

# 台灣地層下陷區濕地化進行產業轉型初步研究

## Feasibility Study on Coastal Lowland Wetlands Reclamation of Taiwan

逢甲大學  
水利工程與資源保育學系  
助理教授

**蘇 惠 珍\***

**H.-C. Su**

逢甲大學  
水利工程與資源保育學系  
碩士班學生

**林 浩 亦**

**H.-I. Lin**

逢甲大學  
水利工程與資源保育學系  
碩士班學生

**謝 洽 宇**

**C.-Y. Hsieh**

### 摘 要

由於台灣水資源於空間和時間分佈不均，加上因應高度經濟開發之需水量而過度採用地下水，使得西南沿海地區因超抽地下水導致地層下陷問題嚴重，所衍伸的問題尚有海水入侵、土壤鹽化及內水無法排出等，加上全球氣候變遷情況下，近年來降雨型態有暴雨集中趨勢，使得沿海地層下陷區的洪災程度越發嚴重，已不再是傳統防洪工程可以緩減的，迫使沿海低地排水區的土地利用觀念與產業發展型態面臨必須重新思考與定位，以因應當前環境日趨惡化的問題。在全球暖化衍伸問題不斷昇高下，聯合國所公佈的研究報中不斷警告，未來淡水資源和糧食將面臨短缺，由於台灣為海島型國家，儘管目前糧食生產不虞匱乏，但仍須保留足夠之農地方能進行作物種植。因此，考量沿海嚴重地層下陷區諸多不利因素和基本環境特徵，本研究擬以雲林口湖鄉西南沿海嚴重地層下陷區為研究區域，擬定沿海地層下陷區停養漁塭或廢耕農地濕地化之轉型策略，將上述土地構建為蓄洪池外，估算該蓄洪水量可以提供種植的作物面積，來提估評估除了生態旅遊外，進行生態農業發展的可能性。

**關鍵詞：**地層下陷，土壤鹽化，全球暖化，生態農業。

### ABSTRACT

In the last few decades, due to the limit of freshwater resources, urban and industry areas were often obtain priority water resources allocation than country region. Accordingly, residence living at rural region usually pumped groundwater for irrigation

\*通訊作者，逢甲大學水利工程與資源保育學系助理教授，40724 台中市西屯區文華路 100 號，hcsu@fcu.edu.tw

and daily life, and meantime urbanization decreases infiltration. Over pumping groundwater causes serious land subsidence, seawater intrusion, and soil salinization along the southwestern coast of Taiwan. Continuously land subsidence caused elevation along the most serious land subsidence regions below the sea; and frequently flooded. Moreover, seawater intrusion damages the soil then difficult to plant. Nevertheless, FAO reports warned serious food and freshwater shortage will be a threat due to climate change. Taiwan is an island, how to keep the production of farmland and socio-economics is an important issue for the coasts along serious land subsidence area. Besides eco-tourism, this study proposes salt tolerance plants as new ecological agriculture towns. Finally this study demonstrates the feasibility of gathering flood as water resources for controlling sea intrusion and vegetating salt tolerance plants at Yunlin County.

**Keywords:** Land subsidence, Soil salinisation, Global warming, Ecological agriculture.

## 一、前言

自民國六十年起，由於農作物收入欠佳，爲了提昇經濟產業而推動沿海漁塭養殖，惟民國七十年之後因超抽地下水使地層下陷問題日益浮現，其中又以台灣西南沿海區域最爲嚴重，至民國九十年，全國已有下陷面積超過 1100 平方公里，加上流域上游區域高度開發、氣候暖化使海水爲上升的結果，更使得下游沿海低地區更是雪上加霜。地層下陷問題，長久以來一直深深影響著台灣沿海地區土地資源之利用規劃、民衆的生計及生活、以及地區景觀與文化發展，因應這樣的情況，經濟部與農委會於民國八十四年及九十二年通過實施第一期及第二期地層下陷防治執行方案，在第二期方案中規劃有「健全推動組織與協調機制」、「落實地層下陷區土地防護管理」、「依據區位條件合理發展產業」、「推動區域水資源調配與管理」、「加速消滅洪澇災害損失」、及「持續教育宣導與訓練」等防治對策。近年來由於環境保護智識的提升，以及天災頻仍造成淹水嚴重情況不斷發生，各級政府單位不得不嚴正面對的情況下，在透過管制措施及監測網的設置後，地層下陷情況已有減緩的趨勢，但在水資源調配、地下水有效補注、區域產業轉型等主要衝擊地層下陷原因尚未妥善解決前，仍無法有效降低或停止對地下水的依賴程度，依據經濟部公告之「嚴重地層下陷地區劃設作業規範」，

台灣目前之嚴重地層下區分佈如圖 1 所示，而這些鄉鎮多屬於台灣重要農業生產地區。

面臨全球暖化的衝擊下，海水位上升、雨量型態劇變、海水入侵導致土壤鹽化等問題層出不窮，土壤鹽化使得作物生產困難，海水位上升和雨量型態改變綜合效應使得洪患程度較以往嚴重，此外，台灣在加入 WTO 之後，養殖漁業面臨進口價格下降的壓力，使得區域產業經濟發展極度困難，致使沿海地層下陷區人口外移嚴重，依據水利署水利規劃試驗所(2006)「沿海低地排水區減洪措施與生態產業整合經營之研究」所進行之民衆訪談結果顯示，目前台灣沿海嚴重地層下陷區民衆多對經營養殖漁業信心程度降低，對於暴雨來臨必淹水更是無奈的接受現況。然而這些地區居民多數長期以農漁業爲生，若政府無法媒合產業有效轉型或進行土壤復育工作，僅是以遷村或補償來處理，則會引起因無法尋求新的生計而衍生更多的社會問題；至於洪患問題，若無法透過跨政府部門的合作來落實「國土復育策略方案暨行動計畫」之國土復育新思維(表 1)，則僅能不斷重修復堤防、防潮閘門和設置抽水站等工程，不但浪費政府經費，還徒勞無功。

由於世界農糧組織 FAO 已提出未來人類將面臨淡水資源與糧食缺乏的警告，因此鹽水種植於近幾年來在美國、突尼西亞、埃及、中國大陸等國家被試驗，以中國大陸之試驗成果爲例，山東萊州市濱海地區因爲海水入侵問題造成許多

表 1 國土保育新舊思維比較表

	舊思維	新思維
人與自然的關係	人定勝天	尊重及順應自然
政策考量	當前性	永續性
經濟發展	不考慮環境及生態資源成本	綠色經濟
資源利用	無限制開發利用	依環境特性，規範開發及保育措施
國土規劃	劃設保護區－開發 $\geq$ 保育	規劃環境敏感區－開發 $\leq$ 保育
區域環境管理	片斷式－各機關各自為政	整體性－自然區域考量
工程理念	重行硬式工程－「阻」、「擋」	軟性生態工法－「疏」、「導」
天然災害處理	強化工程－反復修設	還地於自然－管理重於治理

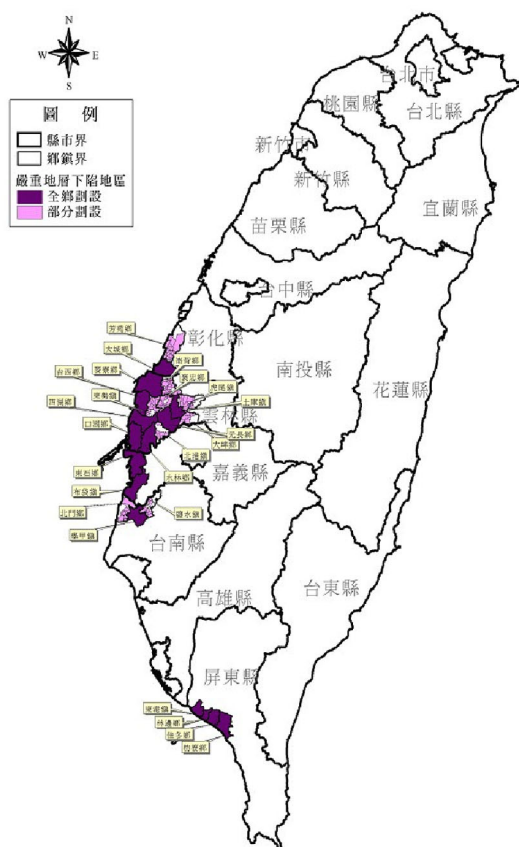


圖 1 嚴重地層下陷區分佈圖（經濟部水利署）

農地因土壤鹽化情形嚴重，後來經南京農業大學透過不斷試驗與培育成功以不同比例之海水灌溉培育了菊芋、油葵、魯梅克斯、冬小麥等植物及作物，建立了以鹹代淡的農業灌溉經營方式(趙可夫等，2006)。此外，2004 年的印度大海嘯事件使得沿海災區農田土壤鹽化嚴重，若要恢復農地生產力需要大量淡水持續淋洗，並估計需長達



(<http://www.fao.org/ag/magazine/0502sp2.htm>)

- A區：可以通過正常降雨或灌溉迅速得到改良和鹽分滲出，可以在不需要採取重要干預措施的情況下在短期內進行生產。
- B區：在改良土壤和恢復地表方面需要特殊處理的工作，農民需要種植耐鹽性作物並部分地進行多樣化生產。
- C區：屬於無法在下一個種植季節前完成土壤改良，短期內必需放棄其土地或幫助進行其他多樣化經濟活動的農民以獲得補償。

圖 2 世界農糧組織對於蘇門答臘鹽化土地進行土壤改良分區示意

數年方能恢復生產力，因此 FAO 便對已被海水污染而鹹化的土地，進行一土壤改良分區計畫(圖 2)，並建議在土壤復育過程中配合種植耐鹽性作物來維持糧食生產。台灣沿海嚴重地層下陷區長期淹水嚴重，許多廢棄土地已形成溼地生態環境，近年來許多國內專家學者與環境保護團體分別提出溼地生態保育軸（中央研究院，2001、2002）、濕地保護區等概念，在產業經濟上則輔以生態旅遊，本研究則建議可以對於文化資產、自然景觀和生態多樣性稍嫌不足區域，進行耐鹽性經濟作物/植物，除了可以進行土壤復育、阻止海水入侵外，還可以提供多樣化地產業經濟型態轉型。本研究擬以雲林縣口湖鄉以丞梧農場為中

心之區域為研究區域，期能在保存現有鹽澤型濕地成為多功能蓄洪池的策略下，進行兼顧環境復育、減輕水患與農業種植的整合型方案可能性評估。

## 二、沿海嚴重地層下陷區解決策略分析

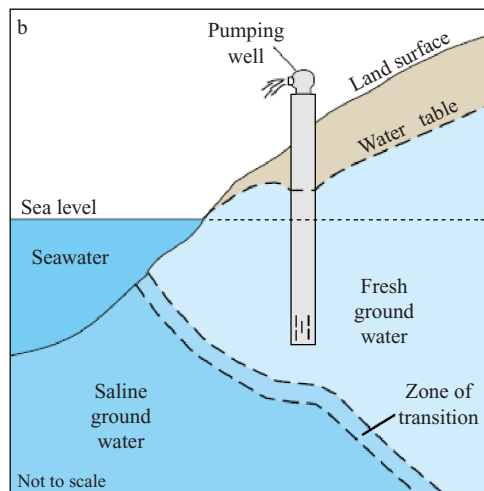
綜合前述，對於台灣西南沿海嚴重地層下陷區目前面臨的主要困境，本研究認為可以採用下列四個面向分別處理：

### 2.1 傳統農漁業面臨的問題與轉型

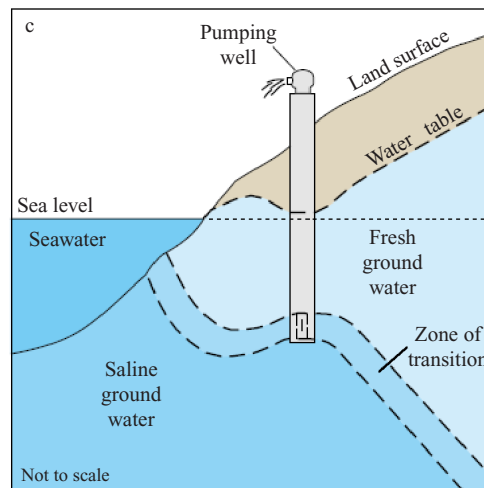
綜觀目前台灣嚴重地層下陷區之土地利用情形，多為養殖漁塢、釋出鹽田、農地等，除了因為地層下陷使得土地劣化、洪泛不斷外，在臺灣加入 WTO 後更是受到不小衝擊，沿海地區之漁業除了要面臨內部轉型及未來產銷體制的運作，更要面臨中國大陸漁業資源及外國漁產品進口的衝擊，原有海岸之養殖漁業與農業的生產規模勢必縮小，魚塢、農地休耕面積勢必增加，而鹽業、糖業公司的民營化，昔日鹽田及農耕地必須釋出，不僅農漁業用地的使用型態必須轉型，而且，農漁耕地原本尚有部分的生態功能，例如埤塘涵養水源，水田魚塢為水鳥覓食場所及一些水生動植物生存場所，也將受到減損。如此一來，更使得都市與鄉村之間的差距進一步的擴大，而必需面對西南沿海地區鄉村地區人口外流、產業空洞的現象。儘管因為地層下陷問題及農地釋出後，使得沿海地區提供不少自然溼地的形成，足以建構沿海生態旅遊的風貌，但是仍然必需面對沿海聚落的經濟問題和生產能力，提供不會危害環境與生態的產業轉型方案，目前政府仍將興建工業區、海埔新生地開發、電廠等視為沿海地層下陷區產業轉型的唯一途徑，而忽略目前全世界因著全球暖化問題而摩拳擦掌的綠色經濟，未來可以預期地將對台灣西海岸豐富自然環境帶來不可逆的環境迫害。

### 2.2 海水入侵所引起的土壤劣化問題

海水入侵通常為過度抽用地下水，地下水補注量不足，使得地下水位快速下降，導致海水向



Well pumping from an unconfined (water-table) aquifer--seawater intrusion not affecting salinity of pumped water.



Well pumping from an unconfined aquifer--seawater intrusion affecting salinity of pumped water.

圖 3 海水入侵示意圖(USGS)

地下含水層移動所形成(圖 3)，目前全世界許多沿海地區都已發生地層下陷和海水入侵問題。一般而言，海水入侵的防治措施有地下水補注量增加和地下水抽取量管制、構築地下帷幕攔阻、適應性生態改良等方式，前述所提及之海嘯區重建計畫便是屬於適應性生態改良法。而對於鹽化土地復育技術一般有三種途徑(鄧書麟等，2006)：(1)通過灌溉、施肥及施石灰等技術來進行土壤改良，但是在濱海鹽溼地運用此法則顯得較難以施行且成本非常昂貴，故不適於大面積之作業；

(2)藉由馴化的野生植物來栽植，但需注意植物特性，避免產生其他生態控制問題；(3)進行原生濱海植物的篩選與耐鹽性育種選拔來改善，再配合一些適當簡易但可行的土壤改良技術，提升成功可能性。

### 2.3 地層下陷區的建築可行方式

對於嚴重地層下陷所引起的沿海低地排水區來說，當地下水超抽時，所發生之沉陷稱為活性沉陷，然而當地下水之超抽現象停止，地下水水位已趨於穩定之後，地面之沉陷並不會立即停止，仍將持續一段時間，方能逐漸緩和而後停止，此時，所發生之沉陷稱為落後沉陷或殘餘沉陷。通常在活性沉陷停止之後，殘餘沉陷仍可能持續數十年之久，其時間之長短與土層中水之含量有關。然而，在嚴重地層下陷區之建築物和公共設施無法等到地層下陷完全停止才開始，目前在該區域的普遍現象是任其墊高，公共設施亦同，因此會看到建築物高低不齊的景象，目前荷蘭已設計出較新穎美觀的兩棲屋([http://www.waterstudio.nl/en/pub070901\\_leibzig.html](http://www.waterstudio.nl/en/pub070901_leibzig.html))，本研究對於台灣沿海地層下陷區建議至少能採用高腳式建築方式，除了可以延長建築物需要重建的時間，更可以提供建築物與地面間的空間來排出多餘之洪水量等等，無疑可以大幅降低災損，若選擇轉型為生態旅遊，更可以結合地方文化設計高腳屋外觀，來突顯其特色。

此外，本研究區內主要污染源為生活污水，即便研究區對於轉型方案選擇以生態旅遊方式經營，主要污染源仍是以生活廢污水為主，參考經濟部水利署水利規劃試驗所(2006)「沿海低地排水區減洪措施與生態產業整合經營之研究」所進行之估算，若考慮當地目前居住之人口數和生態旅遊遊客所產生的污水量，僅需規劃出 5~10 公頃左右的水質淨化型濕地，以自然淨化方式處理，便可進行排放或進行低水質要求的再利用(如公共洗滌、澆灌等)。

### 2.4 減洪策略的多元方案

目前全世界許多開發國家對於防洪的概念

已從過去的防洪工程導向流域整體管理的精神，對於台灣的沿海地層下陷區來說，由於其地表高程多已降至海平面以下，遠低於鄰近區域排水，且位於流域最末端。因此，不論是重複添增抽水設施和修築堤防，或是禁止地下水的取用，均屬於消極作為，本研究建議應接受這些區域實屬於洪泛潛勢區，將這些無法避免的洪水引導並蓄存，除可以做為前述土壤復育和海水入侵防治的淡水來源外，還可以進一步作為該區域的溼地維護或其他符合綠色經濟的產業經營的部份補充水源。

綜合前述，本研究對於沿海嚴重地層下陷區所形成的溼地該如何經營，是站在如何能夠形成由下而上的永續經營模式，首要便是透過地形調整引導洪水蓄存再利用，其次再考慮當地居民可以轉型經營的綠色產業，期能解決這些區域居民的切身問題。本研究對嚴重地層下陷區濕地化經營時可能造成的負向衝擊及因應策略，分析如圖 4 所示。圖 4 中最重要的理念，便是在如何將現有的劣勢轉換為環境改善和產業轉型的機會，並在產業轉型的同時，如何使得周遭環境不再面臨二度傷害。由該圖中可以瞭解，沿海嚴重地層下陷區的土地鹽化是造成土地無法生產的主因，因此紛紛將土地轉為養殖漁塢，而使得對於地下水的依賴無法轉變，地層下陷問題將無法停止，故徹底的解決方式便是進行產業轉型，此需要示範區內民衆共同參與方能成功，除了民衆普遍贊同的生態旅遊外，生態農業同樣並非不可行，而沿海區域風大則需要在栽種技術上克服，故需要開闢試驗區，由國內園藝或農業研究單位進行培植技術的試驗，進而對當地居民進行技術指導，只要生產類型得以區分得宜，便不至於面對紅海市場的低價廝殺，多數沿海低地區居民原以濃漁業為生，相信轉型需跨越的門檻並不會太高。再者，要使得土壤的鹽化問題獲得控制和改善，則需要有淡水資源不斷的淋洗，而淡水的持續入滲更可以有效阻擋海水入侵面，因此這些地區的逕流量便可以擔任此任務。

本研究將以雲林縣口湖鄉湖口溼地為示範案例，試算將其需要蓄洪之洪水體積再利用成為

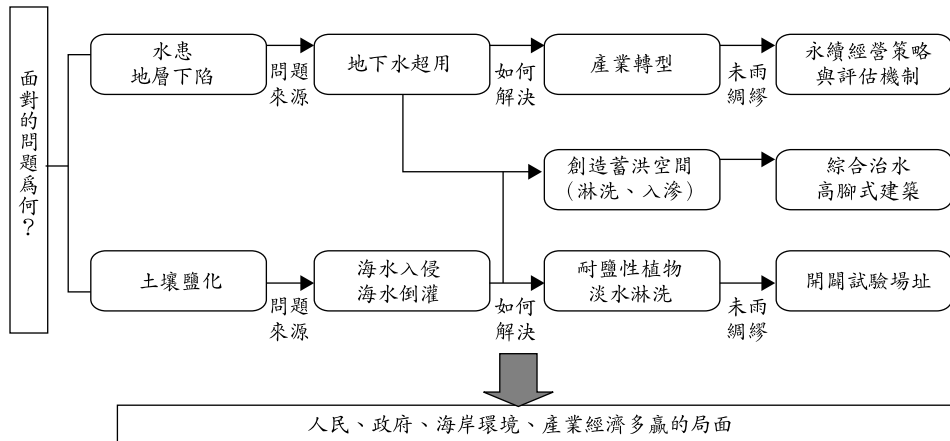


圖 4 沿海地層下陷區進行減洪、環境復育與生態產業轉型策略分析

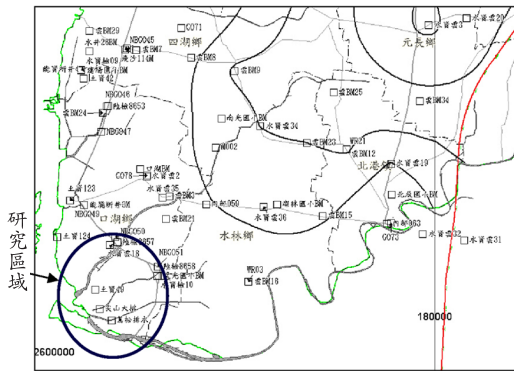


圖 5 研究區域民國 92-93 年平均下陷速率等值線圖 (經濟部水利署, 地層下陷資訊管理系統網站)

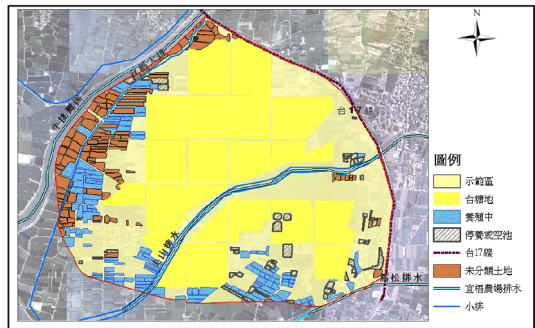


圖 6 研究區域內土地利用情形分佈圖

耐鹽性作物種植用水時, 估算所能種植的面積和產量, 提供評估此方案的可行性。

### 三、研究區域概述

雲林縣沿海地區為目前台灣地層下陷情形最為嚴重之區域之一(如圖 5 所示), 其中又以口湖鄉最為嚴重, 許多農地因土地鹽化後淪為荒地, 每逢豪雨便淹水許久, 其居住環境和產業經濟都面臨了急需改善的階段, 本研究所選取之研究區以雲林縣口湖鄉丞梧農場為主約 400 公頃範圍(如圖 6 所示)。研究區域位於台十七線以西, 牛挑灣溪以南至蔦松排水, 區域內主要為台糖丞梧農場, 依據水利規劃試驗所量測並繪製之 DTM 資料, 其地形高程等值線分布圖如圖 7

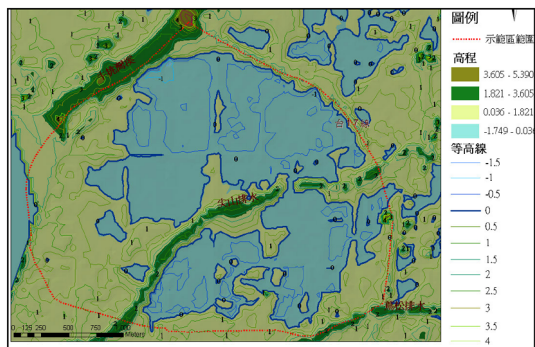


圖 7 研究區域之地形高程示意圖

所示, 由該圖可以發現研究區域內高程大多為 0 ~ -1.7 m, 其他地區則多為 1~2 m, 導致內水無法順利排出, 只能依賴抽水站抽水後排除, 目前在氣候變遷壓力下, 豪雨較過去更為集中, 使得平坦易淹水的研究區域水患更形嚴重, 豐水期時

許多地區幾乎保持為積水的狀態，尤其以湖口溼地及鄰近之成龍溼地為最，週遭的主要社區為成龍社區及湖口社區，排水路末端沿海區域則多為漁塢分佈。

依據水利署水利規劃試驗所(94, 95)「沿海低地排水區減洪措施與生態產業整合經營之研究」所進行之民眾訪談結果，當地民眾對於遷村多持保留態度，由於村民多倚賴農漁業，遷居後如何維生是一個難題，因此即便遇雨即淹仍不願搬離，當地民眾仍希望在自己的故鄉和土地上翻身，所以本研究所提出的藉由蓄洪再利用進行生態耐鹽性經濟植物種植方案，來減低當地洪水進而提升生態產業促進當地經濟的規劃構想，與當地的民眾意願是相當吻合的，但需要有相關的農業種植研究團隊加以協助方能事半功倍。

由於國內目前已有許多專家學者和民間團體對此類型區域提出劃設溼地保護區和生態旅遊的構想和實施方式(中央研究院，2001；經濟部水利署水利規劃試驗所，2006；陳宜清，2008)，本研究不再對該轉型方式加以討論，僅討論若能保持研究區域土地生產能力，可能之生產量為何？因此，本研究將在後文中對此研究區域所形成的溼地環境，依據前述想法進行地形和空間調整後，依據鹽水農業中關於耐鹽性作物產量估算公式來估算其可能產量。

#### 四、研究區域進行耐鹽性作物種植可能產量估算

本研究區域位於流域之最下游區域，且地勢低於鄰近排水路，每逢暴雨，便如同小型水庫一般，將本研究區域和上游的逕流量一併蓄接，倘若流域上中游區域的流域管理得當，逕流量能夠獲得較多的緩衝空間可以疏散洪水，則研究區域因為颱風的侵襲受到的洪患成度便可以降低。由此可知，本研究區域對於洪水治理的作法若仍然停在增加抽水設備和修補堤防等傳統工程上，則相對的全區的地表高程都需要進行全面墊高至少 1-2 米，更遑論目前研究區域的地層下陷情勢尚未停歇，因此本研究認為僅有與該逕流量建立共生的關係，才是能夠長期降低洪災損失和穩定



圖 8 研究區域空間規劃示意圖(水利署水利規劃試驗所，2006)

區域經濟的方式。

#### 4.1 可能蓄洪體積

本研究區周邊僅台糖叻梧農場約 300 公頃荒廢農地屬於同一土地權屬，其餘均為私人零散土地，因此可以將台糖叻梧農場規劃為蓄洪型濕地，假設台十七線上游區域之洪水量可以由其他減洪方式處理，僅將本研究區域內之可能洪水量引導至蓄洪型濕地內。參考水利署水利規劃試驗所(2006)「沿海低地排水區減洪措施與生態產業整合經營之研究」之空間規劃方案，如圖 8 所示意。

如前所述，本研究之目標為將區域內之洪水量蓄存後再利用，換言之，所蓄存之洪水體積將轉為生產用之水源，因此若不考慮上游流入之逕流量，則研究區域內之逕流量便成為最小水源量，即便不發展本研究建議之生態農業，亦可以成為培育濕地中水生植物的最佳水源，且可以進一步防制海水繼續入侵，使土壤慢慢恢復生產能力。本研究可以蓄存洪水量估算如下：

1. 僅作為蓄洪池使用：假設蓄水深度分別為 1 m 與 1.5 m，則 300 公頃可以蓄水體積分別為 300 萬  $m^3$  和 450 萬  $m^3$ 。但蓄洪池僅能進行周邊景觀環境營造，和台灣海岸自然景觀融合度較低。
2. 作為蓄洪型濕地使用：利用研究區已形成的濕地條件進行調整，參考水利署水利規劃試驗所(95)「沿海低地排水區減洪措施與生態產業整

表 2 研究區現況各重現期二日暴雨之最大淹水深度與體積統計表(水利署水利規劃試驗所，2005)

重現期	最大淹水深度(m)	淹水總體積(m <sup>3</sup> )
2 年	1.496	1,658,962
5 年	1.637	2,291,696
10 年	1.727	2,726,165
25 年	1.835	3,253,106
50 年	2.010	3,880,608
100 年	2.192	4,551,589

合經營之研究」之規劃，以圖 8 所示之蓄洪型濕地規劃方式，將研究區域的空間重新營造為一個湖島式環境（「湖」體部分在扣除最小操作水位後，其餘空間可以在颱風時視為一蓄洪體積），在扣除全年有水區域之最小維持水體積後，可蓄洪之總體積約為 290 萬 m<sup>3</sup>。

參考水利署水利規劃試驗所進行之「雲林南部沿海地區排水改善效果評估及因應對策檢討」和「沿海低地排水區域減洪措施與生態產業整合經營之研究」，研究區域內之二日暴雨不同重現期距下之淹水體積如表 2 所列。

#### 4.2 蓄洪水量提供作物生產量估算

如前所述，許多國家目前正積極研究海水農業的可能性，在技術生產上目前分為生物科技(基因改良)和農業技術(非基因改良)兩種，由於生物上的基因改良尚有許多爭議，本研究建議採用馴化的方式，而馴化通常需要該種植經濟植物已具有耐鹽性基因，許多農業上的經濟作物其實都屬於耐鹽性作物，其中以大麥是所有重要穀類中最耐鹽的，至於鹽度(ECe)則通常需要超過每一作物的耐鹽限制時方會影響產量。1989 年由美國亞利桑納大學所彙整的耐鹽性植物便有 1560 種，在中國大陸的研究中，截至 2002 年以發現有 502 種(趙可夫等，2005)，以台灣傲人的農業培育技術進駐沿海地層下陷區，除了可以快速培育不同種類的經濟植物外，可以協助當地原經營農漁業居民將土地恢復生產力。

由於本研究並不在討論種植方式，以下將以前述所估算之蓄洪水量，以現有文獻中所紀錄之

鹽化土壤種植產量估算方式，進行生產量估算，本研究選用需要水量最多的水稻進行估算，並說明如後。

##### 1. 正常種植下水稻可生產量

本研究採用世界農糧組織所發展的 FAO Penman-Monteith 公式(式 1)進行灌溉需水量估算，並採用國內甘俊二、陳清田等學者對於國內作物所研究歸納的作物修正係數、各灌區的平均農業氣候參數等，若不考慮灌溉損失，則雲林灌區在一期作時每種植 1 公頃水稻平均需要水量為 19,534 m<sup>3</sup>，以前述方案中最小蓄洪體積 290 萬 m<sup>3</sup> 水量，則可以灌溉面積約 148 公頃。若以雲林縣府於民國 96 年所公告之資料(雲林縣 95 年稻米一期作種植面積 28,371 公頃，產量 182,085 公噸，每公頃約可生產 6.4 公噸)，則可以生產約 947.2 公噸。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \dots (1)$$

其中，R<sub>n</sub> 表示在作物表面之淨輻射量【MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>】；G 為土壤熱通量密度【MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>】；T 是在 2 公尺高之日平均溫度【°C】；u<sub>2</sub> 為兩公尺高之風速【m s<sup>-1</sup>】；e<sub>a</sub> 與 e<sub>s</sub> 分別是實際與飽和狀態之蒸氣壓力；Δ 表示蒸氣壓力曲線之斜率【kPa °C<sup>-1</sup>】；γ 則是溼度常數【kPa °C<sup>-1</sup>】。

##### 2. 鹽化環境下水稻可生產量

目前台南區農業改良場已成功改良台糖公司鹽分地甘蔗生產和北門鄉西瓜田等案例，依據該改良所所試驗歸納之不同電導度與減產百分率關係(表 3)，若以減產 50% 估算，則可以生產量約為 473 公噸。以農委會所公告的統計資料，台灣於 2006 年每人平均稻米需求量為 48.4 公斤，則該產量可供應台灣地區約 9772 人一年的稻米需求。若以行政院農糧署所公佈之 2008 年平均充種稻穀價格每公斤 20.04 元計算(行政院農糧署網站)，可以幫助收入約 947 萬元。

由於水稻為需要水量最多的作物，若分散種植類型，例如：花卉、自然醫學需要之原料植物、養生餐所需要之中醫植物等，則可以建立更多元化的市場，且以本研究中的可蓄洪體積，可供給



表 3 減產百分率與電導度關係(謝元德，2005)

作物別	減產 10%之電導度(dSm <sup>-1</sup> )	減產 25%之電導度(dSm <sup>-1</sup> )	減產 50%之電導度(dSm <sup>-1</sup> )
燕麥	12	11	18
小麥	7	10	14
大豆	5.5	7	9
水稻	5	6	8
玉米	5	6	7
菠菜	5.5	7	8
蘆筍	5	7	8
番茄	4	6.5	8
田菁	4	5.5	9
甘蔗	3	5	8
馬鈴薯	2.5	4	6
甜玉米	2.5	4	6
甘藷	2.5	3	6
萵苣	2	3	5
洋蔥	2	3.5	4
芹菜	2	2.5	3
胡蘿蔔	1.5	2.5	4

長的面積更大。一篇由陳世雄、謝瑞裕(2007)撰寫的文章中分析，台灣每年進口中藥材超過 5 萬公噸，其中 70%是在平時用餐時吃掉的，根據衛生署的調查指出，許多市售來自中國的藥材中，農藥、二氧化硫及重金屬的含量常常超過標準值甚多，特別是常含有違禁農藥，因此若能由國內來生產和品質管控，相信可以作為目前預防醫學中原料供應的重要市場，預期可以創造相當可觀的收益。

## 五、結論與建議

1. 台灣沿海嚴重地層下陷區半數以上地表高程已降低至海平面以下，且遠低於鄰近排水路，導致內水無法順利排出，加上流域上游之逕流和海水倒灌問題，使得研究區域內土地價值降低和洪患不斷，在長期颱風後的淹水不退下，許多閒置不用土地已形成溼地化生態環境。儘管政府歷年來不斷努力於地層下陷區的排水及閘門改善、監測系統的建立、地下水井的管制策略等，但總歸是治標不治本，當地居民在無力轉業的情形下，儘管產值降低，卻仍維持著原有的養殖模式，或期待財團進駐開發，不

論開發內容可以提供多少就業機會或帶來其他更多污染。因此，政府有必要在考慮維護現有海岸線完整下，提供當地居民除了工業區或遊樂場外，其他可以延續當地居民本身技能且對環境有益處之綠色經濟產業。

2. 由於水稻是人類主要糧食種類之一，雖然目前台灣全年生產量可以供應全年需求量，但未來在全球暖化壓力下，倘若如同 FAO 所預估的將爆發糧食危機，則在無法進口、農地又面臨劣化或轉為建地混凝土化後無法生產，則台灣將面臨生存的危機。而台灣沿海地層下陷區居民多以農漁業為主要技能，更是國內農業生產主要地區，如何能在目前尚未面臨急迫性時，以生態的方式，利用該地區無法避免的洪水量進行土壤復育的工作，因為唯有保留住土地的生產力，方能應付在需要生產的時候提供產地。而台灣目前水資源吃緊，若能將此不可避免的蓄洪量轉為生產用的水源，則可以在不增加水資源供應壓力下持續生產。
3. 依據本研究區之現況和可以蓄洪體積量，若提供為需要水量較多的水稻生產，則在高鹽度的情況下，即使較正常情況下減產一半計算，在

不考慮灌溉損失時，該蓄水量提供之生產能力約為一期作 473 公噸，可滿足國內每年超過 9000 人的稻米需求量。若分散提供為其他耐鹽性經濟植物灌溉水源，只要經營策略和生產種類分配得當，相信可以提供當地的區域經濟來源，使得當地居民願意維護該蓄洪型濕地，亦可大幅降低政府不斷重複投入的防洪工程和水患救災及賠償經費。

4. 考慮到本研究區域內大多數土地所有權屬為台糖公司，台糖公司近年來將農業技術進一步發展為生技產業，並有相當豐碩的成績，因此建議可以結合台糖之農業種植和生物科技技術，發展半鹽水種植方式之觀賞植物、經濟作物和中草藥植物等。並將此種植技術移轉與當地居民，使能夠進行產業轉型和改善經濟。
5. 由於鹽地種植較一般土壤的種植方式難度高，但目前農業改良場已有相當的經驗，建議政府應主動鏈結相關單位共同進行，提昇種植成功率。

## 六、致 謝

本研究感謝經濟部水利署水利規劃試驗所和國家科學委員會提供研究經費。

## 七、參考文獻

1. Baker, S., 2000, "Between the Devil and the Deep Blue Sea : International Obligations, Eastern Enlargement and the Promotion of Sustainable Development in the European Union", *J. of Environmental Policy & Planning*, 2, pp.149-166.
2. Carolyn, B. S. and S. W. Sprecher, 2000, "Wetlands Management Handbook", Engineer Research and Development Center.
3. Ceballos-Lascurain, H., 1996, "Tourism, Ecotourism and Protected Areas", Gland, Switzerland: IUCN.
4. Davis, Jon and Gordon Claridge, 1993, "Wetland Benefits: The Potential for Wetlands to Support and Maintain Development. Published by Asian Wetland Bureau (AWB)", International Waterfowl and Wetlands Research Bureau (IWRB) and Wetlands for the Americas (WA).
5. FAO, <http://www.fao.org/ag/magazine/0502sp2.htm>
6. Hayes, D. F., T. J. Olin, J. C. Fischenich and M. R. Palermo, 2000, "Wetlands Engineering Handbook", Engineer Research and Development Center.
7. Klopatek, J. M. and R. H. Gardner, 2000, "Ecological Analysis : Issues and Applications", *Landscape and Urban Planning*, 49, pp.83-92.
8. Mitsch, W. J., S. E. Jørgensen, 2004, "Ecological Engineering and Ecosystem Restoration", John Wiley & Sons.
9. Sutherland, W. J., 1996, "Ecological Census techniques". Cambridge University Press.
10. Turner, R. K., Jeroen C.J.M van den Bergh, Roy Brouwer, 2003, "Managing Wetlands".
11. USGS, 2000, "Is Seawater Intrusion Affecting Ground Water on Lopez Island, Washington?".
12. USEPA Manual, 2000, "Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters".
13. USEPA, 2002, "Method for Evaluating Wetland Condition-#1 Introduction to Wetland Biological Assessment".
14. Waterstudio, <http://www.waterstudio.nl/?lang=en> (荷蘭兩棲屋設計公司網站)
15. 王明光譯，2000，「環境土壤化學」，五南出版社
16. 中央研究院動物研究所，2001，「台灣西海岸濕地生態保育軸經營管理之規劃」，農委會 90 保育基金。
17. 中央研究院動物研究所，2002，「台灣西海岸濕地生態保育軸/園區經營與管理」。
18. 行政院公共工程委員會，2005，「建立人工濕地設置與操作作業程序及技術手冊」。
19. 行政院農業委員會網站，[http://www.coa.gov.tw/show\\_index.php](http://www.coa.gov.tw/show_index.php)
20. 行政院農委會農糧署，2008.8.21 農業新聞，[http://www.afa.gov.tw/pda/pda\\_agriculture\\_ne](http://www.afa.gov.tw/pda/pda_agriculture_ne)

ws\_look.asp?NewsID=848

21. 陳永松，2003，「新綠色海水農業」，科學農業，51，pp.213-219。
22. 陳世雄、謝瑞裕，2007.10，「板藍根與中草藥的好農業」，行政院國家科學委員會科普知識網。
23. 陳宜清，2008，「探討生態旅遊對溼地環境衝擊因子之權重」，第一屆海峽兩岸人工濕地研討會，2008年6月，中國·武漢中國科學院水生生物研究所。
24. 章盛傑、邱文雅譯，1998，濕地。(原著：William J. Mitsch & James G. Gosselink)
25. 經濟部水利署，地層下陷防治資訊 <http://www.water.tku.edu.tw/sub91/subgov03.aspx>
26. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2005，「雲林南部沿海地區排水改善效果評估及因應對策檢討」。
27. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2006，「沿海低地排水區減洪措施與生態產業整合經營之研究（雲林沿海地區）」。
28. 趙可夫、范海，2006，「鹽生植物及其對鹽漬生境的適應生理」，中國，科學出版社
29. 鄧書麟、呂福原、沈勇強、潘昱光，2006，「台灣濱海鹽溼地造林技術與適生樹種調查」，台灣林業植樹月專輯
30. 謝元德，2005，「農田地力增進措施」，台南農業改良場技術專刊，No.132

收稿日期：民國 97 年 8 月 22 日

修正日期：民國 97 年 9 月 10 日

接受日期：民國 97 年 9 月 16 日