

草類覆蓋區的土壤水垂直分佈特性

林俐玲⁽¹⁾ 蔡義誌⁽²⁾ 林軍豪⁽³⁾

摘 要

本研究選取九份二山草類植生為主之區域，架設資料收集記錄器與埋設土壤水分感應器以探討草類植生類型對土壤水分移動的關係。植被影響土壤水分移動的原因之一在於根系分佈深度的差別。草本植物相較於木本植物，根系分佈較淺，所以淺層之土壤水分變化量較大，變化幅度由大至小排列為 15cm、30cm、60cm 與 90cm 深。研究降雨期間土壤水分變化情形，結果發現土壤水分並未完全依照土壤深度向下增加，在大雨或豪雨的降雨強度下，水分容易藉由腐根或土壤生物所造成的通道快速通過地表下 15cm 移至深層土壤。研究土壤退水情形發現，臨前雨量為影響退水斜率與持水時間的因子，臨前雨量與退水斜率呈負相關，而與持水時間呈正相關。

(**關鍵詞**：土壤水分移動、植生類型、降雨強度、土壤性質)

Characteristics of Soil Water Vertical Distribution at A Grass-Covered Site

Li-Ling Lin⁽¹⁾, Yi-Zhih Tsai⁽²⁾, Chun-Hao Lin⁽³⁾

Professor⁽¹⁾, Doctoral graduate student⁽²⁾, Master⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Dataloggers and soil water sensors have been set up in grass covered experimental areas were used to evaluate the relationship between grass vegetation cover and soil moisture movement. One of the reasons that vegetations influence soil water movement in different depth is distribution of root system. Herb is the most vegetation cloak in experiment area with shallow root distribution, so the soil water variation is huge in shallow layer of soil. Therefore, the soil water variation from high to low grass area is for depth of 15cm, 30cm, 60cm, and 90cm. In the study of soil water movement

(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博士研究生

(3) 國立中興大學水土保持學系碩士

during the rainfall, it is found that soil doesn't wet downward each time. When the rainfall intensity reached heavy rain or extremely heavy rain, water moved through 15 cm depth and reached the deep soil layer. This might be caused by soil piping which mainly formed from rotten root. In the study of the soil water desorption variation, it is found that antecedent rainfall amount is the major factor that affect the slope of soil water desorption and the time of soil water retention. The antecedent rainfall amount and the slope of soil water desorption are in negative relation, and the antecedent rainfall amount and the time of soil water retention are in positive relation.

(Key words: Soil Water Movement, Vegetation Type, Rainfall Intensity, Properties of Soil)

前言

土壤及植生在水文循環過程中扮演著重要的角色，當降雨發生時，雨水會受到植物的截流而流往地面，地面的雨水則滲透入土壤或形成地表逕流，進入土壤剖面中的滲透水會依水分勢能高低重新分配，在此重新分佈作用下形成土壤水移動或經由滲漏補注地下水。土壤又會因植生覆蓋或敷蓋改變原有的理化性質，如增加土壤有機質含量、孔隙及土壤團粒化程度，加強了土壤整體的保水能力(黃俊義，1981)，提高土壤的有效水分含量(林俐玲，2007)，並能由植體阻截地表逕流增加土壤入滲機會，使覆蓋及敷蓋區的飽和水力傳導度為裸露區的 2.5 倍及 1.5 倍(黃國禎、萬鑫森，1996)。不同覆蓋及敷蓋材料亦會影響土壤含水量的變化，植生覆蓋由於根系競爭水分的關係，其處理下的土壤含水量較殘株敷蓋者少(吳嘉俊、陳智賢、鄒嘉慶，1995；丁澈士、陳慶雄等，1999)。盧惠生、楊炳炎(1979)曾在坡度 20 度、土深 90 公分之粘土坡地，進行杉木、百喜草及裸露區之土壤滲透率測定，結果指出土壤水分滲透率以百喜草最高、杉木次之，裸露地最低。

除此之外，土壤的質地與構造也是影響土壤水分移動或含量的主要因子，土壤的粗孔隙構造可增加水分之滲入，且重力影響其水分移動(陳念軍，1970)，粗質地土壤有較細質地高的滲透性與飽和水力傳導度(Gardner, 1920；郭魁士，1977；蔡義誌，2004)，因而在同一張力條件下粗質地土壤水分遞減速度較快，但細質地土壤水分含量則較高(謝銘，2002)，水分特性曲線(water retention curves)則能反應出此結果(林俐玲，2002)。

本研究於試驗區以儀器監測土壤水分勢能變化以進行討論。水分勢能量測現地的方法中，較常用的有下列方法(萬鑫森，1987)：(1)土壤水分特性曲線測定；(2)熱電偶濕度計(Thermal couple psychrometer)；(3)張力計(Tensiometer)；(4)多孔電阻體。而此研究所採用之土壤水分感應器(watermark)即屬於多孔電阻體的一種。吳耀琪(1990)曾於蓮華池埋設改良式電阻片觀測不同林況覆蓋下的土壤水分變化狀況，在乾季和濕季期間，皆以淺層土壤水分含量較高，不同降雨量對於土壤水分遞減過程曲線無明顯影響，僅對淺層土壤水分遞減斜率稍有差異。但是，何正品(1994)卻指出在乾季時土壤深度 10cm 與 100cm 處之重量水分含量差值約 10%左右，

濕季時則隨降雨條件之不同可達 25~30%左右的差異。且在連續多日無降雨之土壤整體需要較多的雨量，土壤水分才會有明顯變化。少量降雨時土壤水分變化隨深度遞減；連續降雨或降雨強度大時，深層土壤會率先達到高水分含量，而淺層土壤則較緩。故淺層土壤受降雨直接影響，而深層土壤則受降雨時間及降雨強度影響(何學哲，1998)。此外，表層土壤亦受到日照蒸發、土壤質地及植生根系等影響，土壤水分變化隨土壤深度增加而增加，至 60cm 以下方趨於緩和(李錦育、林永隆，2002)，而表層飽和水力傳導度的影響以粘粒含量及植物根系含量為主要影響因子，深層飽和水力傳導度主要受粘粒及壤土含量影響(黃誌川，1999)。

本研究以南投縣國姓鄉九份二山(Chiu-fen-er-shan)為研究試區，於現地架設資料收集記錄器(Datalogger)及埋設土壤水分感應器(Watermark)藉以研究土壤水分移動之情形，並探討在草類的地表植生下對於土壤水分垂直分佈的變動趨勢。

研究材料與方法

1.試驗地介紹

本研究試區域位於南投縣國姓鄉北山坑溪支流澗仔溪的長石巷，通稱九份二山(圖 1)，於 1999 年 9 月 21 日集集大地震(Chichi earthquake)，發生嚴重的山崩地滑現象，崩塌區面積約 102.5 公頃，崩塌體積約為 3500 萬立方公尺。崩落之土石以極高之速度傾瀉而下，並在東南側下方之石門峽谷受阻

而堆積(經濟部中央地質調查所，1999，九二一地震地質調查報告)。



圖 1 . 試區地理位置圖

Figure 1 . Location of the experiment area

表 1 . 試驗地基本資料
Table 1 . General characteristics of the experiment area

地點名稱	座標	海拔高(m)	坡度 坡向	地表植生
九份二山崩塌堆積區	E234068 N2649764	574.5	坡度 8° 北偏東 80°	草本植生為主

本研究於此選取一處坡度平緩且草本植生為主之區域(表 1)，做為調查及探討的試區。該區為九二一集集地震崩落土石堆積之地區，其坡度平緩、地表礫石含量高，地層為灰色頁岩夾砂岩層，表土為崩積土堆積。行政院農委會水土保持局(Soil and Water Conservation Bureau)曾在震災後於該區域以百喜草進行植生復育。此區以草本植物為較優勢的植生，後文將以「草生地試區」稱之，現地情況如圖 2。



圖 2. 草生地試區現地狀況

Figure 2 . Situation of grass area

2.試驗地植生調查

(1) 植生調查方法

本研究採用樣區調查法調查植生的種類及數量。調查方式以區塊內垂直往上直接調查，紀錄各樣區內之植物種類、株數、覆蓋的投影面積。而投影面積所指為冠層、枝條投影之地面面積，亦稱之為底面積(劉棠瑞等，2004)。

(2) 植生定量分析

由前述之調查方法，將樣區內之植物種類、株數、覆蓋的投影面積等現地調查資料

進行頻度與優勢度分析，其分析方法如下：

- ① 頻度(Frequency)：某種植物在所調查的樣區中，被記錄到的樣區數。
- ② 優勢度(Dominance)：用以表示某種植物在該植物社會中所占的重要性。可以覆蓋面積與所佔空間表示之。

植生定量分析，係以前述之參數加以組合，或以不同解析方法計算群落指數，藉以探討植物社會之特性。其分析項目如下：

- ① 基本定量計算：以頻度及優勢度(或覆蓋度)等轉換成相對值，以為計算重要值指數之依據。

相對頻度(Relative frequency)

$$= \left(\frac{\text{某種植物之頻度}}{\text{所有植物之頻度}} \right) \times 100$$

相對優勢度(Relative dominance)

$$= \left(\frac{\text{某種植物之覆蓋度}}{\text{所有植物之覆蓋度}} \right) \times 100$$

(覆蓋度係指自坡面垂直上方之植株投影面積比率為準。)

- ② 重要值指數(Important value index, IVI)：用以表示一植物社會中所有植物種類之重要性，其計算方法為相對頻度及相對優勢度之組合。

3.研究方法與步驟

本研究之研究流程如圖 6 所示，其項目簡述如下：

(1) 現地植生調查

依照前述的植生調查方法，採多樣區法(multiple plot method)中的集落樣區設置法，

在草生地試區以邊長 2 m 的方區作為調查樣區，共調查 15 個樣區，總調查面積為 60 m²。爾後將此調查資料進行定量分析，分別列出各試區的相對頻度、相對優勢度及重要值指數。

(2) 現地土壤採樣與土壤性質分析

① 土壤採樣及處理：在現地以隨機取樣之方式，採取足量之土樣。將所採集之土樣經風乾與過篩後，取粒徑介於 2~5 mm 和粒徑 < 2 mm 兩種粒徑的土樣供實驗分析之用。

② 土壤基本理化性質分析：(林俐玲，1996)

(a) 土壤水分係數(moisture factor of soils)：將土樣風乾秤重後再烘乾即可求出。

(b) 總體密度(bulk density)：以土塊法(clod method)測定土壤的總體密度。

(c) 顆粒密度(particle density)：採用比重瓶(pycnometer)法。由得知的土樣體積和烘乾土重，即可求出土壤顆粒密度。

(d) 團粒穩定分析(aggregate analysis)：評估土壤團粒之穩定性，最常用的方法為濕篩法(wet-sieving method)，測定土壤團粒在水中之安定性(Tiulin, 1928；Yorder, 1936；De Boodt and De Leeuheer, 1958)。幾何平均粒徑(D50)即是利用濕篩法來求得各篩網上總累積量達到百分之五十的粒徑。

(e) 土壤質地(soil texture)：採用吸管法(pipette sampling method)，分別求出砂粒(sand)、粉粒(silt)及粘粒(clay)之重量百分比組成，再以質地三角圖(soil structure triangle)分類其質地

(Gee and Bauder, 1986)。

(f) 有機質含量(organic matter content)：利用氧化還原法，以重鉻酸鉀將碳氧化，然後以還原劑滴定剩餘氧化劑，由此定量消耗於碳氧化作用的重鉻酸鉀量(Nelson and Sommers, 1975；Walkley and Black, 1943)，土壤有機碳含量約為有機質含量之 58%，所以所測得之有機碳含量乘以 1.724 即得土壤有機質含量。。

(g) 酸鹼度 pH 值：採用玻璃電極法直接測得。

③ 土壤水分特性曲線建立：以壓力鍋排水試驗，測得各張力下的水分含量。並以 van Genuchten (1980)所提水分含量與張力之關係式來建立土壤水分特性曲線。

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^m} \quad (1) \text{式}$$

式中

θ ：體積水分含量

θ_r ：剩餘水分含量（即張力趨近無限大時土壤之含水量）

θ_s ：飽和水分含量

h ：張力值（以正壓表示）

α, n, m ：參數（ $m=1-1/n$ ）

(3) 架設土壤水分監測儀器

土壤水分觀測儀器主要由土壤水分感應器(圖 3)，資料收集記錄器，電源模組及戶外型防潮箱所組成(圖 4)。草生地試區之土壤水分感應器埋設於資料收集記錄器主機旁（測點 No.1）和前後左右(測點 No.2~5)共五處，其配置如圖 5，再分別以土深 15cm、30cm、60cm 與 90cm 四種深度埋於測點 No.1~5，共

計 20 組土壤水分感應器分佈於草生地試區，另外於資料收集記錄器主機旁埋設四個深度的地溫計(soil temperature sensor)，深度分別為 15cm、30cm、60cm 與 90cm。設定資料收

集記錄器每 60 分鐘記錄一次各土壤水分感應器及地溫計的測值，並持續記錄 2003 年至 2005 年之測值。



圖 3 . 土壤水分感應器(Watermark)
Figure 3 . Soil water sensor (Watermark)



圖 4 . 土壤水分觀測儀器(資料收集記錄器、電源模組及防潮箱)
Figure 4 . The datalogger, battery module and water-proof box

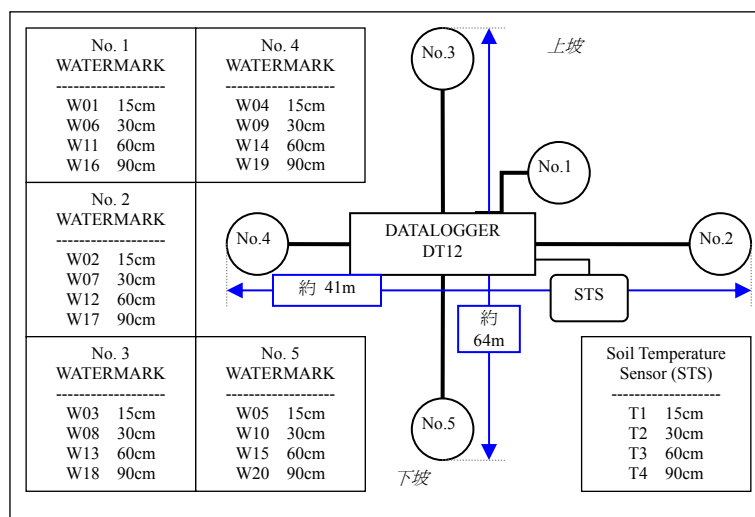


圖 5 . 草生地試區儀器配置示意圖
Figure 5 . Allocation of datalogger and soil water sensors in grass area

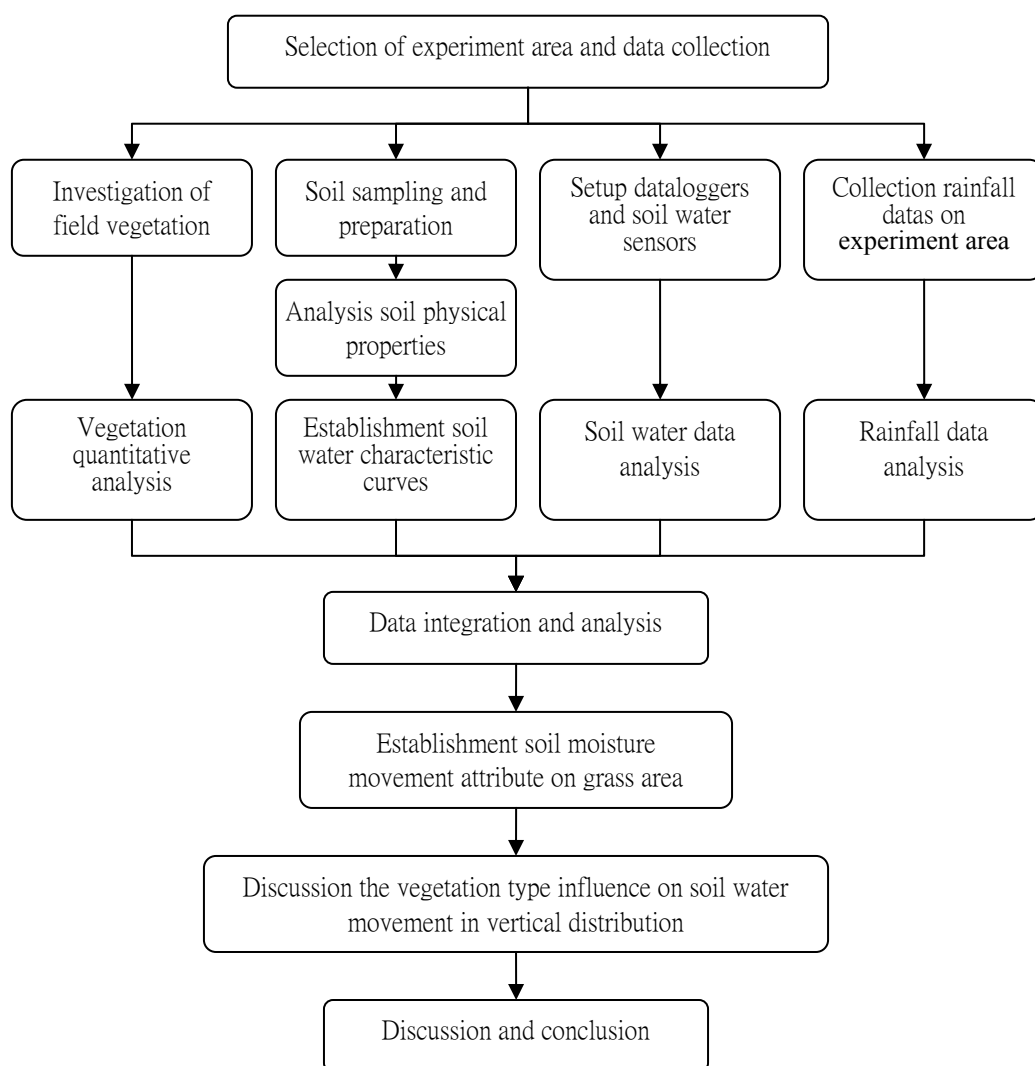


圖 6 . 研究方法流程圖

Figure 6 . The flow chart of study.

(4) 收集試驗地雨量資料

自中央氣象局南投國姓鄉九份二山雨量觀測站獲取 2003 年至 2005 年之雨量資料，萃取時雨量與日雨量資料以供後續分析。

在此觀測期間，對南投國姓鄉九份二山影響較大的幾場降雨，分別為 2004 年的中度颱風敏督利(06/28～07/03)；中度颱風南瑪都(12/03～12/04)；2005 年的強度颱風海棠(07/16～07/20)；強度颱風泰利(08/30～09/01)；強度颱風龍王(09/30～10/03)，這幾場

颱風均帶來較多的雨量，海棠、泰利和龍王甚至達到超大豪雨 (extremely torrential rain)(大於 350mm/24hr)等級。

(5) 草類植生類型影響土壤水垂直分佈之探討

進行探討草生地試區的土壤水分移動特性，以降雨初期雨水滲入土體內在各深度的水分變化及降雨結束後退水過程的水分變化來討論土壤水垂直分佈情形。

結果與討論

1. 試驗地植生調查

本研究於 2005 年 6 月 21 日進行植生調查。草生地試區植物種類僅 13 種(表 2)，並未達到生態系中所謂的極相(climax)狀態，植生分布情形以百喜草(*Paspalum notatum* Fliigge)最為茂密，相對優勢度有 57.37%，相對頻度 26.79%，而 IVI 值則高達 84.15；自然入侵的咸豐草(*Bidens pilosa* L. var. *minor* (Blume) Sherff)次之，有達 51.42 的 IVI 值，且相對頻度亦有 26.79%，相對優勢度有 24.64%；樟樹(*Cinnamomum camphora* (L.) Ness & Eberm.)則因行政院農委會水土保持局曾於 2003 年 7~9 月間大面積栽種，使之優勢度和頻度超過其它的植生，其相對頻度 12.50%，相對優勢度 10.13%，IVI 值仍有 22.63；五節芒(*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. Ex Schum. & Laut.)為台灣常見的草類，經常成群生長，各地均可見其群落分佈，此區所調查之五節芒大多生長於坡度起伏處，有著第四高的優勢度，其 IVI 值為 9.90。其餘尚有加拿大蓬(*Erigeron canadensis* L.)、

構樹(*Broussonetia papyrifera* (L.) L'Herit. Ex Vent.)、山萵苣(*Lactuca indica* L.)、紫花藿香薊(*Ageratum houstonianum* Mill.)、昭和草(*Crassocephalum rabens* (Juss. Ex Jacq.) S. Moore)、田菁(*Sesbania sesban* (L.) Merr.)、大明橘(*Myrsine sequinii* Lev.)、龍葵(*Solanum nigrum* L.)、小花蔓澤蘭(*Mikania micrantha* Kunth)分佈。草類植生的 IVI 總合值為 170.46，占全部植生總量的 85%以上。另外，在調查期間，人工栽植的大明橘及樟樹皆因生長不良，株高均不到 2m。

2. 土壤基本理化性質及水分特性曲線

依據現地所採集的土樣，經一系列實驗分析後所得之結果，該試區土壤之顆粒密度與總體密度為 2.7 g/cm³ 與 1.39 g/cm³，孔隙率 48.65%，土壤質地為砂質壤土，組成顆粒以砂粒為主，占總含量之 73.98%，而粘粒含量僅有 6.14%。試區內土壤與礫石岩屑雜混，又土壤砂粒含量高，因而土壤的團粒化程度不高，由土壤幾何平均粒徑(D₅₀)為 2.5mm 可知。地表覆蓋為草類植被，當植株腐化後，豐富了土中的有機質，土壤的有機質含量仍有 2.26%。而在土壤酸鹼值方面，試區之 pH 值 6.73 顯偏中性。

在土壤水分特性曲線方面，由於土壤質地之不同，會有不同的水分特性曲線(Williams et al. 1983, Wösten and van Genuchten 1988)，一般而言，粘粒含量越高，水分特性曲線之斜率起伏亦越平緩(Wann 1991)。土壤水分特性曲線的斜率代表土壤涵養水分的能力，面對相同吸力的變化時，水分特性曲線斜率較緩之土壤水分含量的變化較少，在乾燥過程可以持有較高的水分；另

草類覆蓋區的土壤水垂直分佈特性：林俐玲、蔡義誌、林軍豪

一方面，在降雨來臨時，水分特性曲線斜率 逕流量，進而減少土壤沖蝕。
較陡的土壤能快速的將雨水導入土體，降低

表 2 . 草生地試區植生調查結果

Table 2 . Results of vegetation investigating in grass area

Vegetation scientific name	Relative frequency (%)	Relative dominance (%)	IVI
大明橘(<i>Myrsine sequinii</i> Lev.)	1.79	0.24	2.02
咸豐草(<i>Bidens pilosa</i> L. var. <i>minor</i> (Blume) Sherff)	26.79	24.64	51.42
構樹(<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) L'Herit. Ex Vent.)	3.57	1.29	4.86
小花蔓澤蘭(<i>Mikania micrantha</i> Kunth)	1.79	0.10	1.88
加拿大蓬(<i>Erigeron canadensis</i> L.)	5.36	0.31	5.66
山萵苣(<i>Lactuca indica</i> L.)	3.57	0.52	4.09
五節芒(<i>Miscanthus floridulus</i> (Labill.) Warb. Ex Schum. & Laut.)	5.36	4.54	9.90
樟樹(<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Ness & Eberm.)	12.50	10.13	22.63
昭和草(<i>Crassocephalum rabens</i> (Juss. Ex Jacq.) S. Moore)	3.57	0.19	3.76
龍葵(<i>Solanum nigrum</i> L.)	1.79	0.24	2.02
紫花藿香薷(<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.)	3.57	0.41	3.98
田菁(<i>Sesbania sesban</i> (L.) Merr)	3.57	0.03	3.60
百喜草(<i>Paspalum notatum</i> Flugge)	26.79	57.37	84.15
Total	100.00	100.00	200.00

本研究以(1)式對壓力鍋排水實驗之實測數據進行擬合，所得之土壤水分特性曲線為

$$\theta = 0.02770 + \frac{0.45697}{[1 + (0.0062h)^{1.1924}]^{0.1614}} \quad (2) \text{式}$$
 得其參數 $\alpha=0.0062$ ； $n=1.1924$ ； $m=0.1614$ 。
 與 van Genuchten (1980)曾經分析的砂石

(Hygiene sandstone)及粘土(Beit Netofa Clay)比較，相同基質吸力下砂石有遠低於粘土的水分含量；甚至達到 15000cm 的基質吸力時，粘土仍有高出甚多的水分含量。而草生地試區之土壤為砂質壤土(sandy loam)，其曲線介於砂石與粘土之間。

表 3 . 土壤基本理化性質

Table 3 . The properties of the soil samples

Experiment area	Bulk density (g/cm ³)	Particle density (g/cm ³)	Porosity (%)	Organic matter content (%)	pH	Mean weight-diameter of soil aggregates D ₅₀ (mm)	Texture
草生地試區	1.39	2.7	48.65	2.26	6.73	2.5	Sandy Loam
Experiment area	Sand content (%)	Silt content (%)	Clay content (%)	Soil water retention curve			
草生地試區	73.98	19.88	6.14	$\theta = 0.02770 + (0.45697) / (1 + (0.0062h)^{1.1924})^{0.1614}$			

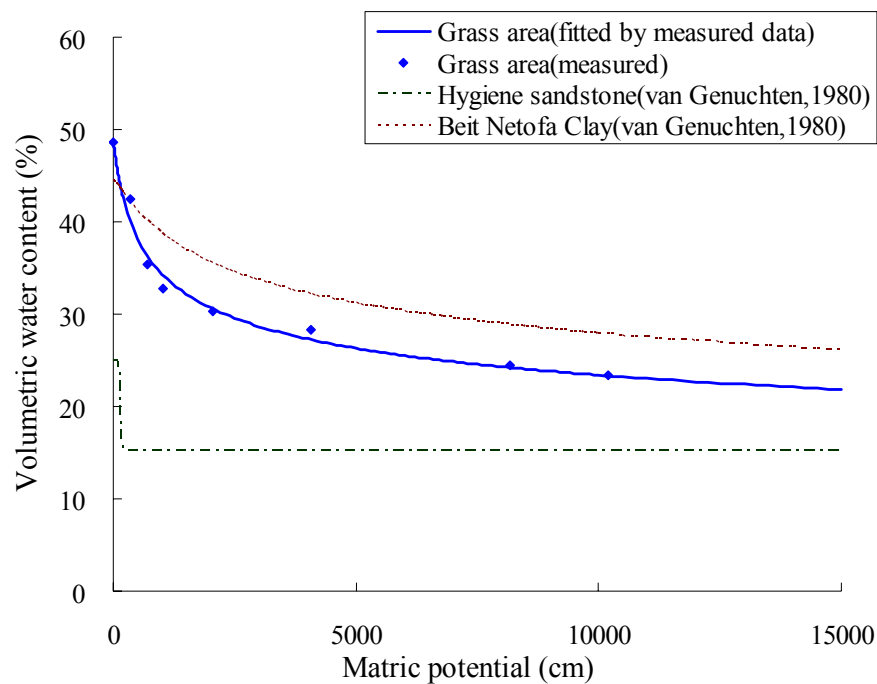


圖 7 . 土壤水分特性曲線

Figure 7 . Soil water retention curves

3. 草生地試區之土壤水垂直分佈情形

本研究分別以降雨初期雨水滲入土體內在各深度的水分變化及降雨結束後退水過程的水分變化來探討土壤水垂直分佈情形。在降雨初期，雨水入滲進入土壤中，使得各深度的水分含量產生變化，透過不同深度的感應器監測垂直變化情形。以下挑選幾場具有水分明顯變化的降雨來進行探討，如圖 8 ~ 11。其結果顯示，當降雨強度小屬中雨（ $<2.1\text{mm/hr}$ ）範圍時，土壤會由 15cm 深處開始濕潤，土壤水分慢慢由上而下移動，15cm 深的土壤先達水分含量高點，而後 30cm 深緩緩達到土壤水分含量的高點；若降雨強度增強到大雨或豪雨（ $2.1\text{mm/hr} \sim 8.3\text{mm/hr}$ ）以上，則 15cm 及 30cm 深處之土壤迅速湧入大量水分，快速達到土壤水分含量的高點；若降雨歷時夠久或有充足的雨水入滲才足以影響 60cm 和 90cm 深處的土壤水分含量。探究此因，主要是因為土壤整個剖面孔隙分配不均勻所致，當降雨現象屬於綿綿微雨時，土壤經由毛細作用由上而下濕潤；當降雨強度增強，雨水透過土壤因根系、節理、植物的腐根或土壤生物造成之通道（soil pipes）快速的向較深層移動，即所謂的優勢流現象，由深層先達水分含量高點再回注到上層土壤。何學哲（1998）與葉正霖（2002）在福山地區與蓮華池進行試驗時都曾提出相同的現象與結論。

至於退水過程的水分變化，則是挑選降雨結束後幾日無雨之水分監測資料進行討論，如表 4 所示。表中的累積雨量(accumulation rainfall)指自降雨終止時間往前累加，累加至與前場降雨結束的時間間隔大於 48 小時即中止；水分高點(higher water content value)為土壤水分開始穩定下降時的高水分含量點；水分低點(lower water content value)則為退水第 5 日時的水分含量點；持水時間(time of soil water retention)意指自降雨終止到土壤水分開始穩定下降的時間間距；退水斜率(slope of water desorption)為退水 5 日內之體積水分含量變化除以退水時數(120 小時)。

結果顯示在降雨結束後土壤由 15cm 深處先退水，經歷一段時間延遲才會依 30cm 深、60cm 深與 90cm 深處開始退水，且退水斜率隨深度增加而減緩。探究其原因，為淋洗作用使得深層土壤含有較多細顆粒及上層土壤的壓密作用影響，能供重力水流通之粗孔隙較少，所以當土壤在高含水量的狀況下，深層土壤退水時間遂比淺層土壤長。

比較不同深度退水斜率對累積雨量的關係以及持水時間與累積雨量的關係，累積雨量與退水斜率呈負相關，亦即累積雨量越大水分遞減狀況越陡；而累積雨量與持水時間呈正相關。

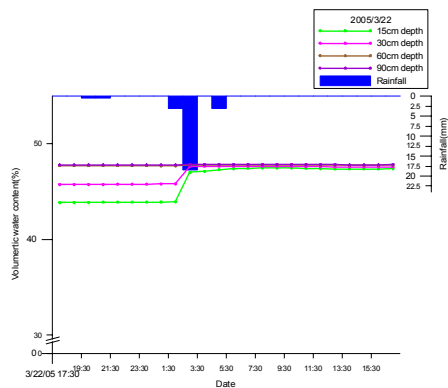


圖 8 . 降雨初期土壤水分變化圖 (2005.03.22)
Figure 8 . Soil water variation in grass area in the initial period of rainfall (2005.03.22)

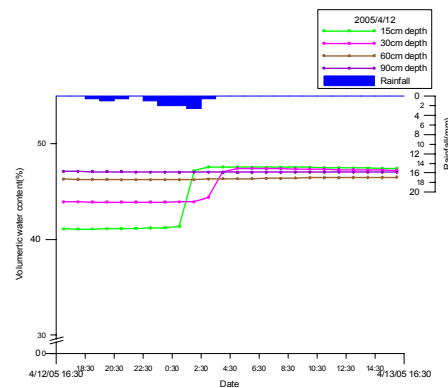


圖 9 . 降雨初期土壤水分變化圖 (2005.04.12)
Figure 9 . Soil water variation in grass area in the initial period of rainfall (2005.04.12)

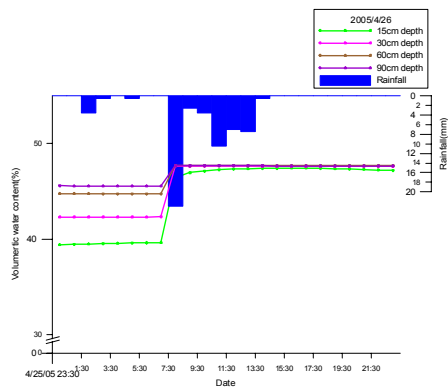


圖 10 . 降雨初期土壤水分變化圖 (2005.04.26)
Figure 10 . Soil water variation in grass area in the initial period of rainfall (2005.04.26)

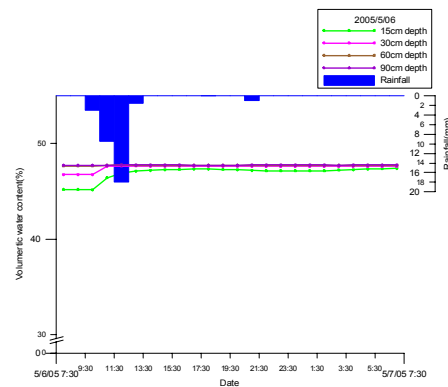


圖 11 . 降雨初期土壤水分變化圖 (2005.05.06)
Figure 11 . Soil water variation in grass area in the initial period of rainfall (2005.05.06)

結論

草生地試區土壤質地為砂質壤土，顆粒密度為 2.7 g/cm^3 ，總體密度 1.39 g/cm^3 ，孔隙率含量 48.65%，這種土壤質地的差異直接影響土壤水分特性，所以在相同基質吸力條件下砂石則有遠低於粘土的水分含量，而在降雨來臨時，水分特性曲線斜率較陡的土壤能快速的將雨水導入土體，降低逕流量。

試區的水分含量變化幅度隨深度遞減，

水分含量則隨深度遞增，此因草本植物之根系多分布在淺層土壤，是以淺層土壤之水分變動較大。

在降雨強度小而降雨延時長的情況下，水分藉由毛細作用在中、細孔隙間移動；而當降雨強度增強時，水分容易藉由節理與腐根、土壤生物等造成的通道快速抵達深層。而降雨特性對土壤退水的影響主要為臨前雨量的多寡，臨前雨量與持水時間呈正比而與退水斜率成反比（退水斜率為負值）。

草類覆蓋區的土壤水垂直分佈特性：林俐玲、蔡義誌、林軍豪

表 4. 草生地試區土壤退水記錄

Table 4. Records of soil water desorption in grass area

降雨終止時間	累積雨量 ^{*a} (mm)	土壤深度 (cm)	水分高點 ^{*b} (%)	水分低點 ^{*b} (%)	持水時間 ^{*c} (hr)	退水斜率 ^{*d} (% / hr)
2004/12/4 17:00	68.0	15	47.749	46.213	41	-0.013
		30	47.679	47.087	41	-0.005
		60	47.784	46.915	113	-0.007
		90	47.784	46.344	161	-0.012
2005/3/14 19:00	37.5	15	47.679	45.220	39	-0.020
		30	47.784	46.052	41	-0.014
		60	---	---	---	---
		90	---	---	---	---
2005/4/2 5:00	75.5	15	47.644	43.733	52	-0.033
		30	47.514	45.074	55	-0.020
		60	---	---	---	---
		90	---	---	---	---
2005/4/14 1:00	14.0	15	47.574	43.253	11	-0.036
		30	47.644	44.760	34	-0.024
		60	47.156	46.278	34	-0.007
		90	47.469	46.711	58	-0.006
2005/9/2 20:00	153.0	15	47.504	42.214	37	-0.044
		30	47.609	43.883	40	-0.031
		60	47.784	44.901	88	-0.024
		90	47.784	45.459	89	-0.019
2005/10/4 19:00	58.0	15	47.469	43.489	15	-0.033
		30	47.574	42.824	38	-0.040
		60	47.644	44.539	40	-0.026
		90	47.679	44.217	61	-0.029

註：*a 累積雨量指自降雨終止時間往前累加，累加至與前場降雨結束的時間間隔大於 48 小時即中止。
 *b 水分高點為土壤水分開始穩定下降時的高水分含量點。水分低點為退水第 5 日時的水分含量點。
 *c 持水時間意指自降雨終止到土壤水分開始穩定下降的時間間距。
 *d 退水斜率為退水 5 日內之體積水分含量變化除以退水時數(120 小時)。

參考文獻

1. 丁澈士、陳慶雄、卓泳良、胡雅倩、葉瑞盛（1999）「不同敷蓋與覆蓋處理下對坡地土壤水份動態之研究」，第十屆水利工程研討會論文集，pp.95-102。
2. 何正品（1994）「蓮華池森林集水區坡面土壤水分變化對降雨之反應」，台灣大學森林學系防災研究室。
3. 何學哲（1998）「福山地區坡面土壤水分變化之研究」，台灣大學森林學研究所碩士論文。
4. 李錦育、林永隆（2002）「香楠林坡面土壤水分空間變化之研究」，中華水土保持學報，33(1):69-78。
5. 吳嘉俊、陳智賢、鄒嘉慶（1995）「不同敷蓋材料對陡坡地土壤水分變化及

- 沖蝕控制之研究」，中華水土保持學報 26(2):121-133。
6. 吳耀琪（1990）「不同覆蓋林地未飽和帶土壤水分變化之研究」，台灣大學森林學研究所碩士論文。
 7. 林俐玲、杜怡德、涂展台、蔡義誌（2007）「茶園不同水土保持處理下土壤水分特性曲線之研究」，水土保持學報 39(1):73-85。
 8. 林俐玲、謝銘、林明義、杜怡德（2002）「九份二山崩場地土壤水分特性之研究」，中華水土保持學報，33(2):79-86。
 9. 高庭芳（2002）「福山試驗集水區坡面土壤水分移動特性之研究」，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
 10. 陳念軍（1970）「滲透現象及其影響因子的研討」，水土保持學報 3:18-23。
 11. 郭魁士（1977），「土壤學」。中國書局出版。
 12. 黃誌川（1999）「未飽和層土壤水分移動行為之分析」，國立台灣大學地理學系研究所碩士論文。
 13. 黃俊義（1981），「覆蓋及敷蓋對坡地土壤保水力之影響」，水土保持學報 14:90-95。
 14. 黃國禎、萬鑫森（1996）「坡地植生及覆蓋下土壤水分入滲透性」，屏東技術學院學報 5(1):45-51。
 15. 葉正霖（2002）「台灣中部溪流源頭森林集水區水文現象及特性之研究」，國立中興大學水土保持學系博士論文。
 16. 萬鑫森 譯（1987）「基礎土壤物理學」，國立編譯館主編，茂昌圖書有限公司發行。
 17. 劉棠瑞、蘇鴻傑（1983）「森林植物生態學」，台灣商務印書館。
 18. 蔡義誌、吳輝龍、林俐玲、杜怡德（2004）「坡地層土飽和水力傳導度之研究」，水土保持學報，36(1):19-34。
 19. 盧惠生、楊炳炎（1979）「不同覆蓋坡地土壤滲透之探討」，中華水土保持學報 10(2):111-120。
 20. 謝銘（2002）「中部地區坡地土壤水分流動之研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
 21. 經濟部中央地質調查所（1999）「九二一地震地質調查報告」。(ISBN : 9570253134)
 22. Gardner, W. (1920) "The capillary potential and its relation to soil moisture content," *Soil Sci.* 10: 357-359.
 23. Mualem, Y. (1976) "A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media," *Water Resour. Res.* 12: 513-522.
 24. Musgrave, G. W. (1955) "How much of the rain enters the soil," *U.S.D.A. yearbook, water*, pp.151-159.
 25. van Genuchten, M. Th. (1980) "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils," *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
 26. Williams, J., R. E. Prebble, W. T. Williams, and C. T. Hignett (1983) "The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic," *Aust. J. Soil Res.* 21: 25-32.

27. Wösten, J.H.M., and M. Th. van Genuchten (1988) "Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions," *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1762-1770.

97 年 01 月 20 日 收稿

97 年 02 月 12 日 修改

97 年 02 月 20 日 接受