

茶園不同水土保持處理下土壤水分特性曲線之研究

林俐玲⁽¹⁾ 杜怡德⁽²⁾ 蔡義誌⁽²⁾ 涂展臺⁽³⁾

摘要

本研究之目的為測定不同水土保持處理下茶園土壤之水分特性曲線，比較在不同處理下水分含量之變化。研究結果顯示，影響土壤水分特性曲線之因子，除了土壤本身之性質外，表土的狀況亦會影響之，如地表植生、土壤結殼。土壤表面經覆蓋與敷蓋處理後會提高土壤的有效水分含量。試區分為三種不同處理，二重複，分別為平台階段植生覆蓋區、平台階段枯草敷蓋區及裸露對照區，利用實測之張力及水分含量值與 Haverkamp et al.(1977) 及 van Genuchten(1980) 所建議之公式做水分特性曲線套疊，推估出各曲線的參數，結果顯示 Haverkamp et al. (1977) 所建議的公式最適合本研究試區土壤水分特性之描述，下列各公式為推估不同處理下最佳的水分特性曲線模式。

1. $WC(h) = 28.069 / \{51.99 + [\ln(-h)]^{2.37}\}$ 裸露對照區 I
2. $WC(h) = 22.657 / \{40.03 + [\ln(-h)]^{2.21}\}$ 裸露對照區 II
3. $WC(h) = 73.728 / \{174.34 + [\ln(-h)]^{2.95}\}$ 平台階段植生覆蓋區 I
4. $WC(h) = 15.039 / \{30.78 + [\ln(-h)]^{2.02}\}$ 平台階段植生覆蓋區 II
5. $WC(h) = 25.224 / \{57.03 + [\ln(-h)]^{2.38}\}$ 平台階段枯草敷蓋區 I
6. $WC(h) = 31.298 / \{70.19 + [\ln(-h)]^{2.4}\}$ 平台階段枯草敷蓋區 II

(關鍵字：茶園、水土保持處理、覆蓋、敷蓋、水分特性曲線)

A Study of Soil Water Characteristic Curves on Tea Plantations under Different Soil Conservation Practices

Li-Ling Lin⁽¹⁾, Yi-Te Tu⁽²⁾, Yi-Zhih Tsai⁽²⁾

Professor⁽¹⁾ and Graduate Student⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

Chan-Tai Tu⁽³⁾

Specialist, Seventh River Management Office, WRA, MOEA,
No. 291 Chienkuo Road, Pingtung, Taiwan 900, R.O.C.

ABSTRACT

The model suggested by Haverkamp et al.(1977) and van Genuchten(1980) was used to determine the soil water characteristic curves under different soil conservation treatments of the tea

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系教授兼系主任
 - (2) 國立中興大學水土保持學系博士研究生
 - (3) 經濟部水利署第七河川局工程員

plantations. The parameters of these models were determined with the experimental data by curve fitting technology. The results indicated that the following equations were the best to describe the water characteristics curves of different soil conservation treatments.

1. $WC(h) = 28.069 / \{51.99 + [\ln(-h)]^{2.37}\}$ for bare plot I
2. $WC(h) = 22.657 / \{40.03 + [\ln(-h)]^{2.21}\}$ for bare plot II
3. $WC(h) = 73.728 / \{174.34 + [\ln(-h)]^{2.95}\}$ for vegetative cover plot I
4. $WC(h) = 15.039 / \{30.78 + [\ln(-h)]^{2.02}\}$ for vegetative cover plot II
5. $WC(h) = 25.224 / \{57.03 + [\ln(-h)]^{2.38}\}$ for straw mulching plot I
6. $WC(h) = 31.298 / \{70.19 + [\ln(-h)]^{2.4}\}$ for straw mulching plot II

(**Keywords:** Tea plantation, Soil and Water Conservation Treatment, Cover, Mulch, Water Characteristic Curve)

前 言

茶為本省高經濟物作用物之一，且主要分布於山坡地與高山台地，對水土保持有不利之影響，因此茶園之水土保持問題很早便受到重視。由於栽植於坡地，在高溫多雨下，土壤易沖蝕、有機質易缺乏，如能使用簡單之階段處理，可減少水土流失，再配合台壁植草和全園敷蓋則可更大幅度的降低水土流失。Jackman(1964)、萬鑫森及陳清茂(1979)及 Wischmeier 及 Mannering(1969)等指出覆蓋與敷蓋在土壤管理上能提供良好之生育環境，如增加有機質、改善土壤孔隙及減少土壤沖蝕，而對土壤水分而言不同水土保持之處理，其土壤之水分與張力變化影響很大，而土壤常處於未飽和之情況，未飽和流動過程中，水與土壤交互作用相當的複雜，很難定量地描述。水分含量及狀態在土體中隨著時間不斷地變化，包括土壤含水量、吸力及傳導度之相互關係，它們間的關係又因遲滯現象變為更加複雜。

所以本研究想瞭解土壤在不同處理下，水分在土層中移動之狀況，因為土壤水分含量和基質吸力之變化為土壤水移動之主要因素，故

本研究以分析土壤之水分特性曲線為主，以室內實驗與野外試驗，來比較各處理之水分與張力變化。另外以 Haverkamp et al. (1977)及 van Genuchten (1980)所提的水分含量與基質勢能關係式來計算茶園土壤在不同處理下之參數值，並求出各處理之適合模式。

由土壤的水分特性曲線及相關的水分特性參數配合土壤理化性質，可經由 Richards Equation 來模擬土壤的水分移動情形，這在探討不飽和的水分移動及溶質輸送現象是極為有用的。

研究材料與方法

(一)研究地區概況

1. 地理位置及地形概況

本試區位於南投縣魚池鄉貓欄山之東南，鄰近日月潭，隸屬於台灣省茶業改良場魚池分場；地理位置為北緯 23 度 52 分，東經 120 度 54 分，海拔高度為 850 公尺(圖 1)，試驗地的平均坡度為 52%。

2. 氣候及土壤概況

本試區屬於中海拔地形，全年溫度變化



圖 1. 研究試區地理位置圖
Figure 1. The location of study area.

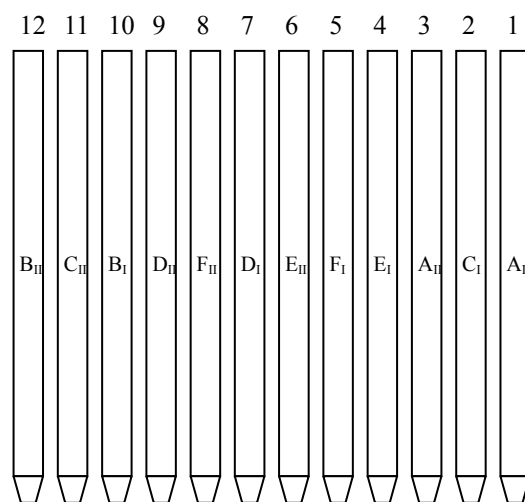
為 5.6oC~31.5 oC，年平均溫度 19.9 oC，平均溼度約 85%，年雨量介於 2000~2500 公釐，雨季大部分集中於五~九月份，本區平均風速為 4.6m/s，土壤酸鹼度介於 4.0~4.8，適於茶樹生長。根據黃俊德(1977)全省降雨沖蝕指數研究得知，日月潭地區之降雨沖蝕指數為 15,090 MJ-mm/ha-hr-yr，表示此區氣候概況具高降雨沖蝕指數之特性。而根據萬鑫森等(1989)研究台灣坡地土壤沖蝕性及流失量之估算所得到之結果顯示，魚池茶場之土壤為中或粗顆粒構造，土壤滲透率為中等至速(20 ~ 125 mm/hr)，本區土壤分類上屬日月潭系黃壤，其質地為粘壤土，沖蝕等級屬低至中蝕性。

3. 試區配置及處理

試區共分為 12 個區塊(圖 2)，每個區塊的處理是採完全逢機試驗設計構築而成的，試區於 1994 年 2 月客土、整地，3 月 28 日種植台茶 12 號，於 1996 年 8 月 18 日改種植大葉大葉阿薩姆 Jaipuri 種紅茶。各樣區長 12.43 公尺，寬 2 公尺，面積為 24.86 平方公尺，平

均坡度為 52%。而試區的處理方法有六種，採二重複，六種處理為(1)平台階段植生覆蓋，(2)平台階段草生栽植，(3)平台階段台面淨耕(4)平台階段枯草敷蓋(5)山邊溝三角栽植(6)裸露對照區。平台階段處理為每平方公尺種植 0.97 株茶樹，株距為 50cm；山邊溝處理為每平方公尺種植 1.05 株，採等高三角形密植；裸露對照區則無種植茶樹。

本研究以平台階段植生覆蓋區(區塊 1、3)、裸露對照區(區塊 5、8)、平台階段枯草敷蓋區(區塊 10、12)為研究對象，探討此三種處理之土壤水分特性曲線及參數。



- A：平台階段植生覆蓋區(1、3)
 - B：平台階段枯草敷蓋區(10、12)
 - C：平台階段草生栽植區(2、11)
 - D：山邊溝三角栽植區(7、9)
 - E：平台階段台面淨耕區(4、6)
 - F：裸露對照區(5、8)
- (區塊大小皆為長 12.43 公尺，寬 2 公尺，平均坡度為 52%)

圖 2. 試區配置及處理
Figure 2. The layout and treatment of experimental field.

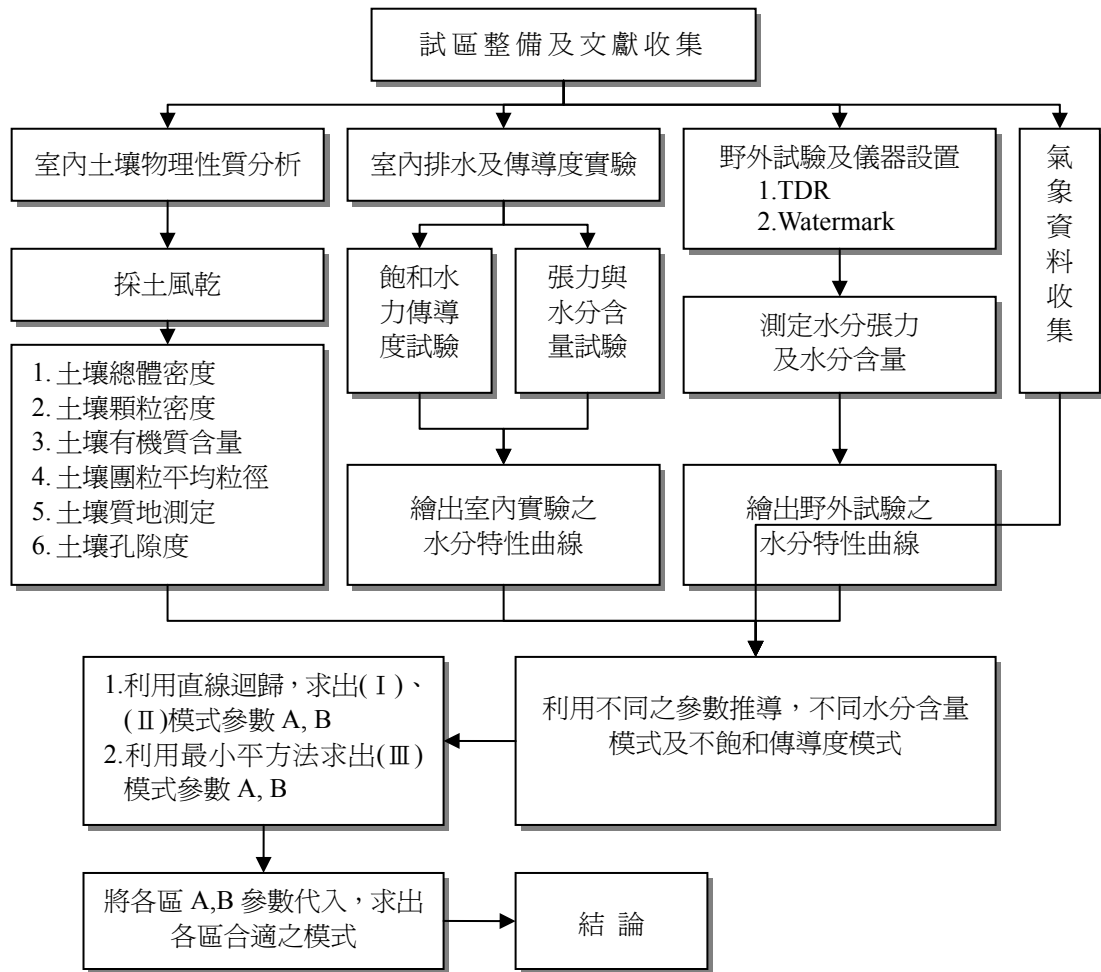


圖 3. 研究方法流程圖
 Figure 3. Flow chart of the study method.

(二)研究方法

本研究之研究流程及項目如圖 3 所示，各研究項目簡述如下：

1. 室內土壤物理性質分析

- (1) 土壤總體密度：將已知體積之金屬管打入田間的土壤中，後將金屬管連土取出，切去兩端多餘的土，使土壤體積等於金屬管之體積，利用絕緣布將

兩端緊密封住以防水分逸失。再以烘箱 105°C 至少 24 小時烘乾。

- (2) 土壤顆粒密度：土壤顆粒密度可由土樣重量和被土樣取代之水體積換算求出。
- (3) 土壤有機質含量：採重鉻酸鉀氧化滴定法。
- (4) 土壤團粒平均粒徑：採用 Gardner

林俐玲、杜怡德、涂展臺、蔡義誌：茶園不同水土保持處理下土壤水分特性曲線之研究之研究

(1956) 之多重濕篩法，求出土壤團粒之幾何平均粒徑。

- (5) 土壤質地測定：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。
- (6) 土壤孔隙度：孔隙度可由總體密度及顆粒密度推求，以供推算飽和含水量之計算值。

2. 室內排水及傳導度實驗

- (1) 飽和水力傳導度試驗：
 - a. 利用 Guelph 滲漏計 (Elrick, et al., 1987) 於現地量測。
 - b. 採土樣回實驗室，過篩重填，利用達西公式(Darcy's law)原理量測與計算。
- (2) 張力與水分含量試驗：由量測所得之張力和體積水分含量，即可描繪出不同土樣之土壤水分排水特性曲線。在此依張力大小可分兩種實驗。
 - a. 玻璃坩鍋排水試驗(<0.1bar)：以玻璃坩鍋來量測不同水柱高度下之水分含量。
 - b. 壓力鍋排水試驗(>0.1bar)：以壓力鍋排水試驗來量測不同壓力下之水分含量。

3. 野外試驗及儀器設置

- (1) TDR(Time Domain Reflectometry)：TDR 是利用電磁波在傳輸過程因時變性的電壓脈衝的能量遇到阻礙時發生折射及反射之現象，產生入射訊號與反射訊號的波形，藉由波形的分

析，可以決定受測系統的特性與阻抗變化。利用 Topp 在 1980 年在實驗中引用部份理論推導出 TDR 中之介電常數(dielectric constant)，而在經由實驗中以不同粒徑土壤所迴歸之多項式，得出土壤體積水分含量與介電常數之關係，而能應用於現地測量。本研究所使用之 TDR 型號為 Model No.6050X1 Trase System。

- (2) Watermark (Granular Matrix Sensors, GMS)：其原理與石膏塊相同，利用電阻在不同水分變化下與張力之關係，因 Watermark 所讀之電阻值不會因為土壤形式的不同而有所影響，但會受溫度變化所影響。Thompson and Armstrong(1987)提出理論式發現在除了 80-100kPa 範圍之外發現溫度與基質吸力有密切關係。本研究於試區中配合 CR10 資料記錄器(Data logger) 每隔 1 小時記錄各處理區之張力變化(0~2bar)。

4. 氣象資料之蒐集

試驗地附近有中央氣象局日月潭氣象站及台灣省茶業改良場魚池分場農業站。試驗期間之日雨量、氣溫、濕度、輻射量、風速和地溫等資料可由此兩氣象站取得。由氣象資料可供野外實驗參考，以地表土的溼潤情形決定現地施測之時間。

5. 繪製水分特性曲線

土壤的水分特性曲線能反應出各類土壤在不同張力條件下的含水程度差異。在此以室內排水實驗測得之數據繪出室內實驗之水分特性曲線。TDR 與 Watermark 於野外試區所

測得之結果繪製成野外試驗之水分特性曲線。

6. 推求水分特性曲線之參數

以 Haverkamp et al.(1977) 及 van Genuchten(1980)的理論來計算在不同處理下所得之參數值，並求出適合各區之模式。

Haverkamp et al.(1977)提出下列兩組土壤水分特性曲線函數，如(1)式和(2)式。

$$(I) WC(h) = WC(res) + \frac{A \times [WC(sat) - WC(res)]}{A + [-h]^B} \dots(1)$$

$$(II) WC(h) = WC(res) + \frac{A \times [WC(sat) - WC(res)]}{A + [\ln(-h)]^B} \dots(2)$$

以上兩式適用於負質勢能(未飽和時)。在飽和時 $WC(h)=WC(sat)$ 。

van Genuchten(1980)則提出下列水分含量與張力之關係式，如(3)式。

$$(III) WC(h) = WC(res) + \frac{WC(sat) - WC(res)}{\{1 + [A \times (-h)]^B\}^m} \dots\dots\dots(3)$$

當在負質勢能(未飽和時)，適用此式。在飽和時 $WC(h)=WC(sat)$ 。式中的 $m=1-1/B$ 。

以上三式中 $WC(h)$ 為在 h 基質吸力下所測得之土壤水分含量(%)。 $WC(res)$ 為土壤剩餘水分含量(%)。 $WC(sat)$ 為土壤飽和時之水分含量(%)。 A 與 B 為參數。模式(I)(II)的參數 A 和 B 以直線迴歸求得，模式(III)的參數則是以最小平方法求出。

結果與討論

本研究的主要研究試區區塊是平台階段植生覆蓋區(區塊 1、3)、裸露對照區(區塊 5、8)、平台階段枯草敷蓋區(區塊 10、12)共 6 區塊，以下以此 6 區塊之研究成果分述如下：

(一)試區土壤物理性質

不同處理的土壤性質如表 1 所示，結果顯示，裸露對照區因表土被嚴重的沖蝕，而所分析的土壤為粘粒含量較高的心土，所以土壤的質地由壤土改變為粘土，使土壤質地變細。總體密度偏小乃因本試區重新客土，且不定期除草，鬆動土壤所致。又裸露對照區沒有作物殘株的加入，使得土壤的有機質含量明顯的偏低。而平台階段植生覆蓋能改良土壤的結構，大幅提昇土壤團粒之幾何平均粒徑，此有助於提高土壤的穩定性和抗蝕性。

(二)室內排水及傳導度實驗

1. 飽和水力傳導度試驗：

土壤的質地、構造與有機質含量會影響土壤水力傳導度。由實測結果顯示(圖 4)，裸露對照區之土壤因質地較細、團粒幾何平均粒徑小，有機質含量低，雖其土壤之孔隙率較高，但非毛細孔隙少，導致其飽和水力傳導度較低。植生覆蓋和枯草敷蓋均能增加土壤的有機質，增加土壤大孔隙，所以其水力傳導度較高。不同方法所測定的飽和水力傳導度其值變化很大，尤其在現地所測之值其變化區間很大；而室內重填土壤後所測之值變化較小，此乃因現地土壤摻雜有機質和石礫所致，再者現地土壤裂隙亦有莫大影響。

2. 張力與水分含量試驗：

不同處理區之土壤分別做室內排水的張力與水分含量量測，並繪出室內實驗之水分特性曲線，其結果如圖 5 所示。結果顯示各處理區的水分特性曲線有明顯的差異，其中又以裸露對照區有較低的水分含量之曲線分佈，顯示出在相同的張力條件下裸露對照區的保水能力差於其它處理區。影響土壤水分特性曲線之因子除了土壤本身的性質外，地表的處理亦是

林俐玲、杜怡德、涂展臺、蔡義誌：茶園不同水土保持處理下土壤水分特性曲線之研究之研究
 重要的因子。敷蓋與覆蓋能改變土壤的水分特 holding capacity)。
 性曲線，進而增加土壤的保水能力 (Water

表 1. 試驗區土壤物理性質分析表
 Table 1 . Soil properties of different treatments

處理區	總體 密度 (g/cm ³)	顆粒 密度 (g/cm ³)	有機質 含量 (%)	團粒幾何 平均粒徑 (mm)	孔隙度 (%)	砂粒 (%)	粉粒 (%)	粘粒 (%)	土壤 質地
平台階段 植生覆蓋 I	1.38	2.43	2.73	3.90	43.26	47.25	25.84	26.89	砂質 粘壤土
平台階段 植生覆蓋 II	1.49	2.49	2.64	3.82	40.09	47.21	24.04	28.74	砂質 粘壤土
裸露對照區 I	1.23	2.44	1.54	0.60	49.85	29.24	24.51	46.25	粘土
裸露對照區 II	1.21	2.44	1.48	0.53	50.59	32.40	23.38	44.22	粘土
平台階段 枯草敷蓋 I	1.32	2.35	2.21	3.60	43.79	38.32	22.69	38.99	粘壤土
平台階段 枯草敷蓋 II	1.39	2.21	2.52	3.71	36.86	36.73	23.49	39.78	粘壤土

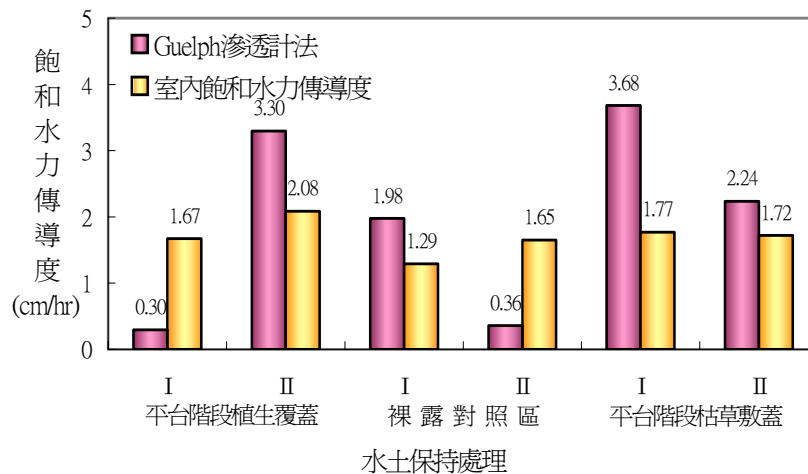


圖 4. 不同水土保持處理下之飽和水力傳導度
 Figure 4. Saturated hydraulic conductivity for different soil conservation treatments

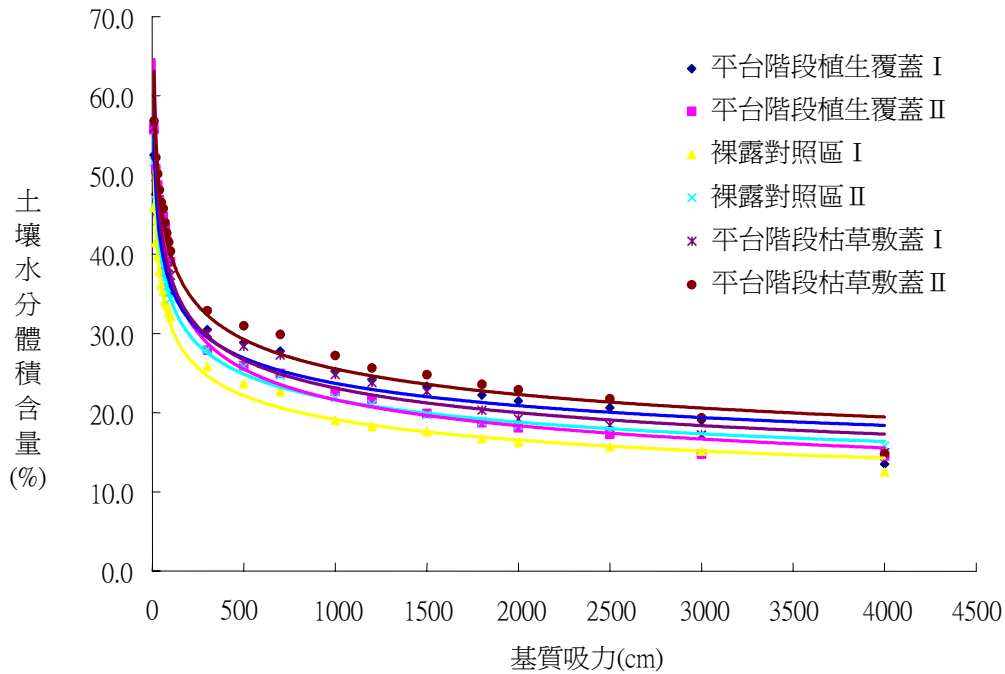


圖 5. 不同水土保持處理下之水分特性曲線(室內排水實驗)

Figure 5 . The water characteristic curve of different plot measured in the laboratory.

(三)野外試驗之水分特性曲線

分別以 TDR 測野外現地的土壤水分含量，Watermark 測其水分張力，其結果繪製成水分含量與基質吸力之關係圖(如圖 6)。由於野外現地的土壤構造及顆粒排列不如室內實驗土樣來得均勻，且受限 Watermark 儀器之測定範圍(0~2bar)，所繪得之水分特性曲線並不如室內實驗有規律。就以曲線分佈之趨勢來看，裸露對照區不論在室內或野外均有較低水分含量分佈；而植生覆蓋與枯草敷蓋則有較高的水分含量分佈，但這兩者之間的差異不甚明顯。室內實驗的枯草敷蓋有較高的水分含量分佈，而野外試驗並沒有此結果，是因為平台階段枯草敷蓋區初期的枯草蓋住地表，營造草類入侵生長之優勢條件，長時間之後漸漸轉變為

植生覆蓋的狀態，因而所得之結果並不同於室內實驗結果。

另外，野外實驗與室內排水實驗所得的水分特性曲線(圖 5)相比較，在同一基質吸力下，室內與野外實驗的水分含量有明顯差異，以室內實驗測值有較高的水分含量；野外實驗則較低。此現象是由於 TDR 是測得土層 30cm 的體積水分含量，而 Watermark 是 30cm 深的定點測值，兩種施測方式在空間分佈上並不是同一點位，因而所得之數據與室內實驗測值有明顯差異。並且，TDR 測土壤水分含量時，是在施測當時才將探針插入土壤中，易有擾動土壤之情況發生，影響土壤原本的土粒排列結構，間接影響儀器施測之精度。若儀器預算充足，建議長期埋設 TDR 於受測之土體中，並配

合 Watermark 長期觀測，以建立較為完善的張力對應水分變化數據。

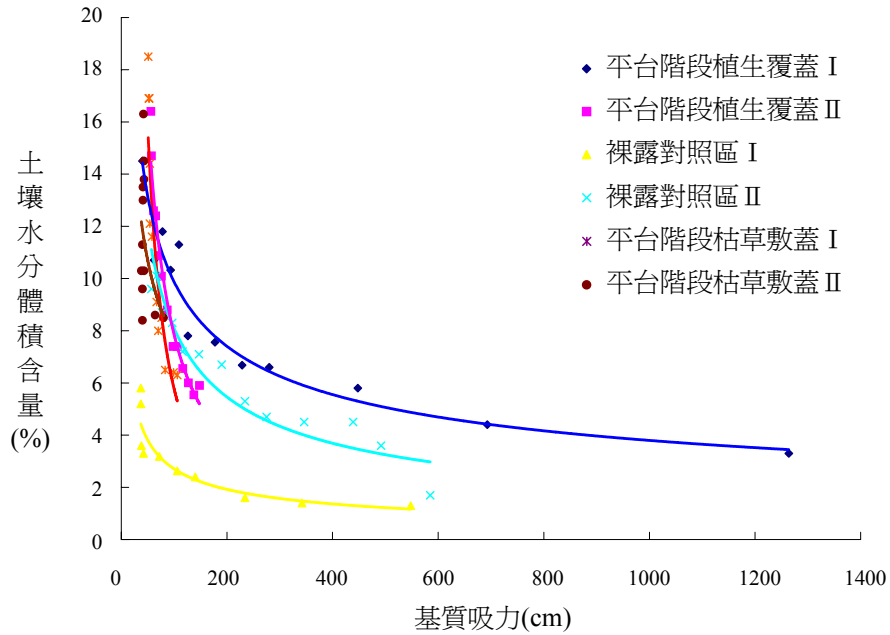


圖 6. 不同水土保持處理下之水分特性曲線(野外試驗)
Figure 6 . The water characteristic curve of different plot measured in the field.

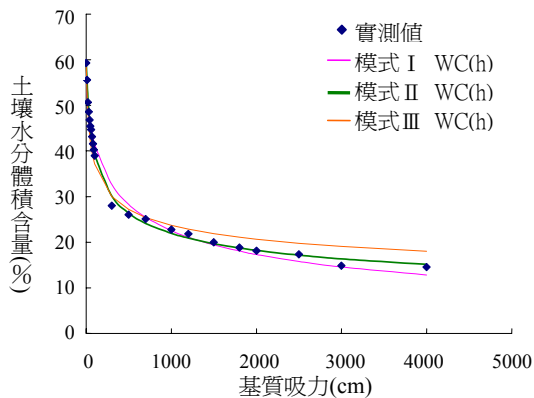


圖 7. 平台階段植生覆蓋 I 各模式之水分特性曲線
Figure 7. Comparison of water characteristic Curves. (vegetative cover plot I)

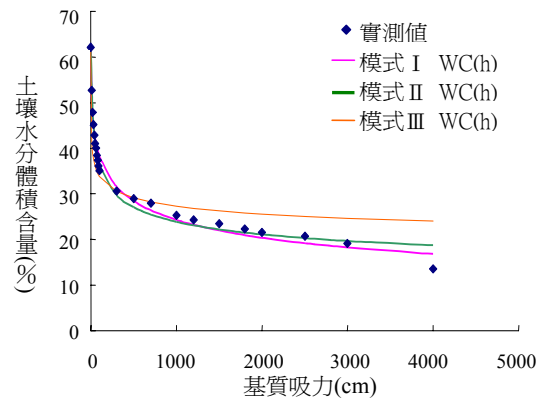


圖 8. 平台階段植生覆蓋 II 各模式之水分特性曲線
Figure 8 . Comparison of water characteristic Curves. (vegetative cover plot II)

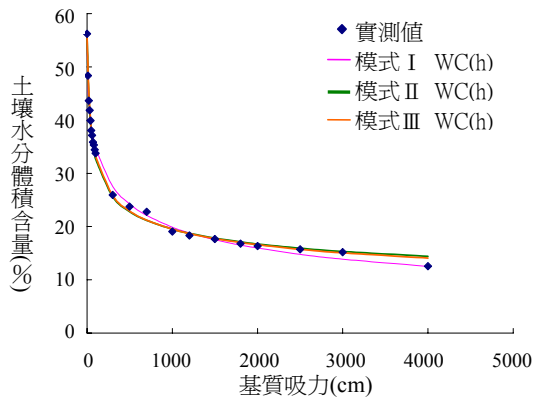


圖 9. 裸露對照區 I 各模式之水分特性曲線
Figure 9 . Comparison of water characteristic Curves. (bare plot I)

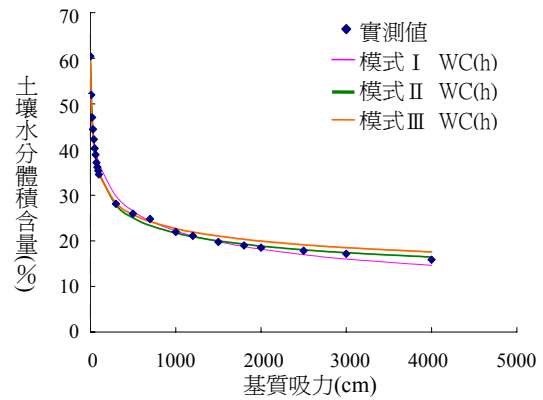


圖 10. 裸露對照區 II 各模式之水分特性曲線
Figure 10 . Comparison of water characteristic Curves. (bare plot II)

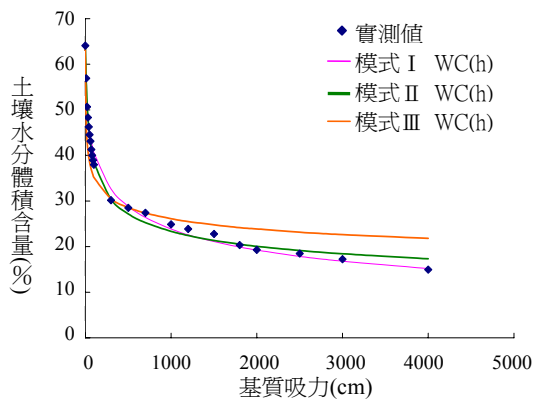


圖 11. 平台階段枯草敷蓋 I 各模式之水分特性曲線
Figure 11 . Comparison of water characteristic Curves. (straw mulching plot I)

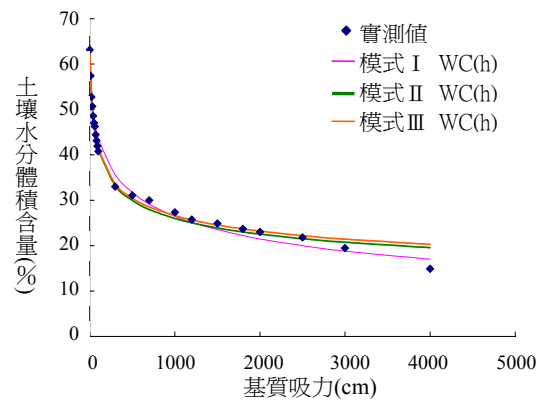


圖 12. 平台階段枯草敷蓋 II 各模式之水分特性曲線
Figure 12 . Comparison of water characteristic Curves. (straw mulching plot II)

表 2. 土壤水分特性曲線參數與方程式(模式 I)
Table 2 . The soil water characteristic curves. (model I)

處理區	參數 A	參數 B	模擬方程式
平台階段植生覆蓋 I	32.69	0.58	$WC(h) = 13.825 / \{32.69 + [-h]^{0.58}\}$
平台階段植生覆蓋 II	9.88	0.40	$WC(h) = 4.827 / \{9.88 + [-h]^{0.40}\}$
裸露對照區 I	13.84	0.47	$WC(h) = 7.472 / \{13.84 + [-h]^{0.47}\}$
裸露對照區 II	11.40	0.43	$WC(h) = 6.452 / \{11.4 + [-h]^{0.43}\}$
平台階段枯草敷蓋 I	14.83	0.47	$WC(h) = 6.560 / \{14.83 + [-h]^{0.47}\}$
平台階段枯草敷蓋 II	20.72	0.49	$WC(h) = 9.240 / \{20.72 + [-h]^{0.49}\}$

表 3. 土壤水分特性曲線參數與方程式(模式 II)
Table 3. The soil water characteristic curves. (model II)

處理區	參數 A	參數 B	模擬方程式
平台階段植生覆蓋 I	174.34	2.95	$WC(h) = 73.728 / \{174.34 + [\ln(-h)]^{2.95}\}$
平台階段植生覆蓋 II	30.78	2.02	$WC(h) = 15.039 / \{30.78 + [\ln(-h)]^{2.02}\}$
裸露對照區 I	51.99	2.37	$WC(h) = 28.069 / \{51.99 + [\ln(-h)]^{2.37}\}$
裸露對照區 II	40.03	2.21	$WC(h) = 22.657 / \{40.03 + [\ln(-h)]^{2.21}\}$
平台階段枯草敷蓋 I	57.03	2.38	$WC(h) = 25.224 / \{57.03 + [\ln(-h)]^{2.38}\}$
平台階段枯草敷蓋 II	70.19	2.40	$WC(h) = 31.298 / \{70.19 + [\ln(-h)]^{2.4}\}$

表 4. 土壤水分特性曲線參數與方程式(模式 III)
Table 4. The soil water characteristic curves. (model III)

處理區	參數 A	參數 B	模擬方程式
平台階段植生覆蓋 I	0.10	1.20	$WC(h) = 0.4229 / \{1 + [0.1 \times [-h]^{1.2}]^{0.167}\}$
平台階段植生覆蓋 II	7.00	1.09	$WC(h) = 0.4886 / \{1 + [7 \times [-h]^{1.09}]^{0.083}\}$
裸露對照區 I	0.09	1.24	$WC(h) = 0.4886 / \{1 + [0.09 \times [-h]^{1.24}]^{0.194}\}$
裸露對照區 II	0.20	1.19	$WC(h) = 0.566 / \{1 + [0.2 \times [-h]^{1.19}]^{0.16}\}$
平台階段枯草敷蓋 I	1.00	1.13	$WC(h) = 0.4423 / \{1 + [1 \times [-h]^{1.13}]^{0.115}\}$
平台階段枯草敷蓋 II	0.08	1.20	$WC(h) = 0.4459 / \{1 + [0.08 \times [-h]^{1.2}]^{1.167}\}$

表 5. 模擬方程式之相關係數與標準偏差比較
Table 5. Comparison of soil water characteristic curves fitting by different model.

處理區	相關係數			標準偏差		
	模式 I	模式 II	模式 III	模式 I	模式 II	模式 III
平台階段植生覆蓋 I	0.987*	0.997*	0.988*	0.016	0.008	0.016
平台階段植生覆蓋 II	0.973*	0.985*	0.884*	0.018	0.015	0.043
裸露對照區 I	0.994*	0.999*	0.996*	0.009	0.008	0.008
裸露對照區 II	0.985*	0.996*	0.997*	0.014	0.005	0.007
平台階段枯草敷蓋 I	0.986*	0.994*	0.938*	0.015	0.011	0.036
平台階段枯草敷蓋 II	0.986*	0.994*	0.991*	0.015	0.014	0.013

(四)推求水分特性曲線之參數及方程式

由現場試驗與室內試驗所量測各處理區之體積水分含量與水分張力描繪出不同處理下之土壤水分特性曲線，再以 Haverkamp(1977)所提出之式(1)、式(2)和 van Genuchten 所提出之式(3)擬合套用，並以直線迴歸及最小平方方法分別求出不同處理區

水分特性曲線方程之參數。最後再繪出由模式模擬的水分特性曲線(如圖 7~12)，不同處理區的水分特性曲線參數與方程式如表 2~4 所示。其結果顯示，模式 III 所得之結果不論在何種處理下均有較高的水分含量分佈模擬值；而模式 I 則相反，均為較低的水分含量模擬值。其中模式 III 在平台階段植生覆蓋和枯草敷蓋

等區均有高估之趨勢，尤其在高基質吸力下實測與模擬值的差異更為顯著，反應出模式Ⅲ在此模擬的不合適性。但是，這三種模式在裸露對照區均有不錯的模擬結果，其相關係數均達0.985*以上，標準偏差則低於0.014以下。不同模式之相關係數與標準偏差之比較如表5所示，比較此三個模式，式(2)之相關係數與標準偏差較低，其為較佳模式，較適合模擬南投魚池茶園的土壤水分特性曲線。

結 論

茶園的配置搭配不同的水土保持處理，能有效地改善立地條件、減少土壤流失。平台階段植生覆蓋能改良土壤的結構，大幅提昇土壤團粒之幾何平均粒徑，此有助於提高土壤的穩定性和抗蝕性。另外，植生覆蓋和枯草敷蓋均能增加土壤的有機質，增加土壤大孔隙，使其水力傳導度較高。

本研究嘗試從水分特性曲線瞭解水分在不同處理下水分含量之變化，測定茶園土壤在不同的水土保持處理下的水分含量及張力值之關係。其結果以平台階段植生覆蓋與枯草敷蓋有較高的水分含量分佈曲線；裸露對照區則較小。所以，當土壤在同一張力條件下且其值相等時，植生覆蓋或敷蓋會有較高的水分含量；裸露區則有最低的水分含量。相較之下，植生覆蓋區則有好的保水能力。

由 Haverkamp et al.(1977) 及 van Genuchten(1980) 求出之參數值，在模擬室內實驗之土壤水分特性曲線均有相當高之相關性。以 Haverkamp et al.(1977)所提的式(2) 在南投魚池茶園土壤水分特性曲線的模擬上所得結果較佳。

另外，室內實驗所繪得的水分特性曲線明顯較野外實驗規律，易於被探討與分析。在野外實驗部分，由於影響實驗的變因多，實不易掌控，建議長期埋設儀器觀測。TDR 可用於直接量測土壤的體積水分含量，施測方便迅速，但在使用上仍須考慮與其它儀器的搭配方式，以求得較精確之測值。

參考文獻

1. 林俐玲、楊長壽(1998)，茶園不同水土保持處理下土壤水分含量之量測與作物需水量之推估。中華水土保持學報 29(4)：339-349。
2. 林俐玲、蔡義誌、杜怡德(2001)，陡坡茶園水土流失控制之研究。水土保持學報 33(1)：15-24。
3. 吳輝龍、萬鑫森(1969)，團粒安定性與土壤性質相關之研究。水土保持學報 (2)：1-4。
4. 陳清茂(1979)，覆蓋及敷蓋對坡地土壤物理性之影響。國立中興大學水土保持系碩士論文。
5. 黃俊德 (1977)，台灣中部降雨沖蝕指數之研究(三)日月潭之降雨沖蝕指數。中華水土保持學報 8(2)：78~84。
6. 黃國禎、萬鑫森(1996)，坡地植生及敷蓋下土壤水分入滲特性。國立屏東技術學院學報 5(1)：45-57。
7. 黃國禎、萬鑫森(1991)，農地小集水區水土保持處理對土壤理化性質之效應。中華水土保持學報 22(1)：29-40。
8. 萬鑫森(1968)，土壤水分及其移動。水土保持學報 1：19-25。
9. 萬鑫森(1969)，植生及覆蓋對坡地土壤滲

林俐玲、杜怡德、涂展臺、蔡義誌：茶園不同水土保持處理下土壤水分特性曲線之研究之研究

性之影響。台灣水土保持試驗研究彙刊
1：421-428。

10. Darcy, H (1856). "Les Fontaines Publique de la ville de Dijon" Dalmont, Paris.
11. Elrick, D. E., W. D. Reynolds, N. Baumgartner, K. A. Tan and K. L. Bradshaw (1987), In-situ measure ments of hydraulic properties of soils using Guelph Permeametter and the Guelph Infiltrometer. Proc. 3rd Ind. Symposium on land drainage, Ohio State University, Columbus, OH, G13-23.
12. Gardner, W. R. (1956), Representation of soil aggregate size distribution by a logarithmic-normal distribution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20:151-153.
13. Havekamp, R., M. Vauclin, J. Touma, P. J. Wierenga, and G. Vachaud (1977). A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:285-294.
14. Jackman, R. H. (1964). Accumulation of organic matter in some New Zealands soils under permanent pasture. N.Z.J.A.R. 7:445-471.
15. Topp, G. C., J. L. Davis and A. P. Annan (1980). Electromagnetic determination of soil water content :measurement in Coaxial Transmission Lines, Water Resources Research 16(3):574-582.
16. Topp, G. C., J.L. Davis and A. P. Annan.(1982a). Electromangetic Determination of Soil Water Content Using TDR , I. Application to Wetting Fronts and Steep Gradients, Soil Sci. Soc. Am. J., 46(4): 672-678.
17. Topp, G.C., J. L. Davis and A. P. Annan (1982b). "Electromagnetic Determination of Soil Water Content Using TDR, II Evaluation of installation and Configuration of Parallel Transmission Lines, Soil Sci. Soc. Am. J., 46(4):678-684.
18. van Gencuchten M. Th. (1978). Calculating the unsaturated Hydraulic conductivity with a new close-form analytical model. Princeton Univ Research Rep. No 78-WR-08.
19. 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.
20. Wischmeier, W. H.,and J. V. Mannering (1969). Relation of soil properties to its erodibility. S.S.S.A.P. 33:131-137.

95 年 11 月 10 日 收稿

95 年 12 月 12 日 修改

95 年 12 月 20 日 接受