

裸露地區植生復育困難問題之研究

顏正平⁽¹⁾ 林昭遠⁽²⁾ 林信輝⁽³⁾

摘要

本研究係選取本省西部地區主要植生復舊困難之地點(包括自然入侵不良與人為復舊失敗之個案),綜合氣候、地形、土壤及植生之調查與分析,探討植生復舊不良問題之癥結。並篩選特殊地適宜之鄉土植生材料,供植生資料庫之建立與推廣之參考。

崩塌地及礦區棄石地土壤中常因硫、鐵、鈣等元素含量過多,導致入侵植物生育不良。植體分析結果顯示,營養障礙之植物體中氮素含量有累積之趨勢,又土壤中硫、鐵、鈣含量過多,磷容易被固定,植株明顯呈缺磷癥狀。

煤礦棄石地或頁岩層中常含大量之硫元素,硫氧化後變成硫酸,此類地區土壤之反應多半低於2~3,其強酸性導致岩塊與金屬蝕壞,溶解出大量之重金屬,不利於植物之生長。

紅土礫石層土壤孔隙率大,物理性狀好,滲透性佳,養分易被淋洗流失致化學性質差,土壤常呈酸性反應。反之,青灰泥岩質地較細,物理性狀差,入滲不易,土壤鹽基含量豐富,化學性質佳,呈鹼性反應;加上紅土礫石層崩塌地裸露邊坡較青灰泥岩為陡,兩者之植物相有極大之差別。

關鍵詞: 裸露地區、植生復舊、植物材料

一、前言

礦區棄石地、崩塌地、及海岸砂丘等應加強保育之裸露地,因土壤貧瘠或理化性質特殊,土層中營養元素或被礦物固定、或元素間因化學反應致有效性降低或增加、甚至某類元素過多造成毒害,均能使植株產生營養上之障礙,致入侵植物生育不良。

本研究係選取本省西部地區主要植生復舊困難之地點(包括自然入侵不良與人為復舊失敗之個案),綜合氣候、地形、土壤及植生之調查與分析,探討植生復舊不良問題之徵結。並篩選特殊地適宜之鄉土植生材料,供植生資料庫之建立與推廣之參考。

二、材料與方法

(1). 氣象資料之蒐集與分析

利用試區鄰近之氣象資料,分析試區之月平均氣溫、相對濕度、降水量、蒸發量、平均風速等資料,再依據 C.W. Thornthwaite之氣候分類法,分析試區之氣候型。

(2). 土壤理化性質分析

針對植生不良地區之問題土壤,採樣分析土壤之理化性質,土壤分析項目與方法如下所示(Page, 1982; Klute, 1986):

- a. 土壤質地—比重計法分析。
- b. 土壤反應—以水與土為1:1(重量比)之混合液,用pH計測定。
- c. 土壤有機質—重鉻鉀氧化滴定。
- d. 有效性磷—依Bray No.1法測定。
- e. 交換性陽離子(K、Na、Ca、Mg)—用中性醋酸銨溶提後以火焰光度計測得。

(1)國立中興大學水土保持學系教授

(2)國立中興大學水土保持學系副教授

(3)國立中興大學水土保持學系副教授

- f. 萃取性微量元素(Fe, Mn, Zn, Cu)一以 0.1N HCl 萃取後以原子吸光儀測得。
 g. 萃取性硫酸根—醋酸鉍溶液萃取過濾後，添加氯化鉍，用分光光度計測定。
 h. 電導度—水與土為 1:1(重量比)之混合液，振盪過濾後以電導度計測定。

(3). 植生調查

於各調查樣區設立永久樣區，定期測定草種之入侵、拓殖與演替情形。

三、結果與討論

植物社會之形成受到許多因素之影響，Major氏(1951)曾說明植群為五種因子之函數，即：

$$\text{植物社會} = f(O, C, P, R, T)$$

其中：

- O=Organisms (生物體)
 C=Climate (氣候)
 P=Parent soil material(土壤母質)
 R=Relief or Topography(方位或地形)
 T=Time (時間)

Muller-Dombois 及 Ellenberg氏(1974)在談到植物社會形成之原因時，亦認為植物社會之形成為以下五個基本要素之函數：

$$\text{植物社會} = f(F, A, E, H, T)$$

其中：

- F=Flora (植相)
 A=Accessibility factor(可到達因子)
 E=Ecological plant properties (植物之生態特性)
 H=Habitat (生育地)
 T=Time (時間)

氣候為生育地因子之一，其對於植物社會之形成自極為重要，若能將一地區之氣候用一完善之體系予以劃分和說明，對於該地區之植群分布，必亦有概略之瞭解。

Thornthwaite為美國著名之實用氣候學家，本研究試利用其在1948年修定發表之氣候新分類法，以長期之氣象資料(1967~1990)，分析本省西半部主要氣象測候站之氣候型，藉以探討氣候對植群分布之影響。本省西半部各主要測候站之氣候型如表1所示，顯示台中以南，愈往南部冬季

表1. 本省西半部各主要測候站之氣候型(1967~1990).

測站	需水量 mm	夏季需 水之%	降水量 mm	剩水量 mm	缺水量 mm	濕度指 數(Ih)	乾燥指 數(Ia)	潤濕指 數(Im)	氣候型 * \$ # &
淡水	1473.7	37.1	2214.2	740.5	0.0	50.2	0.0	50.2	B2A' r a'
基隆	1301.3	38.6	3783.3	2482.0	0.0	190.7	0.0	190.7	A A' r a'
台北	1240.1	36.0	2272.3	1032.2	0.0	83.2	0.0	83.2	B4A' r a'
新竹	1345.0	36.2	1893.1	597.7	49.6	44.4	3.7	42.2	B2A' r a'
台中	1552.2	31.6	1646.8	411.6	317.0	26.5	20.4	14.3	C2A' w a'
台南	1453.1	30.9	1638.1	587.3	402.3	40.4	27.7	23.8	B1A' w a'
高雄	1928.8	29.3	1719.8	488.8	697.8	25.3	36.2	3.6	C2A' w2a'
恆春	1758.5	24.9	2052.4	895.4	601.5	50.9	34.2	30.4	B1A' w2a'

* A:重濕(Perhumid), B4~B1:濕潤(Humid), C2:潤次濕(Moist subhumid)

\$ A':熱帶(Megathermal)

r:少量或全年無缺水, w:中度冬季缺水, w2:大量冬季缺水

& a':有效溫度不集中於夏季

缺水愈嚴重。在本省南部尤其是青灰泥岩地區，篩選適生之耐旱植物，供植生綠化推廣之用有其必要性。

土壤反應為診斷土壤重要指標之一，土壤反應和影響土壤性質的多種變因均具有密切之關係。一般植物適宜之土壤反應多分布於微酸性至中性範圍，土壤反應趨於極端時，礦質養分間之平衡將遭破壞，在此種情況下，某類礦物養分將因溶解度過高或過低而產生毒害或缺乏，此將造成植生復舊困難。土壤酸類與鹽基之來源可概分為生物和非生物兩大類。土壤微生物代謝作用之產物常呈酸性，產生之酸性物除碳酸外，尚包括草酸、乳酸、醋酸、硝酸、硫酸與其他各類之酸。若干植物之根系亦能分泌有機酸，且植株殘體經分解後常產生大量的含酸物質如黃酸、腐植酸等，均可降低土壤pH之作用。非生物性致酸物來自母岩性質、地形因子、氣候因子、以及各種酸性污染源。土壤中若含有大量經加水分解後可形成強鹼的鹽類時，即呈鹼性反應，主要為碳酸鹽類(碳酸鈣、碳酸鎂)留置於土中所致。

Thomas(1967)指出土壤pH可大致區分為三個範圍，其致酸因子分別是：pH<4.0為土壤中硫化物氧化後所產生之游離酸所致；pH<5.5可能是含交換性鋁所造成；pH7.8~8.2為碳酸鈣所形成。在大量含金屬硫化物之地區，因硫氧化細菌(Thiobacilli)可產生硫酸，造成許多問題。這類地區土壤之反應多半低於2~3，例如阿帕拉契山之煤田就有相當大之面積面臨此問題，其強酸性導致岩塊與金屬蝕壞，溶解出大量之重金屬，不利於植物之生長(林良平, 1987)。

鋁為兩性(amphoteric)元素，在地殼中鋁的含量極為豐富，在所有元素含量中鋁佔第三位(僅次於氧、矽)，尤其是熱帶、溫帶土壤中，氧化鋁的含量很高。在土壤溶液中Al係以水化離子型態存在，稱為aluminum hexa aqueous ion。其為一酸

性離子，可經由逐步水解(stepwise hydrolysis)過程而釋出氫離子。除了單體水解(monomeric hydrolysis)反應外，尚有多位學者提出聚合水解(polymeric hydrolysis)反應。不論是單體或聚合水解，反應均會釋出氫離子，此將會造成土壤之酸化。在酸性土壤中，若土壤所吸附之氫與鋁被陽離子如鈣、鎂與鉀等所代換，則土壤溶液中之氫離子濃度將減少，而氫氧基離子濃度會增加。高鹽基飽和度土壤常為鹼性反應。土壤中若有多量鹽類，特別是鈣、鎂及鈉之碳酸鹽，可使土壤溶液中之氫離子超過氫離子。在上述情況下，土壤當為鹼性，且鹼性甚強，土壤pH值常可高至9或10。其他金屬陽離子如鈣、鎂、與鉀對於土壤溶液之氫氧基離子濃度亦具相當之影響。由飽和此類陽離子之膠體(colloid)，其水解反應亦可產生鹼性反應。因之，土壤溶液之pH是依氫與鋁離子及金屬陽離子之相對被吸附量而定。受氫與鋁佔優勢之影響則為酸性。多量鹽基則造成鹼性結果。土壤反應過酸或過鹼對植物之生長均有不利之影響。

海洋沉積物中低溫生成的硫化鐵礦物皆是在還原環境下生成，在此種環境中，硫還原細菌，如：Desulfovibrio, Desulfotomaculum 利用海水中離子態的硫酸根做為氧化有機物的電子接受者(electron acceptor)，以產生能量供其生長(LeGall and Postage, 1973)。硫酸根被還原後，即產生硫化氫，而硫化氫會更一步解離，進而與鐵作用產生硫化鐵礦物(Goldharber and Kaplan, 1974; Rickard, 1975)。

土層中之頁岩常含大量之還原性硫化物，經崩塌或開挖裸露後，因硫氧化產生硫酸根離子，會使土壤呈極強酸反應，造成植物復育困難。表2顯示煤礦及部分石灰石礦之棄石地或採掘跡地，土壤呈極強酸反應，主要是土壤中硫、鋁含量過多所致。

表2. 礦區棄石地與採掘跡地之土壤理化性質

採樣點	質地	pH	E.C. dS/M	O.M. %	有效性		交換性				萃取性				
					P ppm	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	S	Al
松峰CS	CL	2.1	2.87	5.40	8.0	12	23	182	67	306	3	1.7	1.5	644	588
松山CS	CL	2.1	2.85	5.66	9.0	8	30	88	184	412	13	2.2	1.5	657	338
新豐CS	CL	2.4	1.15	3.50	9.0	20	51	150	350	176	7	1.4	0.9	333	501
士林CS	L	3.9	0.17	7.29	2.9	66	64	160	299	64	18	62.7	0.7	235	1255
玉山LS	SL	3.5	4.14	0.69	2.0	28	600	2309	243	544	17	1.8	0.4	922	---
欣欣LC	SiL	3.7	8.01	0.62	5.0	6	35	4700	785	780	84	9.6	3.7	4521	---
大崗山LC	SL	7.6	0.76	0.45	6.3	30	104	3617	155	8	36	1.3	T	---	---
民生PS	L	5.0	0.26	0.49	2.9	61	145	128	210	26	31	4.5	0.2	39	---

CS:煤礦棄石地

LC:石灰石礦採掘地

---:未測定

LS:石灰石礦棄石地

PS:瓷土礦棄石地

T:檢測不出

本省水土保持上兩大問題土壤，分別是紅土礫石層及青灰泥岩，紅土礫石層廣泛地分布於西部山麓帶，可區分為上、中、下三層。下層主要由砂岩和頁岩夾礫石薄層所組成，厚約900公尺。中層主要由砂、粘土、和礫石互層所組成，厚度約50~100公尺。上層以塊狀礫岩為主，夾有薄層砂岩，礫岩厚度在數百公尺至1000公尺之間。厚層塊狀之礫岩在上層比較發達，常形成陡峭懸崖和鋸齒狀的山嶺。礫石以沉積岩為主，其中石英岩和堅硬砂岩約佔50%。礫石之形狀為圓形到次圓形，直徑大小在數公分到一公尺之間。礫岩的膠結物大多為細砂，間或含有鈣質、硫質或鐵質。

本省西南部地區泥岩屬第三紀地層，其岩層種類，主要分為泥岩與頁岩二種，兩者在外表上難以區分，在乾燥之況下，變成堅固如岩石，表面呈魚鱗龜裂，與鹽斑的特性相若，但浸水後除頁岩仍保持其特性外，泥岩則表層軟化呈泥漿狀態並有平滑的感覺，屢經雨水沖蝕，則形成蝕溝現象。兩者之理化性質如表3所示。紅土礫石層土壤孔隙率大，物理性狀好，滲透性佳，養分易被淋洗流失致化學性質差，土壤常呈酸性反應。反之，青灰泥岩質地較細，物理性狀差，入滲不易，土壤鹽基含量豐富，化學性質佳，呈鹼性反應；加上紅土礫石層崩塌地裸露邊坡較青灰泥岩為陡，兩者之植物相有極大之差別。

表3. 紅土礫石層與青灰泥岩崩場地之土壤理化性質

採樣點	質地	pH	E.C. dS/M	有效性			交換性			萃取性			
				O.M. %	P ppm	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
林口L	SL	6.5	0.11	0.28	8.6	50	136	80	780	160	76	3.6	0.2
大度山L	C	5.2	0.08	0.41	0.3	49	88	90	34	13	31	0.7	T
彰化L	SCL	5.3	0.06	0.32	1.0	65	170	140	232	14	25	1.2	T
觸口M	L	8.2	0.28	0.55	1.8	107	154	2000	690	715	149	7.0	2.2
六甲M	SiL	7.5	1.97	0.69	4.3	37	113	2490	263	1703	182	6.2	1.5
月世界M	SiC	8.3	6.07	0.81	4.0	13	2000	1850	374	1033	196	4.7	2.0
左鎮M	SiCL	8.3	6.65	0.76	1.1	123	1380	2580	389	2558	160	7.0	2.6

L:紅土礫石層

M:青灰泥岩

T:檢測不出

火炎山自然保留區位於大安溪下游北側，中山高速公路以西，介於南路、上館、裕隆三義廠至伯公坑間之梯形地區內，面積約 219公頃。火炎山之地形係由於該處之崩塌面在夕陽餘暉映照下，通紅似火燄，故稱為火炎山。主峰海拔高約602公尺，因山勢陡峻，礫石土層膠結不良，歷經豪雨沖蝕及強勁季風之吹襲切割，塊體崩壞極為發達，全區形成數條深而窄之山谷，谷內礫石滿佈。火炎山地貌零碎，

蝕溝陡崖密布，地被植群隨崎嶇地形，常年生育於崩塌頻繁的疏鬆土質上，其植群演替變遷可謂本區生態景觀資源另一特色，乃是篩選崩場地復舊植物之適當場所。由表4 可知火炎山紅土礫石層不同高程土壤理化性質之變化情形。因土層中之鹽基及坩、粘土等細顆粒物質易被滲流水淋出，攜至低窪處沉積，致沖積扇與沉積處之土壤，其鹽基離子較邊坡為多，此乃造成本區植物相變異甚大之主要原因。

表4. 火炎山崩場地不同高程土壤理化性質之變化

採樣點	質地	pH	E.C. dS/M	O.M. %	有效性			交換性			萃取性			
					P ppm	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	S
E1.400*	SCL	5.4	0.08	0.62	4.2	55	136	8	50	23	30	1.5	T	46
E1.360*	SL	6.2	0.04	0.21	2.4	87	156	31	181	33	9	2.4	T	17
E1.320*	SL	6.3	0.03	0.14	2.1	19	72	4	64	13	7	1.6	T	30
E1.280*	SL	6.1	0.04	0.14	5.8	41	95	13	131	25	8	2.2	T	26
E1.240*	SL	6.0	0.04	0.07	1.4	35	87	16	78	25	12	1.6	T	22
E1.200*	SL	6.1	0.04	0.07	1.4	45	101	18	144	32	14	2.5	T	23
E1.170^	LS	4.5	0.55	0.14	7.1	17	76	213	129	126	17	2.4	0.4	109
E1.160'	SiCL	8.0	1.06	1.03	4.7	147	400	2310	840	1200	256	4.1	2.0	75

註：*邊坡； ^ 沖積扇； ' 沉積處

火火山南側邊坡之新崩塌處由於滲流水攜出大量之硫、鐵化合物，致土壤電導度高達 123 dS/M，呈強酸反應，植物無法存活(表5)。另由蝕溝無植物生長之邊坡，亦是因土壤中硫含量過高所致。故

紅土礫石層崩塌地植生不良主要原因之一，係因土層中之頁岩或煤層中之硫元素被淋出所引起。

表5. 火火山新崩塌地及其鄰近植生與無植生處土壤理化性質分析

採樣點	質地	pH	E.C. dS/M	O.M. %	有效性			交換性			萃取性				
					P (ppm)	K		Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	S
南側邊坡 I	L	2.9	123.0	3.44	12.4	90	1100	5	1740	46843	85	57	0.4	16136	
南側邊坡 II	SL	3.4	19.5	0.21	4.3	4	88	10	1980	187	126	51	1.7	6398	
南側邊坡 III	SL	3.7	3.5	0.69	0.2	41	144	756	327	152	21	1	T	1557	
蝕溝邊坡 I	SiCL	8.8	2.0	1.10	0.3	310	2200	1780	670	1509	199	6	1.7	148	
蝕溝邊坡 II	LS	3.2	127.0	0.34	10.8	9	80	16	7800	1006	520	93	12	28981	
蝕溝邊坡 III	SL	5.1	0.2	0.82	5.6	110	210	142	174	87	32	4	0.2	25	

I：新崩塌地 II：無植生 III：植生

植物從細胞之結構組成至酵素之生理活動均需礦物元素。植物所需之礦物元素可概分成巨量元素與微量元素兩大類，巨量元素多為細胞組成之元素(如葉綠素分子內之鎂)，以及充為輔酶或酵素活化劑(enzyme activator)等生理功能。微量元素則主擔任細胞內多種生理代謝功能之角色，而非植體內之主要成分。植物以正磷酸離子之形態吸收磷肥。被吸收之磷酸並不被還原，而係以磷酸之無機形態及有機形態存於植物體內，主要之有機形態，有原生質重要組成成分之核酸，核蛋白與磷脂等。在植體內與糖結合乃形成含有磷之酯類，此與光合作用及呼吸作用有關。當形成ATP及NADP，乃肩負著植體內能量之傳遞與氧化、還原反應之基本任務。不同樹種對土壤中有效性磷含量之需求雖不同，但大部份樹種至少需50ppm才可正常生長(Wilde, 1958)。

鉀係以鉀離子狀態被吸收，植體內之鉀大部分為水溶性之無機鹽或有機鹽而以離子狀態存在，主要是用來調整多種生理作用及促使酵素之活動，鉀在植物體內極

易移動，而聚積在生長點等新生之幼嫩部位，故缺乏時，老葉葉緣容易黃化。鈣以鈣離子之形態被吸收，但在植物體內則以果膠酸與草酸等之有機鹽及碳酸、磷酸與硫酸等之無機鹽之形態而存在。其生理機能除與果膠酸相結合，用以接合細胞與細胞外，並有維持原生質之構造及對過剩有機酸有中和作用等功能。鎂為葉綠素之構成元素，在光合作用時與光能之傳遞有關。鈉雖非植物生長所必需，但當鉀元素缺乏時可以代之。

任一礦物元素於植物組織含量甚低時，即造成生長上之缺乏及限制，在缺乏範圍之近下限，植物常呈若干可見之異常，此等病徵(deficiency symptom)在元素缺乏之診斷上甚具裨益。此類對元素缺乏敏感之植物，可當指標植物(indicator plants)，用以診斷土壤之訊息，以便肥培管理之參考。火火山崩塌地垂直邊坡優勢植物之植體分析結果如表6所示，生長於此地之植物，植物體中的磷、鈣含量均甚低。

另由表7~9可知, 營養障礙之植物體中氮素含量有累積之趨勢。玉山石灰石礦捨石地因土壤中硫含量過多, 土壤pH下降, 導致鐵、鋁之活性增加, 磷易被固定, 植株呈紫色缺磷癥狀。大度山紅土台

地土壤中因嚴重缺鈣, 馬纓丹及闊葉鴨舌黃舅之新葉嚴重捲曲; 而彰化紅土台地位於背陽邊坡之血桐與天竺草, 因受崩塌邊坡遮光之影響, 植體中之氮素較易累積, 植株較為深綠。

表6. 火炎山崩場地邊坡優勢植物之植體分析

植物名稱	採集地	巨 量 元 素						微 量 元 素				
		N	P	K	Na	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		%						ppm				
台灣蘆竹	南側邊坡	2.26	0.07	0.61	0.97	0.003	0.30	1.27	3770	451	28	8
	蝕溝邊坡	1.06	0.04	1.16	1.64	0.007	0.09	0.59	1460	59	18	8
五節芒	南側邊坡	0.82	0.03	1.23	1.96	0.020	0.11	0.92	660	100	43	5
	蝕溝邊坡	1.51	0.06	1.60	2.90	0.021	0.11	1.31	900	88	19	8
車桑子	南側邊坡	1.79	0.03	1.13	1.97	0.093	0.19	0.25	660	81	94	11
	蝕溝邊坡	1.79	0.04	1.18	1.89	0.151	0.20	0.14	380	219	69	11
烏 蕨	南側邊坡	1.49	0.05	1.39	4.00	0.013	0.40	1.46	4710	499	26	8
	蝕溝邊坡	2.41	0.05	1.16	1.92	0.023	0.24	0.74	4240	278	29	8
腎 蕨	南側邊坡	2.61	0.05	0.97	1.65	0.032	0.91	0.47	2500	475	30	8
	蝕溝邊坡	3.53	0.05	1.49	3.00	0.034	0.29	0.20	2170	250	40	11
芒 萁	南側邊坡	2.43	0.03	0.68	1.05	0.049	0.19	0.80	750	665	31	5
粉葉蕨	南側邊坡	2.07	0.05	1.53	4.50	0.046	0.37	0.64	3300	133	24	11

表7. 玉山石灰石礦捨石地營養障礙植物之植體分析

植物名稱	癥 狀	巨 量 元 素						微 量 元 素				
		N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	
		%						ppm				
五節芒	植株紫色	1.08	0.167	0.84	1.28	0.18	0.46	4909	962	67	11	
五節芒	正 常	0.88	0.208	1.41	2.03	0.16	0.19	1904	68	37	20	
台灣澤蘭	植株紫色	3.73	0.153	1.86	3.40	1.07	0.47	1144	62	42	10	
台灣澤蘭	正 常	1.68	0.310	2.33	4.90	1.47	0.40	3067	69	41	21	

表8. 大度山紅土台地營養障礙植物之植體分析

植物名稱	癥 狀	巨 量 元 素						微 量 元 素			
		N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		%						ppm			
馬 纓 丹	葉片捲曲	4.09	0.12	2.14	3.70	0.20	0.86	212	380	35	22
	正 常	2.49	0.08	1.54	2.20	0.39	0.92	188	737	29	16
闊葉鴨舌 黃舅	葉片捲曲	2.41	0.07	1.36	1.90	0.10	0.88	203	333	57	8
	正 常	2.38	0.05	1.27	1.85	0.14	0.78	240	188	56	8

表9. 彰化紅土台地營養障礙植物之植體分析

植物名稱	癥 狀	巨 量 元 素						微 量 元 素			
		N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		%						ppm			
血 桐	植株深綠	3.14	0.07	1.78	5.10	0.48	0.40	273	903	41	16
	正 常	2.68	0.04	0.64	0.96	0.30	0.83	273	665	39	11
天 竺 草	植株深綠	5.06	0.09	1.86	4.20	0.15	0.53	565	1616	33	16
	正 常	3.45	0.07	1.56	3.80	0.15	0.55	283	784	37	8

由土壤反應、乾旱及坡度等環境應力調查分析結果，初步篩選崩塌、棄石地等適生之先驅植物大致歸納如下：

耐酸植物：五節芒、煙火臺、萱草、黃金榕、車桑子、台灣蘆竹。

耐鹼植物：甜根子草、百慕達草、銀合歡、台灣蘆竹、刺竹、番石榴、五節芒、煙火臺。

耐旱植物：五節芒、馬纓丹、野桐、血桐、車桑子、林投、草海桐、天竺草、闊葉鴨舌廣舅、相思樹。

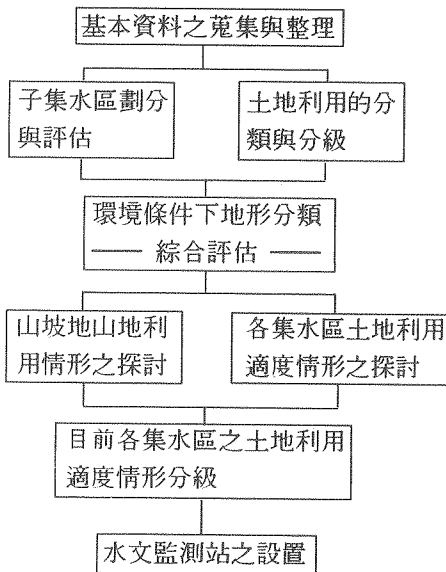
陡坡植物：台灣蘆竹、五節芒、車桑子、野牡丹、芒萁、山鹽青、相思樹。

參考文獻

1. Goldhaber, M. B. and I. R. Kaplan 1974. The sulfur cycle. In Goldberg, E. D. The Sea. Wiley-Interscience, New York, NY, Vol. 5, p.569-655.
2. Klute, A., editor. 1986. Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods. Ameri. Soc. of Agro.
3. LeGall, J. and J. R. Postage. 1973. The physiology of sulfate-reducing bacteria. Adv. Microb. Physiol. 10, p.81-133.
4. Page, A. L., editor. 1982. Methods of Soil Analysis : Part 2-Chemical and Microbiological Properties. Ameri. Soc. of Agro.
5. Rickard, D. 1975. Kinetic and mechanism of pyrite formation at low temperature. Am. J. Sci., 275, 636-652.
6. Thomas, G. W. 1967. Problems encountered in soil testing methods. p.37-54. In Soil testing and plant analysis, Part 1. Soil Sci. Soc. of Am. Spec. Pub. no.2, Madison, Wis.
7. Wild, S. A. 1958. Forest Soil, Their Properties and Relation to Silviculture. Ronald Press Co., New York. p.537.

二、研究方法

本次水文環境監測站設置，主係以環境條件下地形分類之綜合評估為主探討之，其評估方法係從土地利用計畫（開發及保育計畫）之著眼點上將土地條件（地形、岩盤、自然災害等），利用地形分類圖進行分析。首先利用5000分之1的土地利用圖、將土地利用高度化的程度，予以評估之後再與土地條件的評估結果相互比較，從中探討將來在土地利用上應高度化地區及應限制開發的地區，以期對今後山坡地大面積開發規劃上提供重要之參考依據，其評估之流程簡示如下：



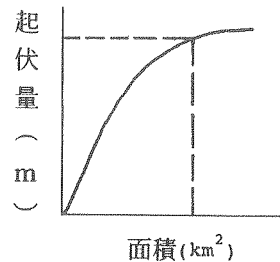
(一) 集水區之分級

有關集水區分級之評估是利用縱橫方格網行之，方格大小取 500m×500m：關於土地條件，如表 2.1-1 分為五個階段評估，而土地利用則根據表 2.1-2 之評估標準亦以 5 個階段評估開發之適應性。集水區之分級乃根據同一方格內土地條件的評估點 u 與土地利用的評估點 v 之比 u/L 大小來判定， u/L 的數值等於 1 時可視為土地條件與土地利用型態配合適度，數值小於 1 地區是為具高開發潛力，有趨向高度化之可能地區，愈是大於 1

愈是應限制其土地利用，也就是應加強防災設施之地區，至於詳細之評估步驟則分述如下：

1. 地形成長及網格之繪製

- (1) 地形生長曲線的繪製：乃以某山頂為中心，描繪不同半徑 r 之同心圓及各圓內最低點與中心點之高差（起伏量），繼而以圓面積（ πr^2 ）為橫軸，起伏量為縱軸，點繪之即所謂地形生長曲線，而由此推知削峯存在之情形，進而了解該地區準平原化趨勢。
- (2) 網格大小的決定：當地形生長達某一界限時，其同心圓面積的增大而起伏量的增加則變緩和，而於生長曲線上出現一明顯折曲點（如圖 2.1-1 所示），此折曲點所對應之面積取其根號值即為網格邊長，網格面積亦由是決定。



$$a = \pi r^2$$

$$\text{網格邊長} = \sqrt{a} = \sqrt{\pi r^2}$$

$$= 1.77r = L$$

$$\text{網格面積} = L^2$$

圖 2.1-1 地形生長曲線圖

- (3) 繪製以最高點為中心，邊長為 1 之網格圖，涵蓋整個研究區域。本研究地形成長之中心點，係以為中心進行分析統計，為方便計乃取單位面積為 25 公頃，邊長 500m 之網格為基本單位。

2. 環境條件下地形分類的綜合評估

利用求積儀，套配有關之地形圖、土地利用圖... 等，求算各網格內各不同起伏量比，植生狀態分布情形及其所佔網路面積之比率 $k \times i$ ：

$$K \times i = (A' \times i / L^2) \times 100\%$$

(A' × i 各不同植物於網格內所佔面積)

起伏量比(RR%) =
 (網格內等高線數) (等高線高差)
 (網格邊長) × (地形圖比例尺)

就各網格所得之地形因子(起伏量比)、
 依山坡地保育利用條例中有關利用限制分級
 , 由表分別求算U、L值、然後就 U/L ratio
 予以綜合評估之

$$U/L \text{ ratio} = \sum(U_x \cdot K_{xi}) / L_{xi}$$

U_{xi} = 各不同土地類型對應之U值
 L_{xi} = 各不同地形類別對應之L值

表2.1-1 土地條件總合評估表(L)

評 分 點	評 估 標 準				地 盤 自 然 災 害 條 件	土 地 利 用 的 適 合 度	農 村 的 土 地 利 用	農 村 的 土 地 利 用
	地 形	地 盤 高 (m)	地 耐 力	洪 高 震 地 地 崩 盤 下 水 潮 害 陷 滑 塌				
5	平坦的 高燥地	台地、段丘(除掉上方一下方淺的谷線及周圍的急陡部分)	5以上	大		適當	適當	
4	大部分 為平坦	山麓緩坡面 小起伏的丘陵地、略圓折的台地段丘		略大	△ △△	大致 適合	大致 適合	
	地 的 乾 燥	扇狀地 大規模氾濫平原的自然堤防挖土所形成平坦地	4~5	略大	△△△ △△			
3	排水較 好的低 地、平 坦地	谷底平原 氾濫平原 高的鎮土地 安定之崖錐	3以上	(支持地盤淺)	○○○△	適合 一部分 須防 災設 備	適合 一部分 須防 災設 施	
2	起伏大 之傾倒 地	山麓坡面(坡度約30以下)			○○	人口 或設 施密 集 的地 區	大致 適合	
	低濕地	三角洲的自然堤防 三角洲	1以上	小	◎◎◎◎	隨土 地條 件必 須有 防 災 對 策	必須 有防 災設 施	

評 分 點	評 估 標 準				地 盤 自 然 災 害 條 件	土 地 利 用 的 適 合 度	農 村 的 土 地 利 用	農 村 的 土 地 利 用	
	地 形	地 盤 高 (m)	地 耐 力	洪 高 震 地 地 崩 盤 下 水 潮 害 陷 滑 塌					
1	陡地	山腹坡面(約30度以上)					○	不適 (開 發困 難)	只適 合林 地
	顯著的 低濕地	後背濕地 舊河地 高水地區 新生地 6公尺地帶	1以下	極小	◎◎◎◎			不適 合	只適 合水 田耕

圖例說明：災害發生之可能性高低。

符號	說明	符號	說明
	低	○	高
△	中	◎	極高

表2.1-2 土地利用評估表(U)

評分	評 估 標 準	主要土地利用區分
5	不特定之多數人口集中, 在日常生活中心中不可或缺的土地利用	住宅區、商業區、公園綠地
4	不特定人口利用度高, 即使有特定人口利用, 但密集度高, 且生產性高的土地利用區	工業區、運輸區、公共區村落
3	農村土地利用中生產性高、人口集中度還不算高的地區	水田、旱田、果園
2	農村土地利用中生產性不高的地區人口集中度低的地區	森林、草地、竹林
1	土地利用皆無實施的地區、人口亦不可能集中的地區	河川、湖沼、裸露地、水鳥區、墓地

(二) 監測方法：

1. 監測站佈置

- (1) 量水堰一組，由兩座潛壩、一座沉砂池、一座靜水池、一組矩形堰板及一座護坦所組成。
- (2) 雨量水位計一組，型式為 WR-11 長期自記水位雨量計，預定裝置於靜水池旁。
- (3) 水位計一組裝置在位於監測站附近之鑽探孔上，量測地下水位。

2. 觀測方法

(1) 雨量、逕流量之觀測

試驗期間之雨量觀測，使用傾倒式自記雨量計，其記錄卷軸之轉速為每小時 18mm，當傾倒式辱槽承滿 0.5mm 深之雨量時，即會自動利用槓桿原理傾一次，並帶動指針跳動半個刻畫格數，依此連續記錄，可得雨量累積曲線，該記錄紙之時間座標則以 1 小時為一個刻度，雨量座標則以 1mm 為一個刻度。

逕流量之觀測是以 WR-11 內之自記水位計量測之水位記錄推算之，以浮筒式自計水位計置於量水堰之靜水井旁記錄水位歷線，其流量可由矩形之堰板流量公式推算，即

$$Q = CLH^{1.5} \quad (Q: \text{cms}; H, L: \text{m})$$

此即實際量測所得之集水區內實際逕流量，該水位雨量計內記錄卷軸之轉速為 18 mm/hr，雨量及水位均記錄於同一紙卷上，惟記錄不會發生交錯現象，水位計為每 12 分鐘為一刻度，雨量計為每 6 分鐘為一個刻度。

(2) 地下水位變化監測

本計畫於兩集水區之鑽探孔上設置地下水位監測站，各配置鐵箱乙只，水位計乙具，每月派員換紙，記錄每月地下水之變化。

(3) 泥砂量之觀測

泥砂產量之量測分為河床質及懸浮質部份，河床質部份擬於固定時間派人工清理、清砂時打開堰體下方之圓形閘門排水、再以人工清運、上岸、量取其總體積之後，採取部份土樣、烘乾秤重，求出乾土與含水砂土

單位體積之重量比，乘上總體即為河床質之重量。

懸浮質部份則在每次暴雨時，至現場採取 250cc 之水樣，烘乾秤重，再乘上直接逕流量對 250cc 之倍數，即為懸浮質之重量。

將河床質與懸浮質之重量相加即得泥砂產量。

(4) 現場透水試驗

本透水試驗的主要目的在量測此試驗區內各部份土壤之滲透係數 K ，是水流入介質中快慢之一種度量單位，作為評估地下水位變動指標參數。

在試驗程序上，乃直接利用現場地質調查鑽探留下鑽孔，地下水位之監測井，並以此作為微量試水法的試驗井。以容積約 20~30 公升的水器直接乘水灌入水井內，瞬時提昇井內水位高，由壓力傳感器顯示出之讀數，轉換成水位高，將時間 (t) 對應水位變化繪成關係圖，計算出實驗所得之傳導係數。

三、結果與討論

(一) 集水區分級之綜合評估

分別求算各網格之 U/L ratio 後，由統計結果得佑台北市及台中市山坡地 U/L ratio 平均值為 1.3，此結果顯示，山坡地開發利用已超過環境地形限制條件，亦即該地區之坡地利用存在不合理現象，概括而論，U/L ratio 大於 1 者則仍具開發潛力，換言之，研究結果顯示都會區之山坡地已呈高開發情形。

U/L ratio 分析結果列於表 3.1-1、3.1-2 所示。本研究共設置七座水文監測站，除配合台北山豬窟垃圾場興建而設置之監測站外，其 U/L ratio 均大於 1，屬於宜加強水土災害防治地區。

(二) 水文環境監測站網規劃

山坡地水文環境監測站之設置，依其設置目的而異，且影響日後水文資料與水文模式之分析，本研究針對土地對水文環境影響之目的，設置水文站予以監測之，故由 U/L

ratio探討，除建立其土地利用與地形環境條件關係之相對基準，並藉以探討水文設置需要及供日後水文分析時環境變異之關聯性。

本次水文監測站設置對象，係以屬於宜加強防災設施之地區為主，其定案站址分別說明如下：(A)台北地區：(1)信義區東大排溝（挹翠山莊），土地利用型態以坡地社區開發為主；(2)木柵無名溪（指南里），土地利用型態以觀光茶園與道路工程開發（北二高）為主；(3)南港四分溪（中華工專），土地利用型態，以道路工程開發與大型違規棄土為主；(4)士林青（明德樂園），土地利用型態以觀光遊憩區及未來之市地重劃為主；(5)士林內雙溪（陽明山國家公園），土地利用型態，以國家公園及水源保護區為主，本站亦可供作其他監測之對照區，以判別上游土地利用對下游水文環境之影響；(6)南港山豬窟溪（舊莊里），土地利用型態，以礦渣棄置與未來之垃圾場開使用為主；(B)台中地區則選定大坑溪（逢甲橋至正大橋段），土地利用型態，以觀光遊憩及坡地社區開發使用為主。

(三)資料分析

監測內容包括了降雨量、地下水位變化量及其泥沙產量，並定期對其地表水及地下水進行水質採樣及檢測。根據目前已完成之水文資料分析結果示，觀測所得之降雨量與河川水位有一定之相關性，以水理公式 $Q = CLB^{1.5}$ 相較 c 值變化於 1~1.7 之間，與理論值 $c = 1.705$ 相距尚屬合理，而與地下水位觀測與分析，確可提供相當程度之背景資料。至於地下水變化，通常經由長期觀測，可提供其地下水流量及蘊藏量之變化，並可提供地區邊坡穩定分析檢討。在本研究中，因其建立較晚尚無法作成定論，唯現地下水位變化與降雨有某種延遲的相關係存在。而地表水及地下水的水質檢測結果，雖然僅於每季作業乙次，卻發現普遍水質變劣表徵，顯示土地利用其有相當程度之影響，將來應加強檢測工作。

表3.1-1 台北市山坡地水文環境監測站設置需要性建議表

集水區名稱	土地利用情形	水文站設置需要性	U/Lratio
貴子坑集水區	高度		1.32
磺港溪集水區	高度		1.64
泉源集水區	高度	✓	1.40
溫泉集水區	中度	✓	1.14
奇岩集水區	中度	✓	1.14
南磺溪集水區	高度	✓	1.54
琪哩岸集水區	中度		1.08
青礮溪集水區	高度	已選定設置	1.66
內厝溪集水區	高度		1.75
陽明集水區	高度	✓	1.45
外雙溪集水區	中度		1.19
芝山集水區	中度		1.21
北磺溪集水區	高度		1.74
磺溪集水區	高度		1.47
清水溪集水區	高度		1.36
內雙溪集水區	中度	已選定設置	1.28
金龍集水區	高度		1.30
碧山集水區	高度		0.98
內溝溪集水區	低度	✓✓	1.06
四分溪集水區	中度	已選定設置	1.10
山豬窟集水區	低度	已選定設置	0.98
大坑溪集水區	中度		1.06
博嘉集水區	高度	✓	1.44
富德集水區	高度	✓	1.59
頭庭集水區	高度	✓	1.61
無名溪集水區	高度	已選定設置	1.34
老泉溪集水區	中度		1.03

一 水文環境監測站設置及其資料分析

表3.1-2 台中市山坡地水文環境監測站設置需要性建議表

集水區名稱	土地利用情形	水文站設置需要性	U/L ratio
西平北坑集水區	低度		0.94
西平南坑集水區	中度		1.08
林厝坑集水區	中度		1.10
水崛頭集水區	高度	✓ ✓	1.38
普濟坑集水區	高度		1.76
東安坑集水區	高度		1.47
知高坑集水區	高度		1.34
山子腳集水區	高度	✓ ✓	1.32
番社腳集水區	中度	✓	1.08
同安厝集水區	中度	✓	1.10
軍功寮集水區	低度	✓ ✓	0.98
大坑溪集水區	高度	已選定設置	1.75
濁水坑集水區	高度	✓ ✓	1.66
清水溪集水區	高度	✓	1.61
橫坑溪集水區	高度	✓	1.36
北坑溪集水區	中度		1.28
廓子坑溪集水區	中度		1.19

註：1. 低度：U/L ratio < 1

中度：1 < U/L ratio < 1.30

高度：U/L ratio > 1.30

2. ✓：為需要設置者

✓✓：為極需設置者

(四) 後續之研究

目前都市化集水區之規劃設計，最常用推求洪峯流量之方式即為合理化公式，合理化公式雖然簡單，其實仍有其嚴謹之學理基礎。一般而言，其所推算之洪峯值，即集水區在達到平衡流量狀態下運動波所達致之最大流量值。本研究已於前驅研究中，對合理化公式之基本假設、集流時間及逕流係數，作較詳盡之探討。另外經比較研究相關文獻發現，於都市化山坡地之暴雨模式中，運動波理論已被確認為模擬漫地流水流運動相當有效之憑藉。為了將此一理論，應用於求解

實際狀況之漫地流問題，並配合合理化公式之使用，本研究將於後續工作中，以運動波理論推導都市化V字型集水區之相關理論。

四、結論與建議

都會區四周山坡地之各種土地利用對下游之各個水文因子影響相當複雜，在現階段，要完全以學理方法來定量推導難達成。然為因應山坡地都市化之明顯趨勢及避免將來可能之災害。本研究分野外監測，室內模擬及學理推導三個方向，進行研究，希望能更深入地了解土地利用可能造成之影響，以求有關單位對山坡地的管理能更臻完善。本期之研究側重於基本資料之蒐集與整理，子集水區之分級、監測網站之規劃以及水文監測站之土木工程細部設計與儀器佈置圖示等。詳細研究結論與建議則分述如下：

(一) 本研究首先以航照圖劃分台中市與台北市之子集水區、就其土地條件與土地利用現況的比值，即U/L 值來評估目前該地區之山坡地發展情況。爾後，由於後續之開發或水土保持設施之建立，U/L 值亦將隨之變化，因此藉著水文監測站及其他監測系統的設立，對今後該地區之發展可提供有效參考依據。

(二) 針對研究地區之自然環境條件與其山坡地使用現況，本研究共選擇七處不同使用狀態之集水區設置水文監測站，及地下水監測站，其監測內容包括降雨量、逕流量、地下水位變化量及其泥沙產量並定期對它其地表水及地下水進行水質採樣及檢測，以此建立水文環境監測站之模式，並可為未來規化其它集水區之水文環境監測站時參考。

(三) 根據目前已完成之水文資料，分析結果顯示，觀測所得之資料與河川水位有一定之相關性，而與地下水變化亦有一定之稽延關係。顯示所進行之水文觀測與分析，確可提供相當程度之背景資料。

(四) 台灣山坡地由於受自然環境及人文條件影響，以降雨、流量與泥沙產量間，甚

難獲得正常之定型關係，尤其以單一暴雨模式或短期水文模式為甚，本研究初步所測之資料，經分析即發現有上述現象。據此，在未來後續之研究中，將根據完成之七座監測站觀測結果，進行相關水文模式之驗證或修正工作。

(五)都會區四周山坡地之水土保持工作，已漸往精緻型態發展，即強調山坡地管理以及針對集水區都市化所造成水文環境之衝擊而預作之協調工作，因此，發展地形圖、地籍圖及土地利用圖之數化疊合技術，並建立水文、土壤沖蝕及地質之監測站網與資料庫，實為當務之急。此外，坡地開發對下游水文因子影響中，泥砂產量及集流時間均可藉由工程方法加以改善，諸如防砂壩、調洪池之設置，惟此類工程設計技術與依據，仍有賴上述資料庫與監測站網之佐助，始得臻於完善。

(六)目前都會區之排水系統多已完成，且不易，拓寬或改建，惟上游山坡地不斷開發利用，致使洪峯流量與泥砂產量增加，每易形成下游都會區之水土災害。將來配合台中市山坡地之重大工程開發，尤其為減少因為山坡地開發對下游水文環境造成之衝擊，除應儘速建立相關之水文監測系統，亦宜於山溝谷口間規劃大型之調節池並配合相關之親水遊樂工程，以收相輔相成之效。

參考文獻

1. 何智武、蘇苗彬，1990年6月，台北市山坡地土地利用對下游水文環境影響研究，台北市政府委託報告。
2. 何智武、蘇苗彬，1990年6月，台北市山坡地水文環境監測站設置計畫，台北市政府委託報告。
3. 何智武、段錦浩，1984年，小集水區土地開發與保育處理對溪流量及泥砂產量之影響，農委會委託研究報告。
4. 段錦浩，1985年，山坡地開發對洪災的影響(三)，國科會委託研究報告。
5. 日本財團法人防災研究協會，1984年，交野市防災に關する調査研究。
6. 臺灣省自來水股份有限公司中區工程處，1992年，大坑地區供水計畫。
7. 都市水文研究グループ，昭和63年6月，調節池の計劃と設計。
8. 徐義人、呂珍謀，1984年8月，藉試驗參數推算小集水區之洪峯流量，林試所委託研究報告。
9. 顏清連、林崇民，1981年12月，坡地逕流及沖蝕模式之比較研究，農委會委託研究報告。
10. 中興工程顧問社，1988年12月，台北市大安至松山邊防洪調節池先期規劃報告，台北市政府委託報告。
11. 台大水工試驗所，1989年5月，台北市雨水下水道規劃手冊，台北市政府委託報告。
12. 農林航測所，1988年，台灣地區山坡地土地可利用限度分級與土地利用狀況調查報告，上、下冊，該所叢刊第66號。
13. 汪正忠，1988年，中華水土保持學報19(2):63-74，山坡地開發對逕流、入滲及泥砂產量影響之研究。
14. 盧惠生等，1987年，集水區不同土地利用逕流與沖蝕之研究，中華水土保持學報18(2)112-121。
15. 台中市政府，1990年12月，台中市大坑風景區整體開發建設計畫。
16. 台中市政府，1992年2月，台中市都會動物公園初步開發可行性分析。
17. 省自來水中區工程處，1992年6月，大坑地區供水計畫。
18. 巨達工程顧問有限公司，1992年6月，台中市大坑風景區申請開發許可應注意事項及審查規範。台中市政府委託報告。
19. 台中市政府，1991年，台中森林遊樂公園開發計畫。
20. 蘇苗彬，1992年2月，台中市西南屯野溪坑溝治理規劃，台中市政府委託報告。

A Study on Runoff Characteristics and Sediment Transport of Slopeland Urbanization (I) — Hydrological Observation and Data Analysis

Chih-Yuan Lin⁽¹⁾ *Chih-Wu Ho*⁽²⁾ *Maiu-Bin Su*⁽³⁾

Summary

The objective of this research is to study the impact on rainfall-runoff and sediment transport characteristics of slopeland urbanization in Taiwan by the investigation of the hydro-environmental change for slopeland development and different types of landuse sites. The hydrologic characteristics studied include the evaluation of the relationships between percentage of development and allowable landuse capability. And, the results achieved are then applied to the planning of field monitoring system for future data collection.

As the results, seven observation stations were established in Taipei & Taichung. The observation items include the rainfall intensity, sedimentation, water quality and hydrograph on the time scale. The preliminary analysis of field records compared reasonably well with the theorem of hydrology. The monitored data can be applied to hydro-environmental study in the future.

(1) Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

(2) Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

(3) Associate Professor, Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.