

坡地：土壤侵蝕問題及土壤保育需求

一、前言

本文作者以一個水土保持專家的身份被邀請討論山坡地和其土壤侵蝕及延伸的保育問題。而這份報告是被引用在某次會議的介紹當中，以三個不同基礎但與主題有關係密切的層面開始說起。首先探討山坡地對我們的重要性為何？第二，它與土壤侵蝕又有什麼特別的關係？第三，在我們試圖要制定山坡地的土地利用計畫時，我們當下會面臨到什麼實際的問題？

當人口增加對食物及其他農產品需求增加時，不可避免地對原本農業不重視土地需求也隨之提高。多數國家邊際土地有一半都在中度陡峭的山坡地，而且易受水的侵蝕影響。因此如果想要發展永續生產的方法，那麼也就必須應用大量的土地保育措施。

本文先概述土地資源和未來對土地的需求，特別是針對山坡地。也會針對土壤侵蝕及其防治簡要討論，更重要的是，今日高密度人口國家的坡地到底有什麼嚴重的問題。

二、土地資源及坡地的利用

目前全世界人口數量約 45 億，而且預計 2000 年將會增將到約 62 億。以這樣的趨勢穩定發展，2055 年全世界將會有 95 億人口，在 2110 年時會趨近於約 105 億 (Salas, 1981)。

鑑於這樣的人口成長量，對食物及其他農產品也將有很大的需求，本世紀末預期會增加百分之五十的需求，而到下個世紀中期則又會增加一倍以上。對於參與土地利用計畫的人，這些數字所代表的問題將是未來是否有足夠的土地能滿足這麼大量的需求。

依據聯合國糧農組織/聯合國教科文組織 (FAO/Unesco) 的「世界土壤圖」(Soil Map of the World) (FAO, 1981) 以及聯合國糧農組織目前所執行的工作結果顯示，土地將是足夠的。

聯合國糧農組織研究估測出全世界可能栽種的土地 (非常適宜、適宜及部分適宜) 的數量可能剛好超過 30 億公頃或大概占地球總土地面積的 22%，其中目前使用中的面積已經達到一半。

表一、土地利用和人口

| | 發展中國家 | 已發展國家 | 全世界 |
|--|-------|-------|-------|
| 土地面積 (百萬公頃) | 7619 | 5773 | 13392 |
| 佔全世界比例 | (57) | (43) | |
| 1979 年的人口數 (百萬) | 3117 | 1218 | 4335 |
| 佔全世界比例 | (72) | (28) | |
| 潛在可耕作土地 (百萬公頃) | 2154 | 877 | 3031 |
| 土地比例 | (28) | (15) | (22) |
| 佔全世界可耕作區域比例 | (71) | (29) | (100) |
| 目前已耕作的 (百萬公頃) | 784 | 677 | 1461 |
| 可能性比例 | (36) | (77) | (48) |
| 佔全世界總量的比例 | (54) | (46) | (100) |
| 每公頃可耕作土地上的人數 | 4.0 | 1.8 | 3.0 |
| 資料來源：Dudal, 1982-Land Degradation in a World Perspective | | | |

在發展中和已發展國家之間的可能種植土地分佈分別是 71% 和 29%，幾乎與世界人口數量的分佈比例相同。但是這樣整體的情況，所富有的資源和相關利用卻有很大的差異。聯合國糧農組織的研究「邁向 2000 年農業」資料顯示，在 1975 年時 90 個發展中國家內有 18 個國家已經達到他們耕地使用的極限。而剩餘的土地多數都集中在非洲及南美洲的潮濕地區，但該處卻又有管理上的問題。

東南亞地區有 92% 的可利用土地已經在使用中，而西南亞地區正在使用的土地大多是被認為適宜耕種的。

表二、發展中國家的土地利用及人口

| | 非洲 | 西南亞 | 東南亞 | 中亞 | 南美洲 | 中美洲 |
|--|------|-------|------|------|------|------|
| 總土地面積（百萬公頃） | 2886 | 677 | 897 | 1116 | 1770 | 272 |
| 佔全世界的比例 | (21) | (5) | (6) | (8) | (13) | (2) |
| 1979 年人口數（百萬） | 427 | 153 | 1232 | 947 | 239 | 119 |
| 佔全世界總人口的比例 | (10) | (3) | (28) | (22) | (6) | (3) |
| 潛在可耕作面積（百萬公頃） | 789 | 48 | 297 | 127 | 819 | 75 |
| 所佔土地區域比例 | (27) | (7) | (33) | (11) | (46) | (27) |
| 佔全世界的比例 | (26) | (2) | (10) | (4) | (27) | (3) |
| 當前已耕種面積（百萬公頃） | 168 | 69 | 274 | 113 | 124 | 36 |
| 潛在比例 | (21) | (144) | (92) | (89) | (15) | (49) |
| 已灌溉比例 | (4) | (16) | (24) | (44) | (6) | (18) |
| 每公頃耕作土地上的人口 | 2.5 | 2.2 | 4.5 | 8.4 | 1.9 | 3.3 |
| 資料來源：Dudal, 1982-Land Degradation in a World Perspective | | | | | | |

另一個重要的因素是目前大面積的耕種土地正遭受各種類型的土地退化，特別是土壤侵蝕。

現在可說明這類侵蝕的程度的可靠數據非常少。據聯合國糧農組織估計，目前每年因為土壤退化而流失的土地面積約有 500 萬至 700 公頃(FAO, 1981)。如果真是如此，我們可以合理假設每年更大型的區域其生產力可能正在降低。因此，有些之前適合耕種的區域現在可能只適合放牧，而之前適合放牧的可能現在只適合低生產林業。

因此我們也必須注意到到現在投入生產的土地大部分是在平坦地區、土壤較深較肥沃且容易進行工作的土壤上。很顯然的，農人也已經盡量避免在陡峭土地和較困難作業、淺薄及易受侵蝕的區域工作。

從這樣的背景條件下，我們可以想像：

如果所有可用的耕地是在一個穩定生產形式，且至少有一些已經在生產的土地其產量至少有再增加，如使全球就有足夠的耕地符合我們所預期未來人類對食物其他農產品的需求數量。

又如果這些是事實，且在區域和國家之間糧食和農產品可以自由流通，那麼也就可以不需顧慮到未來能否滿足這個需求的能力。

但是現有糧食和農產品的流通，往往受限於經濟和政治上的因素。但我們也知道已使用或潛在可用的耕地在各國間分佈不均。

除此之外，其中有國家對農產品產量的需求大增，但是又非常缺乏土地，且多數的土地被嚴重侵蝕導致生產力下降。得更糟的是，多數剩餘的可能耕地很貧瘠而且位於陡坡和易受侵蝕的坡地上。

那未來又將如何發展？又會如何影響相關的土地利用計畫？

大面積的新土地將會在未來 80 年開發。目前已經先開發更肥沃和平坦的土地開發，也預測農業活動將會移動到有較不肥沃且更易受侵蝕影響土壤的更陡峭坡地上。由於受限於土地資源分佈不均，因此這樣的移動並不會很快，而且多數人口密集的國家到今天也僅剩下較貧瘠和陡峭的土地可開發。

目前在尼泊爾、埃塞俄比亞、盧旺達、萊索托、牙買加及其他國家的人企圖在一般的標準認定為不適合種植的陡峭坡地進行大面積耕作。

這些區域的都有一些很嚴重的土壤侵蝕問題，特別是水對土壤的侵蝕，因此必須要先瞭解為什麼會發生侵蝕，如何評估其嚴重性，以及更重要的是要怎麼控制或避免，這些對土地利用規劃者都相當重要。

三、坡地的土壤保育

有些指導手冊，如聯合國糧農組織土壤報告第 52 號(Soils Bulletin 52)，雨灌農業(rainfed agriculture)的土地評估指南，提供土地利用規劃者一些如何評估一個地區土壤侵蝕機率的建議資訊，但比較少說明如何使用這類資訊、可能可用的保育措施，以及這些措施的限制。

舉例來說，聯合國糧農組織土壤報告第 52 號指南有描述如何評估侵蝕危害程度，並且建議使用各種模擬技術如通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)、南非土壤流失估測模型 (Soil Loss Estimation Model for Southern Africa, SLEMSA) 等等。但是並未再進一步闡述產出的成果如何怎麼利用，除了如何計算某些土地克服退化問題的必要“休息期”。

假使土地利用規劃者要規劃不會引起土壤侵蝕的坡地生產利用及安全使用計畫，那麼不僅要評估侵蝕風險，也要充分了解侵蝕原因和能控制的可能性。

而土地斜坡一般不是風力侵蝕的重要因素，因此接下來討論的焦點將放在水侵蝕的問題上。

1. 坡地上的土壤侵蝕

目前已經有許多水侵蝕機制的研究，這個問題也被大家廣泛瞭解和有相關記載。同樣對於發展各種土壤保育作法和技術也已投入大量的工作。

可惜的是，隱藏在這些問題背後的原理並不被廣為人知。因此我們看到許多目的在控制坡地侵蝕的大型所費不貲的計畫成果，只有少部分有效，有些則是完全失敗，有時甚至浪費了大筆的金錢。

土壤保育計畫失敗的原因很多，但最主要的一個原因是規劃者缺乏對土壤侵蝕基本過程的認知，以及其控制及預防的原則。例如像是：

落在裸露土壤上的雨滴會破壞土壤表面結構並將土壤顆粒分離。如果土地是傾斜的，那麼水就無法直接被土壤吸收或是被微地形留住，因此會產生徑流並順著斜坡移動，同時也帶走脫

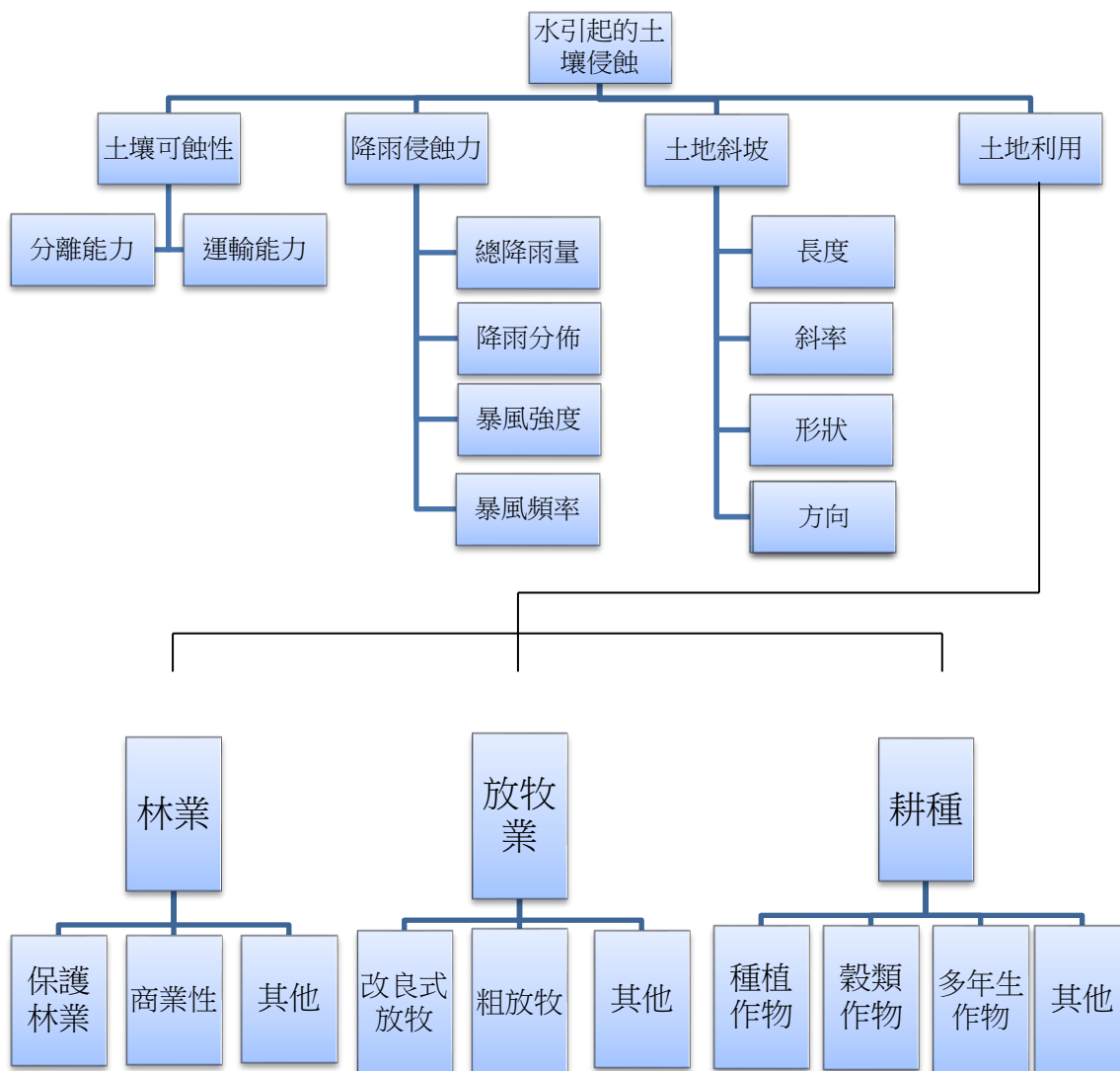
落的顆粒。

影響水侵蝕的基本要素是土壤的可蝕性和降雨的侵蝕力，土地斜坡和土地利用類型。

用下列簡單的形式來說明：

斜坡，在是水的侵蝕是一個很重要的因素，因為它會影響任何流動的水量和體積。

傾斜的程度和角度也是要素之一，但還有其他四個因素往往被忽視或低估，就是斜坡長度、形狀、平整度和外觀。



2. 斜坡的角度或斜率

斜坡的角度或斜率是最重要的影響因素，坡度越陡，水流出的速度越快。而水流速度快就會造成土壤不易吸收，當水的體積增加，帶走分離的顆粒和土壤的能力就越強。在平坦或緩坡上，強烈暴風會在土地表面造成水窪，這有助於分散降雨的動能。但在陡峭的山坡上，水移動速度

太快以致於無法形成這樣的保護膜。

3. 斜坡長度

斜坡長度通常也很重要，主要是因為斜坡越長，越大的水量會導致在流動同時加速水的移動，又再次增加水分離及運輸土壤顆粒的能力。

4. 斜坡形狀

斜坡通常是凹狀或凸狀。凹狀斜坡往往會在徑流移動快速時，削弱上斜坡的可蝕性。在徑流抵達較低的斜坡時，流速會慢下來，然後所攜帶的沈積物部分或是全部會淤積。因此凹狀斜坡要處理一般是在上斜坡處的侵蝕問題和低處的淤積問題。

而凸狀斜坡在上處的侵蝕問題較少，但是在低處卻會受到劇烈侵蝕，且通常會在低處平坦的土地造成大量的沈積物或沈積物直接進入到河流當中。

斜坡形狀有著上述的差異性，這些都會強烈影響每一塊土地處理及控制侵蝕的方式。

5. 斜坡的平整度

水會在平滑和規則的斜坡上快速流動，但當斜坡是不規則、粗糙或微地形改變的情況下，水的移動就會受到阻礙，導致有些會水暫時被留下來造成滲透率增加，徑流速度也會變得緩慢。

6. 斜坡的方向

斜坡的方向影響其對直接和間接侵蝕的敏感性。風力和雨滴侵蝕表面的角度是屬於直接影響；陽光和陰影、植物生長速率及動物放牧偏好則是間接影響。

7. 坡地的土壤保育

目前已經有許多土壤保育作法和技術用來預防及控制坡地受到侵蝕。從簡單的作法如僅需經過少量訓練後即可管理等高耕作(Contour Farming)，到複雜的作法如需要專業技術來設計、執行和維護的複雜土壤管理方案和工程技術，因受限於篇幅故不在此多做闡述。但基本上，土壤保育專家試圖要引入能控制並預防侵蝕，且可以促進土地利用和管理的穩定制度。可從三個不同但相關的方式進行，首先是盡可能保護土壤不受雨滴直接侵襲土壤表面；第二，試圖確保到達土壤表面的最大水量都可以被土壤吸收；第三，讓任何無法被吸收的水分排出的速度緩慢而不具有侵蝕性。

在平坦或緩坡地上，土壤保育專家也運用許多技術來達成這三個目標，而且可以運用各種不同的組合滿足各種土地利用的需求。因此，如果土地必須直接暴露在雨滴下一段時間並使得年作物能生長，那麼就會利用補償技術來幫助增加土壤滲透率和減緩徑流速度。

但坡度增加時，土壤保育專家的任務就變得較為艱鉅。主要因為是坡度增加，要留住水分或將徑流速度減緩到不具侵蝕性的難度也隨之增加。但在同時間，其他的影響因素往往也會一起發生。一般而言，坡度增加時，土壤會變得比較淺且抓水力也會降低。

而這一點也增加了土壤保育專家的任務困難度，也會限制計畫規劃者用來平整表面的作法，以及保護土壤不受雨滴的直接影響。

8. 基本的土壤保育作法

一般的土壤保育作法有兩種：生物處理措施和物理或機械措施。

事實上這兩個作法有重疊的地方，而且在不同區域的土壤保育計畫中通常都會組合運用兩種作法。

生物處理作法的原則是使用活的或枯死的植被，以充足的數量來保護土壤表面不受雨滴直接影響，以建立一個粗糙的表面可以確實阻礙徑流並將其速度減緩到具不侵襲性。

機械保護方式則較少進行預防雨滴撞擊的影響，而是用來減緩部分或整體雨滴的移動，以便能增加滲透率並減緩徑流速度。

物理保護方式一般都用上述的其中一個方法來達成保護目的：減少斜坡長度和改變斜坡的斜率程度。舉例來說，等高河堤或堤岸可用來減少斜坡的長度。良善設計的緊密等高河岸可以在徑流變得太大或在流水開始集中在渠道形成小溪之前阻斷徑流。

另一方面，建造梯田確實改變坡度。在整體坡度維持相同時，可以在平坦區段或鄰近平坦的土地進行各種無法在陡峭斜坡實施的土地利用類型，將不會造成侵蝕。

土壤保育專家試著規劃並實施坡地上的土壤保育作法時，這邊可以提供一些基本原則可以讓他們參考。雖然目前有很多已知的不同作法和技術，但是它們仍有一些限制，而且隨著坡度不同，限制也會更多。

四、坡地的未來

如本文一開始所說的，目前大面積的新土地未來至少 50 年到 100 年間都必須投入生產。但是由於多數品質極佳的土地已在使用中，所以可以考慮再使用的區域將剩下坡地，但這些區域多面臨侵蝕的問題。我們可以呼籲土地利用計畫者一起協助描述如何善用這些坡地。在規劃這些坡地同時，也應特別注意預防和控制侵蝕。而土地利用規劃者和土壤保育專家之間的關係也應更為緊密，土地利用規劃者也應對侵蝕過程和其控制方法要比過去有更詳盡的認知。

這些認知內還包括對許多國家現況的瞭解，特別是在亞洲和非洲部分地區，人口密度高，而且許多坡地已經在人口密集居住和耕種的狀態。

這些區域的土壤已經正在退化，影響的不只有農民的收入減少，坡地區域的侵蝕也造成下游的嚴重問題，包括河道和水壩淤積，不利水力發電和灌溉方案，限制河流和港口的航行，以及增加嚴重水災的頻率。而政治家、管理機構及一般大眾已經都對這些問題的起因略知一二。

因此，科技單位目前也積極參與協助解決這些問題。這些機構也將越來越被大眾要求制定合理的土地利用和土壤保育計畫，藉此來防止下游的問題，同時也協助多數在斜坡上的土地使用者。

科技單位一般似乎都已經準備好解決這些問題，但是一旦開始進行防治工作又往往會面臨到一些難題。

土地利用的公認原則是「完善根本的土地利用規劃和土壤保護原則」，這告訴我們每一個土地單位都有其特殊的特徵、負載能力和限制。因此當我們在規劃土地利用制度時，必須要透過之前土地的相關研究，考量到特定土地不同的能力。如果有正確執行這些，我們所制定出來的計畫將能達到一個最佳的永續產能。

透過長久以來的經驗，我們也深知在環境內特定坡地上的某些土壤得以利用一些方式安全地進行耕作。一旦我們試圖對土地單位的使用超過了它的負載能力，無可避免就會遭遇到產量受損和土力退化。舉例來說，亞洲和非洲的許多熱帶地區，數百年來農民能在易受侵蝕的陡峭坡地成功種植糧食作物，這都是因為靠著輪耕制度。輪耕是土地短時間耕種後就以長滿灌木的短期休耕地(bush fallow)的形式進行長時間休養。但在多數人口眾多且缺乏土地的地區，就不太可能實施這種輪耕制度，反之還會減少或甚至完全廢除休耕期，進而造成土壤逐漸退化且產量降低。

結果就是我們現在必須要求許多國家對已人口密集定居的坡地制定相關計畫，並且對於導致土地退化的土地利用形式加以修正規劃。

為了導入正確的土地利用方式，一般都會要求這些人必須搬離陡峭坡地，並且將土地利用的類型改為較不密集或是符合土地負載能力的方式。

但此時我們又遇到了一些問題，那就是現實條件都參雜政治、社會和經濟因素，導致居民不太可能會搬離那些區域，還有其他因素包括沒有更適合的土地可供他們遷入。除了這些因素，通常居民也都不願搬離他們自己房屋、家庭和社區。再加上政府一般也因為種種行政上的困難和搬遷政策極不受大眾歡迎，因此不願推行搬遷的重置計畫，另外像是重置的成本相當昂貴，導致往往最後的結果都已失敗收場。

在不移動居民的情況下還有另外一些改變土地利用的模式，如改變耕種形式或是將耕種形式改為畜養生產牲畜，像這樣的做法一般也是緩慢且困難重重的過程。

難以改變土地利用的原因可能有很多，而且目前的商業性農業，由於價格因素以致於農民都種植特定作物，也使得更難改變他們的耕種模式，除非能夠清楚說明種植其他作物要來的更具經濟價值。

至於實施自給型農業 (subsistence farming)的部分，人口密集的發展中國家大部分的斜坡耕地必須種植常年糧食作物以滿足家庭的迫切需求，這也是農民的主要考量。

直到這些農民可以確保他們迫切的糧食需求無虞，才會開始對改變土地利用的方法有一點興趣。

因此在這些情況下，規劃者是否應制定有完整技術的計畫以達到永續發展、生產的農業，並且瞭解這類的計畫是否可能有機會在目前人口壓力下，以及政治、經濟和社會條件情況下實施？

還是規劃者應考量現有的條件並且制定某種形式的妥協方案，或許這個方案無法完全發揮效用但至少可以推行減緩措施，或防止一些目前發生的土地退化情況，並且同時在某種程度上提升許多農民對這類問題的瞭解？

也許唯一可以看出這些問題是要綜觀整個國家的發展。

假使只適合用來生產非農場銷售用商品（如木材、燃料和經濟作物）的坡地地區有穩定產量，那麼該地區就一定沒有從較平坦地區供應主食的保證制度嗎？

是否我們能發展出一個大家都接受的計畫，提供給從其他地區供應主食，或是我們必須要等待政治、社會及經濟條件有某個程度的改變後我們才能實踐正統計畫？

本文雖未提供解決方案，但仍希望可以啟發大家去探討這些問題。

很多情況下，我們無法簡單評價坡地，並說它是不適合的，在多數的例子中，我們看到許

多人還是在那些地方生活，雖然產量已經越來越少了但那些地方也還有耕作活動。因此我們又要如何評估和規劃呢？