

土壤－水分－水稻田特性區分 關渡自然公園之緩衝區

Using Soil-Water-Rice Indicators for Assessing Buffer Zone of Kuan-Du National Conservation Park

臺灣大學農業工程學系教授

臺灣大學農業工程學系碩士

張文亮

邱文雅

Wen-lian Chang

Wen-ya Chiu

摘 要

55 公頃的關渡自然公園位於台北市的近郊，其周邊的農田土地成爲都市發展與自然保育的敏感區域。爲了保護關渡自然公園環境，需要在其周邊劃分出緩衝區域以保留其濕地環境的完整性。本研究以土壤－水分－水稻生長爲觀點，在現場進行採樣分析，再以群集統計法區分出關渡水稻田可分爲潮汐影響鹽害區，水稻生長良好區與排水不良的擬濕地區。排水不良的擬濕地區與目前的關渡自然公園保護區完全相連，以土壤之特性與其灌排水路之配置，排水不良的擬濕地區爲關渡自然公園的最佳緩衝區。

關鍵詞：濕地，緩衝區，群聚分析。

ABSTRACT

The 55-ha Kuan-Du National Conservation Park is located in eastern Taipei, and it is surrounded by paddy rice area. Whether to use this paddy rice area for city development or natural buffer zone has become an urgent issue recently. To protect wildlife habitat, it is required to establish a transition zone between city and conservation boundary. The purpose of this paper is to establish a buffer zone around the Kuan-Du Conservation National Park. Soil, water and rice quality in investigated area were measured and analyzed by cluster analysis. Results show the transition zone can be classified as tiding area, well-growth area, and poor drainage area. Salinity stress in rice is found in the tiding area. Poor drainage area show soil water close to saturation state and lower quality and quantity of rice yield. Since soil, water and rice growth inside of Kuan-Du

National Conservation Park is very similar to the poor drainage area statistically. Therefore, the spatial locations of poor drainage area may be recognized as a buffer zone for Kuan-Du National Conservation Park.

Keywords: Wetlands, Buffer zone, Cluster analysis.

一、前言

「濕地緩衝區」(buffer zone)不是一種天然形成的地域或是地理空間，而是一種人為劃分的區域，目的在降低外界對保護區內之濕地棲地的不利影響，如果破壞濕地的影響因子愈大，緩衝區的面積就需要愈大；反之，如果濕地周圍是一大片的天然森林或是被草原所圍繞，緩衝區的設置幾乎可以被忽略。此外，濕地的經濟價值愈大，其緩衝區的面積也愈大，這時緩衝區的功能在於維護濕地的永續經營以及棲地特性的長期維護。因此從保護區設立的觀點來看，濕地的周邊必須設有緩衝區，並且隨著濕地的管理，緩衝地帶的使命必須受到設制，並同時具有行政的效力。

由於緩衝區在發展上受到限制，位於台北市人口密集區的關渡濕地，其緩衝區的設定就成為極具敏感性的議題。尤其緩衝區的面積與空間分佈都是人為的劃設，這就更成為實際執行上的困難。而且大多數愛護濕地鳥類、生物活動的人將注意力集中在濕地上時，濕地邊緣的緩衝地似乎就較不顯其吸引人的特性，經常被忽視，而面積縮小，功能被改變，保護濕地的機制被改變。因此突顯濕地緩衝區的重要性，與具有客觀性的緩衝區區域訂定，乃是保護濕地的必要管理措施。

二、濕地緩衝區劃分的原則

濕地緩衝區的劃分在近代的研究上有四種不同的分法。第一種劃分的方法是根據濕地周邊水文與水質的特性去劃分，主要在濕地的周圍設置「植生帶狀緩衝區」(vegetable buffer strip)，以過濾改善進入濕地的水質，減低進入濕地的懸浮性顆粒(Vought et al., 1994; Coyne et al.,

1995)，避免濕地的水質劣化造成濕地陸域化。植生帶狀緩衝區的觀念主要是利用植生草地增加土壤表面的粗糙度，以淨化濕地周邊的非點源污染。植生帶狀緩衝區的面積以濕地周邊的水質、土壤的滲漏特性、土地坡度、植生密度與生長狀況等因子決定。

第二種濕地緩衝區的劃分是根據濕、乾地的區分。這種劃分法大多是在洪水平原上的濕地，經常受到河川水位變化而有不同的淹水期。洪水平原上的植物對於淹水反應的差異成為區分緩衝帶的方法(Eilers et al., 1998; Bolm et al., 1996; Shipley et al., 1991)。在水分不造成生理逆境的區域中，指標性水生植物得以生長，該區域視為濕地；但在有生理逆境(stress physiology)的分佈空間即為緩衝帶，水生植物能夠忍受半乾半濕的區域。而水生植物在其生理機制完全無法忍受的區域則是屬於乾地，即為緩衝區以外的區域。這樣的劃分與區域土壤含水量的多寡有關，也與水生植物的選定有關。

第三種濕地緩衝區的劃分是以鳥類對於棲地的要求加以分類，在棲地的選擇上需要比濕地面積更大的要求，鳥類只部分時間使用濕地，其他的時間還是會飛到濕地外的周遭覓食，所以要有緩衝區作為鳥類生態功能的需要。這需要指標性鳥類在區域性的空間分佈去作判斷。

第四種濕地緩衝區的劃分是依行政的區域道路、河流、堤防、學校、社區、市場等現有藩籬，地主的所有權等經濟因子去劃分。

這四種不同的緩衝區劃分，因為考慮的觀點有水質與水量，植物群落、鳥類棲地、行政管理與經濟考量所評估的因子也都不同，所以設計出來的緩衝區也將不同。但這種不同可作為濕地保護決策者一個整合性規劃的參考，濕地最理想的永續性經營是將這四種緩衝區在面積與空間分

佈上通通整合在一起。惟劃分這四種緩衝區所需要的因子很多，除非已有大量的資料檔齊備，否則很難作這四方面的緩衝區劃分。

即使近代在濕地緩衝區的劃分上有這些理論，但是實際運用到濕地緩衝區的劃分上，仍然有相當的困難度。主要的理由是濕地與緩衝區是一個複雜的開放性空間，有太多影響因子，因此需要用到多變量的因子去判斷(Sharma, 1996)。本研究的目的是以多變量的方法，提供緩衝區劃分的原則，並以台北市關渡濕地的緩衝區作分析與探討。

三、調查地區

台北市的關渡濕地位在經度 121°28'，緯度 25°07' 之處。濕地面積約有 55 公頃，該濕地由於位於基隆河河口，屬感潮河段，部分水進入濕地後，濕地有三分之二的面積為鹽份地，主要生長的是耐鹽性的水生植物。潮水進入濕地的管道有二處，一處在鄰接基隆河的閘門，一處在濕地北方的中港河，經由濕地內的渠道進入，由於關渡濕地早期是基隆河畔農田，因著台北盆地地層下陷後，才成為不適種植作物的區域(張文亮等人, 1996)。故該地區仍然留有農地灌溉與排水的渠道，早期灌溉的渠道大多有混凝土的內面工，排水的渠道大多是土堤。

由於潮水的進入與農作的廢耕，鳥類就逐漸以此處為其棲地。根據台北市野鳥學會在民國 87 年的調查資料顯示，在該區域的鳥種約有 110 種，隻數約有 18510 隻，這裡成為台北市近郊一塊大眾賞鳥的區域，台北市政府於民國 85 年以 150 億元所編列的預算收購這 55 公頃的地區，定名為關渡自然公園(地靈國際顧問公司, 1996)。

關渡自然公園只是關渡濕地的一小部分。關渡濕地的外圍仍有 400~600 公頃的農田位於大屯山溪流的沖積平原，這些溪流包括在關渡自然公園北邊的貴子坑溪、水磨坑溪及粗坑溪；在關渡自然公園以東的有磺溪與雙溪。這些溪流流經北投與士林區後，承接了該區的市區排水與零星的工業廢水後，在沖積平原匯入基隆河。這塊沖積平原雖然發展成台北市市區的一部分，但是仍有

部分維持農作。這些農作主要以水稻為主，其餘零星地區種植蔬菜、蓮藕等。這些農業區雖然處於多雨的地區，平均年降雨量在 2915mm，但是仍有乾濕季之分，所以區域內供水水路四佈，有八仙圳、滄雅圳、三角埔圳、鐵路腳圳、大埔腳圳、水磨坑溪等，這些水圳大都有百年的歷史，是台北市初期開發時所留下的，現在雖然灌溉區域變小，但是仍然不斷供水給關渡自然公園外圍的農田。

關渡自然公園外圍的這一塊農地，由於在自然地理疆界上處於自然公園與台北市密集的住宅區之間，無形中成為地理上的緩衝區。但是在一個人口密集發展的城市，天然的地理緩衝區卻不見得會成為都市計劃設計下的緩衝區。需要在學理上給予濕地緩衝區意見，以供市政府未來在關渡濕地管理上作為規劃的參考。

關渡自然公園周圍的水路皆有都市污水流入，但若從其周圍土地作為作為水質淨化緩衝區的觀點來看，此行是不切實際的。因為污水會隨著水路在其中移動，並沒有經過土壤與植物淨化的機制，而且大都市的污水量難以用這般昂貴的土地去做水質淨化之用。目前濕地呈現鹽化(邱文雅和張文亮, 2000)與陸域化現象。

依據現場的觀察，鳥類有時在周圍的農地上出現，但是關渡自然公園外圍的鳥類調查資料仍然缺乏，目前無法以鳥類的長期調查資料進行緩衝區的判斷。緩衝區劃設的經濟分析也缺乏所需的調查資料。

故本研究以現場採樣分析作為緩衝區劃分的依據。關渡自然公園內的東邊仍有三分之一的土地(約 17 公頃)為水稻田，故以水稻田區的土壤-水文-作物的因子與周圍田區的土壤、水文及作物特性進行類似性分析，以其多變數特性的相似性作為緩衝區劃設的探討。

四、分析理論

群集分析(Cluster Analysis)是一種理論，去了解多變量變數之間的關係，並藉著多變數相類似的特性，將變數分為幾個已知的群集數(Johnson and Wichern, 1982)。群落分析也常用在

濕地研究上的生物分類(Magee et al., 1999; Jensen et al., 1999), 濕地土壤分類(Freeland et al., 1999), 與水生植物分類(Brush et al., 1998), 也用來作濕地緩衝區的區分(Eilers et al., 1998)。

在多項變數(X_1, X_2, \dots, X_m)中, 以歐氏距離平方決定點間距離, 則點 $a_i = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{mi})$ 與點 $a_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$ 的歐氏距離為

$$d_{ij}^2 = (X_{1i} - X_{1j})^2 + (X_{2i} - X_{2j})^2 + \dots + (X_{mi} - X_{mj})^2 \dots\dots\dots(1)$$

再依華德法(Ward's method)(Sharma, 1996)的分群原理考慮群集間的距離, 區分樣本的群集。

A 、 B 二群距離是以群集 A 的中心點 $\bar{X}_A = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m)_A$ 到二群合併中心點 \bar{X}_{AB} 的歐氏距離乘以 A 群的點數 n_A , 與群集 B 的中心點平均值 $\bar{X}_B = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m)_B$ 到二群合併中心點 \bar{X}_{AB} 的歐氏距離乘以 B 群的點數 n_B 之和, 即

$$\bar{X}_{AB} = \frac{n_A}{n_A + n_B} \bar{X}_A + \frac{n_B}{n_A + n_B} \bar{X}_B \dots\dots\dots(2)$$

$$d_{AB} = n_A (\bar{X}_A - \bar{X}_{AB}) + n_B (\bar{X}_B - \bar{X}_{AB}) \quad (3)$$

使多變數的樣本達到具有最小總平方差的值, 由電腦反覆的運算, 而本研究所使用的電腦計算軟體為 STATISTICA 4.5 版(StatSoft, Inc. 1993)。

五、試驗與分析

在關渡自然公園內的農田採集土壤與水稻6點, 其編號為甲、乙、丙、丁、戊、己。在關渡自然公園的東側農田內採集樣本23點, 其編號為A2、B1、B2、F1、F2、G1、G2、M1、M2、N1、O2、P1、P2、Q2、R1、R2、S1、S2、T1、T2、U1、U2、V2, 採樣位置如圖1所示。採樣的時間在1999年11月採取的水稻為二期作產量, 皆在七星農田水利會八仙圳的灌溉區域內。

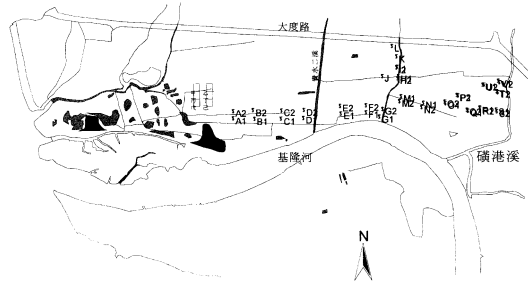


圖1 關渡地區水稻田土壤與稻作採樣圖

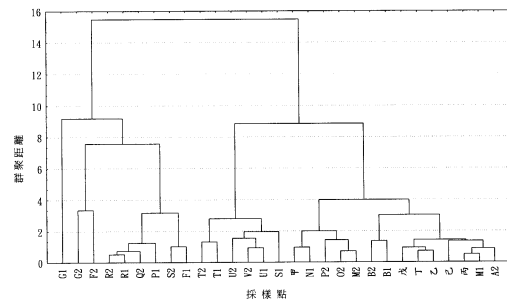


圖2 華德法群集分析各採樣點相似之枝狀圖

採樣時, 先以不銹鋼環採取表土, 密封後攜回實驗室稱重, 並在105°C烘箱中烘乾, 稱其重量以計算土壤含水量。再將土壤烘乾至500°C, 冷卻後稱重以計算土壤有機質的量。另外於每一個採樣點採1~2公斤的土壤, 攜回實驗室後, 置於溫室內風乾、過篩。之後並以比重計測定土壤黏粒、粉粒與砂粒重量百分比, 以定體積稱重法測定土壤假比重, 並以土壤飽和抽出液測定其電導度。另外將水稻採回實驗室後, 自水稻植株上取下穀粒, 乾燥後稻重, 並換算為千粒重。

六、結果與討論

實驗分析的結果, 以土壤質地、鹽類、含水量與水稻千粒重等變數如表1所示。經過群集分析的運算將各採樣點之相似性以圖2示之。若以華德法的群集距離將29個採樣點分為三族群集。三族群集各變數的平均值如下表2示之。三個群集在關渡水稻田區的空間分佈以圖3示之。

由表2所示, 群集I的樣品數只有一點, 是屬於關渡水稻田區的一個極端值, 其特點是土壤

表 1 群組分析各變數之平均值

土樣編號	含水量 (%)	假比重 (g/cm ³)	有機質 (%)	砂粒重量比 (%)	粉粒重量比 (%)	黏粒重量比 (%)	土壤飽和抽出液電導度 (μs/cm)	千粒重 (g)
G1	43.9	1.21	5.5	14	38	48	13240	19.6
平均值	43.9	1.2	5.5	14.0	38.0	48.0	13240	19.6
G2	31.4	1.42	7.2	37	33	30	7560	27.1
F1	71.2	0.86	8.5	32	38	30	1210	24.8
F2	20.2	1.42	8.0	48	24	28	660	24.7
P1	54.7	1.03	7.0	23	37	40	650	20.7
Q2	49.0	1.00	8.0	27	33	40	1150	26.3
R1	39.4	1.05	7.6	27	36	37	770	27.7
R2	43.5	1.08	8.2	29	33	38	810	21.3
S2	56.6	0.91	8.2	30	36	34	920	24.6
平均值	45.8	1.1	7.9	31.6	33.8	34.6	1700	24.6
A2	75.3	0.84	10.6	17	42	41	1840	24.9
B1	90.7	0.74	9.4	16	47	37	1040	7.4
B2	87.0	0.49	10.2	15	43	42	1320	20.1
M1	59.6	0.84	10.2	16	45	39	1420	16.1
M2	55.2	0.85	8.1	17	42	41	1060	16.6
N1	65.2	0.75	8.7	21	42	34	700	24.7
O2	63.4	0.90	8.2	20	41	39	1050	23.5
P2	56.8	0.73	7.7	25	36	39	1970	26.0
S1	56.5	0.89	9.1	16	35	49	1310	23.2
T1	45.7	1.01	10.5	24	34	42	1210	41.7
T2	60.1	0.83	11.8	27	28	45	1420	29.7
U1	44.9	0.97	11.7	20	29	51	910	26.8
U2	61.0	0.73	13.1	19	32	49	1320	21.5
V2	59.3	0.89	11.1	19	29	52	950	11.8
甲	62.1	0.89	11.5	16	45	39	1220	24.2
乙	66.9	0.87	9.9	18	47	35	590	16.3
丙	65.4	0.88	10.9	20	41	39	840	18.6
丁	68.1	0.81	10.0	16	46	38	1660	24.9
戊	71.6	0.73	11.9	16	47	37	2270	19.9
己	49.8	0.94	10.7	18	45	37	540	21.0
平均值	57.5	0.8	9.3	17.1	36.2	37.5	1100	19.9

表 2 關渡地區三個群集的變數平均值

群集	樣品數	含水量 (%)	假比重 (g/cm ³)	有機質 (%)	砂粒重量比 (%)	粉粒重量比 (%)	黏粒重量比 (%)	土壤飽和抽出液電導度 (μs/cm)	千粒重 (g)
I	1	43.9	1.2	5.5	14.0	38.0	48.0	13200	19.6
II	8	45.8	1.1	7.9	31.6	33.8	34.6	1700	24.6
III	20	57.5	0.8	9.3	17.1	36.2	37.5	1100	19.9

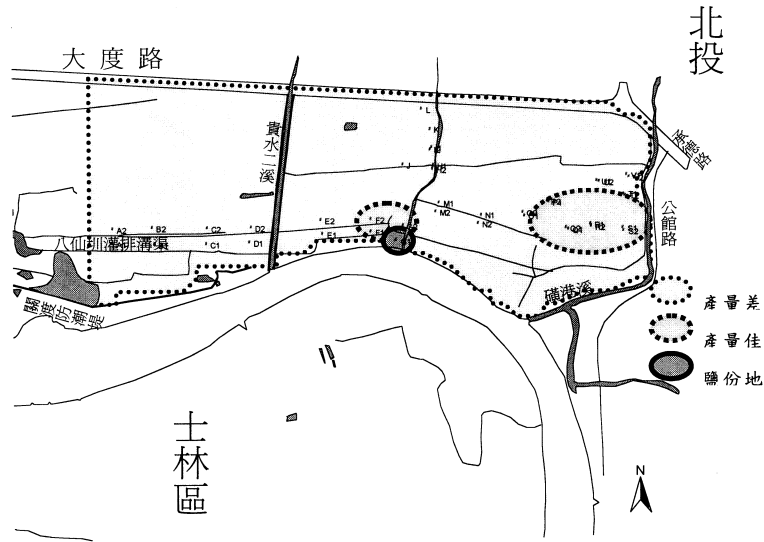


圖 3 三群集在水稻田區的空間分佈圖

含水量較低，土壤有機質較其它點低，土壤含砂粒量最低，含黏粒量較高，土壤飽和抽出液的電導度(鹽份)較其它二個群集高，水稻粒重為最低。可以認為只是關渡水稻田區最受「鹽害」的地區。該採樣點的位置位於基隆河的北側，攔潮閘門邊，該處是關渡水稻田區最受鹽害的地方。根據現場的觀測，受鹽害的原因是漲潮時部分潮水進入這攔潮閘，進入關渡水稻田的渠道內，而造成該處水稻田發生鹽害。不過潮汐水進入關渡水稻田後受七星水利會八仙圳灌溉水的稀釋影響，鹽害的影響就較低。該區土壤屬於黏土，黏粒量 48%，粉粒量 38%，砂粒量 14%。

群集 II 水稻田區是關渡水稻田區，水稻產量最佳的地區。其水稻千粒重為 24.6g，這區的平均含水量為 45.8%，土壤有機質 7.9%，土壤屬於黏質壤土，其樣品數為 8(如表 2 所示)，故這群集可視為關渡水稻田區「作物生長良好」的地區。這個群集的分佈地區，在圖 3 所示是集中在水稻田區的二個局部區域，一個是在關渡水稻平原的東側，磺港溪兩側的平原，其灌溉水源來自八仙圳的灌溉系統。另一是在貴水二溪的東側，鄰近堤防邊防汛道路的局部農田。這二處是關渡平原稻作生長最佳的地方。

在現場的採樣調查發現，關渡水稻田區的灌

溉排水系統並沒有明顯區分，八仙圳的灌溉系統在水稻田區並沒有送水到每一田區坵塊，主要的原因是早期的灌溉系統是依重力的方式，將地勢較高的水渠引向該處灌溉，而關渡水稻田區的地勢平坦，所以八仙圳圳道附近田區的水稻生長如本研究調查所示，是產量最高的地區，稻作的品質也佳，這是屬於關渡平原東側的水稻，但是緊鄰這些生長良好的水稻田區，就因為沒有排水的設施，自然承接圳區的排水，但是自身的排水宣洩不良，才在雨季時易呈積水地區。水稻的生育期間，固定適應土壤飽和水分。但是在結穗期間，土壤的含水量需要降低以利稻作結穗，關渡水稻田區，尤其是在北側的大片水稻田，因為缺乏排水，水稻大部分減產。另外，貴水二溪以西的水稻田區，直到關渡自然公園內的水稻田區都是屬於排水不良的水稻產區。這些排水不良的水稻田區在群集分析以後，都劃分到屬於「排水不良」的群集 III。

群集 III 的特徵土壤平均含水量高達 57.5%，土壤有機質高達 9.5%，土壤的粉質黏土，土壤平均鹽份 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，水稻千粒重 19.9g，是屬於關渡水稻田內主要的土壤特徵。其土壤假比重低至 0.8 g/cm^3 ，

這表示這裡的土壤在水分濕潤的情況下會

產生體積膨脹的現象，進而減低土壤水分的入滲能力。增加地表水量的滯流，所以群集 III 的土壤容易積水。目前雖為水稻田，但也可視為最近似濕地的土地。

由群集 II 的分佈可知，關渡自然公園內水稻田的土壤、水分、水稻生長的狀況判斷與自然公園外圍大部分的關渡水稻田區是連續性的，並沒有因著行政的區域劃分自然公園保護區，就在關渡平原上出現截然不同土壤－水分－作物反應。因此由現地調查分析土壤－水分－作物的三個區域「鹽害群集」、「作物生長良好群集」與「擬濕地－排水不良群集」其主要的特徵仍決定在土壤特徵的不同：依 I、II、III 群集為黏土、黏質壤土與粉質黏土；與決定在八仙圳的灌溉系統。後者可能仍可以因著土地利用的變更而更動，前者就很難更動了，因此在關渡自然公園內緩衝區劃分，依自然條件可將關渡公園外圍「擬濕地－排水不良群集」劃分為保護濕地的緩衝區。

七、結論與建議

以土壤－水分－作物的特性為觀點，以其跟自然濕地保護區的相似性去區分濕地的緩衝區。依此觀點可以在一個連續性的地區，設置關渡自然公園保護區外，在其東邊的水稻田面積約有 70% 需要劃入緩衝區，23% 可作為植物理想的栽種區，其餘 7% 的鹽害區土壤可作土壤淋洗改良或作其他景觀設施之工程，以利台北市平原上最後一塊農田的使用。

惟本研究純粹以水稻田為調查對象，對於關渡自然公園北方的土地尚未進行調查，而目前關渡農田上的廢土區也未列入調查對象，對於已經改為旱作、蔬菜、蓮花種植也未分析比較其產量特性，本研究只是對關渡濕地與其周遭水稻田土壤-水分-與水稻產量進行分析，由外圍水稻田與濕地區域的相似性，定義出濕地的緩衝區，惟分析變數中的土壤水分、土壤鹽份與水稻產量會隨不同耕種時間與管理制度而改變，因此緩衝區依土壤-水分-水稻產量來區分，仍有其彈性的空間，至於如何有一固定性的緩衝區訂定，將有待

未來進一步的研究。

誌謝

本研究的進行蒙台北市政府「關渡自然保留區與自然公園生物資源變遷之研究」計畫的經費補助與台北市七星農田水利會協助方得進行，台灣大學農業工程學系(所)的學生王慧萍、陳彥文、廖啟男、黃永寧、黃欣惠、陳依萍參與現場採樣與分析，在此致上謝意。

參考文獻

1. 台北市野鳥學會、地靈國際工程顧問公司，1996。關渡自然公園計畫檢討修正及環境分析一期末報告。台北市政府。
2. 張文亮、唐瑞霖、陳慈徽、邱文雅，1996。以水文及水質觀點評估關渡水田濕地之生態規畫。農業工程學會研討會論文集。333-341 頁。
3. 邱文雅、張文亮，2000。由水平衡特性評估關渡自然公園水量管理。中國農業工程學報。Vol. 46. No. 2. p. 24-34。
4. Bolm, C. W. P. M., H. M. van de Steeg, and L. A. C. J. Voeselek. 1996. Adaptive mechanisms of plants occurring in wetland gradients. *Wetland* p. 91-112. CRC Press, Inc. USA.
5. Brusck, D. E., W. E. Loftus, and O. L. Bass, Jr. 1998. Long-term Hydrological effects on marsh plant community structures in the southern everglades. *Wetland*. Vol. 18. No. 2. p. 230-241.
6. Coyne, M. S., R. A. Gilfillen, R. W. Rhodes, and R. L. Blevins, 1995. Soil and fecal coliform trapping by grass filter strips during simulated rain. *Journal of soil and Water Conservation*. Vol. 5 p. 405-408.
7. Eliers, H. P., A. Taylor, and W. Sanville. 1998. Vegetative delineation of coastal salt marsh boundaries. *Environmental Management*. Vol. 7 No. 3 p. 443-452.
8. Freeland, J. A., J. L. Richardson, and L. A. Foss.

1999. Soil indicators of agricultural impacts on northern prairie wetlands: cottonwood lake research area, North Dakota, USA. *Wetland*. Vol. 19 No. 1. p. 56-64.
9. Jensen, J. E., S. R. Cooper, and C. J. Richardson. 1999. Calibration of modern pollen along a nutrient gradient in everglades water conservation area-2A. *Wetlands*. Vol. 19 No. 3 p. 675-688.
10. Johnson, R. A., and D. W. Wichern. 1982. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice-Hall Inc. USA.
11. Magee, T. K., T. L. Ernst, M. E. Kentula, and K. A. Dwire, 1999. Floristic comparison of freshwater wetlands in an urbanizing environment. *Wetlands*, Vol. 19 No. 3 p. 517-534.
12. Sharma, S., 1996. *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
13. Shipley, B., P. A. Keddy, and L. P. Lefkovich. 1991. Mechanisms producing plant zonation along a water depth gradient : a comparison with the exposure gradient. *Canadian Journal of Botany*. Vol. 69 p.1420-1424.
14. STATISTICA. 1993. version 4.5. StatSoft, Inc. U.S.A.
15. Vought, L., J. Dahl, C. Pedersen, and J. Laucoursiere, 1994. Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio*. Vol. 23. p. 342-348.

收稿日期：民國 89 年 11 月 10 日
修正日期：民國 89 年 12 月 12 日
接受日期：民國 90 年 2 月 1 日