

陽明山國家公園磺嘴山步道 品質與土壤沖蝕研究

Trail Quality and Soil Erosion on Mt. Huangzuei Trail, Yangmingshan National Park

李禹璇*

李建堂**

Yu-Hsuan Li

Cheing-Tung Lee

Abstract

This study used a trail census survey to investigate the quality of Mount Huangzuei Trail and analyze the relationship between the characteristics of different impacts. The survey of rail erosion applied the MIP (Maximum Incision: Post-construction), MIC (Maximum Incision: Current Tread) and trail transects method to explore the impact of trail slope and vegetation types upon trail erosion. The results reveal that rock exposure, wet muddy tread and excessive incision were the most common impact problems encountered in the study area. The occurrences of trail impact were closely correlated with trail slope. Steep slopes tended to have root exposure, rock exposure and excessive incision, while gentle slopes tended to have muddiness on trail and excessive width. Among various vegetation types, broadleaf forest is the one in which trail impacts appeared most frequently.

The maximum incision depth measured via the MIP method and the MIC method and the trail transect areas measured via the trail transects method were in proportion to trail slope. The MIP, MIC and trail transect areas tended to increase with trail slope. However, the amount of soil erosion would reach the maximum as slope

* 國立臺灣大學地理環境資源學系碩士

Master, Department of Geography, National Taiwan University.

** 國立臺灣大學地理環境資源學系助理教授，通訊作者 (e-mail: ctlee@ntu.edu.tw)

Assistant Professor, Department of Geography, National Taiwan University, Corresponding Author.

reached level IV (i.e., 16°) and a decrease would ensue. This manifested that trail slope was the key factor in soil erosion but the amount of erosion decreased after a critical threshold of slope steepness was reached.

Keywords: trail quality, trail impacts, trail erosion, soil erosion, Yangmingshan National Park.

摘 要

本研究利用普查技術進行磺嘴山步道現況品質調查，探討各項衝擊問題與環境因子之關係，並使用步道最大凹陷深度法與截面面積法進行步道土壤沖蝕調查，分析步道坡度與植群類型對步道土壤沖蝕之影響。研究結果顯示，磺嘴山步道以岩石裸露、路面泥濘、樹根裸露與凹陷過深衝擊較為嚴重。各項步道衝擊與坡度間存在相關性，坡度較陡的路段容易發生樹根裸露與岩石裸露、凹陷過深等衝擊；而路面過寬與路面泥濘則多發生於坡度平緩的路段。此外，在植群抗踐踏能力較低、坡度較陡的闊葉林型路段，衝擊問題最為顯著。

土壤沖蝕方面，最大凹陷深度 (MIP 值、MIC 值) 以及步道截面面積與步道坡度呈現顯著相關，代表步道坡度越陡，平均最大凹陷深度越大與截面面積越大，土壤沖蝕程度越嚴重。然而，當步道坡度超過等級 IV (坡度大於 16°) 時，土壤沖蝕量相對降低，顯示坡度因子有其影響之臨界值存在。

關鍵字：步道品質、步道衝擊、步道沖蝕、土壤沖蝕、陽明山國家公園

前 言

步道系統是提供遊客欣賞自然與遊憩的主要空間，當遊憩活動過度集中或超過負荷時，步道環境將產生劣化，影響遊客的遊憩體驗 (Leung and Marion, 1996; 2000)。各類型步道中，缺乏鋪面保護的步道較容易受到破壞，常見的衝擊問題包含：樹根裸露、岩石裸露、路面凹陷、路面泥濘、步道加寬、步道分生及步道土壤沖蝕等 (Leung and Marion, 1996; Hammitt and Cole, 1998; Marion and Leung, 2001; 黃國書, 2007)。一般而言，步道劣化的形式與程度受到外在環境、使用者等相關因子所影響 (Marion and Olive, 2006)，除使用者類型與使用強度外，地形是影響步道劣化的主要環境因子 (Marion and Olive, 2006)，如步道坡度、主要坡向交角、地形高程等皆會影響步道受到衝擊的程度，其中又以坡度的影響最大 (Bratton *et al.*, 1979)。此外，步道因其植被耐踐踏能力的不同，受衝擊程度也有所差異 (劉儒淵, 1993b)。

步道各類衝擊問題大都與土壤沖蝕有關 (Blamey, 1987)，在遊客聚集的區域，沖蝕率也相對較高 (Marion and Leung, 2001; Yoda and Watanabe, 2000)，其嚴重程度主要受坡度影響 (蘇敬智, 2005; Marion and Olive, 2006)。在降雨強度、坡長相同下，單位土壤沖蝕量大致會有隨坡度上升而增加的現象，但是當坡度超過 32% 時，土壤沖蝕量隨坡度上升反而減少 (吳嘉俊與黃俊德, 1995)。

目前國內外步道衝擊相關研究偏重於對植物的衝擊及土壤壓實等調查 (劉儒淵, 1992; 1993a; 1993b; 吳孟娟, 2002; Deng *et al.*, 2003; 劉儒淵與曾家琳, 2003; 2006; 張森永, 2004; Andres-Abellan *et al.*, 2005; Shi, 2006)。國內步道土壤沖蝕研究則以塔塔加地區、合歡山地區與北大武山國家步道調查為主, 結果皆顯示土壤沖蝕情況與步道坡度呈現顯著相關性 (劉儒淵, 1995; 2000; 2004; 劉吉川, 2005; 蘇敬智, 2005)。在步道品質研究方面, Leung and Marion (1999) 針對美國大煙山國家公園 (Great Smoky Mountains National Park) 利用步道問題普查法 (the trail Problem-assessment method, TPAM) 設計步道問題指標, 使用測距輪調查、記錄步道沿線問題發生位置, 發現土壤沖蝕和土壤泥濘是步道劣化的主要問題。國內黃國書 (2007) 對陽明山國家公園四條未鋪面步道進行現況分析與品質變遷調查為, 研究結果發現除岩石裸露、樹根裸露與路面逕流等衝擊問題的劣化情形較顯著外, 步道的凹陷深度皆有持續加深的現象。

由於國內步道衝擊與步道土壤沖蝕方面的研究仍有限, 因此本研究針對陽明山國家公園磺嘴山步道進行衝擊問題普查, 分析步道環境因子與衝擊項目之關係, 並探討坡度與植群類型對步道土壤沖蝕的影響。

研究方法

(一) 研究區概況

本研究區為陽明山國家公園磺嘴山生態保護區內的未鋪面步道, 步道路線由擎天崗往東抵達磺嘴山保護區管制站口後, 沿磺嘴山稜線往北可直達山頂 (圖 1)。保護區內包含磺嘴山 (915m)、大尖後山 (883m)、磺嘴池及翠翠谷等地。主峰磺嘴山為錐狀火山, 頂部有明顯的火山口, 火山壁緣呈現平臺狀, 其中一處中央凹陷積水成為磺嘴池, 是附近野生動物及牛隻之飲水處 (王震哲, 2001)。根據陽明山國家公園步道系統分類, 磺嘴山步道屬於公園內 11 條主要登山遊憩步道之一 (林宗聖, 2000), 由於其特殊壯麗的山谷與景觀, 每年吸引眾多的登山健行者。此外, 基於生態保護區保護自然資源與安全考量, 進入磺嘴山步道的一般民眾皆需事前向陽明山國家公園管理處提出申請, 以避免過多人為干擾、影響生態資源。

(二) 步道品質狀況調查

根據 Marion and Leung (2001) 與黃國書 (2007) 所使用之步道普查技術, 選擇重要、常見且易於觀察之調查項目, 擬定步道品質狀況調查表 (表 1), 項目包含環境項目、狀態項目與衝擊項目三類。

1. 環境項目

地形與植群類型是影響步道衝擊最重要的環境因子 (Leung and Marion, 1996), 因此選擇坡度與兩側植群類型代表步道的環境狀況。坡度方面, 以傾斜儀測量步道的縱坡度; 植群類型方面, 利用植群形相分類方式進行植被判別, 以步道環境中優勢種的生長型做為形相分類標準 (physiognomic classification), 將本研究區內的植群形相類型區分為闊葉林、針闊葉混合林、灌木草原和草原四種。

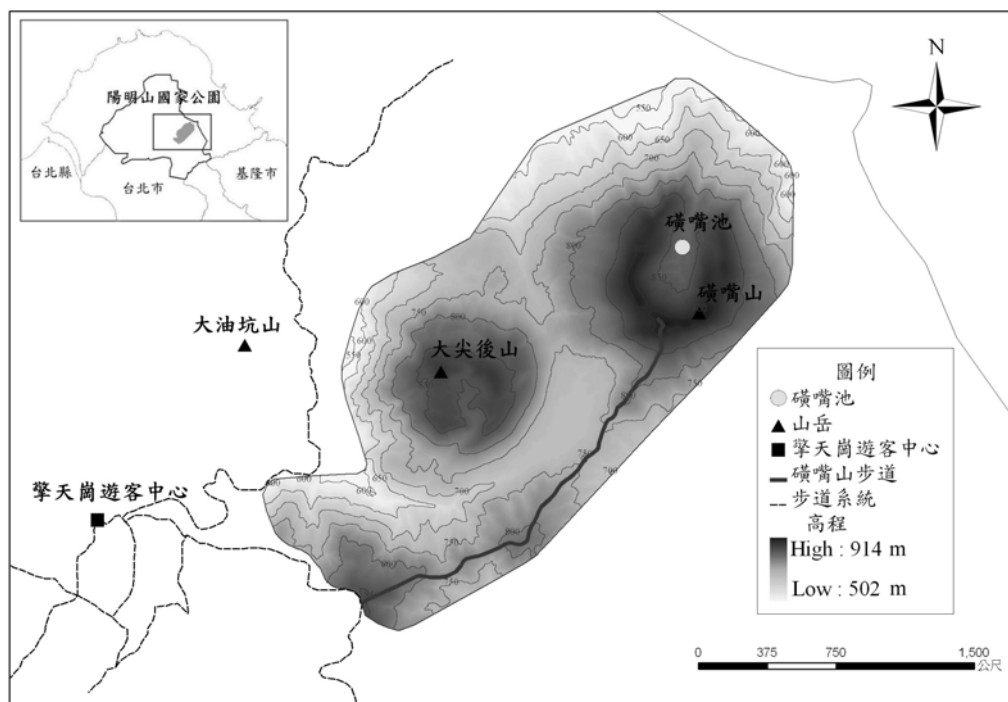


圖 1 研究區位置圖

Fig. 1. Location of study area.

表 1 步道品質狀況調查表

Table 1. Items of trail quality survey.

調查項目		項目定義與描述
環境項目	步道坡度	步道路段的路面坡度
	植群類型	步道兩側的植群類型
狀態項目	步道寬度	依據明顯的土壤裸露與植被覆蓋的界線測量寬度
	凹陷深度	步道路面中心距離兩旁原始步道面高度之平均差距
衝擊項目	樹根裸露	步道路段上有樹根裸露情況發生
	岩石裸露	步道路段上有岩石裸露情況發生
	凹陷過深	步道路面與兩旁原始步道高度差距 > 30公分
	路面逕流	步道路面有地表逕流流過
	路面泥濘	步道路面土壤泥濘超過步道1/2寬度
	路面過寬	步道寬度 > 200公分
	步道分生	路段上有超過一條以上的路徑，且兩路徑間可以任意跨越
	步道分道	路段上有超過一條以上的路徑，且兩路徑間有地形或植生阻隔，無法跨越

2. 狀態項目

步道受到遊客踐踏常導致步道表面、兩側的植群消失，導致步道寬度增加、擴大衝擊範圍，造成土壤壓實程度增加、提高土壤沖蝕的可能性，使步道表面產生凹陷 (Hammitt and Cole, 1998)。因此以步道寬度與凹陷深度代表目前步道狀態。步道寬度以明顯土壤裸露且無植群覆蓋的範圍測量計算；步道凹陷深度則依據步道兩旁地形之延伸水平線為基準，測量步道表面的凹陷深度。

3. 衝擊項目

由文獻回顧選擇樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深、路面泥濘、路面逕流、路面過寬、步道分生與步道分道等八項作為衝擊調查項目 (Leung and Marion, 1996; Hammitt and Cole, 1998; Marion and Leung, 2001; 黃國書, 2007)。樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深是步道土壤流失後的現象；路面逕流與路面泥濘則是在未降雨的天氣型態下，步道表面產生逕流或因排水不良導致表面泥爛的情況。步道過寬表示步道因使用者踐踏而導致兩側植群減少、消失，使步道土壤裸露範圍增加。此外，使用者為了避開較難行走的路段而另闢其他路徑通行，使步道產生分生或是分道的現象，擴大衝擊的範圍。

各項衝擊項目調查方式乃是利用直徑 16 公分之 SB WM-10K 測距輪進行步道全線普查，當步道出現符合衝擊描述路段，則記錄該項衝擊開始點與結束點，以便後續計算該衝擊距離步道起點長度，並視為步道發生衝擊問題的路段。

(三) 步道土壤沖蝕調查

根據前述步道環境項目調查結果，將步道路段依照五個坡度等級，(1) I: 0°-5° (0%-9%); (2) II: 5°-9° (9%-16%); (3) III: 9°-13° (16%-23%); (4) IV: 13°-16° (23%-29%); 和 (5) V: 16° (29%) 以上，以及四種植群類型：(1) 闊葉林型；(2) 針闊葉林混合型；(3) 灌木草原型；和 (4) 草原型，劃分成 12 類土壤沖蝕測量樣區，共 32 個測量樣區，並根據 Jewell and Hammitt (2000) 針對步道土壤沖蝕調查評估方法的回顧，採用步道截面面積測量法以及最大凹陷深度測量法 (maximum incision-post-construction, MIP 與 maximum incision-current tread, MIC) 進行研究區土壤沖蝕狀況調查 (圖 2)。

進行最大凹陷深度測量時，需先定義該樣區步道兩側原始地面高度與目前步道表面高度，以測量由原始地面到步道最深處的垂直距離，視為原始最大凹陷深度 (MIP)，並測量步道表面到最深處的垂直距離，視為目前最大凹陷深度 (MIC) (Farrell and Marion, 2002; Marion *et al.*, 2006)。此外，參考 Leonard and Whitney (1977) 提出之步道截面面積測量方式，在步道兩側設置固定點並拉一水平線，將步道寬度平均分為 10 個測量點，測量每一點到步道底部的垂直距離，進而計算出步道截面的面積 (圖 3)。計算公式：

$$A = 1/2 (V_1 + 2V_2 + \dots + 2V_{n-1} + V_n) \times L$$

其中，

A：步道橫斷截面之面積；

$V_1 \sim V_n$ ：水平線與步道底部地表間各垂直線之距離；

L：兩垂直線之間的水平距離。

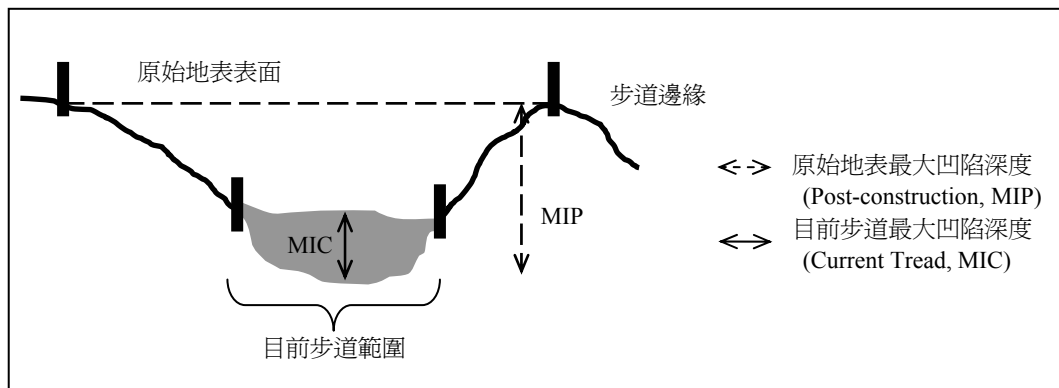


圖 2 最大凹陷深度法測量示意圖

Fig. 2. Illustration of maximum incision method.

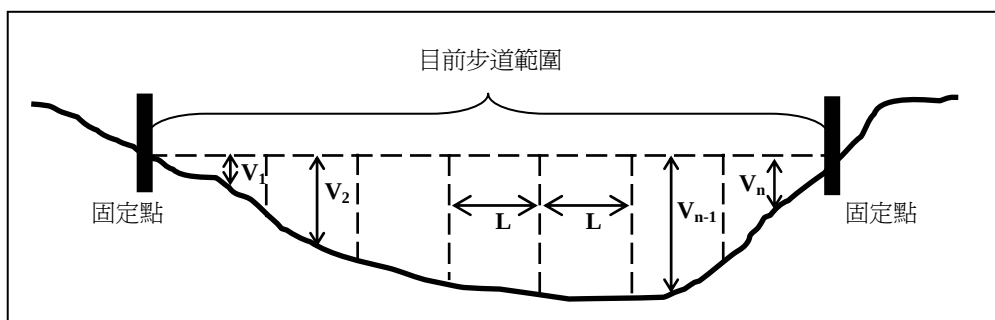


圖 3 步道截面面積測量法

Fig. 3. Illustration of trail transect method.

(四) 資料分析

本研究將步道品質普查獲得之資料編碼、彙整，採用 SPSS for windows 軟體進行統計分析，各項分析分述於下：

1. 步道衝擊分析

(1) 衝擊項目與環境項目

將衝擊項目分別與步道坡度、植群類型進行分析，其中步道坡度屬於量尺資料，採用 t 檢定進行分析，以檢驗衝擊發生的有無與步道坡度間是否存在顯著差異。植群類型與衝擊項目方面，依據植群的四個類型（闊葉林、針闊葉混合林、灌木草原與草原）與衝擊項目的二分變項（衝擊發生的有與無），採用卡方獨立性檢定變項之間是否存在關聯性。

(2) 衝擊項目與狀態項目

將各衝擊項目分別與步道寬度、凹陷深度進行分析，使用 t 檢定分析各步道衝擊發生有無之路段與步道寬度、凹陷深度之間是否存在顯著差異。

(3) 衝擊項目與衝擊項目

使用卡方獨立性檢定檢驗各步道衝擊項目發生有無間之關聯性，當變數為二分類變項時，利用

Phi 相關係數構成 2×2 之列聯表，以關聯測量之卡方值作為基礎，轉換為可呈現變數間相關程度的 Phi 值。Phi 值的範圍介於 -1 到 +1 之間，當結果越接近 ± 1 ，代表變數間的相關程度越高。

(4) 環境項目與狀態項目

使用 Pearson 相關分析探討步道凹陷深度、步道寬度與步道坡度之間的相關性。在植群類型與狀態項目方面，採用單因子變異數分析，探討兩側植群與凹陷深度、步道寬度之關係。

2. 步道土壤沖蝕分析

使用 Pearson 相關分析探討坡度和各項土壤沖蝕調查結果（最大凹陷深度、步道截面面積）之相關性。此外，利用單因子變異數分析比較不同植群類型下步道土壤沖蝕程度的差異，並將最大凹陷深度 MIP 值、MIC 值與步道截面面積三者進行 Pearson 相關分析，以探討不同土壤沖蝕調查方法的分析結果是否存在差異。

結果與討論

(一) 步道品質狀況

本研究於 2007 年 9 月至 10 月進行磺嘴山步道全線 2,500 公尺的步道品質狀況調查，結果顯示，步道平均寬度 66.2 公分、平均凹陷深度 15.1 公分、平均坡度 8.9° 。植群類型以闊葉林路段佔最廣 (74.7%)，且平均坡度亦為四種植群類型中最陡者。衝擊問題方面，以岩石裸露、路面泥濘與樹根裸露等發生次數最多；衝擊累積長度則以岩石裸露、路面泥濘與凹陷過深三者最長 (表 2)，與過去研究結果一致 (Leung and Marion, 1999；黃國書, 2007)。

本研究衝擊項目之調查結果與黃國書 (2007) 的調查結果比較 (如圖 4 所示)，磺嘴山步道在樹根裸露、岩石裸露、路面逕流與步道分生四項衝擊的累積長度皆較其他四條步道短，受到衝擊的程度也較輕微。然而，磺嘴山步道相較其他步道有多處排水不良、容易積水的區域，因此路面泥濘衝擊較為嚴重。

表 2 磺嘴山步道衝擊項目調查結果

Table 2. Impact problems on Mt. Huangzuei trail.

調查項目	衝擊發生次數		衝擊累積長度距離	
	(次數)	(次數/km)	(m)	(m/km)
樹根裸露	61	24.4	156.9	62.7
岩石裸露	77	30.8	334.0	133.5
凹陷過深	46	18.4	195.7	78.2
路面逕流	2	0.8	0.2	0.1
路面泥濘	62	24.8	282.0	112.7
路面過寬	17	6.8	129.7	51.8
步道分生	7	2.8	13.4	5.4
步道分道	8	3.2	79.8	31.9

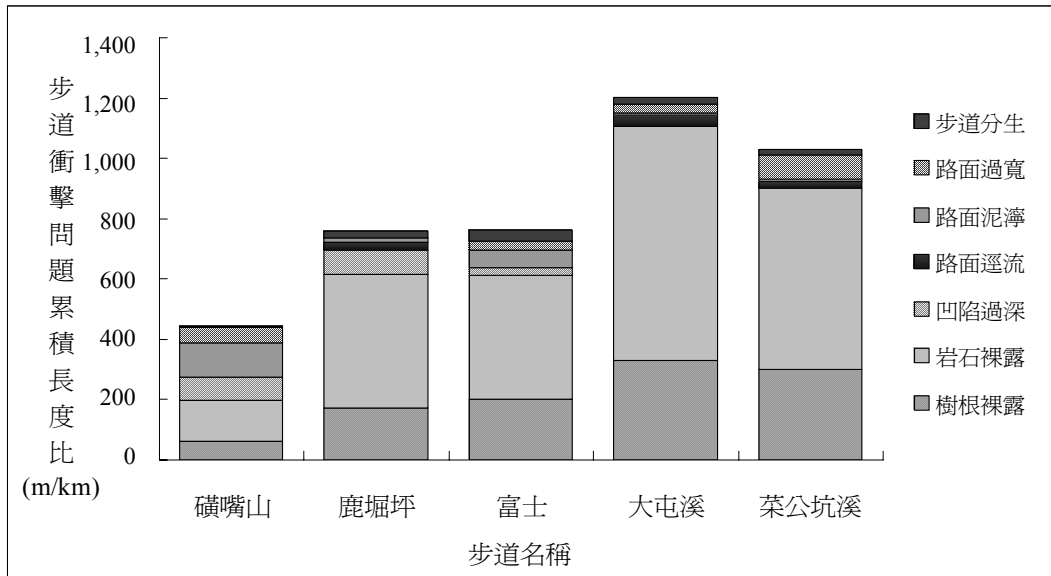


圖 4 磺嘴山步道與其他未鋪面步道各衝擊項目累積長度比 (m/km)

Fig. 4. Cumulative lineal extent (m/km) of impact problems on Mt. Huangzuei trail and other unsurfaced trails in Yangmingshan National Park.

將衝擊問題與步道平均坡度加以比對 (磺嘴山步道 8.9°、鹿堀坪古道 11.6°、富士古道 10.6°、大屯溪古道 15.1°、菜公坑溪古道 12.8°)，發現五條步道的衝擊程度與坡度大小趨勢一致，顯示當步道坡度越陡，受到的衝擊相對越大。由使用者強度方面來看，本研究區位於磺嘴山生態保護區內，每月遊客之申請人數不得超過 500 人次，所受到的人為衝擊相較於其他未管制的步道也較輕微。

(二) 步道衝擊影響因子

1. 步道坡度與步道衝擊之關係

地形是步道劣化、遭受衝擊的主要影響因子 (Bratton *et al.*, 1979; Marion and Olive, 2006)，因此本研究將各項衝擊項目與坡度進行 t 檢定分析。結果顯示除步道分生、路面逕流外，其餘六項衝擊的發生皆因坡度不同而呈現顯著差異 (表 3)。

其中樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深和步道分道四項衝擊問題多發生在坡度相對較陡的路段，土壤流失情況也較嚴重。在坡度較平緩的區域，步道表面常因排水不良、聚積雨水而產生泥濘。當使用者行經這些路段時，容易往步道兩側行走使步道寬度增加，因此多發生路面逕流與路面過寬的問題。

2. 步道兩側植群類型與步道衝擊之關係

研究結果發現，樹根裸露和岩石裸露衝擊主要發生在闊葉林與針闊葉混合林路段，凹陷過深、路面泥濘、路面過寬和步道分道等四項衝擊則主要發生在闊葉林型路段，而灌木草原型與草原型兩路段則沒有出現衝擊問題 (表 4)，顯示草原類型步道由於禾草 (grass) 生長芽較低，具有較強的耐踐踏能力，和森林植群步道相比所受到衝擊較輕微，與劉儒淵 (1993b) 對玉山步道的研究結果吻合。此外，灌木草原與草原路段的平均坡度約為 3°，地勢平坦開闊、步道痕跡不明顯，衝擊十分輕微；而平均坡

度最陡的闊葉林路段受到樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深等土壤流失問題較為嚴重。因此除植群的抗踐踏能力外，步道衝擊程度亦受坡度所影響。

表 3 衝擊項目發生有無與步道坡度之 t 檢定分析結果

Table 3. T-test of impact problems and slopes.

衝擊項目	發生 有無	步道坡度 (°)		t 值
		平均數	標準差	
樹根裸露	有	12.0	5.7	28.5*
	無	8.0	5.4	
岩石裸露	有	12.5	6.0	44.9*
	無	7.6	5.1	
凹陷過深	有	13.0	5.1	42.3*
	無	7.9	5.4	
路面逕流	有	5.5	2.1	-0.7
	無	8.2	5.5	
路面泥濘	有	4.5	2.3	-72.9*
	無	8.7	5.6	
路面過寬	有	7.1	5.0	-8.4*
	無	8.3	5.5	
步道分生	有	7.6	4.3	-1.8
	無	8.3	5.5	
步道分道	有	9.2	5.2	5.3*
	無	8.2	5.5	

註：* 表顯著水準達0.01 (雙尾檢定)。

3. 衝擊項目與步道狀態之關係

本研究將各項衝擊項目與步道寬度、凹陷深度進行分析 (表 5)，結果顯示，樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深、路面泥濘、路面過寬和步道分道六項衝擊發生路段的平均步道寬度較寬 ($p<0.01$)，受到人為衝擊的範圍也較大。當使用者並肩行走，或為了避開泥濘和因沖蝕造成的路面凹陷、岩石裸露的路段而繞道，都會使步道加寬或分生出平行、延伸的路線 (Marion and Leung, 2001; Marion and Olive, 2006)。

在凹陷深度方面，樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深、路面過寬和步道分道五項衝擊發生路段的步道平均凹陷深度較深 ($p<0.01$)，顯示土壤流失的情況較嚴重。然而，路面泥濘衝擊主要發生在坡度平緩、排水不良的路段，因此步道的土壤沖蝕程度相對輕微、凹陷深度也較小 ($p<0.01$)。

表 4 步道衝擊項目與植群類型卡方分析表

Table 4. Chi-square test of impact problems and vegetation types.

衝擊項目		植群類型								卡方值
		闊葉林型		針闊葉林型		灌木草原型		草原型		
		發生 次數	衝擊項 目內(%)	發生 次數	衝擊項 目內(%)	發生 次數	衝擊項 目內 (%)	發生 次數	衝擊項 目內 (%)	
樹根	有	803	50	793	50	0	0	0	0	814.8*
裸露	無	17,896	76	4,624	20	367	2	519	2	
岩石	有	1,861	56	1,479	44	0	0	0	0	1,234.1*
裸露	無	16,838	78	3,938	18	367	2	519	2	
凹陷	有	1,462	75	495	25	0	0	0	0	88.1*
過深	無	17,237	75	4,922	21	367	2	519	2	
路面	有	0	0	2	100	0	0	0	0	7.2
逕流	無	18,699	75	5,415	21	367	2	519	2	
路面	有	2,305	84	435	16	0	0	0	0	192.5*
泥濘	無	16,394	74	4,982	22	367	2	519	2	
路面	有	1,077	83	220	17	0	0	0	0	74.9*
過寬	無	17,622	74	5,197	22	367	2	519	2	
步道	有	109	81	25	19	0	0	0	0	6.1
分生	無	18,590	75	5,392	22	367	2	519	2	
步道	有	756	95	42	5	0	0	0	0	175.4*
分道	無	17,943	74	5,375	22	367	2	519	2	

註：* 顯著水準達 0.01 (雙尾檢定)。

(三) 各項步道衝擊問題之關係

由分析結果顯示 (表 6)，樹根裸露、岩石裸露與凹陷過深三項衝擊之間存在顯著相關性 ($p<0.01$)，表示當步道出現其中一項衝擊時，容易伴隨另外兩項衝擊的發生，且該路段的土壤沖蝕程度與未來持續受到沖蝕的可能性也較大。

除凹陷過深與路面過寬、步道分道之間呈現顯著正相關 ($p<0.01$) 外，路面過寬與路面泥濘、路面逕流之間也存在正相關 ($p<0.01$)，顯示當步道路面凹陷過深、積水泥濘或出現逕流時，使用者容易因行走不易而另闢新的路線或往步道兩側行走，導致步道發生分道、寬度增加，擴大衝擊範圍。當步道發生分生或分道時，寬度以兩條分生或分道的總和計算，因此步道分生、步道分道與路面過寬之間也具有顯著的正相關 ($p<0.01$)。此外，由於路面泥濘多發生在坡度平緩、排水不良的區域，因此與樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深、步道分生、步道分道等多發生在陡坡的衝擊項目之間呈現負相關 ($p<0.01$)，顯示上述五項衝擊與路面泥濘問題不易伴隨出現。

表 5 衝擊項目發生有無與步道寬度、凹陷深度之 t 檢定結果

Table 5. T-test of impact problems, trail width and incision.

衝擊項目	發生 有無	步道寬度 (cm)		t 值	凹陷深度 (cm)		t 值
		平均數	標準差		平均數	標準差	
樹根裸露	有	74.7	35.7	14.7*	22.4	13.8	26.3*
	無	61.2	30.4		13.1	9.9	
岩石裸露	有	72.0	35.7	17.6*	22.2	12.6	43.2*
	無	60.5	29.9		12.3	9.4	
凹陷過深	有	65.4	24.7	5.8*	25.7	10.8	51.0*
	無	61.9	31.5		12.6	9.8	
路面逕流	有	140.5	98.3	1.1	7.5	0.7	-0.8
	無	62.1	31.0		13.7	10.5	
路面泥濘	有	72.1	50.3	11.4*	7.4	4.1	-65.3*
	無	60.8	27.2		14.5	10.8	
路面過寬	有	99.2	65.0	21.6*	17.4	14.3	9.7*
	無	60.0	26.2		13.5	10.2	
步道分生	有	58.3	18.1	-2.5	12.4	8.5	-1.5
	無	62.1	31.1		13.7	10.5	
步道分道	有	71.1	31.4	8.2*	23.7	14.5	20.0*
	無	61.8	31.0		13.4	10.1	

註：* 顯著水準達 0.01 (雙尾檢定)。

表 6 各衝擊項目相關分析矩陣表 (Phi 值)

Table 6. Phi correlation analysis of impact problems.

衝擊項目	樹根裸露	岩石裸露	凹陷過深	路面逕流	路面泥濘	路面過寬	步道分生	步道分道
樹根裸露	--	0.300**	0.236**	-0.002	-0.072**	0.033**	0.003	0.015*
岩石裸露	0.300**	--	0.195**	0.010	-0.095**	0.053**	-0.005	0.065**
凹陷過深	0.236**	0.195**	--	-0.003	-0.057**	0.125**	-0.021**	0.220**
路面逕流	-0.002	0.010	-0.003	--	0.011	0.018**	-0.001	-0.002
路面泥濘	-0.072**	-0.095**	-0.057**	0.011	--	0.142**	-0.024**	-0.064**
路面過寬	0.033**	0.053**	0.125**	0.018**	0.142**	--	0.126**	0.741**
步道分生	0.003	-0.005	-0.021**	-0.001	-0.024**	0.126**	--	-0.013*
步道分道	0.015*	0.065**	0.220**	-0.002	-0.064**	0.741**	-0.013*	--

註：*顯著水準達 0.05 (雙尾檢定)；**顯著水準達 0.01 (雙尾檢定)。

(四) 步道土壤沖蝕影響因子

1. 步道兩側植群類型與步道土壤沖蝕之關係

以下探討相同坡度等級中不同植群類型的土壤沖蝕結果。由表 7 顯示，坡度等級 I 的步道路段包含闊葉林、針闊葉混合林、灌木草原及草原四種植群類型。其中闊葉林型與針闊葉混合林型的土壤沖蝕測量值較灌木草原型與草原型高，而灌木草原型的最大凹陷深度 (MIP 值、MIC 值) 皆小於 1cm，且步道截面面積呈現負值，代表步道表面並非侵蝕凹陷，而是呈現堆積隆起的現象，顯示灌木草原路段的步道土壤沖蝕程度最輕微。在坡度等級 II、III、IV、V 類別中則包含闊葉林與針闊葉混合林兩種植群類型。在坡度等級 II、IV 的樣區方面，闊葉林路段的土壤沖蝕測量值明顯較針闊葉混合林型高，代表闊葉林路段的土壤沖蝕程度較嚴重。在坡度等級 III、V 樣區方面，闊葉林與針闊葉混合林路段的各項土壤沖蝕測量值則高低不一，土壤沖蝕程度差異較小。

表 7 不同植群類型與坡度下三種土壤沖蝕測量結果之平均數

Table 7. Average amount of soil erosion with three methods of different vegetation types and slopes.

土壤沖蝕 測量項目	植群類型	坡度等級*				
		I	II	III	IV	V
MIP (cm)	闊葉林	11.1	18.2	33.8	47.7	40.1
	針闊葉	10.3	8.2	39.7	35.1	56.5
	灌木	0.9	--	--	--	--
	草原	8.4	--	--	--	--
MIC (cm)	闊葉林	4.7	5.2	13.5	20.9	18.3
	針闊葉	2.8	4.6	11.4	8.7	26.3
	灌木	0.9	--	--	--	--
	草原	2.6	--	--	--	--
步道截面面積 (cm ²)	闊葉林	685.9	1,367.0	1,649.5	2,762.4	2,683.3
	針闊葉	559.8	386.4	2,131.5	1,539.9	2,628.8
	灌木	-89.8	--	--	--	--
	草原	284.2	--	--	--	--

註：* I: 0°-4°；II: 5°-8°；III: 9°-12°；IV: 13°-16°；V: 16°以上。

整體而言，步道坡度相同時，闊葉林與針闊葉混合林路段的土壤沖蝕測量值皆較灌木草原型與草原型的路段高。由於灌木草原與草原路段的步道坡度緩、植群類型具有較強的耐踐踏能力，因此步道痕跡不明顯、表面凹陷深度低，土壤沖蝕程度較森林植群類型的步道輕微。

2. 步道坡度與步道土壤沖蝕之關係

闊葉林樣區與針闊葉林樣區的土壤沖蝕測量值與坡度的相關分析皆呈現顯著正相關 (表 8)，代表坡度越陡，土壤沖蝕情況越嚴重。此外，MIP 與 MIC 的深度差值與步道坡度之間也呈現顯著正相關，

表示坡度越陡，步道兩側原始地面與目前表面的深度落差越深。當差距加深時，容易匯聚降水、形成流路侵蝕步道而逐漸形成蝕溝。這是因為坡度是決定土壤沖蝕的重要因素之一，與土壤流失之間具有高度的正相關 (Marion and Olive, 2006)，在一定範圍內，坡度越大，逕流沖蝕力越大，土壤沖蝕越嚴重 (郭魁士，1997)。

表 8 兩植群類型土壤沖蝕結果與坡度之相關分析

Table 8. Correlation analysis of slope and amount of soil erosion.

植群類型	測量項目			
	MIP	MIC	MIP、MIC 深度差	步道截面面積
闊葉林	0.719**	0.699**	0.594*	0.675**
針闊葉林	0.773**	0.795**	0.598*	0.689**

註：*顯著水準達 0.05 (雙尾檢定)；**顯著水準達 0.01 (雙尾檢定)。

3. 步道土壤沖蝕之坡度臨界值

雖然三種不同土壤沖蝕測量值與坡度皆呈現顯著正相關 (表8)，但當坡度超過一定的範圍時，土壤沖蝕量可能會有減緩的情況產生 (吳嘉俊與黃俊德，1995)，因此本研究進一步分析五個坡度等級所量測之土壤沖蝕平均數，以檢驗土壤沖蝕的坡度臨界值。此外，由於針闊葉混合林路段的樣本數較少，故僅就闊葉林樣區加以探討。

由圖 5 所示，不同土壤沖蝕測量值的平均數皆大致隨坡度等級增加而遞增，當坡度等級達到 V (>16°) 時，測量值反而呈現下降的現象，表示步道坡度超過一定的臨界值時，土壤沖蝕量反而相對減緩，此結果和吳嘉俊與黃俊德 (1995) 的研究一致，唯在野外現地的坡度臨界值仍有待進一步的研究。此外，本研究所採用三種不同土壤沖蝕的測量方法，其分析結果無顯著差異，因此後續研究可視情況選擇最合適的調查方式。

結 論

磺嘴山步道衝擊問題以岩石裸露、路面泥濘、樹根裸露與凹陷過深較為嚴重；路面逕流衝擊則最輕微。在衝擊項目分析方面，樹根裸露與岩石裸露、凹陷過深之間具有相關性，其問題路段的土壤沖蝕情況也較顯著。路面泥濘則容易發生在坡度平緩、排水不良的區域，與樹根裸露、岩石裸露、凹陷過深、步道分生等容易發生在坡度較陡路段的衝擊之間呈現負相關。在步道坡度方面，除路面泥濘和路面過寬問題容易出現在坡度較緩的路段外，衝擊問題大多發生在坡度較陡的區域，並且容易伴隨土壤沖蝕的發生，使步道寬度和凹陷深度增加。此外，闊葉林路段由於植群抗踐踏能力較低、步道坡度較陡，衝擊問題最為嚴重。進一步將本研究與黃國書 (2007) 的四條步道調查結果相比，發現位於保護區內的磺嘴山步道由於平均坡度最平緩、人為破壞最少，衝擊程度最輕微。而大屯溪古道因坡度最陡，步道的衝擊問題也最嚴重，顯示坡度為影響步道衝擊的重要因子。

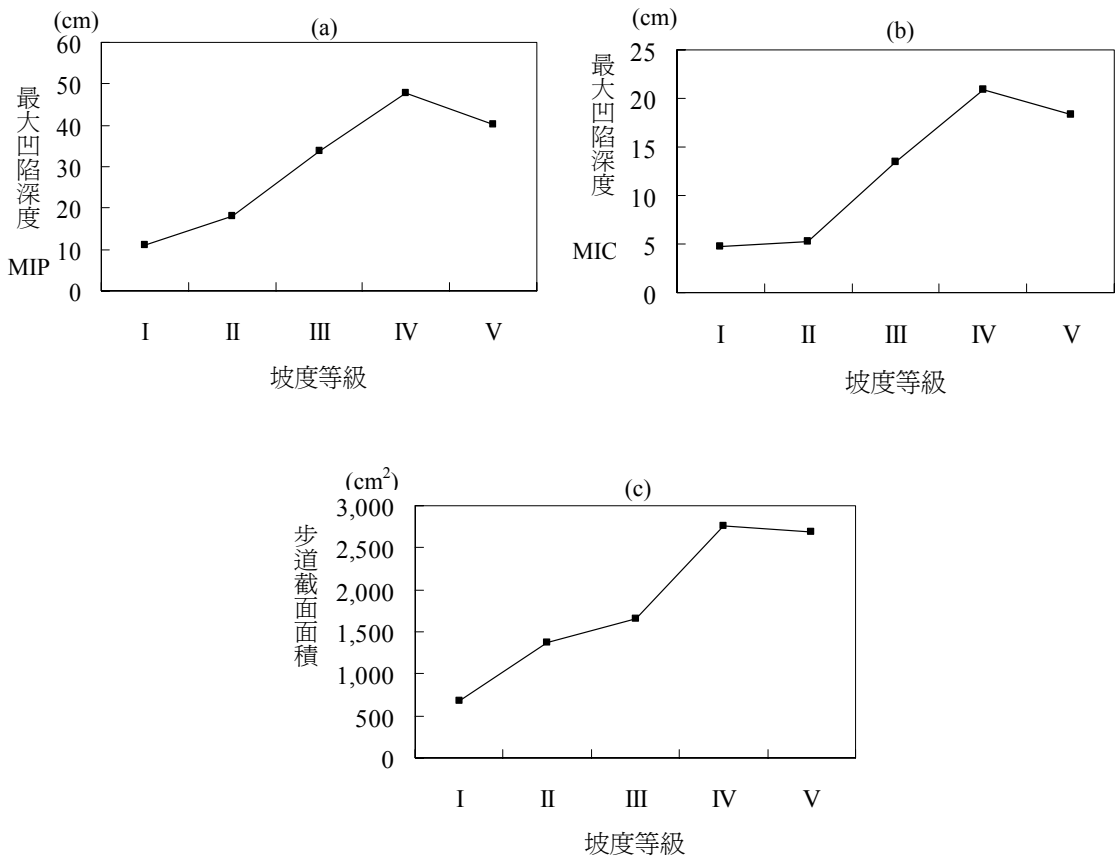


圖 5 三種測量法在不同坡度等級的土壤沖蝕測量值變化：(a) MIP 法；(b) MIC 法；(c) 步道截面面積法（坡度等級同表 8）

Fig. 5. Broken-line graph of amount of soil erosion with three methods of different levels of slope:

(a) MIP; (b) MIC; (c) trail transects method (For level of slope, see Table 8.).

在土壤沖蝕研究方面，當步道坡度相同時，受植群抗踐踏能力差異的影響，闊葉林與針闊葉混合林路段的沖蝕情況較灌木草原與草原路段嚴重。步道坡度與沖蝕程度間也呈現顯著的正相關，表示坡度越陡，步道凹陷深度越深、截面面積越大、土壤沖蝕問題越嚴重。此外，本研究發現當步道坡度大於 16° 時，土壤沖蝕測量值反而降低，證實當坡度超過一定臨界值後，沖蝕程度可能出現減緩的趨勢。

未鋪面步道由於缺乏設施保護，容易受到地形或使用者等影響而產生劣化，甚至造成嚴重的土壤沖蝕，因此在時間與人力許可下，應進行長期定時的步道監測，並針對坡度與土壤沖蝕關係變化進行調查，分析步道坡度臨界值，以作為步道經營管理之參考。

引用文獻

- 王震哲 (2001) 陽明山國家公園磺嘴山生態保護區植物相調查，臺北：內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 吳孟娟 (2002) 步道衝擊預測模式與其遊憩容許量評定之研究，國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文。
- 吳嘉俊、黃俊德 (1995) 陡坡地坡度坡長利用上限之研究 (二)，*林業特刊*，48: 139-151。
- 林宗聖 (2000) 陽明山國家公園自導式步道傳奇，臺北：人人月曆。
- 張森永 (2004) 人為踐踏對東北角草嶺步道地被植群衝擊之研究，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 黃國書 (2007) 未鋪面步道品質變遷調查—以陽明山國家公園地區為例，國立臺灣大學地理研究所碩士論文。
- 郭魁士 (1997) *土壤學*，八版，臺北：中國書局。
- 劉吉川 (2005) 北大武山國家步道踐踏效應監測與經營管理議題之探討，2005 年國家步道系統研討會論文集，臺北：行政院農業委員會林務局，129-144。
- 劉儒淵 (1992) 遊客踐踏對塔塔加地區植群衝擊之研究，*臺大實驗林研究報告*，6 (4): 33-78。
- 劉儒淵 (1993a) 遊憩活動對八通關地區植群衝擊之研究，*臺大實驗林研究報告*，7 (1): 1-32。
- 劉儒淵 (1993b) 踐踏對玉山步道沿線高山植群衝擊之研究，*臺大實驗林研究報告*，7 (3): 53-72。
- 劉儒淵 (1995) 塔塔加地區步道土壤沖蝕及其監測之研究，*臺大實驗林研究報告*，9 (3): 1-19。
- 劉儒淵 (2000) 塔塔加地區步道土壤沖蝕及其監測之研究 (二)，*臺大實驗林研究報告*，14 (4): 201-219。
- 劉儒淵 (2004) 合歡山區登山步道土壤沖蝕之研究，*國家公園學報*，14 (1): 55-73。
- 劉儒淵、曾家琳 (2003) 合歡山區步道衝擊之研究，*臺大實驗林研究報告*，17 (3): 141-151。
- 劉儒淵、曾家琳 (2006) 登山步道遊憩衝擊之長期監測—以玉山國家公園塔塔加步道為例，*資源科學*，28 (3): 120-127。
- 蘇敬智 (2005) 合歡山步道土壤沖蝕之研究，國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- Andres-Abellan, M., Del Alamo, J. B., Landete-Castillejos, T., Lopez-Serrano, F. R., Garcia-Morote, F. A. and Del Cerro-Barja, A. (2005) Impacts of visitors on soil and vegetation of the recreational area “Nacimiento del Rio Mundo” (Castilla-La Mancha, Spain), *Environmental Monitoring and Assessment*, 101: 55-67.
- Blamey, N. (1987) *Walking Track Management Manual: A Guide to the Construction, Restoration and Maintenance of Walking Tracks*, Australian Capital Territory: Australian National Parks and Wildlife Service and Department of Lands Parks and Wildlife Tasmania.
- Bratton, S. P., Hickler, M. G. and Graves, J. H. (1979) Trail erosion patterns in Great Smoky Mountains national park, *Environmental Management*, 3 (5): 431-445.
- Deng, J., Shi, Q., Walker, G. J. and Zhang, Y. (2003) Assessment on and perception of visitors' environmental impacts of nature tourism: a case study of Zhangjiajie National Forest Park, China, *Journal of Sustainable Tourism*, 11 (6): 529-548.

- Farrell, T. A. and Marion J. L. (2002) Trail impacts and trail impact management related to ecotourism visitation at Torres del Paine National Park, Chile, *Leisure/Loisir*, 26 (1-2): 31-59.
- Hammitt, W. E. and Cole, D. N. (1998) *Wildland Recreation : Ecology and Management*, 2nd ed., New York: John Wiley.
- Jewell, M. C. and Hammitt, W. E. (2000) Assessing soil erosion on trails : a comparison of techniques, *Wilderness Science in a Time of Change Conference*, 5: 133-140.
- Leonard, R. E. and Whitney, A. M. (1977) *Trail Transect : A Method for Documenting Trail Change*, USDA forest research paper NE-389.
- Leung, Y. E. and Marion J. L. (1996) Trail degradation as influenced by environmental factors: state-of-the-knowledge review, *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 (2): 130-136.
- Leung, Y. F. and Marion, J. L. (1999) Assessing trail conditions in protected areas: application of a problem-assessment method in Great Smoky Mountains National Park, USA. *Environmental Conservation*, 26 (4): 270-279.
- Leung, Y. F. and Marion, J. L. (2000) Recreation impacts and management in wilderness: a state-of-knowledge review, *Wilderness Science in a Time of Change Conference*, 5: 23-48.
- Marion, J. L. and Leung, Y. F. (2001) Trail resource impacts and an examination of alternative assessment, *Journal of Park and Recreation Administration*, 19 (3): 17-37.
- Marion, J. L., Leung, Y. F. and Nepal, S. K. (2006) Monitoring trail conditions: new methodological considerations, *George Wright Forum*, 23 (2): 36-49.
- Marion, J. L. and Olive, N. (2006) *Assessing and understanding trail degradation: Results from Big South Fork National River and Recreational Area*, National Park Service, Final Research Report, U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey, iv, 80 pp.
- Shi, Q. (2006) The impact of tourism on soils in Zhangjiajie World Geopark, *Journal of Forestry Research*, 17 (2): 167-170.
- Yoda, A. and Watanabe, T. (2000) Erosion of mountain hiking trail over a seven-year period in Daisetsuzan National Park, Central Hokkaido, Japan, *USDA Forest Service Proceedings*, 5: 172-178.

2008 年 7 月 29 日 收稿

2008 年 11 月 6 日 修正

2009 年 3 月 12 日 接受