世界最大的濕地復育計畫，它的特色是什麼呢？為什麼會吸引全世界保育界的焦點，要向這個濕地復育計畫學習呢？我們可以從美國的濕地復育政策及措施，學到什麼呢，以下是簡要的分析。

一、大濕地國家公園簡介

大濕地國家公園是美國大陸最大的亞熱帶野生地，同時也是第 2 大的國家公園，僅次於黃石公園。公園面積 6,097 平方公里。該區每年的降雨量達 1,676 公厘；其中 4 分之 3 的雨量，集中於 6 月到 10 月之間。全區的生態系統，自北邊的奇色米湖到南邊的佛羅里達灣，面積有 4 萬平方公里，約是臺灣的一半面積(圖 1)。本區生態體系內擁有邁亞密、羅德岱爾、西棕櫚灘等城市系統，俄奇卻比湖泊系統，以及大濕地國家公園生態系統。本區係為佛羅里達州人口密集地區，生產甘蔗及水果，

孕育出紅樹林、黑樹林及白樹林等濕地生態系統。該區擁有沼澤地區的樹島 (tree islands)，同時也是世界級的觀光勝地 (Sklar and van der Valk 2002, Uhler 2002, Ogden 2005)。

二、錯誤的政策，導致濕地逐漸消失

美國濕地國家公園的水系，由北邊俄奇卻比湖流向南邊，再注入西邊的墨西哥灣及東邊的大西洋(圖 1)。為了要整治北邊俄奇卻比湖的洪泛，防止南邊鹽水入侵，從 1948 年開始，通過了中、南佛羅里達計畫，建造 1,600 公里堤防運河、150 座防洪堤、16 座抽水站，並將區內主要河流如奇色米河截彎取直，但是多年的努力，這些防洪措施建造後卻成效有限。由於運河攔截地表逕流，水源無法南流，使得原有的濕地不能蘊藏地下水分，濕地因為築壩逐漸縮減，如與 1900 年比較，大沼澤地的生態系統流量減少了約 70% (Perry 2004)，導致生態系統的範圍已減少到一半左右。而且在佛羅里達每天有 900 人遷入之狀況下，人口在 40 年間增加 4 倍，成長為 1,600 萬人；到了 2018 年，成長為 2,130 萬人。此外，每年到佛羅里達的旅遊人口還有 1.12 億人次 (Fieri 2017)。在人口成長的壓力下，造成野生動物、魚類種群，棲息地以及濕地生態系統服務功能顯著減少 (Perry 2004)。自 1930 年以來，國家公園中的鳥類減少 93%，尤其是指標生物美洲白鸛到了 2000 年剩下 500 隻，人與水爭地導致南邊的佛羅里達生態體系遭到破壞，同時也威脅到稀有動物如佛州豹以及鱷魚的生存。

在 1948 年的計畫中，主要是在防洪及提供農業灌溉用水，但是沒有考慮到佛羅里達未來發展的觀光生態用途，所以產生許多問題。最主要的問題有下列四點，如果沒有進一步的復育計畫，將會產生生態劣化的現象(詳見表 1)：

1. 湖泊：原有計畫造成俄奇卻比湖水位起伏太大，影響到湖岸生態及海域生態。



圖 1. 佛羅里達濕地生態系統位置圖(本研究繪製)

表 1. 如果沒有新的計畫，2050 年會變成怎麼樣？

地區	保持原狀，沒有改善計畫	進行復育及改善計畫
俄奇卻比湖	★★	★★★★
卡落薩哈奇河口	★	★★★★
聖路思河口	★	★★★★
沃思瀉湖	★★	★★
活里及羅田柏格	★★	★★★★
羅思哈奇野生動物棲息地	★	★★★★
水源保護區 2A	★	★★★★★★
水源保護區 2B	★	★
西北水源保護區 3A	★	★★★★
東北水源保護區 3A	★	★★
東部水源保護區 3A	★	★★
中部及南部水源保護區 3A	★	★★★★★★
水源保護區 3B	★	★★
濕地國家公園-俠客河沼地	★	★★★★
佛羅里達灣	★	★★★★
比思坎灣	★★★	★★★★
大絲柏國家保留區	★★★	★★★★
俄奇卻比湖休息區	★	★★★★
東海岸都會低地區	★	★★★★

圖標：

- ★★★★ 表示未來生態及水資源復育情形良好，達到長期資源永續發展。
- ★★★ 表示未來生態及水資源復育情形普通，邊際資源會過度利用。
- ★ 表示未來生態及水資源將過度耗盡。

2. 河流：因為河流水源不穩，在洪泛及枯水期時，河川流量差異太大，導致出海口土地遭到鹽化，改變海水及淡水生態系統。例如，卡落薩哈奇河、聖路思河就是顯著的例子。

3. 濕地：濕地中河川水文經常改變，造成當地動植物生態的衝擊。

4. 海域：因為河川暴漲，經常有大量的淡水補助到佛羅里達灣及比思坎灣，淡水改變海域的鹽度，影響海洋魚類生存。

三、拯救大濕地國家公園

為了要防止濕地繼續惡化下去，美國政府從法規開始著手，並責成陸軍工兵署依據水資源發展法，開始研擬新的中、南佛羅里達計畫（生態系統分區圖如圖 2）。為了要整合相關發展計畫，新的計畫結合交通、環境等基礎建設，目的有以下三項：改善南佛羅里達環境品質，保護南佛羅里達水系以及改善城鄉水資源供應體系（US Army Corps of Engineers 1999）。依據 1987-1994 年原始計畫版本以及嗣後之修正版本，本計畫之計畫依據和計畫主要項目分述如下：

1. 計畫依據：

(1)1987 年佛羅里達州通過地表水改善及管理法，進行佛羅里達州湖泊河川及海域污染的控制工程。

(2)1991 年佛羅里達州通過濕地生態區保護法，設立雨水逕流管理基金，提撥預算及基金孳息購買土地，以建設污染防治設施。

(3)1992 年聯邦政府通過的水資源發展法。

(4)1994 年佛羅里達州通過濕地永久保護法，設定達成水質改善目標的日期，並提供經費作為生態保護等研究。

2. 計畫主要項目：

(1)建造儲水措施：計畫在北俄奇卻比湖行

水區、濕地國家公園農作區、棕櫚灘水源保護區等地區新建水庫，該計畫要求新建超過 868 平方公里的儲水地區，以及運用 300 多個地下含水層儲存區（underground aquifer storage），進行水源的儲存和控制（Perry 2004）。總計該區人工湖泊、水庫和濕地面積合計 733 平方公里。

(2)建立水源保護帶：在大濕地國家公園及東岸都會區之間規劃多功能水資源保護帶。此一水資源保護帶將提供過濾都市地表逕流、儲存地下水，以減少地下水滲流，並改善現有濕地品質。

(3)確保生態湖泊：1983 年時俄奇卻比湖集水區內有 49 家乳牛農場，共有 45,000 頭牛，過量的磷流入湖中造成湖泊優養化之現象，在 2000 年剩下了約 30 家共 3 萬頭牛，每一家農場都依規定建立了最佳管理作業系統，減少了磷的輸出量。此外，在水質改善方面，這個計畫將考慮疏濬受到優養化的泥沼。在水位方面，需要控制湖泊水位，使湖潮的漲退不至於太大。

(4)穩定河川水量：根據 Tennant (1997)研究指出，河川水量達到年平均流量 10%~30% 時，僅能讓少數魚種的間歇存活，河川水量達到年平均流量 30%~60% 所形成之流速與水深，有利多數魚種的生存，當河川水量達 60%~100% 年平均流量時，可形成多種急流與緩流的水域，適於大多數魚種的棲息。因此維持穩定的河川流量，是確保物種環境的重要因素。因為洪水造成卡落薩哈奇河和聖路思河的水位暴漲，常常讓下游出海口的生態受到影響。所以在洪水來臨時，需要引導水流到沃思瀉湖。在乾旱的時候，因為水流量減少，在上游的人工湖泊將放水，來保持河川長年水流不斷，也能讓魚類繼續生存。

(5)補注地下水位：在俄奇卻比湖周圍、卡落薩哈奇集水區開鑿水井，每天需要以人工幫浦方式將地表水打入地下，該回收井（recovery wells）估計約有 720 萬公噸地下水儲存在地底。在乾旱的時候，這些水可提供使

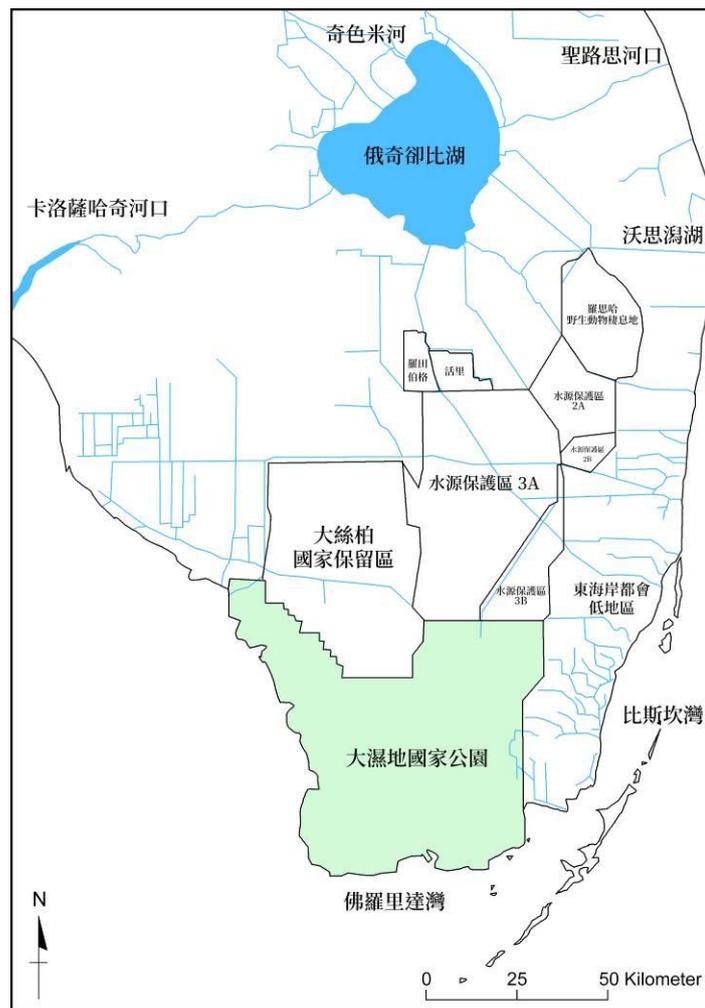


圖 2. 美國佛羅里達生態系統分區圖(本研究繪製)

用，並且沒有鹽化的顧慮。

(6)建造人工濕地：在俄奇卻比湖、卡洛薩哈奇河、聖路思河、大濕地國家公園、東海岸都會低地區等集水區建造 144 平方公里的濕地，以作為滯洪的用途。在都市逕流及暴雨洪峰還沒有進入到湖泊之前，先進入人工濕地，以作為洪水第一道緩衝。本營造計畫將整合原來已有的 178 平方公里的人工濕地，並且擴大利用範圍。

(7)穩定濕地入流量：本計畫將挖掘水道，增加 26% 的水源進入到俠客河沼地，以平衡乾旱季的水源。

(8)增加地表水流動量：拆除 386 公里的運河堤防，在 41 號公路沿線(約 32 公里)建造橋樑及涵洞，減少地表水流動障礙，讓大量的地

表水流進濕地國家公園。在大絲柏國家保留區，南北走向的堤防被拆除，以讓地表水自然流進保留區。

(9)挖掘採石場成為人工湖泊：挖掘邁阿密郡的的石灰岩採石場，成為 44.5 平方公里的人工湖泊，以提供佛羅里達灣、濕地國家公園、比思坎灣和邁阿密郡的民生用水來源。

(10)污水回收：建造二座污水處理廠，每天可以處理 90 萬公噸的廢水。這個污水處理廠處理後的水將排放進入濕地，以作為濕地水源。

四、濕地計畫給我們的啟示

佛羅里達州由於人口的增加，社區快速開發，大量的沼澤地被排水後填平，做為農業及

住宅使用。此外，由於供水的需求，建造了一系列的渠道系統，以利水利上之效率，讓濕地水源枯竭，影響到生態系統。農業及社區開發，同時帶來了環境污染，讓物種的棲息地逐漸的減少，在過去 100 年，本地區的濕地面積已經減少一半，生態環境也發生了鉅變。

從 1983 年開始，美國政府開始進行生態系統的復育計畫，歷年計畫都是希望將生態系統回復到 1900 年代的風貌為主要目的。其中河川的復育和人工濕地的營造，成效最好。例如為了要恢復奇色米河的自然狀態，從 1990 年開始進行了復育工作 (Toth *et al.* 1995)。內容包括將河道「除直取彎」，將約 30 公里長的河道恢復成原有的彎彎曲曲的狀況，並在河川行水區營造 1 萬多公頃的濕地 (Toth 1993)。此外，在營養鹽的縮減方面，自 1988 年開始，佛羅里達州政府開始利用人工濕地，削除雨水逕流中營養鹽，使水質得到淨化。到了 1993 年計畫完成時共建造了 20 平方公里的人造濕地，將剩餘沼澤中的總磷濃度降低至 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Sklar *et al.* 2005)，估計每年已減少了 12 公噸的磷含量，超過 4500 億加侖的水流過大沼澤地國家公園。改良水輸送項目是計畫修復項目，該計畫被認為是歷史上最大的環境計畫，係由科學家、決策者，以及利害關係人於 1999 年開始策畫，其目的在解決人口成長和用水等環境相關問題。

檢核美國國會核准的《綜合濕地復育計畫》(Comprehensive Everglades Restoration Plan, CERP)，採用的概念性生態模型，係為非定量規劃工具 (non-quantitative planning tools)，推動整體濕地的多重景觀模式，以有效結合沼澤濕地復育之水源管理政策，運用生態科學策略，成為整合性規劃和復育過程之架構 (Voss 2000, Sklar *et al.* 2001, Kiker *et al.* 2001, Ogden *et al.* 2005, Sklar *et al.* 2005)。根據 Milon and Scrogin 在 2006 年及 Seeteram 等人在 2018 年發表之民眾願付價格之意見調查，觀察到該計畫係強調多種生態系統 (multiple ecosystem services) 中的結構復育 (structural

restoration)，而非著重功能復育 (functional restoration) 之價值評估 (Milon and Scrogin 2006)；截至 2018 年，民眾對於濕地復育 (Everglades restoration) 之願付價格則相對提高 (Seeteram *et al.* 2018)。

然而，該計畫提出的時後，雖然獲致好評，但是在 21 世紀初期仍然有學者對於整體計畫背後的動機容有疑義 (Gonzalez 2005)。Gonzalez (2005) 認為《綜合濕地復育計畫》是利用大沼澤地進行國家資源積累最大化資本化的手段過程之延續。在過程之中，雖然由政治菁英和科學家領導和塑造形象，但是政策制定過程依然是商業模式。最後，《綜合濕地復育計畫》復育濕地生態系統健康的形象，其目的卻在包裝佛羅里達州城市發展的供水計畫 (Gonzalez 2005)。

因此，科學家和管理者在 2009 年組成團隊，通過系統選擇過程，指定 12 個標準，藉以確定系統範疇之適用性 (Doren *et al.* 2009)。其中 12 個標準如下：(1) 該項工程是否符合生態系統相關之指標嗎？(2) 是否可以適用於整個系統的規模和影響？(3) 該項指標是否可行，是否可以測量？(4) 指標對於整體系統驅動程序是否敏感，是否可以預測？(5) 該項指標是否可以運用共同語言藉以解釋？(6) 在某種情況之下，科學家對於該項指標的樂觀評估趨勢，是否亦能表現出悲觀的復育趨勢嗎？(7) 科學家是否了解指標方面的悲觀趨勢與復育活動無關之情況？(8) 該項指標是否具有科學之防禦性？(9) 是否可以為指標建立更明確及可衡量的目標，以便對於復育之成功情形進行評估？(10) 指標是否具有能夠導致糾正措施的特殊方法？(11) 指標是否涉及何種程度的生態系統過程或結構？(12) 該項指標是否提供了生態變異的早期預警信號？

針對上述學者的批評和建議，美國政府採取了立法和監督單位通過適應性管理計畫 (adaptive management program)，計畫採用下列模式。第一、藉由資金挹注，建立適應性管理機制，以彌補民生用水和生態用水競逐之趨

勢。其次，將適應性管理活動納入現有過程，並且制定技術指導綱要，以利釐清適應性管理之角色及責任。第三，應用濕地科學架構，該計畫透過科學家和決策者之間的溝通、規劃，以及評估方法，預測恢復生態系統參考指標，例如濕地植被地圖(vegetation maps)和瀕危動物指標，藉以了解濕地系統如何運作 (Ogden *et al.* 2005, Gawlik 2006, Rutchey *et al.* 2008)。第四，明確了解復育目標在全球氣候變遷風險下之不確定性，以利模擬驅動策略，提供可信之資訊，用以監測濕地復育工作，實施績效目標 (performance goals) 管理。五、藉由獨立外部同儕審查 (external peer review) 反饋適應性管理計畫，有利協助指導發展計畫 (Gunderson and Light 2006; LoSchiavo *et al.* 2013)。

2018 年 Gunderson 等學者對於該計畫的評估，又提出適應性治理 (adaptive governance) 的看法 (Gunderson *et al.* 2018)。他們認為因應全球氣候變遷，我們需要針對不可預見之環境事件，進行適應和改變。基本上自 2000 年迄今，南佛羅里達地區的水資源基本上已經控制。當地的法律雖然提供了促進經濟發展和環境保護的目標，但是因為針對濕地環境嚴格的規範，導致了因限制發展產生了民怨和訴訟，反而限制了佛羅里達濕地對於社會生態系統 (social-ecological system) 之適應能力。因為過於剛性管理 (rigid management)，以及未能考慮當地平衡經濟投資，產生了大濕地國家公園內部種種利益糾葛。因此，Gunderson 等學者建議應該考慮相關者之多重價值，並且靈活調整管理措施，以進行真正的適應性治理 (adaptive governance) (Gunderson *et al.* 2018)。

綜觀本計畫歷經數十載營造人工濕地，並且將大量的投資運用在湖泊、河流及海域等集水區生態管理上，係為美國生態復育的方向。美國願意以 105 億美金，約合新台幣 3,150 億臺幣的經費，以三十年的時間，營造全世界最大的復育計畫，目的就是要保護脆弱的濕地生態系統，誠如計畫中所說：「大濕地是全世界

獨一無二的，這個地區吸引全世界的目光。」

轉觀臺灣，每年平均降雨量 2,500 公釐，濕地保育有相當大的成長空間。2013 年立法院三讀通過《濕地保育法》，並於 2015 年 2 月 2 日由內政部營建署開始實施之後，納入了 42 處國家重要濕地、41 處暫定地方級重要濕地，共計 83 處國家重要濕地，濕地面積為 47,627 公頃。臺灣濕地保護面積需要民間支持，挽救濕地的生存，營造濕地、湖泊、海域以及整個集水區，已經是刻不容緩的工作。為了解決臺灣遇雨則澇、遇旱則災的困境，推動生態復育、溝通及教育，已經是非做不可的工作。本文依據美國國家公園濕地復育為例，討論臺灣的濕地保育，著重於台江國家公園等濕地型國家公園之營建經驗，如以國家公園內濕地與國家公園濕地之關係，都在論述中進行闡釋和後續分析。

本研究建議吸取美國大濕地國家公園及周邊環境之經驗截長補短，以韌性管理 (resilient management) 的方式，考慮當地經濟投資之平衡。例如，通過濕地及週遭洪泛平原的結構復育 (structural restoration) 的方式，通過整合性評估當地的滯洪、排水、灌溉、生態、農業生產、漁業生產、觀光旅遊、環境教育，以及導覽解說的套裝模組，在都市計畫方法之下納入海綿城市的概念，運用濕地保護「發展權移轉」 (Transfer of Development Rights, TDR)、公益信託，以及濕地補償銀行機制，轉換當地民眾土地所有權，移轉發展權至國家公園進行管理(方偉達、趙淑德 2007)。在開發行為上擴大地層下陷地區和暴潮易淹地區的納洪滯流地區，將「發展權移轉」至毗連社區高腳屋建築聚落，通過洪水頻率的防災預測 (Brody and Highfield 2013)，強化氣候變遷減緩和調適之預防措施，並且強化促進生態友善養殖、綠色漁業產業、生態觀光發展之增能途徑，通過景點評估模式，以解決國家公園內部和外部之間之利益糾葛(方偉達 2010, 許秉翔 2011, Chen *et al.* 2017)。因此，建議將發展權轉移辦法納入國家濕地計畫及海岸防災設

計。此外，採取靈活調整管理措施，進行民眾溝通，以進行真正的適應性治理 (adaptive governance) (Borkhataria *et al.* 2017)。在 2017 年，大濕地基金會 (The Everglades Foundation) 針對科學家和非科學家進行不同的溝通模式，對於科學家來說，通過白皮書、文稿，以及同儕評審的文稿，藉以獲得更多系統科學之資訊。然而，針對非科學家來說，需要採用圖像和非技術性的文章，讓一般大眾更能理解複雜的復育工程 (Borkhataria *et al.* 2017)。因此，如果採用民間參與之生態復育工作，建議可以在臺灣推動下列工作，並且進行環境教育之溝通，以減輕環境污染及廢棄物產生的壓力 (Fang *et al.* 2017)。本研究建議以具體措施推動生態復育、水文處理、土壤改善，以及生態旅遊等活動模式，說明如下：

1. 生態復育

以量化方法，優先考慮棲息地品質和生態系統功能，建立保護區標準的綠色名錄(林俊全等 2018)，調查國家公園中的濕地復育之後的生態效益 (ecological benefits)，並且測量生物多樣性之良窳 (Sklar *et al.* 2005, Telis 2006, Trexler and Goss 2009)。在生物指標部分，透過鳥類、哺乳動物、魚蝦蟹類，進行生物多樣性調查之描述(方偉達、林幸助 2018, Hsu *et al.* 2018a)；但是在建構食物網絡部分，建議透過羽毛、骨骼、甲殼、胃納、腸納食物，以及藻類、腸內道菌等微生物生態學之研究，通過碳氮同位素和定序方法，進行排遺、菌相、塑膠微粒之研究，了解海洋、海岸、濕地生物相因鹽灘地和埤塘太陽能光電板等重金屬和塑膠微粒污染的情況，以定序技術，建構我國濕地微生物體、生物多樣性和群落生態學之間的關係。

2. 水文處理

建造人工濕地，以為生態保護及復育，進行水域深度估算網路 (Depth Estimation Network, EDEN)、水力週期 (hydroperiods)，

以及水力流速 (flow velocities)進行連結，進行汙染處理 (Shih *et al.* 2013)。此外，在已挖掘的舊礦區，現地營造儲水的人工湖泊。在水脈不足的地區，營造地下水庫。此外，為了改善自然區域的水力連通性 (hydraulic connectivity)(Osborn *et al.* 2017)，改善國家公園內的堤壩和運河系統，以改善陸域水流。例如，拆除不必要的橋樑、溝渠、堤防、水壩，以讓暴雨後的逕流，有進入濕地的通路。控制上游水庫水門，以排洪或注入穩定水源來穩定河川流量，以利水中的生物生存。

3. 土壤改善

依據濕地土壤成分的角度，預測生態系統對於水文復育產生的效果。透過景觀模型，針對濕地土壤產生的過程進行模式處理，以利各種水文復育情境，針對土壤中磷 (P)和碳 (C)影響的過程，進行削減模式的處理，以減少整個系統中磷 (P)含量。通過磷成分之減少，以增強土壤對於溫室氣體碳固存潛力 (carbon sequestration potential)的影響 (Osborn *et al.* 2017)，強化生態系統服務功能。

4. 生態旅遊和環境教育

通過生態旅遊 (ecotourism)和環境教育模式，汰除製造水域汙染之大眾旅遊交通工具，以節能、環保之設施(例如，無化石燃料動力船具)，進行繁榮地方經濟，推動綠色景點評估，強化物種生態廊道，提升當地居民和遊客的環境素養 (environmental literacy)和有機農業的栽培意願，以強化親環境行為 (Fang *et al.* 2018a, b, c; Hsu *et al.* 2018b)，並且維護當地部落傳統文化的綠色觀光產業發展(方偉達 2010, 許秉翔 2011, Chen *et al.* 2017)。此外，積極調查物種棲地品質之生態、景觀資源，以地理資訊查詢系統建構當地空氣(例如，空氣盒子電子載具查詢系統 <https://airbox.edimaxcloud.com/>)、水文、水質、土壤、植被、動物道路致死率 (Hsu *et al.* 2018b)等公民科學採用之地圖數值資料(例如，國家重要濕地

圖資套疊 <http://wetland-tw.tcd.gov.tw/>)，進行當地環境查詢。藉由運用社會學習 (social learning)理論，強化濕地知識學習體系，以推廣公民環境教育，並且參採電子載具規劃輕量的旅遊路線，透過碳排減量計算 (Fang *et al.* 2015)，推廣地方文化特色發展以及居民生計的低碳旅遊活動。

引用文獻

- 方偉達、趙淑德。2007。濕地公益信託及補償銀行機制之建立。土地問題研究季刊 6(4):2-12。
- 方偉達。2010。生態旅遊。五南圖書出版公司。
- 方偉達、林幸助。2018。生物環境影響評估。濕地學刊 7(1):111-122。
- 林俊全、蘇淑娟、王文誠。2018。國際自然保育聯盟保護區綠色名錄之研究。國家公園學報 28(1):1-5。
- 許秉翔。2011。臺灣濕地生態旅遊的研究進展。鄉村旅遊研究 5(1):75-90。
- Borkhataria RR, PR Wetzel, H Henriquez, SE Davis III. 2017. The Synthesis of Everglades Restoration and Ecosystem Services (SERES): a case study for interactive knowledge exchange to guide Everglades restoration. *Restoration Ecology* 25(S1):S18-S26.
- Brody SD and WE Highfield. 2013. Open space protection and flood mitigation: A national study. *Land Use Policy* 32:89-95.
- Chen LE Ng, SC Huang and WT Fang. 2017. A self-evaluation system of quality planning for tourist attractions in Taiwan: An integrated AHP-Delphi approach from career professionals. *Sustainability* 9 (10):1751.
- Doren RF, JC Trexler, AD Gottlieb, MC Harwell. 2009. Ecological indicators for system-wide assessment of the greater everglades ecosystem restoration program. *Ecological Indicators* 9(6):S2-S16.
- Fang WT, CW Huang, JY Chou, BY Cheng, SS Shih. 2015. Low carbon footprint routes for bird watching. *Sustainability* 7(3):3290-3310.
- Fang WT, E Ng, CM Wang and ML Hsu. 2017. Normative beliefs, attitudes, and social norms: People reduce waste as an index of social relationships when spending leisure time. *Sustainability* 9(10):1696.
- Fang WT, E Ng and U Kaplan. 2018a. Development and investigation of social norm applied to environmental literacy scale. *Impact* 2018 (6):23-25.
- Fang WT, E Ng and YS Zhan. 2018b. Determinants of pro-environmental behavior among young and older farmers in Taiwan. *Sustainability* 10 (7):2186.
- Fang WT, CY Lien, YW Huang, G Han, GS Shyu, JY Chou, E Ng. 2018c. Environmental literacy on ecotourism: a study on student knowledge, attitude, and behavioral intentions in China and Taiwan. *Sustainability* 10 (6), 1886.
- Fieri G. 2017. Interview: Guy Fieri talks new projects, criticism and the Triple D effect at Disney Springs in Orlando. Tampa Bay Times. February 13, 2017. Retrieved January 25, 2019.
- Gawlik DE. 2006. The role of wildlife science in wetland ecosystem restoration: lessons from the Everglades. *Ecological Engineering* 26(1):70-83.
- Gonzalez GA. 2005. The comprehensive everglades restoration plan: Environmental or economic sustainability? *Polity* 37(4):466-490.
- Gunderson L and SS Light. 2006. Adaptive management and adaptive governance in the everglades ecosystem. *Policy Sciences* 39(4):323-334.
- Gunderson L, AS Garmestani, KW Rizzardi, JB Ruhl, AR Light. 2018. Social, legal, and ecological capacity for adaptation and transformation in the Everglades. In: Cosens B., Gunderson L. (eds) *Practical Panarchy for Adaptive Water Governance*, Springer, Cham, pp. 65-81.
- Hsu CH, ML Otte, CC Liu, JY Chou and WT Fang. 2018a. What are the sympatric mechanisms for three species of terrestrial hermit crab (*Coenobita rugosus*, *C. brevimanus*, and *C. cavipes*) in coastal forests? *PloS one* 13 (12), e0207640.
- Hsu CH, TE Lin, WT Fang and CC Liu. 2018b. Taiwan Roadkill Observation Network: An example of a community of practice contributing to Taiwanese environmental literacy for sustainability. *Sustainability* 10 (10), 3610.
- Kiker CF, JW Milon, AW Hodges. 2001. SOUTH FLORIDA: THE REALITY OF CHANGE AND THE PROSPECTS FOR SUSTAINABILITY: Adaptive learning for science-based policy: the Everglades restoration. *Ecological Economics* 37(3):403-416.
- LoSchiavo AJ, RG Best, RE Burns, S Gray, MC Harwell, EB Hines, AR McLean, TS Clair, ST and JW Vearil. 2013. Lessons learned from the first decade of adaptive management in comprehensive Everglades restoration. *Ecology and Society* 18(4):70.
- Milon JW and D Scrogin. 2006. Latent preferences and valuation of wetland ecosystem restoration. *Ecological Economics* 56(2):162-175.
- Ogden JC. 2005. Everglades ridge and slough conceptual ecological model. *Wetlands* 25:810.
- Ogden JC, SM Davis, KJ Jacobs, T Barnes, HE Fling. 2005. The use of conceptual ecological models to guide ecosystem restoration in South Florida.

- Wetlands* 25(4):795-809.
- Osborne TZ, HC Fitz, SE Davis. 2017. Restoring the foundation of the Everglades ecosystem: assessment of edaphic responses to hydrologic restoration scenarios. *Restoration Ecology* 25(S1):S59-S70.
- Perry W. 2004. Elements of South Florida's Comprehensive Everglades Restoration Plan. *Ecotoxicology* 13(1):185-193.
- Rutchev K, T Schall, F Sklar. 2008. Development of vegetation maps for assessing Everglades restoration progress. *Wetlands* 28:806.
- Seeteram NA, V Engel, P Mozumder. 2018. Implications of a valuation study for ecological and social indicators associated with Everglades restoration. *Science of The Total Environment* 627(15):792-801.
- Shih SS, PH Kuo, WT Fang and BA LePage. 2013. A correction coefficient for pollutant removal in free water surface wetlands using first-order modeling. *Ecological Engineering* 61:200-206.
- Sklar FH, HC Fitz, Y Wu, R Van Zee, C McVoy. 2001. South Florida: the reality of change and the prospects for sustainability: the design of ecological landscape models for Everglades restoration. *Ecological Economics* 37(3): 379-401.
- Sklar FH and A van der Valk. 2002. Tree islands of the Everglades: an overview. *Tree Islands of the Everglades. Kluwer Academic Publishers*, pp. 1-18.
- Sklar FH, MJ Chimney, S Newman, P McCormick, D Gawlik, SL Miao, C McVoy, W Said, J Newman, C Coronado, G Crozier, M Korvela, K Rutchev. 2005. The ecological-societal underpinnings of Everglades restoration. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(3):161-169.
- Telis. 2006. The Everglades Depth Estimation Network (EDEN) for support of ecological and biological assessments. Fact Sheet 2006-3087. USGS. <https://doi.org/10.3133/fs20063087>
- Tennant A. 1997. *A Field Guide to Snakes of Florida*. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- Toth LA. 1993. The ecological basis for the Kissimmee River restoration plan. *Florida Scientist* 56:25-51.
- Toth LA, DA Arrington, MA Brady and DA Muszick. 1995. Conceptual evaluation of factors potentially affecting restoration of habitat structure within the channelized Kissimmee River ecosystem. *Restoration Ecology* 3:160-180.
- Trexler J and CW Goss. 2009. Aquatic fauna as indicators for Everglades restoration: Applying dynamic targets in assessments. *Ecological Indicators* 9(6):S108-S119.
- Uhler JW. 2002. Everglades National Park. <http://www.everglades.national-park.com/>
- US Army Corps of Engineers. 1999. Central and Southern Florida Project Comprehensive Review Study. Jacksonville, Florida: US Army.
- Voss M. 2000. The Central and Southern Florida Project Comprehensive Review Study: Restoring the Everglades. *Ecology Law Quarterly* 27(3):751-770.