

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-地球科學科

科 別：地 球 科 學 科

組 別：國 中 組

作品名稱：大內的月世界 -

二重溪層泥岩區的惡地地形調查研究

關 鍵 詞：二重溪層、惡地地形、沖蝕溝

編 號：030504

學校名稱：

臺南縣立大內國民中學

作者姓名：

陳怡伶、葉純菁、尤雅慧、楊鎮溢

指導老師：

林志秋



大內的月世界 -

二重溪層泥岩區的惡地地形調查研究

壹、摘要

本研究選擇大內鄉的二重溪層泥岩區做惡地地形的調查，首先界定出蝕溝，再依序計測蝕溝的寬度（W）及深度（D），並計算出其比值（ $P = W/D$ ）。P 值大小正反映了蝕溝的形態，P 值愈大，蝕溝愈寬淺；反之，則愈狹深。研究區因地貌的差異可以分為四區，藉由分析四區蝕溝 P 值峰部形態的差異，及土指、潛水洞和植被等特徵的觀察記錄，探討區域性地貌形成差異的影響因素。由於此四區相鄰，因此我們可以假定這四區的氣候條件相同，影響因素可能有泥質岩體裸岩面的相對高度、坡度、岩性、地層排列的方向性等。研究所得並初步和古亭坑層泥岩區的惡地地形做比較，及做為編寫鄉土教材和實施戶外教學的參考。

貳、研究動機

「惡地」(badland)是指地質軟弱疏鬆，地表遭受強烈侵蝕，出現無數深峻相鄰的雨蝕溝谷和溝紋，以致地形崎嶇難行，且不易作為農業土地利用，草木難生、童山濯濯的荒涼地區。此類地形一般被俗稱為「月世界」，其中又以高雄縣田寮、燕巢鄉一帶的月世界最為名聞遐邇，而一般人對月世界的認識及相關的研究，亦獨鍾此地。殊不知在我們土生土長的大內鄉，也有這類的地形存在。聽老師說，我們這裏的地層和高雄那裏不太一樣，這就引起我們的好奇，那麼我們這裏的惡地地形是不是會和田寮月世界有所差異呢？影響惡地地形發育的因素究竟有那些？表現出來的地形特徵又如何？這種地區真的寸草不生嗎？由於他人研究的目光都集中在田寮的月世界，因此我們決定跟著老師的腳步，去填補這學術研究不足的角落。

參、研究目的

基於以上的問題，我們這次的調查所要達到的目的有下列幾點：

- 一、探討影響惡地地形發育的因素；
- 二、探究惡地的地形特徵及影響地貌形成差異的主要因素；
- 三、比較二重溪層與古亭坑層惡地地形的差異；
- 四、了解惡地的植被生長情形；
- 五、研究所得供作編寫鄉土教材和實施戶外教學的參考。

肆、研究歷程與方法

一、研究器材：

計測登記表格、皮尺二個（7.5m）、羅盤傾斜儀一個、單眼照相機一台。

二、研究方法與流程：

一面蒐集相關的研究文獻，一面進行地形調查與計測的野外工作，必要時並照相及採集標本，將所得資料和數據加以整理、分析，最後撰寫研究成果，並據以規劃戶外教學的實施（圖 1）。

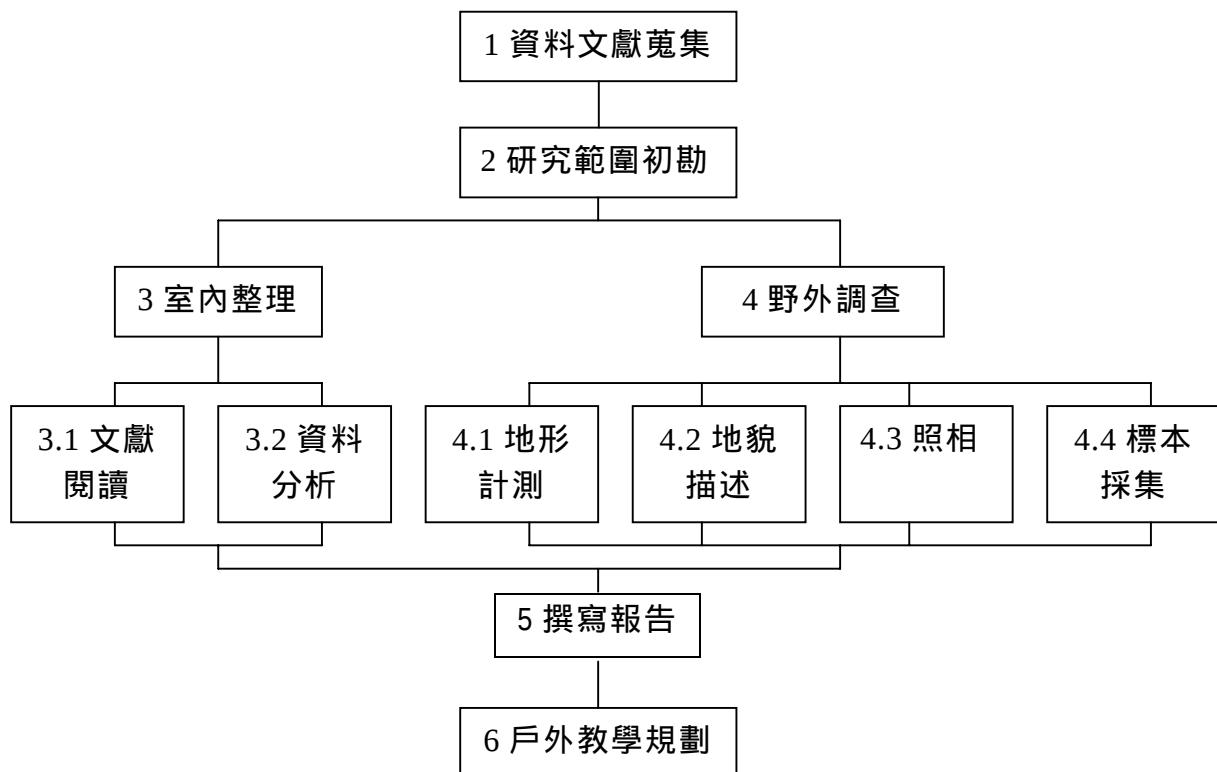


圖 1 研究方法與流程

三、研究範圍：

根據大內地區的地形圖及地質圖，在幾次的路線勘查後，為了方便分析和研究，在考量研究區的易達性及代表性下，最後選擇位於二溪國小南南東方約一公里處的惡地地形做為深入調查的研究區（圖 2）。

四、研究區的地貌觀察：

研究區東西約跨 300 公尺，由於地貌有所差異，故為了分析的方便，由西向東依序將其分為 A、B、C 三區（照片 1），A、C 二區當地人又賦予它們詩情



圖 2 研究區的地形及地質圖（○為研究區）

資料來源：鍾廣吉、石瑞銓，2000：18-19。

畫意的名稱，依序被稱為「疊彩山」(照片 2)和「醉仙跡」(照片 3)，B 區則可視為前兩區的過渡，高度較低(照片 4)。其中，由於 A 區的南坡和北坡相對高度不同，故地貌的計測工作是將之分開的，因此研究範圍共可分為四區，有關此四區的基本資料整理如下(表 1)：

表 1 研究範圍四分區的地形概況

分 區	相對高度 (m)	測量範圍 (m)	坡度	坡之走向
A 區北坡	11	110	45 °	N40 ° W
A 區南坡	20	205	40 °	N40 ° W
B 區	7	105	70 °	N70 ° E
C 區	16	130	60 °	N60 ° W

資料來源：實地觀察計測所得。

五、研究歷程：

研究區因地貌的差異可以分為四區，由於此四區相鄰，因此我們可以假定

這四區的氣候條件相同，透過對這四區地貌的觀察與計測，不僅有助於我們了解當地惡地地形的地貌之所以會形成差異的影響因素，也能由此探知影響惡地地形發育的因素有那些，並進一步和古亭坑層泥岩區的惡地地形做比較。蝕溝計測的方法，是先測量泥質岩體裸岩面的斜坡長度（h），以 $h/10$ 做為判斷蝕溝的標準，蝕溝長度大於此值才做為蝕溝來計測，依序測量各個蝕溝的寬度及深度（照片 5、6）。由於一條蝕溝各處的寬度及深度並不一，基於計測的方便，因此測量的位置統一規定在從基部往上一公尺處，位置太高的蝕溝基於安全性的考量，則不列入計測範圍，以下將四區的計測結果依蝕溝由左而右的順序列表如下（表 2）。除了計測各蝕溝的寬度及深度外，並計算其寬度（W）除以深度（D）的比值（P），P 值大小反映了蝕溝的形態，P 值愈大，蝕溝愈寬淺；反之，則愈狹深。另外亦附帶土指、潛水洞等地形特徵的觀察記錄。

表 2 研究區蝕溝計測資料與地形特徵（單位：cm）

區域	編號	寬(W)	深(D)	比值 ($P=W/D$)	地形特徵
A 區 北坡	1	780	298	2.6	土指中段較多
	2	800	170	4.7	土指中、下段較多
	3	250	60	4.2	
	4	600	136	4.4	土指下段較多
	5	1700	200	8.5	土指上、中、下段都有，下段較多
	6	240	21	11.4	中間有土指
	7	95	10	9.5	
	8	130	45	2.9	下方有土指
	9	140	50	2.8	
	10	235	64	3.7	土指上、中、下段都有，下段較多
	11	250	70	3.6	
	12	240	60	4.0	下方有土指
	13	150	50	3.0	
	14	90	36	2.5	土指下段較多
	15	36	80	0.5	土指上中下段都有，上段較多
	16	403	80	5.0	中間有土指
	17	780	298	2.6	中、下段有土指，下段較多
	18	800	170	4.7	中、下段有土指，下段較多
	19	250	65	3.8	中間有土指
	20	600	136	4.4	下方有土指
	21	1700	200	8.5	
	22	275	60	4.6	土指上、中、下段都有，下段較多
	23	290	100	2.9	上方有土指
	24	150	50	3.0	下方有土指
	25	244	51	4.8	
	26	190	100	1.9	
	27	326	90	3.6	

A 區 南坡	28	120	35	3.4	
	29	230	60	3.8	
	30	84	25	3.4	
	31	140	55	2.5	
	32	64	55	1.1	
	33	472	90	5.2	
	34	403	80	5.0	
	1	464	150	3.1	
	2	785	160	4.9	
	3	187	80	2.3	
	4	115	70	1.6	
	5	390	140	2.8	
	6	650	150	4.3	土指中段較多，天然橋分布於中段
	7	140	60	2.3	
	8	195	80	2.4	
	9	180	50	3.6	
	10	200	30	6.7	
	11	216	51	4.2	
	12	120	50	2.4	
	13	120	40	3.0	
	14	90	21	4.3	
	15	235	41	5.7	
	16	170	46	3.7	
	17	140	39	3.6	
	18	110	60	1.8	土指上、中、下段都有，下段較多
	19	150	61	2.5	
	20	197	70	2.8	土指上、中、下段都有，下段較多
	21	240	51	4.7	土指上方較多
	22	210	40	5.3	
	23	151	31	5.0	
	24	130	29	4.5	
	25	70	16	4.4	
	26	80	30	2.7	
	27	70	20	3.5	
	28	101	25	4.0	
	29	99	21	5.0	
	30	80	20	4.0	
	31	137	55	2.5	
	32	199	101	2.0	
	33	677	130	5.2	土指中段較多、下段較少
	34	350	140	2.5	土指下段較多、中段較少
	35	452	120	3.8	土指下段較多、中段較少
	36	319	81	4.0	土指下段較多、中段較少

	37	224	38	5.9	土指下段較多、中段較少
	38	230	40	5.8	下方有天然橋
	39	370	43	8.6	土指下段較多、中段較少
	40	370	102	3.6	土指中、下段都有
	41	70	23	3.0	
	42	160	64	2.5	
	43	222	43	5.2	
	44	230	40	5.8	
	45	405	50	8.1	
	46	170	50	3.4	土指中、下段都有
	47	488	95	5.1	土指中、下段都有
	48	155	50	1.7	
	49	320	65	4.9	
	50	181	50	3.6	
	51	195	65	3.0	
	52	343	90	3.8	
	53	234	65	3.6	
	54	196	60	3.3	
	55	103	34	3.0	
	56	109	49	2.2	
	57	275	84	3.3	
	58	328	76	4.3	土指上中下段都有，並有潛水洞
	59	100	32	3.1	土指上中下段都有，並有潛水洞
	60	72	10	7.2	
	61	130	40	3.3	
	62	96	34	2.8	
	63	191	40	4.8	
	64	170	65	2.6	
	65	166	70	2.4	
	66	74	56	1.3	土指下段較多、中段較少
B 區	1	76	29	2.6	
	2	62	31	2.0	
	3	70	57	1.2	
	4	40	50	0.8	
	5	51	34	1.5	
	6	254	76	3.3	
	7	202	67	3.0	
	8	95	48	2.0	
	9	431	262	1.6	
	10	620	324	1.9	
	11	623	166	3.8	
	12	608	178	3.4	
	13	361	136	2.7	

	14	66	40	1.7	
	15	431	262	1.6	
	16	626	234	2.7	
	17	623	166	3.8	
	18	608	178	3.4	
	19	361	136	2.7	
	20	66	40	1.7	
C 區	1	386	130	3.0	土指中、下段都有
	2	236	96	2.5	
	3	160	79	2.0	
	4	110	43	2.6	
	5	90	29	3.1	
	6	103	40	2.6	
	7	120	24	5.0	
	8	70	30	2.3	
	9	150	45	3.3	
	10	240	49	4.9	土指中、下段都有
	11	101	51	2.0	土指中、下段都有
	12	159	70	2.3	土指中、下段都有
	13	90	80	1.1	下段有潛水洞
	14	140	61	2.3	下段有潛水洞
	15	395	114	3.5	土指下段較多
	16	265	100	2.7	土指下段較多
	17	186	107	1.7	土指下段較多
	18	170	79	2.2	土指下段較多
	19	175	80	2.2	土指下段較多
	20	297	108	2.8	土指下段較多
	21	161	104	1.5	土指下段較多

資料來源：實地觀察計測所得（2001.11~2002.2）。

伍、分析與討論

為便於研究區調查資料的分析，首先就現有的研究成果，大多是有關古亭坑層泥岩區惡地地形的探討，進行文獻整理，以歸納出影響惡地地形發育的因素，並進一步以此比較二重溪層和古亭坑層兩種地質稍有不同的泥岩區，其展現出的惡地地貌究竟會有何差異。

一、討論一：探討影響惡地地形發育的因素

由相關研究文獻的整理發現，影響惡地地形發育的因素，不外乎有地質、土壤、氣候與植被等，這些因素是相互關連的，再加上人類不妥善的土地利用方式，也益發促進惡地地形的發育。茲將影響惡地發育的成因，分成地質、土壤、氣候與其他等四個因素分述如次：

（一）地質因素

台灣南部地區的泥岩地層，分佈在官田—新化—關廟—岡山—線以東，與玉井—南化—旗山—線的西部麓山帶（圖 3）。它們是由厚層的青灰色泥岩系組成，此泥岩在舊的文獻中被稱為古亭坑層，耿文溥則稱之為南化泥岩。

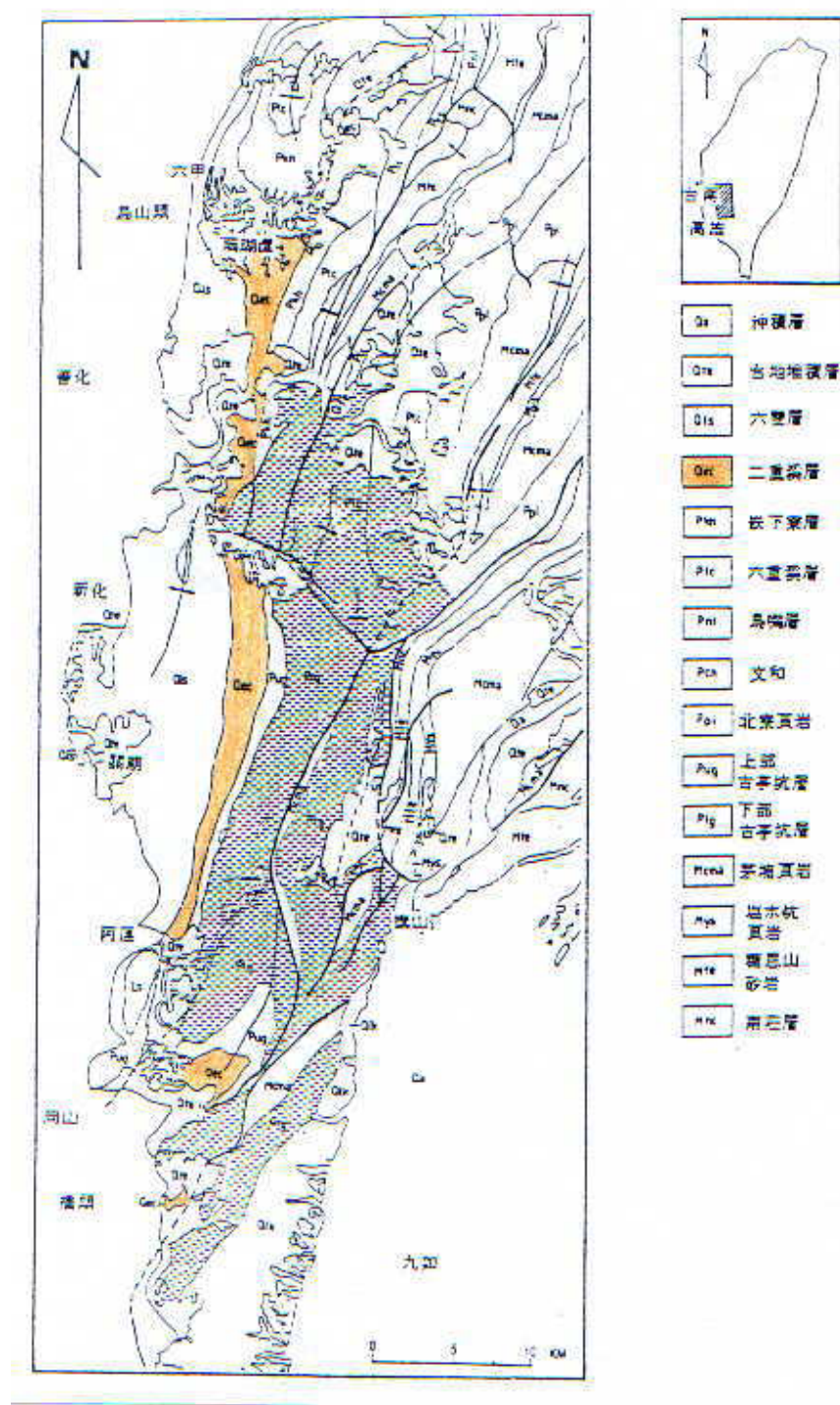


圖 3 南部地區泥岩地層分布

資料來源：王鑫（1988），《泥岩惡地地景保留區之研究》，農委會和台大地理研究所合作計畫。

南化泥岩廣泛地分佈在台南縣和高雄縣境內，北起玉井，南迄燕巢，南北長約 35 公里，東西平均寬約 8 公里，面積約 280 平方公里，佔台南以東丘陵區總面積之半。泥岩由於顆粒細小，而且顆粒間的膠結十分疏鬆，因此侵蝕狀況十分嚴重；加上泥岩的透水性低，遇水立即變得十分軟滑，順坡下流，因此山坡上充滿了蝕溝和雨溝。泥岩的岩性不僅抗蝕力弱，易被侵蝕出蝕溝外，亦因具有如綠泥石、伊萊石等黏土礦物而具有黏滯性，使侵蝕成的蝕溝易於保留下來，不易崩坍。

（二）土壤因素

泥岩出露區土壤平均厚度不及一公尺，惡地地形發達的地區，露頭所見土壤厚度僅 30~50 公分。泥岩惡地風化的土壤含可溶性鹽成份很高，這些交換性鈉及鹽離子易引起土層分散作用(dispersion)，使土壤膠體懸浮於水中，每當雨季，即隨水流失影響土壤穩定度，更助長其沖蝕的災害。

南部土壤粒度據石再添分析，大多在 5~8 (1/128~1/256mm)，在美國農業部土壤分類中屬於粉質壤土和粉土，手觸之有鬆脆的感覺，乾時易成土塊，用手壓之易破碎，搓碎時有光滑及粉狀感覺，稍加水即易流動成泥狀，其內夾有少許黏土，月世界附近的蔗田土含黏土較多，乾時易成大小不等的硬土塊，濕時黏性很大，滲透欠佳，每遇暴雨地表多逕流，加強侵蝕。

作物的生長和可溶性鹽分的含量亦密切相關，土壤可溶性鹽分含量在 2mmhos/cm 以下，溫度在 25℃ 以下時，大多數作物不受影響；在 2~4 mmhos/cm 時，敏感的作物會受到限制；在 4~6 mmhos/cm 時，只有耐鹼作物能生長；在 16 mmhos/cm 以上時，則很少有作物能生長了。由於可溶性鹽分含量偏高，所以在惡地地區草木難生，形成光禿禿的地貌，使得侵蝕作用更容易進行。

鹽鹼土大多在乾燥地區發育形成，或因地形低窪，排水不良，鹽分聚積而形成的；然而本區雨量尚豐，且多半是丘陵地形，除河谷外，一般排水尚佳，應當不適宜鹽鹼土的發育，所以本區南部惡地地區土壤的鹽性和鹼性，乃源於青灰泥岩的母質，因而也可以推論這個泥岩層是海相沈積。另外，在田野中發現泥岩中存在有孔蟲的化石，亦可做為另一佐證（照片 7）。

（三）氣候因素

惡地的分布，大多處於乾燥或半乾燥地區，特別是雨量有明顯的季節差異者；由於長期乾旱之後的突發暴雨，土壤的沖刷劇烈。由表 3 可知，本區的氣候特徵為全年高溫，年均溫在 25℃ 以上，夏季月均溫在 29℃，而冬季月均溫很少在 20℃ 以下。乾溼季明顯，雨量集中在 6~10 月，11 月至翌年 4 月則為乾季，常發生旱災。全年蒸發量在 1614.05mm，日平均蒸發量約在 4.42mm。年降雨量平均為 1850.74mm，雖然超過年平均蒸發量，但降雨量並非全年平均分配，而蒸發量的分布則全年均勻，在枯水期的蒸發量遠超過降水量好幾倍（表 4、圖 4），導致土壤乾燥剖裂（泥岩特性），並對成土作用中的鹽化作用大有助益。加以雨季短（全省雨季最長者，台南僅 109 日），降雨強度大，對剛發育的土壤或剛立足於表土上生長的植物，沖刷殆盡，促使泥岩大塊崩壞，以致崎嶇難行。

表 3 台灣西南部丘陵地的氣候資料 (1968.6~1973.6)

氣候項目	降雨量 (mm)				氣溫 ()			蒸發量 (mm)		
月份	月平均	對年降雨量之百分率	平均日最大雨量	日最大雨量	日平均	最高溫	最低溫	日平均	最高	日總平均蒸發
1	26.01	1.41	18.00	61.0	18.2	31.0	3.0	3.10	4.9	93.4
2	3.13	0.17	2.16	5.9	20.1	37.5	4.5	3.67	5.7	103.4
3	6.6	0.36	2.93	9.5	21.9	35.5	11.0	4.26	6.2	132.1
4	61.9	3.34	39.39	110.0	25.2	35.5	10.5	5.07	7.0	152.2
5	194.9	10.54	73.35	125.0	29.2	37.5	20.0	5.35	8.7	165.7
6	405.5	21.90	117.23	197.4	29.6	39.0	20.0	5.02	8.2	150.5
7	383.3	20.71	135.59	230.0	30.2	39.0	22.5	5.29	9.1	164.0
8	428.8	23.16	134.15	305.0	29.1	37.5	21.5	4.82	7.9	149.4
9	257.5	13.91	112.58	214.0	29.5	35.5	20.5	4.83	7.8	144.8
10	67.0	3.62	42.36	110.0	26.1	34.5	15.5	4.57	7.5	141.6
11	4.7	0.26	2.31	6.1	23.0	34.5	11.0	3.96	7.4	118.7
12	11.4	0.62	8.77	41.0	20.6	31.0	7.0	3.17	7.5	98.4
合計或平均	1850.74	100.00	—	305.0*	25.23	35.66	14.1	4.42	9.1*	1614.2

註：*表示最大值。資料來源：邱創益（1981），直接引自蘇禹銘等（1999）。

表 4 台南測站的降雨量與蒸發量資料 (1951~1980)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1951~1980 平均
降雨量(mm)	17.5	21.1	28.9	67.3	161.9	400.6	325.7	378.1	154.5	29.5	19.9	10.6	1615.5
蒸發量(mm)	81.4	91.8	128.3	139.0	163.9	154.3	168.1	148.5	140.0	130.6	103.0	85.7	1539.8

資料來源：王鑫，1988：17-20。

此外，本區正位於本省平均年雷雨日地理分布最大中心—永康的附近（圖 5），平均年雷雨日達 30~40 日，此氣候因素對本區惡地的形成亦有一定的影響力。

（四）其他

惡地形成的因素除上述的地質、土壤、氣候等自然因素外，尚有一些人文因素。其中以農墾或放牧的過盛，易造成土壤的流失，而這種景觀在本區內到處皆可發現。尤其是牧羊過盛，羊嗜食草類，其所到之處，草根盡毀，土壤最易暴露，沖刷甚烈。其次是濫墾，本來在典型惡地地區的古亭坑層上部，尚覆有一層第四紀洪積世或沖積世的風化土，透水性佳，利於耕作，但土層較分佈於台灣北部者為薄，而這層唯一可耕作的沖積土，卻在農民不善的耕作下，幾乎破壞殆盡，致泥岩出露、沖積土崩塌，基岩暴露更多，地勢更崎嶇。

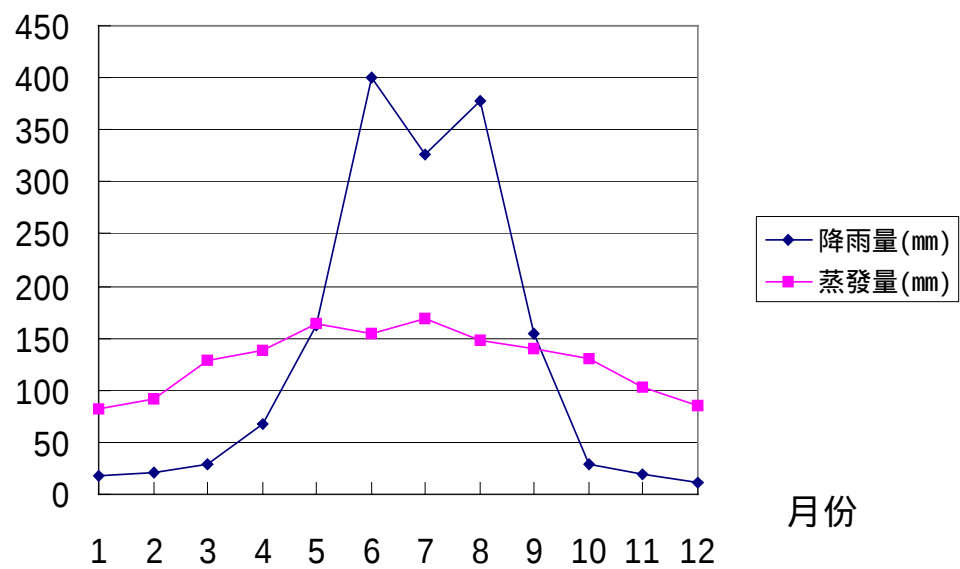


圖 4 台南測站的降雨量與蒸發量分布 (1951~1980)
資料來源：表 4

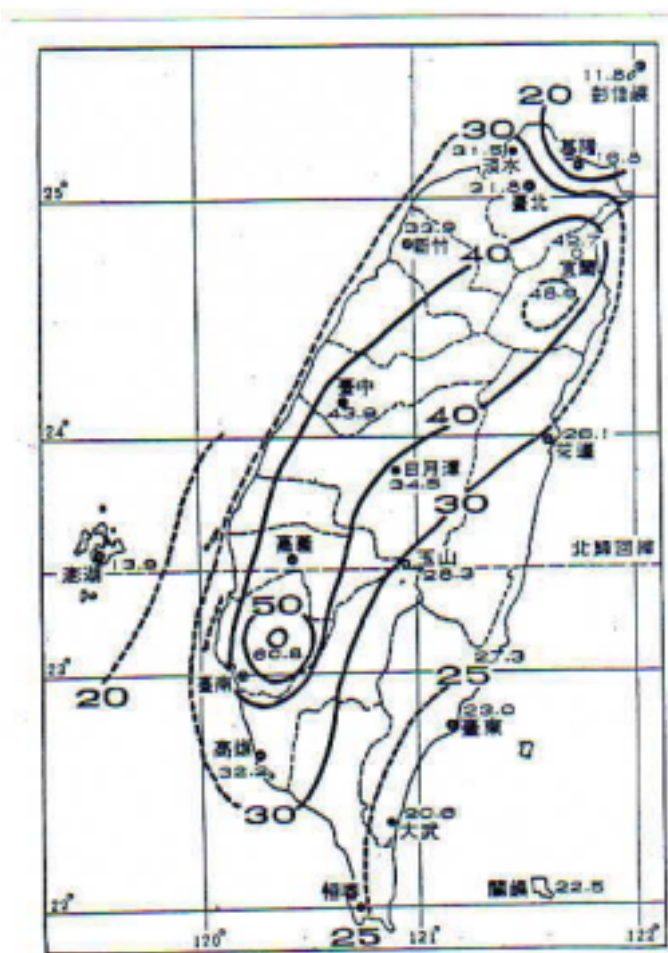


圖 5 台灣平均年雷雨日
資料來源：劉衍淮，1966：18。

二、討論二：探究惡地的地形特徵及影響地貌形成差異的主要因素

首先，說明蝕溝形態、土指、潛水洞和天然橋等惡地地形的成因，再針對計測所得的資料做分析，以探討影響研究範圍四分區的地貌形成差異的主要因素。

（一）蝕溝形態：

雨水及漫地流（overland flow）侵蝕是惡地地形發育的主要營力。降雨時，水點撞擊地面後，最初滲入地下，當降雨量大於入滲量時，漫地流形成並且沿坡面流下，不僅溶化了表面的泥質，也刻蝕出明顯細密的雨溝。漫地流逐漸匯聚成為逕流，沿著雨溝流動，造成線性侵蝕（linear erosion），由於坡面雨溝的流水已含有或多或少的泥質，而形成濁流或泥流，這種含有泥質的流水可以載運更多的岩石碎屑，所以它的侵蝕能力更大，可以進一步將雨溝刻蝕成深狹的溝谷。

茲依蝕溝寬度（W）除以深度（D）的比值（P）大小，將表 2 的計測資料整理成表 5，並將四個分區的 P 值峰部繪製成統計圖（圖 6~9），以利分析、討論。如前所述，P 值可以反映蝕溝形態，P 值愈大，蝕溝愈寬淺；反之，則愈狹深。至於影響此形態差異的因素可能有水流的侵蝕力、岩性和地層的方向性等，由於這四個研究分區相鄰，而且又離河流皆有一段距離，因此我們可以假定這四區的氣候條件相同，基本上也可以排除水流侵蝕力強弱所造成的差異。

表 5 研究分區的蝕溝比值

分 區	比值（P）	<1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5	總計	平均
A 區北坡	數量	1	2	7	9	8	7	34	3.40
	%	2.9	5.9	20.6	26.5	23.5	20.6	100.0	
A 區南坡	數量	0	4	16	19	13	14	66	3.88
	%	0	6.1	24.2	28.8	19.7	21.2	100.0	
B 區	數量	1	7	6	6	0	0	20	2.37
	%	5.0	35.0	30.0	30.0	0	0	100.0	
C 區	數量	0	3	12	4	1	1	21	2.74
	%	0	14.3	57.1	19.0	4.8	4.8	100.0	

資料來源：由表 2 整理而成。

由圖 6 可看出 A 區北坡蝕溝 P 值的峰部型態為平峰型單峰，P 值大致平均分散在 2~6 之間，表示影響其蝕溝形態的因素較多，但不具主導性因素。圖 7 可看出 A 區南坡蝕溝 P 值的峰部接近平峰型單峰，P 值亦大致平均分散在 2~6 之間，最大的不同處在於 P 值大於 5 所佔的百分比比 P 值 4~5 略高一些，而略顯雙峰的峰部，此表示影響其蝕溝形態的因素並不單一，尚受其他因素影響。由於此區與圖 6 的 A 區北坡可說是「一體兩面」，為同一泥質岩體的南、北兩坡面，只是本區的相對高度較大，亦即計測的位置是在 A 區北坡計測位置的下方，推測由於漫地流分散的緣故，以致侵蝕力不及 A 區北坡，使得 P 值大於 5 所佔的百分比略高一些而呈雙峰形態。因為 P 值愈大表示蝕溝愈呈寬淺的形態，應是漫地流的下蝕力較弱所致。

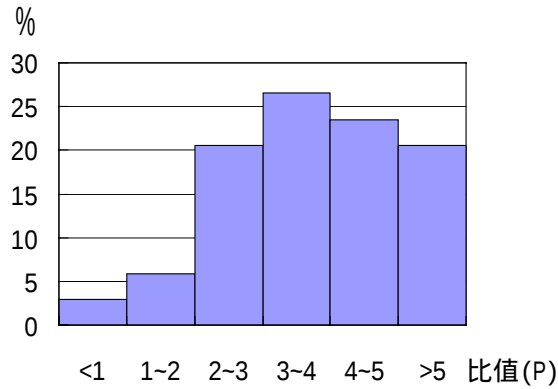


圖 6 A 區北坡蝕溝的 P 值峰部

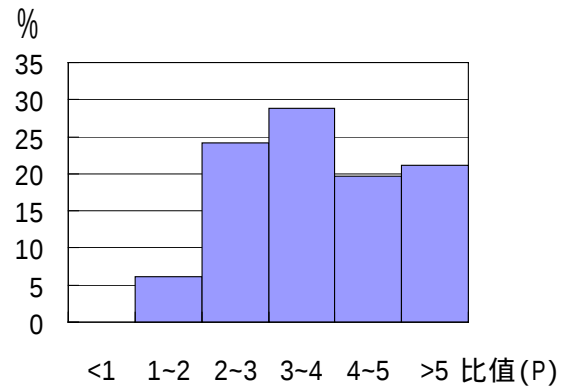


圖 7 A 區南坡蝕溝的 P 值峰部

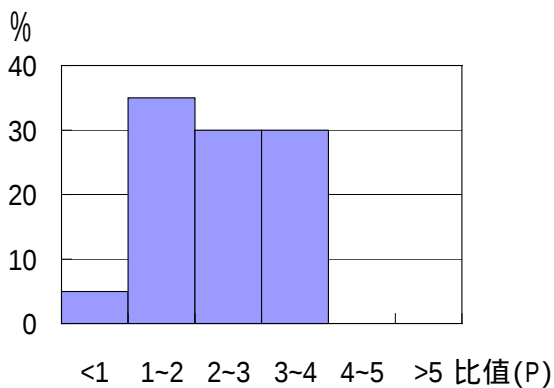


圖 8 B 區蝕溝的 P 值峰部

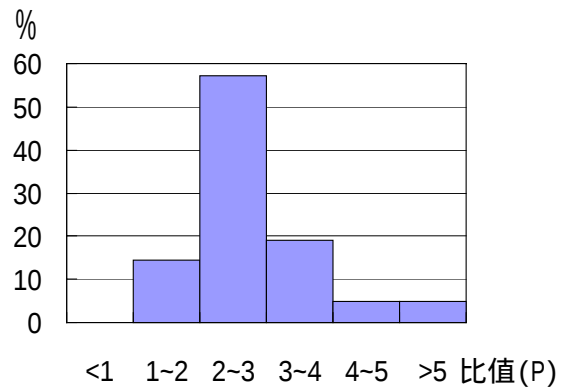


圖 9 C 區蝕溝的 P 值峰部

依此觀點來看 B 區蝕溝 P 值的峰部亦為平峰型單峰 (圖 8), P 值大致平均分布在 1~4 之間, 比前兩區的 P 值小, 由此區的相對高度最低, 以致漫地流較為集中而下蝕力較強可獲得解釋。

再來看 C 區蝕溝 P 值的峰部則為尖峰型單峰 (圖 9), P 值明顯集中於 2~3 之間 (佔 57.1%), 表示影響此區蝕溝形態的因素有一明顯的主因, 會有這種情形的產生, 可能是因為本區泥岩的地層皆幾近垂直排列。而反觀 A 區由於範圍大, 地層排列並不一致, 有順向坡, 也有逆向坡。而 B 區雖為側向坡, 但受到夾層砂岩的影響, 均使影響蝕溝形態的因素增多, 而使其 P 值峰部呈現平峰的型態。

若進一步將各分區所測蝕溝的 P 值加以平均 (表 5), 並與各分區的相對高度及坡度 (表 1) 做一比較 (表 6), 亦可發現泥質岩體裸岩面的相對高度愈大, 則因漫地流愈分散, 下蝕力愈弱, 以致 P 值愈大, 亦即蝕溝深度愈淺。P 值的大小受到泥質岩體裸岩面相對高度的影響外, 亦明顯受到坡度的影響, 坡度愈大則漫地流流速愈快, 以致下蝕力愈強, 形成的蝕溝也就愈深。由以上的分析可總結得出, P 值大小與泥質岩體裸岩面的相對高度成正比, 與其坡度成反比。

至於蝕溝分布的形態, B、C 兩區由於受到夾層砂岩的影響, 岩性不若 A 區均一, 使得蝕溝的分布較不規則 (比較照片 1、3、4)。

表 6 P 值意義及其與相對高度和坡度的相互關係

項目	四分區比較
相對高度	A 區南坡 > C 區 > A 區北坡 > B 區
坡度	A 區南坡 < A 區北坡 < C 區 < B 區
P 值平均值	A 區南坡 > A 區北坡 > C 區 > B 區
蝕溝形態	寬淺 - - - - - → 狹深

資料來源：整理自表 1、表 5。

(二) 蝕溝密度

再就各分區的蝕溝數量除以範圍長度的蝕溝密度，亦即蝕溝分布的緻密性來看（表 7），A 區南、北坡相差無幾，此乃因這兩區實為「一體兩面」，岩性並無不同所致。至於 B 區和 C 區亦差異不大，也可將之視為同一區，不過其蝕溝密度要遠低於 A 區，這可能是因為這兩區的泥岩中夾有砂岩，砂岩相較於泥岩來說，較不易形成蝕溝，以致其蝕溝分布不及 A 區來得緻密（比較照片 1、3、4）。

表 7 研究區的蝕溝密度及其土指分布

分區	蝕溝密度= 蝕溝數/範圍長（m）	土指分布在蝕溝的位置						有土指分布 的蝕溝	
		上方		中間		下方			
		數量	%	數量	%	數量	%	數量	%
A 區北坡	0.31	2	10.5	5	26.3	12	63.2	18	52.9
A 區南坡	0.32	3	13.1	7	30.4	13	56.2	23	24.2
B 區	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0
C 區	0.16	0	0	4	26.7	11	73.3	11	52.4

資料來源：由表 1、表 2 整理而成。

(三) 泥流堆積與土指：

降雨強度大的時候，泥岩表面極易軟化或溶化而成為泥流，順溝谷下流的泥漿，常在坡腳或下游的谷裡堆積，形成隆起的沖積扇形小丘（照片 8）。土指這種小地形，通常發育在溝谷出口泥流分布的地方，泥流常是前一期降雨後帶來的，在後一次降雨的時候，雨點直接衝擊鬆軟泥質表土所形成，是一種細小的指狀突起，通常頂上有一顆石粒覆蓋，也就是靠著這粒小石，保護著下部的泥土，抵抗了雨滴的打擊，周圍沒有石粒保護的泥土則被打散流出，因此遺留下一株一株密布的土指，突出地面。

由表 7 可清楚看出，各分區的土指位置，皆以分布於蝕溝下方居多，其次是中間，上方最少，此分布情形顯然與上述成因有關。至於有土指分布的蝕溝佔總蝕溝數量的比例，A 區北坡和 C 區較高，B 區則並沒有發現土指。之所以會有這麼大的差別，就田野的觀察來推測，可能是因為 A 區北坡和 C 區的節理較發達，此裂面因水的充填而產生氧化作用，形成棕黃色成片狀的氧化鐵，此物質相對於泥岩來說，抗蝕力較強（照片 9），正好起了保護底下脆弱的泥岩抵抗雨滴濺蝕的作用。仔細觀察土指的頂部，不難發現氧化鐵的存在（照片 10）。

(四) 夾層砂岩的節理間距

B、C 這兩區的泥岩中夾有砂岩，因此其蝕溝分布不及 A 區來得緻密。夾層砂岩中可發現節理的分布（照片 11），經過計測節理間距的結果（表 8），雖然測得的數據有限，不過經過迴歸分析後，仍可大略看出有夾層砂岩愈厚，則其節理間距愈寬的現象存在（圖 10）。此乃因厚度愈大，則抵抗外力擠壓的力量亦愈大，因此形成的節理就少，以致節理間距較寬。

表 8 B 區夾層砂岩的節理間距（單位：cm）

夾層砂岩編號	一		二		三		四		五	
節理間距編號	砂岩厚度	節理間距	砂岩厚度	節理間距	砂岩厚度	節理間距	砂岩厚度	節理間距	砂岩厚度	節理間距
1	50	80	30	60	50	10	50	30	30	20
2	50	30	30	25	50	20	45	40	30	30
3	50	40	30	15	50	15	45	60	30	35
4	50	40	35	50	55	30	45	40	30	25
5	50	30	30	30	55	45	45	30	30	25
6	50	40	55	70	50	15	45	40	30	30
7	50	70	40	50	60	20	45	60	30	10
8	—	—	—	—	60	50	45	50	30	35
9	—	—	—	—	50	60	45	90	30	40
10	—	—	—	—	60	55	—	—	30	15
11	—	—	—	—	45	40	—	—	30	30
12	—	—	—	—	50	20	—	—	30	30
13	—	—	—	—	50	30	—	—	30	10
14	—	—	—	—	50	30	—	—	30	20
15	—	—	—	—	—	—	—	—	30	25
平均	50.0	47.1	35.7	42.9	52.5	31.4	45.6	48.9	30.0	25.3

資料來源：實地觀察計測所得（2002.1.17）。

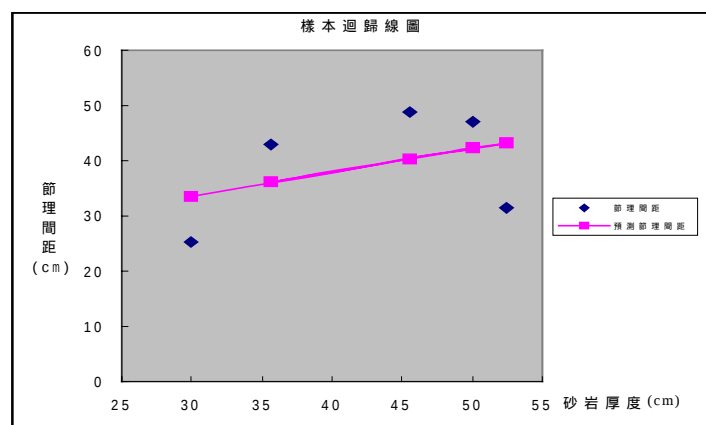


圖 10 B 區夾層砂岩節理間距的迴歸分析

資料來源：表 7。

（五）潛水洞和天然橋：

潛水洞和天然橋是兩種在溝谷中常見的小地形，並且是由同一個過程形成的。溝谷中堆置的泥流組織鬆軟，在下一次的降雨期間，谷中的流水沖蝕，有時在堆積物的下方或中間沖出了隧道，隧道頂盤局部崩陷後，就形成潛水洞，大小大致在數十公分到一公尺以上。這種洞穴從溝谷的上側一直排列到下側，往往在一條溝谷上就有七、八個之多，洞與洞間的隧道仍然有頂蓋，如果殘留的頂蓋不長，看起來就彷彿像拱橋一般，因此稱之為天然橋。

由田野觀察發現，潛水洞和天然橋常相伴出現（照片 12），不過後者較少見，因潛水洞殘留的頂蓋不長才形成天然橋。另一個常見的現象是，潛水洞的上方往往會有土指的發育（照片 13），因此潛水洞的分布與土指一樣，以位於蝕溝下方居多，上方最少。

三、討論三：比較二重溪層與古亭坑層惡地地形的差異

台灣南部地區的泥岩地層大致可以曾文溪為界分為兩種地層，以南為大家所熟知的古亭坑層，以北則屬範圍較小的二重溪層。兩者的岩性雖同屬泥岩，皆為惡地地形的主要分布地區，不過兩者之間仍稍有些許的差異。二重溪層的地層時代與古亭坑層一樣皆屬上新更新世，唯略具有層次，具有頁岩的性質，且有砂岩夾層及節理面的存在，不似古亭坑層的泥岩是塊狀，岩性較單一。也正是因為如此，使得二重溪層的惡地特徵展現出更多變的豐富樣貌。

四、討論四：了解惡地的植被生長情形

四個分區中，只有 C 區頂部及另一側緩坡有植被生長，此乃因其泥岩上方覆有一層 2~10 公尺的礫石層或粉砂層，使得植生狀況尚稱良好。植物當中以刺竹的生長狀況最好、分布最廣，尤其是在頂部，幾乎都是刺竹的天下（照片 3）；其次是銀合歡，不過乾季的時候會枯死，且大多分布在下方的位置。位於下方的植被分布，亦只有 C 區零星有幾個地方，尚有芒草等植物的生長，之所以能生長的不錯，應是頂部的礫石層或粉砂層受到侵蝕流失到底下，使得能有植物著生在此（照片 14）。

陸、結論

總結以上的討論，我們可以獲致以下幾點結論：

- 一、研究區因地貌的差異可以分為四區，各區蝕溝寬度（W）除以深度（D）的比值（P）峰部若愈分散，表示影響蝕溝形態的因素愈複雜。
- 二、由於四個研究分區相鄰，且又離河流皆有一段距離，因此我們可以假定這四區的氣候條件相同，基本上也可以排除掉水流量造成侵蝕力強弱不同的因素。

- 三、 P 值的大小，反映蝕溝形態的深狹或寬淺，與泥質岩體裸岩面的相對高度成正比，與坡度成反比。
- 四、 蝕溝分布形態的規則性受到岩性均勻度的影響；岩性愈均勻（泥岩比例愈高），則蝕溝的分布就愈規則。
- 五、 蝕溝的密度亦受到岩性均勻度的影響；岩性愈均勻（泥岩比例愈高），蝕溝的分布就愈緻密。
- 六、 土指的位置，以分布於蝕溝下方居多，其次是中間，上方最少，此分布情形與其成因（泥流堆積位置）有關。至於分布的密度，以 A 區北坡最高，一來是因該區以泥岩為主，易有泥流堆積；二來是因該區節理多，此裂面因水的充填而產生抗蝕力較強的氧化鐵，正好起了保護底下脆弱的泥岩抵抗雨滴濺蝕的作用。
- 七、 夾層砂岩愈厚，則其節理間距愈寬。此乃因厚度愈大，則抵抗外力擠壓的力量亦愈大，因此形成的節理就少，以致節理間距較寬。
- 八、 潛水洞和天然橋常相伴出現，這是因為兩者是由同一個過程形成的。
- 九、 二重溪層與古亭坑層一樣皆屬上新更新世，唯略具層次，且有砂岩夾層及節理面的存在，不似古亭坑層的泥岩是塊狀，岩性較單一。也正因為如此，使得二重溪層的惡地特徵呈現出更豐富的樣貌。
- 十、 就植被的分布而言，通常生長在泥質岩體的緩坡及頂部，至於下方則零星分布，可能是頂部的礫石層或粉砂層受到侵蝕流失到底下，使得植物得以著生。就植被的種類來說，則以刺竹的生長狀況最好、分布最廣；其次是銀合歡，不過乾季時易枯死。

柒、參考文獻

- 1.王鑫（1988），《泥岩惡地地景保留區之研究》，行政院農委會和台大地理研究所合作計畫。
- 2.方淑美（2000），《南瀛地形誌》。新營：台南縣文化局。
- 3.李美枝（1972），《台灣西南部典型惡地的地形學研究》，師大地研所碩論。
- 4.林朝榮（1957），台灣地形，《台灣省通志稿 卷一 土地志 地形篇》。台北：台灣省文獻委員會。
- 5.范瑞霞（1989），台灣西南泥岩惡地—月世界與泥火山，《大地雜誌》16：89-106。
- 6.張治國（1981），從月世界與火炎山談台灣的惡地，《科學月刊》12（8）：64-71。
- 7.經濟部中央地質調查所（1984），高雄地區，《台灣坡地社區工程地質調查與探勘報告（第三卷第三集）》，pp.1-49，經濟部中央地質調查所。
- 8.國立編譯館主編（2001），《國民中學地球科學教科書（全一冊）》。
- 9.劉昭民（1992），《台灣先民看台灣》。台北：台原。
- 10.劉衍淮（1966），台灣雷雨之地理分佈季節頻率與降水量，《地理學研究》1：16-25，師大地理系。
- 11.鍾廣吉、石瑞銓（2000），《台南縣境 175 縣道自白河關仔嶺起至 174 縣道橫路口之間，沿線地質、地形及人文、民俗、景觀之探討暨戶外教學素材之調查》，

台南縣：東山國民中學。

12. 鐘寶珍 (1992), 《惡地上的人與地—田寮鄉民生活方式的形成與內涵》, 師大地研所碩論。
13. 蘇禹銘 (1999), 月世界泥岩惡地植物生態調查研究, 《教育部八十八年中小學科學教育計畫》。
14. 月宮傳奇—田寮鄉月世界之旅專屬網站 <http://www.tdp.ks.edu.tw/moon/>
15. 交通部中央氣象局網站(氣候平均資料) <http://www.cwb.gov.tw/V3.0/index.htm>

捌、實驗過程觀察記錄—照片說明

- 照片 1 研究區鳥瞰 (上方為 A 區北坡, 左方為 B 區, 下方為 C 區)
- 照片 2 A 區 (疊彩山, 屏風岩左方為北坡, 右方為南坡)
- 照片 3 C 區 (醉仙跡, 頂部有刺竹等植被生長)
- 照片 4 B 區 (位於前方, 可見砂岩夾層)
- 照片 5 蝕溝計測情形 (二人測量寬度, 另一人同時測量深度, 第四人負責記錄)
- 照片 6 蝕溝計測情形 (二人測量寬度, 另一人同時測量深度, 第四人負責記錄)
- 照片 7 有孔蟲化石 (位於十元硬幣下方處)
- 照片 8 泥流堆積通常形成於蝕溝下方 (於降雨過後所攝)
- 照片 9 抗蝕力較強的氧化鐵 (差別侵蝕現象)
- 照片 10 土指頂部通常有氧化鐵覆蓋
- 照片 11 B 區砂岩夾層及其節理間距
- 照片 12 潛水洞和天然橋常相伴出現
- 照片 13 潛水洞上方通常會有土指的發育
- 照片 14 蝕溝下方有植物著生



照片 1 研究區鳥瞰（上方為 A 區北坡，左方為 B 區，下方為 C 區）



照片 2 A 區（疊彩山，順向坡）



照片 3 C 區（醉仙跡，逆向坡）



照片 4 B 區（位於前方，側向坡）



照片 5 蝕溝計測情形（側向坡）



照片 6 蝕溝計測情形（側向坡）



照片 7 有孔蟲化石



照片 8 泥流堆積通常形成於蝕溝下方



照片 9 抗蝕力較強的氧化鐵



照片 10 土指頂部通常有氧化鐵覆蓋



照片 13 潛水洞上方通常會有土指的發育



照片 11 B 區砂岩夾層及其節理間距



照片 12 潛水洞和天然橋常相伴出現



照片 14 蝕溝下方有植物著生