

高雄都會公園土壤環境監測

張簡水紋¹、陳守泓²、王敏昭^{1,3}

(收稿日期：2005 年 10 月 31 日；接受日期：2006 年 3 月 22 日)

摘 要

高雄都會公園為一自垃圾掩埋飽和後再規劃利用之大型綠地公園。由於園區基地是由垃圾掩埋飽和後經覆土闢建而成，為瞭解本公園基地覆土層之土壤環境品質，以及土壤環境對植栽安全與生長之影響，故監測調查本園區之土壤環境。因此，於園區闢建後至民國 93 年逐年針對一、二期園區之土壤重金屬及水體採樣調查，以及一期園區風險評估所需參數之初步探討與測定。

九十三年度所採集十五個位址之土壤重金屬含量，經分析結果發現重金屬含量均未超過食用作物農地之監測基準值。園區之地下水質分析，顯示水質之重金屬濃度均甚低，且低於地下水污染之第一類管制標準值，但是水質之導電度均高於 750 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 之灌溉水質限值標準，且在椰林西側、南側及二期掩埋場南側水質之硝酸鹽氮含量高於地下水污染之第一類管制標準值。於一期園區基地測得之土壤重金屬含量以及地表水分蒸發潛勢參數模擬之結果，指出園區土壤環境若適逢降雨時期，可能會使地勢較低區域土壤之重金屬或可溶性鹽類增加；若於夏季時期高溫且日射量大，易導致土壤水分蒸發量大，使土壤溶液中之鹽類聚集於表土，對植物之生長造成影響。

關鍵詞：土壤重金屬，監測基準值，可溶性鹽類，土壤水分蒸發

一、前 言

高雄都會公園為一自垃圾掩埋後再規劃利用之大型綠地公園，係內政部營建署依據『台灣地區都會區域休閒設施發展方案』及『高雄都會公園發展計畫』於北高雄成立之南部生活圈區域性森林生態公園。自成立以來，整體環境有顯著變化，園方於已開放使用的第一期約 35 公頃園區及未開放的 60 公頃二期園區，分別大批栽植各種植物，兩區之植物經園方八年來之培育，

-
1. 朝陽科技大學環境工程與管理系。
 2. 行政院農業委員會農業試驗所。
 3. 通訊作者。

目前大都生長適應良好，相關衍生的生態也愈趨複雜多變。高雄都會公園園區基地為垃圾掩埋飽和後經覆土闢建而成，園區管理單位之進一步規劃利用。由於回填土壤以及掩埋於其下之垃圾層特性將會影響植物的生長，因此為瞭解本公園之土壤環境對植栽安全與生長之影響，故監測調查園區內土壤重金屬含量及水分移動之境況。

土壤環境參數之調查分析，並不像其他環境參數之調查，在以每一年為時間間隔尺度之情況下已足夠。因為在自然情況下，土壤環境參數不會有很大之改變，所以在高雄都會公園之土壤重金屬含量及相關環境參數之調查，是園區闢建後逐年調查，因此比較 93 年度與 92 年度一些可能影響園區植物生長之土壤環境參數。於民國 93 年度針對高雄都會公園一、二期園區之土壤重金屬及水體採樣調查，以及一期園區風險評估所需參數之初步探討與測定。以提供園方整體經營管理、環境教育及遊客解說之參考外，更提供管理單位未來經營管理之依據。

二、材料與方法

1. 土壤採集及分析方法：

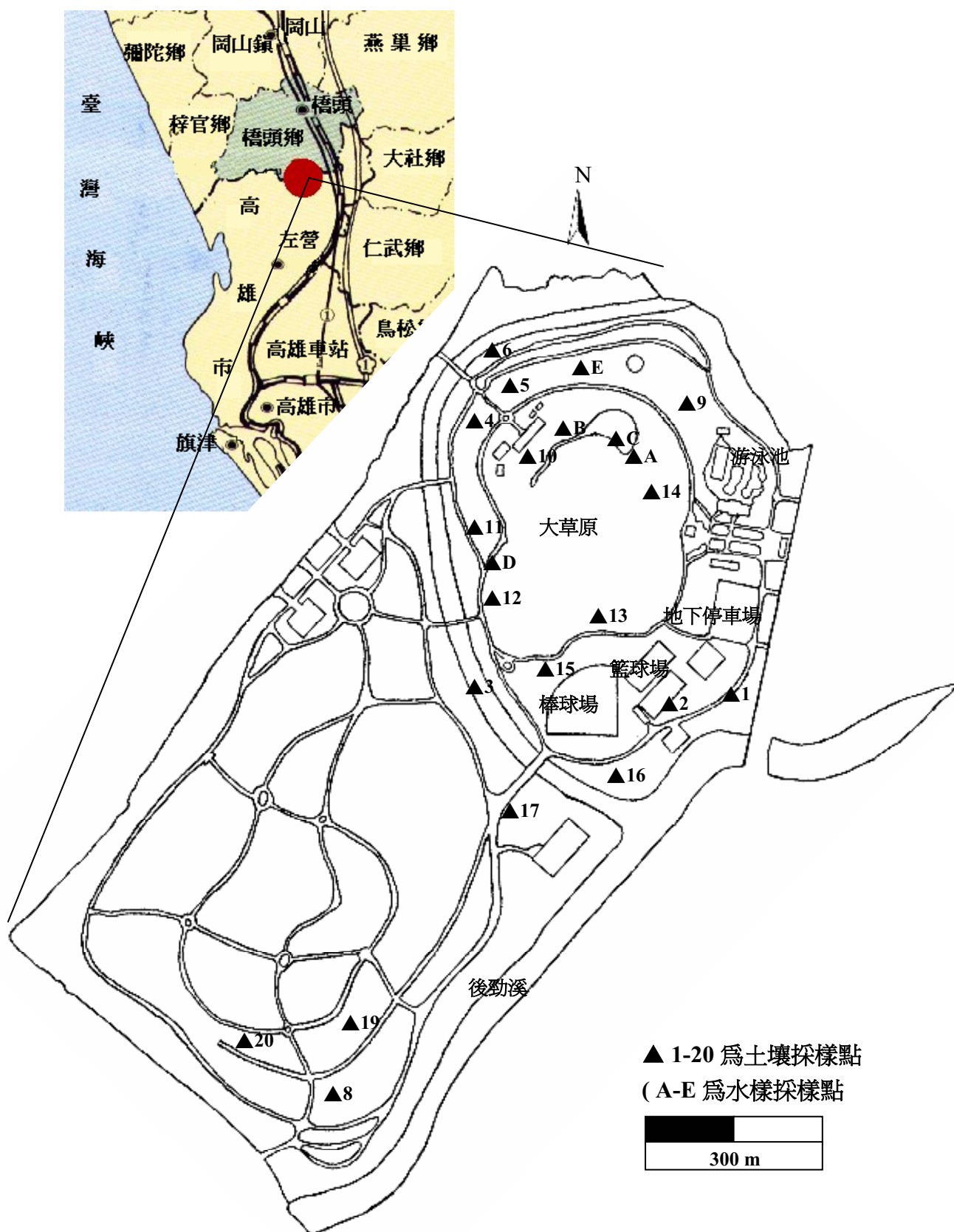
依據九十二年高雄都會公園長期環境監測，土壤檢測分析結果(王敏昭等，2003；圖一(a))，選取一期園區重金屬含量較高之五個採樣位址，以及於二期園區選取十個位址，採集區域內十五個位址之土樣(圖一(b))，採樣相對位址於表一，於採樣位址分成表層土壤(0-20 cm)及底層土壤(20-50 cm)共 40 個樣品。土壤樣品經風乾磨碎通過 0.84 mm 之篩目後儲存備用。土壤之分析方法，依據環保署公佈之土壤檢測方法(行政院環境保護署環境檢驗所，2003a)，Cd、Cr、Cu、Ni、Pb 及 Zn 分析王水消化全量(NIEA S321.63B)。所有採樣及分析均執行品保品管工作。

(1) 採樣器材

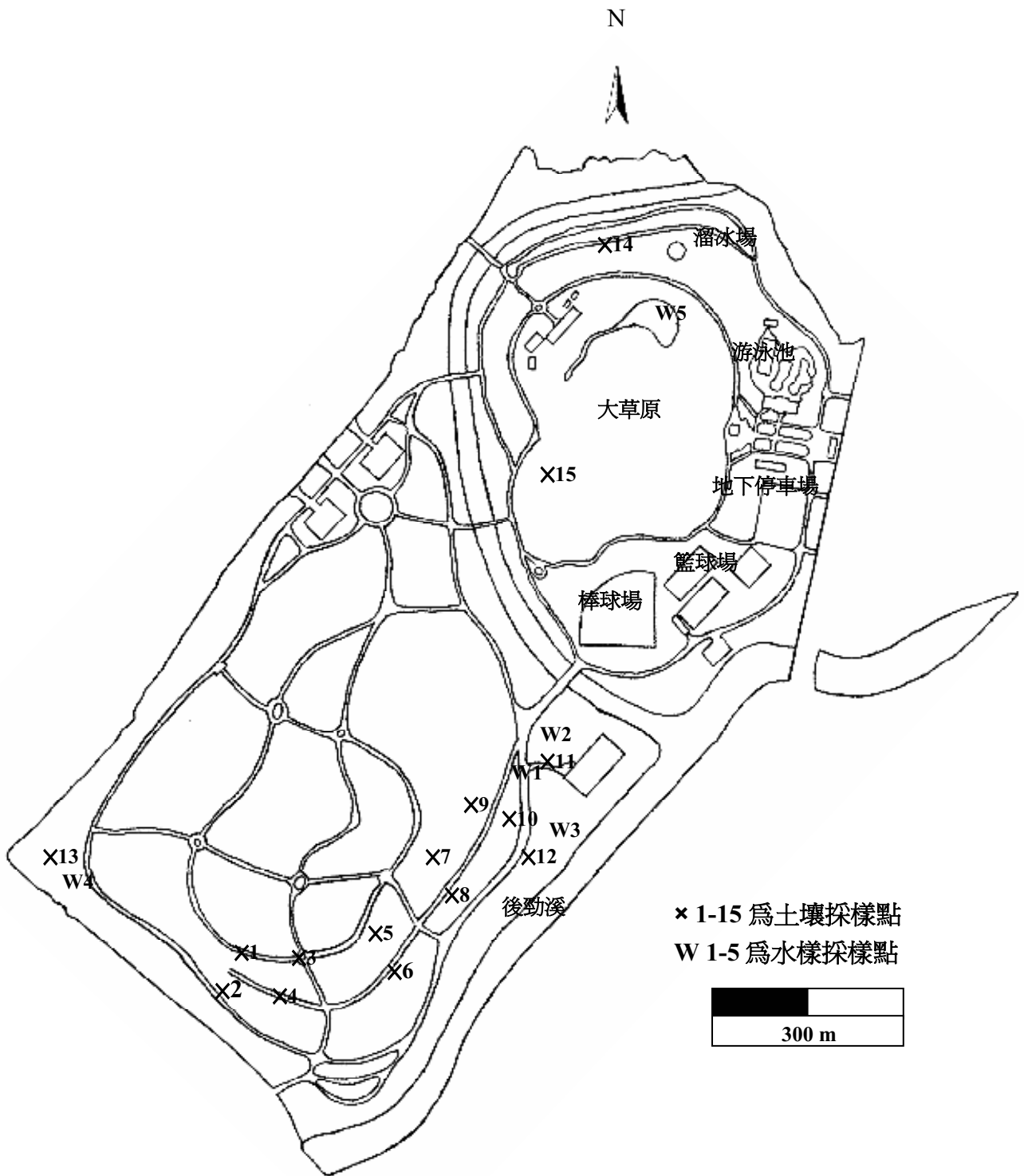
由於本計畫採樣深度較淺(0~50 cm)，因此所使用之設備亦較輕便簡單，但採樣器材至少包含有犁刀式土壤採樣器(適合重金屬採樣用)、小鏟子(分取樣品用)、刷子(除污用)、捲尺(量測調查區域面積)、指南針(調查區域方位)、比例尺五千分之一之像片基本圖、標竿(標示調查區域範圍)、數位相機(現場採樣存證及報告用)、衛星定位儀(GPS 12XL, GARMIN，精確度 ± 2.0 m)、樣品袋(混合或儲存樣品)、現場採樣紀錄表(紀錄採樣日期、採樣人員、樣品編號等等)及試劑水(採樣設備除污用)。

(2) 土壤採樣方法

每一調查區域實際範圍實地標示後，在原則為距中心點5公尺範圍內，進行四角與中心點計5個採樣佈點之採樣與混成一組樣品。每個採樣點先以小鏟子清除地表之石礫及植被等雜物，再以犁刀式土壤採樣器垂直向下採取表層土壤(0~20 cm)及底層土壤(20~50 cm)之等量土壤各約500 g，5個採樣點之表層土壤或底層土壤分別充分混合，各取約2.0 kg之土壤樣品裝入編妥號碼之塑膠袋內，攜回實驗室，做進一步之處理及分析。



圖一. 土壤重金屬與水樣採樣位址示意圖(a)九十一年與九十二年度。



圖一(續). 土壤重金屬與水樣採樣位址示意圖(b)九十三年度。

2. 水樣之檢驗項目、方法及採樣方法：

水樣之採集位址，請見表一之敘述及圖一，水樣之檢驗項目包括導電度(Electrical conductivity; EC)、總有機碳、氯鹽、硫酸鹽、硝酸鹽氮、磷酸鹽、pH 值、六種重金屬(Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn)。檢驗方法係依照行政院環境保護署環境檢驗所公告之方法(2000a,b, 2003b, 2004a,b)。

表一. 高雄都會公園土壤與水樣重金屬調查採樣點位址定位與其相關環境描述

編號	採 樣 位 址				相關環境描述
	座 標		經 緯 度		
	麥氏 mE	mN	E	N	
1	178527	2514819	120° 18. 2515	22° 43. 9261	二期掩埋場(請參見圖一 b)
2	178512	2514811	120° 18. 2428	22° 43. 9218	二期掩埋場(請參見圖一 b)
3	178547	2514684	120° 18. 2636	22° 43. 8530	二期掩埋場(請參見圖一 b)
4	178524	2514684	120° 18. 2502	22° 43. 8530	二期掩埋場(請參見圖一 b)
5	178769	2514654	120° 18. 3933	22° 43. 8373	二期掩埋場(請參見圖一 b)
6	178787	2514673	120° 18. 4038	22° 43. 8477	二期掩埋場(請參見圖一 b)
7	178871	2514707	120° 18. 4528	22° 43. 8663	二期掩埋場(請參見圖一 b)
8	178879	2514689	120° 18. 4575	22° 43. 8566	二期掩埋場(請參見圖一 b)
9	179020	2514715	120° 14. 4513	22° 43. 8525	二期掩埋場(請參見圖一 b)
10	179021	2514696	120° 18. 5404	22° 43. 8607	二期掩埋場(請參見圖一 b)
11	179156	2514653	120° 18. 6194	22° 43. 8378	二期掩埋場入口處西側椰林下
12	179110	2514639	120° 18. 5926	22° 43. 8301	二期掩埋場南側擋土牆旁
13	178419	2514934	120° 18. 7471	22° 43. 7663	育苗場
14	179809	2515201	120° 18. 9993	22° 44. 1363	餐飲中心東北方步道旁
15	179479	2514964	120° 18. 8072	22° 44. 0071	大草原西側旗杆旁
W1	179160	2514660	120° 18. 6217	22° 43. 8416	椰林西側地下水
W2	179162	2514665	120° 18. 6229	22° 43. 8443	椰林南側地下水
W3	179113	2514638	120° 18. 5943	22° 43. 8295	二期掩埋場南側地下水
W4	178373	2514921	120° 18. 7465	22° 43. 7668	育苗場地下水
W5	179809	2515005	120° 18. 9998	22° 44. 0301	景觀池地下水

3. 地表水分蒸發潛勢參數模擬：

模擬土壤水分三維運動所使用的電腦軟體為 ACR 公司 (Analytic & Computational Research, Inc.) 出版的 PORFLOWTM Version 2.50 應用軟體，此軟體可以提供三維多孔性介質中的動態水分及溶質流動境況模擬。所使用的水分流動控制方程式 (governing equation) 為 Richards 方程式：

$$\partial\theta/\partial t = \nabla[-D_w(\theta) \nabla\theta - K(\theta)] \quad (1)$$

式中 $D_w(\theta) = K(\theta) dh/d\theta$ ，又稱為土壤水分擴散函數(soil water diffusivity function)。水分特性曲線和不飽和導水度則分別以下列二式估算 (van Genuchten, 1980)：

$$\theta(h) = [1 + \alpha(-h)^N]^{-M} \quad (2)$$

$$K(\theta) = K_s \theta^{1/2} [1 - (1 - \theta^{1/M})^M]^2 \quad (3)$$

式(3)中 K_s 為飽和導水度，而式(2)及式(3)中 $M = 1 - 1/N$ ，參數 N 與 α 則皆為經驗常數，依據所使用之土壤性質而異。模擬參數中各種質地土壤的 van Genuchten 參數係參照 Brady 與 Weil (1999) 對土壤性質之描述而設定。

三、結果與討論

(一) 園區土壤重金屬含量

九十三年度所採集十五個採樣位址之土壤重金屬含量示如表二。由表二知，位於二期園區的十個新採樣點 (採樣位址 1~10，圖一(b)) 之重金屬含量均未達食用作物農地之監測基準值。

另外採樣位址 11~15 為九十二年度調查重金屬鎘含量較高之位址(圖一(a)與(b))，而今年調查結果發現重金屬鎘含量均未超過食用作物農地之監測基準值，其原因可能為九十三年度採樣位址與九十二年度採樣位址有距離之些微差異，或是部分重金屬被植物根吸收或淋洗至深層土壤層及垃圾層，使 93 年度重金屬濃度較 92 年低。再者每個樣品為五個副樣品之混成樣品，分析結果可代表一定範圍之土壤重金屬含量境況，研究結果指出一、二期園區土壤重金屬含量均未超過食用作物農地之監測基準值，因此對於園區內植栽無危害之虞，或間接影響遊客健康。

(二) 地下水及景觀池之水質檢測

九十三年度針對高雄都會公園所採集四個位址之地下水及景觀池水之水質檢測，如果是以下地下水污染之第一類及第二類管制標準值為考量時，則檢測得地下水之水質只有 NO_3^- -N 高於地下水污染第一類管制標準值，其餘均未超過地下水污染之管制標準值 (表三)。另外，景觀池水樣之 pH 值稍高些 (8.15)。其餘四個採樣位址之地下水的 EC 值均高於 $750 \mu\text{S cm}^{-1}$ 之灌溉水水質限值標準 (行政院農業委員會，中華民國九十二年十一月七日農林字第○九二○○三一五二四號)，尤其是椰林西側地下水、二期南側地下水及育苗場地下水之 EC 值甚且高於 3.0 mS cm^{-1} (表三)，顯示其含頗高之可溶性鹽含量。相對應者，此三個位址水樣之 Cl^- 含量亦頗高，且高於灌溉水質之限值標準 (175 mg L^{-1}) 甚多 (行政院農業委員會，中華民國九十二年十一月七日農林字第○九二○○三一五二四號)。以含鹽量過高之地下水澆灌苗木時，可能導致根系滲透壓太大而影響苗木之生長。再者，如以地下水污染第一類管制標準值考量時，則椰林西側與南側之地下水，以及二期南側地下水之 NO_3^- -N 含量，高於 10 mg L^{-1} 之限值標準。四個地下水樣之採樣位置，分佈於二期區之周緣，顯見此區之地下水質之可溶性鹽類含量頗高。

景觀池(W5)水樣水質較其他四個採樣位址(W1、W2、W3、W4)地下水水樣水質優良(表三)，其是因為位於一期園區之景觀池水是自來水源，而其他四個採樣位址是採集二期園區之地下水(圖一)，其水質仍受掩埋垃圾層之影響。

表二. 高雄都會公園十五個採樣位址之土壤重金屬含量^a(採樣日期:93年5月25日)

採樣位址 ^b	鎘	鉻	銅	鎳	鉛	鋅
管制值(食用作物管制值)	20 (5)	250	400 (200)	200	2000 (500)	2000 (600)
監測值(食用作物監測值)	10 (2.5)	175	220 (120)	130	1000 (300)	1000 (260)
1	0.32	21.3	11.3	23.9	26.9	87.4
	0.32	21.1	9.75	23.7	25.1	74.9
2	0.39	22.8	14.3	24.2	31.0	85.0
	0.32	22.5	13.5	24.0	29.5	81.3
3	0.36	27.1	13.8	25.4	29.4	90.8
	0.38	27.1	17.2	25.9	36.5	99.3
4	0.37	28.4	14.4	25.1	30.5	90.6
	0.38	38.9	17.4	23.8	29.0	89.0
5	0.43	28.3	17.9	29.5	37.0	204
	0.52	31.9	26.7	28.1	84.1	125
6	0.38	25.8	15.0	27.8	32.6	90.4
	0.38	26.4	15.8	27.4	33.2	90.5
7	0.41	25.5	15.6	26.8	42.5	95.2
	0.36	27.9	12.4	26.1	27.7	92.2
8	0.38	23.2	15.2	25.0	31.2	96.7
	0.38	25.6	16.5	26.9	31.3	91.7
9	0.42	39.4	19.8	35.1	38.1	68.3
	0.43	38.2	18.0	31.0	34.0	92.0
10	0.36	24.4	13.8	25.4	29.2	98.6
	0.38	23.6	11.7	26.9	27.9	89.3
11	0.37	29.0	13.8	24.5	27.2	89.3
	0.37	25.8	13.1	25.2	28.3	84.2
12	0.36	27.0	13.4	24.9	27.8	86.3
	0.41	27.2	22.4	24.9	46.9	99.5
13	0.40	28.0	19.7	26.9	35.9	91.3
	0.40	27.6	20.4	25.8	35.2	87.9
14	0.37	21.1	11.6	22.8	28.6	82.6
	0.48	30.6	22.6	31.4	42.4	100
15	0.36	20.5	11.9	23.8	28.3	80.5
	0.34	20.3	10.3	22.9	25.1	72.9

^a 每一種重金屬之每個數據組之第一個數據為 0-20 cm 深度之含量，每個數據組之第二個數據為 20-50 cm 深度之含量。

^b 見圖二與表三。

單位： mg kg^{-1}

表三. 高雄都會公園灌溉水之水質檢測 (採樣日期: 93 年 5 月 24 日)

樣品編號	pH ^d	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	銅	鋅	鎳	鉻	鎳	鉛	TOC
管制值 ^a												
第一類	N.A. ^b	N.A.	N.A.	10	N.A.	1	5	0.005	0.05	0.1	0.05	N.A.
第二類	N.A.	N.A.	N.A.	100	N.A.	10	50	0.050	0.50	1.0	0.50	N.A.
灌溉水水質限值		0.75										
椰林西側地下水-1(W1)	7.70	5.97	2856	21.6	8.85	N.D. ^c	0.030	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.20
椰林西側地下水-2	7.63	6.25	3167	14.8	4.00	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.14
椰林西側地下水-3	7.52	6.22	2942	29.4	5.70	N.D.	0.017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.11
椰林南側地下水-1(W2)	7.16	1.45	375	30.3	134	N.D.	0.022	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6.63
椰林南側地下水-2	6.97	1.47	288	24.9	114	N.D.	0.015	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7.21
椰林南側地下水-3	6.94	1.48	289	13.1	116	N.D.	0.012	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6.92
二期南側地下水-1(W3)	7.27	3.35	1368	25.0	7.65	N.D.	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.49
二期南側地下水-2	7.19	3.46	1424	29.0	15.8	N.D.	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.54
二期南側地下水-3	7.36	3.30	1358	26.0	10.5	N.D.	0.008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.69
育苗場地下水-1(W4)	7.44	5.78	2825	1.41	5.70	N.D.	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6.71
育苗場地下水-2	7.63	5.94	2969	N.D.	8.70	N.D.	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6.02
育苗場地下水-3	7.69	6.44	2955	8.92	4.30	N.D.	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6.25
景觀池-1(W5)	8.15	0.95	238	4.20	20.1	N.D.	0.011	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.28
景觀池-2	7.76	0.98	215	3.73	17.5	N.D.	0.014	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	1.03
景觀池-3	7.78	0.98	239	3.83	18.3	N.D.	0.063	N.D.	N.D.	N.D.	0.044	0.95

^a 地下水污染管制標準。

^b N.A.: 未有限值規定。

^c N.D.: 測值小於方法偵測極限(MDL); NO₃⁻-N、銅、鎳、鉻、鎳及鉛測值之 MDL 依次分別為 0.681、0.006、0.004、0.007、0.015 及 0.042 mg L⁻¹。

^d pH 無單位、EC 單位為 mS cm⁻¹, 其餘單位為 mg L。

(三) 地表水分蒸發潛勢環境風險評估

由第一期園區的高程測定資料(表四)所繪製的相對位置等高圖(圖二),可以發現此區最低點為大草原東側偏北處,而最高點則位於避雷針設置點前方的區域。高程的差異可能使土壤水分集中流向大草原區地勢較低的區域,且依據區內土柱採樣及土壤質地分析的結果(表五),雖然剖面深度 100 cm 範圍內填充的土壤多為壤質砂土的質地,但是全區土壤質地分布並不一致,仍於各深度位置中夾雜較細質地層,因此更有可能阻礙水分向下滲漏並增加橫向側流的機會。綜合上述之土壤剖面採樣資料,假設在地勢較低處有一土壤剖面中,粗細質地呈層狀分布的理想剖面,以模擬其二維土壤剖面水分變化情形,模擬的剖面深度及橫向長度分別為 150 cm 及 400 cm,並且於深度 50 cm 及 100 cm 分別設定包含數個較細質地夾層(L11、L12、L13、L21、L22),其中除 L12 夾層厚度為 5 cm 之外,其餘夾層厚度皆設定為 10 cm(圖三),相關質地的資料列於表五。由模擬得土壤水分特性曲線(圖四)顯示,當 pF 值(土壤吸持水分能值)為 1 時粗砂質地之剖面土壤水分的飽和度已降至約 70%,且隨著土壤水分勢能增加(pF 值增大)其土壤水分飽和度則快速減少,於 pF 2 時當土壤水分勢能增加(pF 值增大)其土壤水分飽和度呈緩慢減少;砂質地土壤當達到田間含水量時(約為 pF 2.5)才降至約 36%,此後隨水分勢能增加而緩慢減少。另外,模擬得粗質地剖面土壤的不飽和導水度變化較剖面中細質地夾層土壤為大(圖五),當水分勢能由 pF 1 降至 pF 2 時,導水度約減少 10^4 倍;相對地,較細質地的夾層土壤則僅有 0.004 倍的差異。在此水分特性曲線(圖四)及不飽和導水度(圖五)的條件狀態下,當剖面深度 100 cm 以下即出現地下水位或積水不易向下移除時,所模擬出來的土壤飽和度分布狀態及水流向如圖六(a),(b)及(c)所示,圖六-(b)顯示表土水分可以維持於 20%左右,但是經過第二層較細質地夾層之後,水分則明顯因向下移動的阻礙而增加至完全飽和狀態,同時水分有向上蒸發的趨勢(圖六-(c)),此土壤狀態若適逢降雨時期,可能提早使土壤孔隙中充滿水分而加速橫向流動,進而造成地勢較低區域土壤中重金屬或可溶性鹽類的增加。若園區植物經常處於此等土壤水分境況下,則易增加植物根對土壤重金屬或可溶性鹽類吸收,因而影響植物之生長。晴天時,表土較不易有積水的現象,所以假設此時深度 150 cm 以下的邊界條件為開放的狀態,亦即使水分產生向下流動現象,模擬結果除了於第二層較細質地處可能造成局部較高含水量的薄層外,其餘在 120 cm 剖面深度範圍內的土壤水分飽和度呈現最大,約僅有 40%的較乾燥情形(圖七-(b)),但是可能由於剖面質地較粗之故,土壤水分仍有向上移動的趨勢(圖七-(c)),尤其此時環境的氣溫高、日射量大,更容易提高蒸發散量,而使少數鹽類聚集於表土,對園區栽種之淺根植物則易造成植物根部滲透壓大,使植物根缺水而影響生長。

表四. 高雄都會公園一期園區水平儀量測點

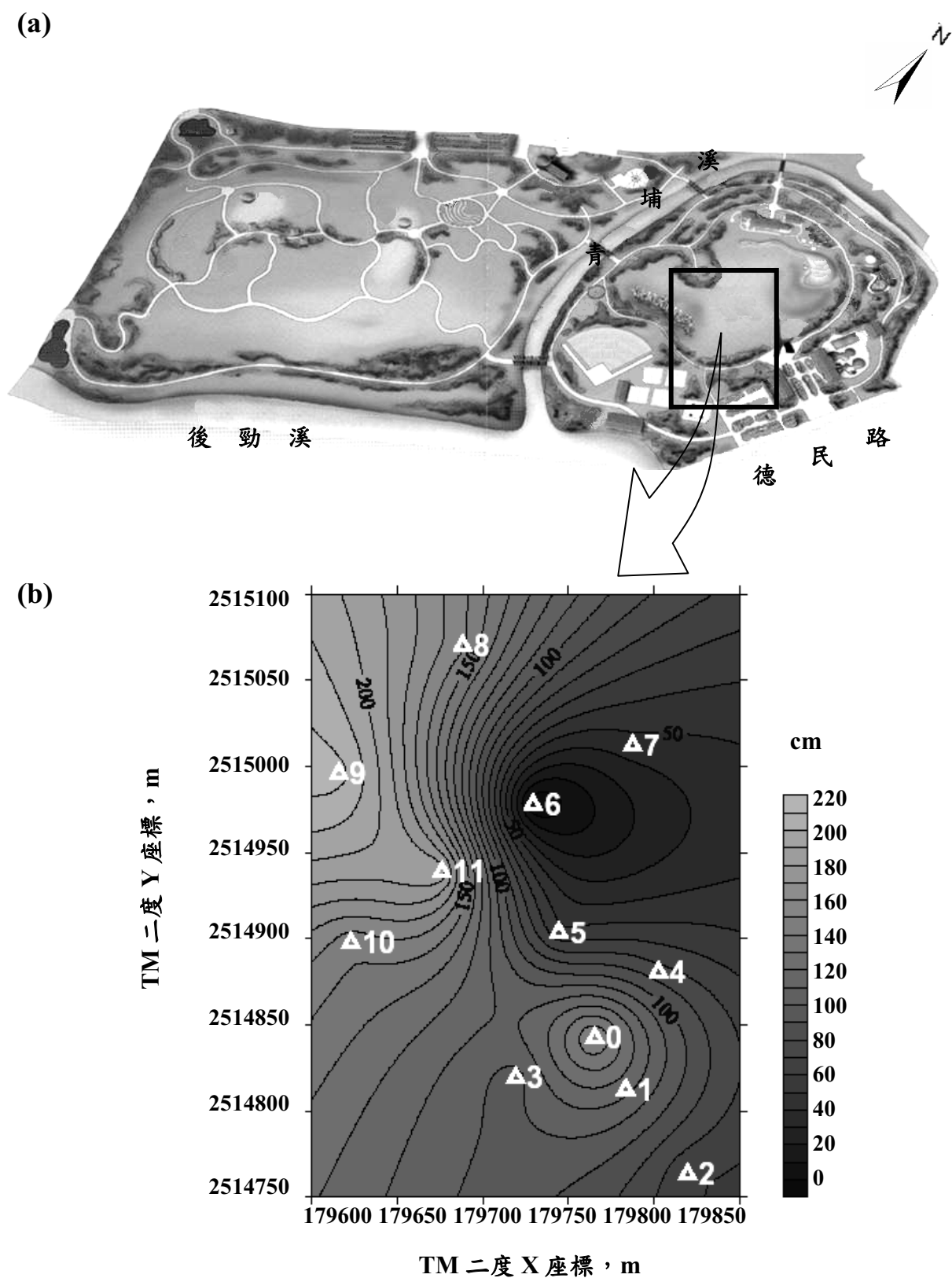
編號 ^a	座標 (UTM)		高程 (cm)	相對高程 (cm)	位址描述
	mE	mN			
0	179765	2514843	128.0	162.0	金雞日晷
1	179783	2514813	166.5	123.5	廣場大道中點
2	179819	2514764	218.0	72.0	廣場大道入口
3	179719	2514820	184.0	106.0	行政中心後樹林
4	179802	2514881	206.0	84.0	游泳池區後方之林蔭步道
5	179744	2514904	228.0	62.0	大草原東側
6	179729	2514978	290.0	0.0	大草原東側偏北
7	179787	2515012	244.0	46.0	景觀池區旁
8	179688	2515070	128.0	162.0	大草原北側
9	179616	2514996	66.0	224.0	避雷針前方
10	179623	2514898	137.0	153.0	大草原南側
11	179676	2514939	93.0	197.0	大草原東南側

^a各編號位址示於圖二。

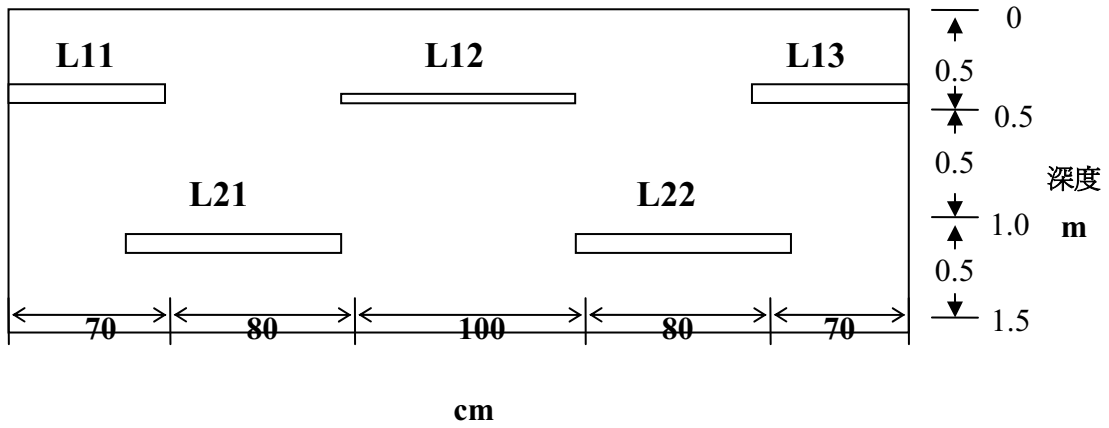
表五. 高雄都會公園第一期園區不同位址土壤之飽和導水度、容積密度、總孔度與質地分析

採樣位址編號 ^a	飽和導水度 (cm hr ⁻¹)	容積密度 (g cm ⁻³)	總孔度 (%)	砂粒 (%)	粉粒 (%)	粘粒 (%)	質地
1	2.86×10 ⁻²	1.57	40.8	85.4	14.4	0.14	壤砂土
4	1.24×10 ⁰	1.57	40.8	88.7	11.2	0.04	壤砂土
6	1.79×10 ¹	1.48	44.0	88.8	11.2	0.01	壤砂土
9	1.10×10 ⁰	1.37	48.3	88.7	11.2	0.06	壤砂土
11	1.72×10 ⁰	1.54	41.9	88.8	11.2	0.04	壤砂土
12	3.83×10 ⁻²	1.61	39.3	88.8	11.2	0.01	壤砂土
13	1.24×10 ¹	1.59	39.9	88.8	11.2	0.01	壤砂土
14	1.07×10 ⁻³	1.58	40.4	88.7	11.2	0.06	壤砂土
15	5.91×10 ¹	1.57	40.4	88.7	11.3	0.07	壤砂土
16	1.57×10 ⁻²	1.94	26.9	88.7	11.2	0.03	壤砂土

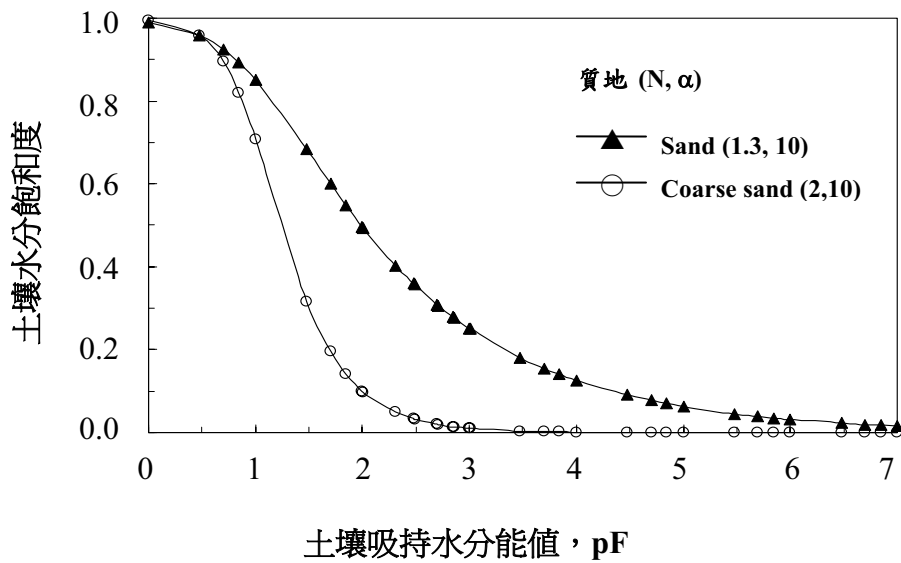
^a與圖一(a)之土壤採樣點編號相同



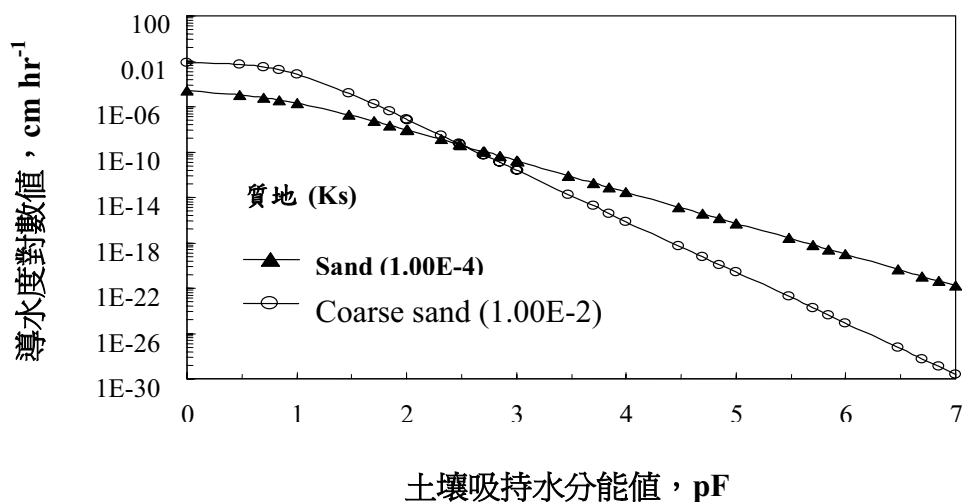
圖二. 高雄都會公園(a)全區(一、二期)配置圖, 與(b)第一期園區局部地區相對位置等高圖。



圖三. 模擬土壤剖面示意圖。L11、L12、L13 為第一層細質地夾層，L21、L22 為第二層細質地夾層。



圖四. 由模擬所用之參數推估於不同土壤吸持水分能值(pF)下的土壤水分飽和度變化。

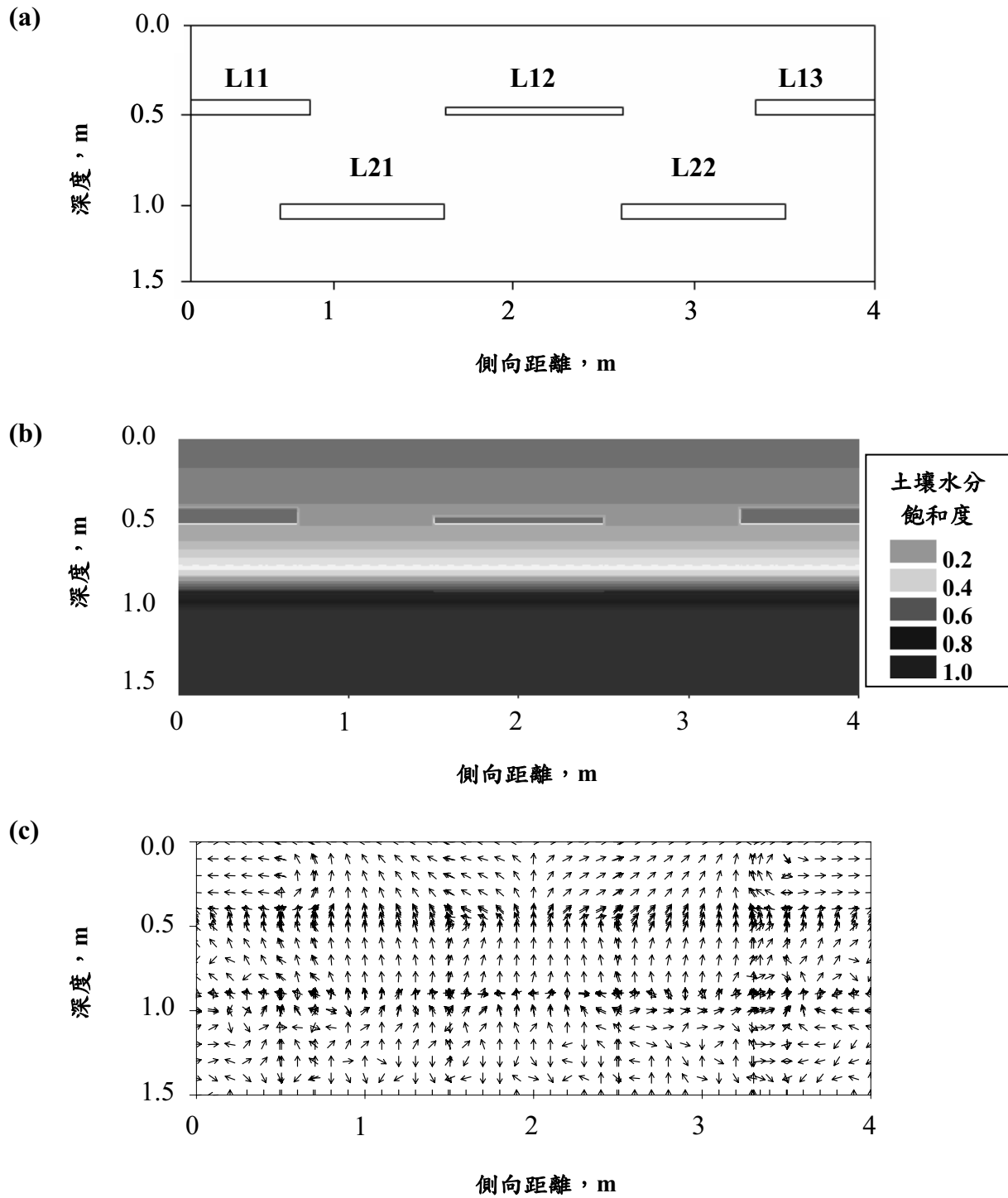


圖五. 模擬不同質地土壤於不同土壤吸持水分能值(pF)下之不飽和導水度變化。

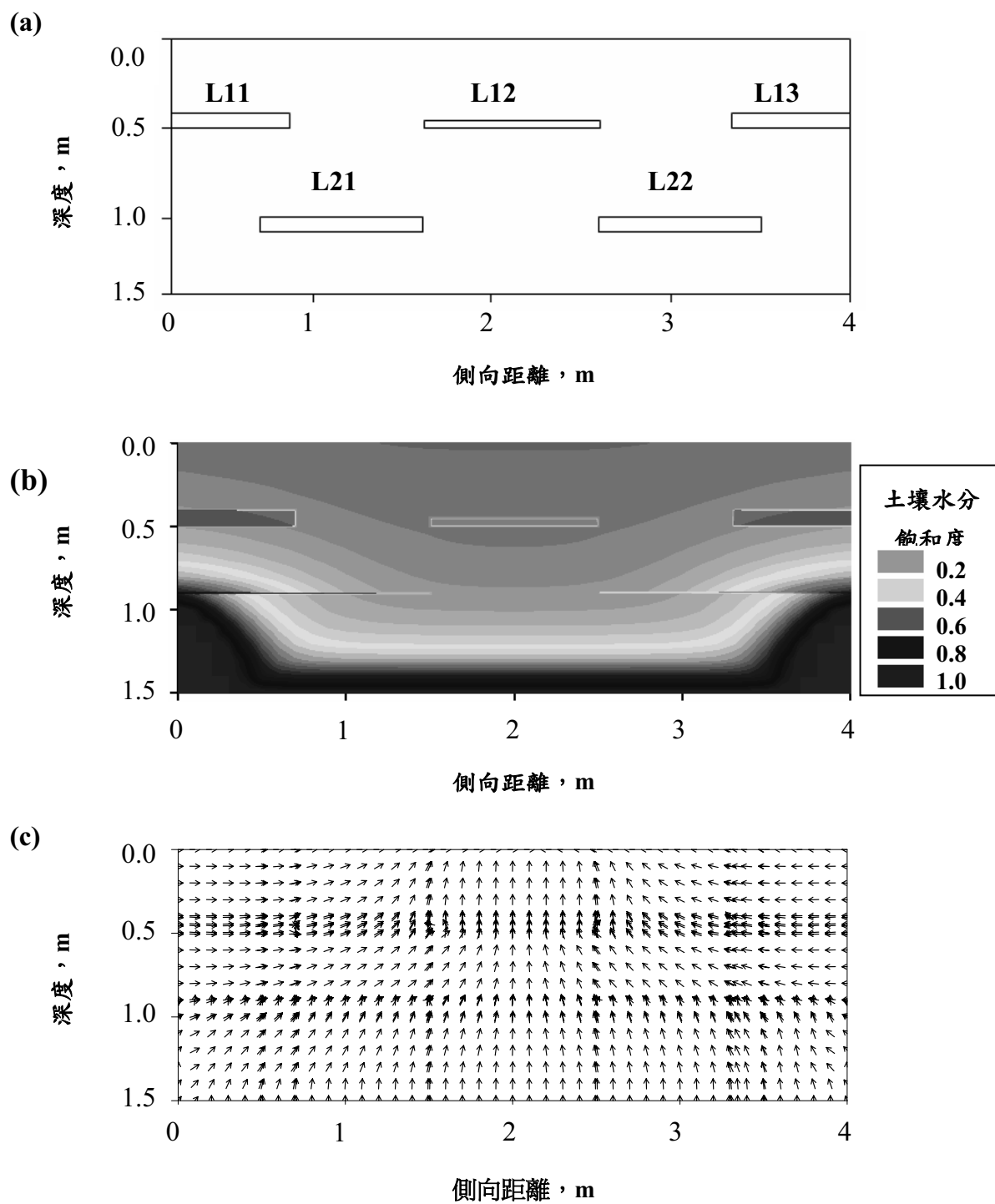
四、結 論

九十三年度所採集十五個採樣位址之土壤重金屬含量位於二期園區的十個新採樣位址之重金屬含量均未高於食用作物之監測基準值，另外採樣位址 11~15 為九十二年度調查重金屬含量較高之位址，今年度調查結果發現重金屬含量均未超過食用作物農地之監測基準值。四個採樣位址地下水之 EC 值及 Cl-含量均頗高，其做為栽植苗木之灌溉水時，可能會因水質可溶性鹽類含量高，易造成苗木生長不佳。景觀池水樣之水質，則優於四個採樣位址地下水之水質。於一期園區測得土壤物理性質及相關資料，評估其水份蒸發對重金屬及鹽類之環境風險，指出土壤狀態若適逢降雨時期，可能使土壤孔隙充滿水份而加速橫向流動，進而造成地勢較低區域土壤之重金屬或可溶性鹽類增加，若氣溫高日射量大，土壤水分之蒸發可使少數鹽類聚集於表土，進而對植物之生長造成影響。

針對園區相關環境教育及遊客之解說，可就九十二年度及九十三年度一及二期園區土壤及水體調查結果，表層及底層土壤之重金屬含量未超過食用作物農地之監測基準值；以及園區表面水及地下水之重金屬含量未超過限值標準之結果，對遊客並無接觸之風險發佈新聞稿。但是仍應強調園區基地為掩埋垃圾層經覆土闢建而成之綠地公園，勸導遊客勿採食園區之植物葉片或其他部位食用。



圖六. 模擬土壤剖面於深度 100 cm 下含有水流動層時之飽和度及水分流向圖(a)剖面示意圖中夾層編號；(b)土壤水分飽和度變化圖；(c)土壤水分流向圖。



圖七. 模擬土壤剖面底層水分停止流動時之飽和度及水分流向圖(a)剖面示意圖中夾層編號；(b)土壤水分飽和度變化圖；(c)土壤水分流向圖。

五、參考文獻

- 王敏昭、張簡水紋、陳建榮、王曉玲、廖永綜、賴盈仲，2003。九十二年高雄都會公園環境長期監測計畫，朝陽科技大學環境工程與管理系附屬專業服務中心，台灣台中。
- 行政院農業委員會，2003。中華民國九十二年十一月七日農林字第○九二○○三一五二四號，行政院農業委員會。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2000a。水中導電度測定方法－導電度法，NIEA W203.51B. 行政院環境保護署環境檢驗所，台灣中壢。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2000b。水中總有機碳檢測方法－燃燒/紅外線測定法，NIEA W530.51C. 行政院環境保護署環境檢驗所，台灣中壢。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2003a。土壤中重金屬檢測方法－王水消化法，NIEA S321.63B. 行政院環境保護署環境檢驗所，台灣中壢。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2003b。水中陰離子檢測方法－離子層析法，NIEA W415.51B. 行政院環境保護署環境檢驗所，台灣中壢。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2004a。水中氫離子濃度指數值測定法－電極法，NIEA W424.51A. 行政院環境保護署環境檢驗所，台灣中壢。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2004b。水中銀、鎘、鉻、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測方法－火焰式原子吸收光譜法，NIEA W306.52A. 行政院環境保護署環境檢驗所，台灣中壢。
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 1999. *The nature and properties of soils* (12th edition): *Soil moisture content and soil water potential*. p. 183-190. Prentice-Hall, New Jersey.
- van Genuchten, M. Th., 1980. A close form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.

Soil environmental monitoring of Kaohsiung Metropolitan Park

Shui-Wen Chang Chien¹, Shou-Hung Chen², and Min-Chao Wang^{1,3}

(Manuscript received 31 October 2005 ; accepted 22 March 2006)

ABSTRACT : Kaohsiung Metropolitan Park is a large scale green park established in a fully buried landfill and then covered with soil. It is necessary to investigate the characteristics of the covered soil for the safety and quality of growth of plants. In the present study we have determined the preliminary parameters for risk assessment in the soil and water samples which are collected from the 1st base of the park in 2004.

The results showed, that heavy metals contents in the soil collected from 15 sample sites were less than the monitoring levels of agricultural soil for edible crops, while the same are low in ground water compared to control standards of groundwater pollution. However, the electrical conductivity (EC) values of the ground water are higher than $750 \mu\text{S cm}^{-1}$ compared to water quality standard. Moreover, the $\text{NO}_3^- - \text{N}$ contents in the water samples collected from southern and western sites of coconut plantation and southern site of the 2nd stage landfill area are higher than the 1st control standard value (10 mg L^{-1}). Based on soil and related data obtained from the 1st area of the park, the heavy metals and soluble salts in the area of lower level topography might be increased during rainy season. These heavy metals and soluble salts accumulated at upper layer of covered soil because of high temperature and solar radiation which result in high evaporation of soil water, and thus potentially affect the plants growth.

KEYWORDS : soil heavy metal, monitoring level, soluble salt, soil water evaporation

1. Department of Environmental Engineering and Management, Chaoyang University of Technology.
2. Agricultural Research Institute.
3. Corresponding author.