

甜根子草引拔抗力之推估模式

楊敬戎⁽¹⁾ 林信輝⁽²⁾ 陳意昌⁽³⁾

摘要

水利生態工法之治理工程以安全防災為前提，生態復育、植生綠化及棲地營造為考量重點，為了達到上述目標，故將植生材料導入河川治理工程，以減低土壤沖蝕、減少地表逕流等環境上的破壞，營造生物繁殖及棲息之空間，所以植生材料之選擇、植生特性及其根系的固土能力甚為重要。甜根子草 (*Saccharum spontaneum* L.) 為在河川區域自然入侵之本土優勢草種，其具有耐水濕、耐乾旱及抗風力能力強之優點，常群集於河床及沙質土壤處，形成大群落，且在大水過後常能發現甜根子草未被連根拔起，而呈現倒伏之狀態繼續生長，故本研究為瞭解及探討其植生根力特性與機制，而對甜根子草進行植株引拔抗力(Pr)與其生長特性及立地環境等相關影響因子之統計迴歸分析，建立破壞及非破壞性根力推估模式；其中之生長特性如株數(N)、草長(L)、地際直徑(D)、植株地上部重(Wu)及地下部重(Wr)，立地環境為土壤含水量(Sw)等，建立引拔抗力之推估模式，並期能瞭解甜根子草根系特性及固土能力，以提供植生材料導入時之選擇及植生綠化時之參考。

(**關鍵字**：甜根子草、引拔抗力、迴歸分析)

A Prediction Model for the Pullout Resistance of *Saccharum Spontaneum* L.

Ching-jung yang

Graduated Student, Department of Soil and Water Conservation
National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C.

Shin-Hwei Lin

Professor, Department of Soil and Water Conservation
National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C.

Yi-Chang Chen

Department of Soil and Water Conservation
National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C. (Corresponding author)

(1)國立中興大學水土保持學系碩士生

(2)國立中興大學水土保持學系教授

(3)國立中興大學水土保持學系博士，通訊作者

ABSTRACT

Ecological restoration, vegetation landscape engineering and habitat construction are the major objectives of disaster prevention related to river engineering. In order to achieve these objectives, the vegetation materials which might reduce soil erosion and runoff and create spaces for breeding and habitat are commonly used in river management construction. Therefore, it's important to carefully select the vegetation material by taking its characteristics and the soil solidity of its root system as the major considerations. *Saccharum spontaneum* L., which has the strong capabilities of bearing humidity, drought and wind, usually gathering by the riverbed and sandy soil, is the invasion grass of dominant species in the riverside. This study selects *Saccharum spontaneum* L. as the root sample for pullout test and discusses its characteristics and mechanism of root strength. The statistical regression analysis was performed to formulate the relationships of pullout resistance of root system (Pr), the growth characteristics of grass and the field site environment and eventually to set up pullout resistance models for this particular grass. The growth characteristics of *Saccharum spontaneum* L. are consisted of the grass number (N), the grass length (L), the diameter near ground (D), the grass weight of upper part above ground (Wu) and lower part under ground (Wr). On the other hand, the field site environment refers the moisture water content of soil (Sw). It is expected that the developed pullout resistance model will reflect *Saccharum spontaneum* L.'s characteristics and soil steady of root system and provide a referral for vegetation material choice in landscape engineering.

(**Keywords:** *Saccharum spontaneum* L., pullout resistance, regression analysis)

前言

近年來水利生態工法逐漸推廣及應用於一般河溪護岸，期以自然生態、環境保育及安全防災為主要考量，植生綠化、棲地營造、生態復育與治理工程相結合為重點，植生材料之選擇，及其對流速、河岸及構造物之影響，為主要研究之方向。

河溪護岸、堤防等防洪構造物，受到河川水流長期之影響，構造物底部容易被掏刷，導致護岸及堤防之傾斜與毀壞，而大量之混凝土構造物，對於生態環境之影響甚巨，若能利用草類植物之植生特性，來幫助防洪構造物之安全，並能達到植生綠化、環境保育及棲地營造等重點。由於植生材料極易大量繁殖與生長，相較於鋼筋混凝土之保

護措施，經費節省許多。若河川區域受到良好的植被覆蓋及保護，尤其草類植物之地上部莖葉具柔韌性而密生，將可減少雨水的沖蝕及地表逕流的破壞，減緩地表逕流的流速，延後洪峰到達時間，減低洪峰流量及傷害；另一方面，植物地下部根系均勻分佈於土壤上層，可以膠結土壤，促成土壤團粒化，增加孔隙率及滲透；其根系之網結作用，有阻攔雨水，固結土壤提高土壤抗剪強度之功能，而根系固結土壤之能力，端賴其全根系可承受之拉力大小而定。惟有關植物於河川區域之固土能力之研究，多為定性描述，缺乏數量化值之參考，在生態工法之應用上仍顯不足。

因此，本研究以臺灣中部地區河川區域之優勢植物-甜根子草為研究材料，試驗得其引拔

抗力(Pr)及試驗植株之草長(L)、株數(N)、地際直徑(D)、地上部重(Wu)、地下部重(Wr)、地上部含水百分比(Wup)、地下部含水百分比(Wrp)及土壤水分含量(Sw)等，推估可能影響根力模式之影響因子，以找出可能影響植株引拔抗力之因子，並試圖由草長、株數、地際直徑等，可直接量測，毋須破壞植株試驗以推估地上部重及地下部重、引拔抗力與其他變數間之最佳模式，對其影響因子之關係作重合性探討、線性檢定及統計殘差圖離異點(outliers)等檢定。以此初步概念探討甜根子草在河川區域之固土能力，並期能作為往後繼續研究之參考。

前人研究

Coppin 等人(1990)提出河川的粗糙度和逕流的流速受到植物型態、生長密度以及植物高度的影響。如(圖 1.)所示，水流深度逐漸增加時，水流受到草莖的擾亂，曼寧粗糙係數 n 上升到大約 0.4 後，流速下降，當水流深度漫過草莖時，由於草類受到水流的影響而開始倒伏，曼寧粗糙係數 n 則快速的下降。USSCS(1954)研究不同草地高度與流速之相關性，在具有較長葉片的草地，其逕流減速效力較高，如(圖 2.)所示，圖中曲線表示曼寧粗糙係數 n 值與水流強度參數(單位寬度流量或產生流速與水力半徑之乘積)之相關性。Chow(1959)則指出可將植生視為表面粗糙度(surface roughness)，且植生會明顯的減少渠道容量、阻礙水流、而阻礙程度則視植生種類、高度、密度及分佈情形而定。

植物除了地上部能夠提高地表面之粗糙度，增加曼寧粗糙係數外，其地下部之根系具支撐地上部與攝取必要水分與養分之能力，以供應植物生長所需；亦具有力學機制作用(網結及錨定)，根系補強力量為根株的機械補強力量(Mechanical reinforce force)及根系加勁補強作用(roots reinforcement)；其加勁補強作用，在於增加土壤之凝聚力，使

土壤之抗剪力增加。Gray(1970)研究出森林植生之根系補強作用對坡面穩定的加強效果。阿部和時(1991)以植株引拔抗力試驗推估植株根系在土壤中之補強作用，又不同植物之根系引拔抗力值與含根土壤剪斷補強強度成正相關之推估。Abe(1991)利用植株引拔抗力試驗推估植株根系與土壤強度之關係，並推估植株根系引拔抗力(Pr)與含根土壤剪斷補強強度(ΔS)之關係式，說明不同種植物根系會影響土壤剪力強度之增量。邱(1984, 1985)在西南部泥岩地區試驗中指出，根系在土壤中有網結土壤及樁之功效。吳與陳(1989)、吳(1990、1993)在森林植生根力應用在崩塌地處理上之研究中指出，臺灣赤楊及山黃麻根拉力強度對根直徑成指數歸關係，且有立木林地比無立木林地能多提供 300~1700kg/m²的土壤剪力強度，且提高 16~35%之安全係數(F)值。張(1993)指出檳榔的根拉力強度與直徑及檳榔根面積與剪力強度皆呈指數正相關，並於野外直接剪力試驗得知根之存在會增加土壤之剪力強度。顏(1984)指出土壤水分含量與土壤抗剪應力成反比之關係。並以逐步迴歸分析求得各覆蓋作物土壤抗剪強度累積值與根系特性間之最佳迴歸方式。

林等(1995)於臺灣西南部泥岩地區及屏東技術學院校區，測定水土保持草類植物的抗拉力，研究指出植物抗拉拔力的大小可視為其根部錨定於土壤之效果，而抗拉力主要是受到根量、土壤硬度及分蘖數增加的影響，根量越多，土壤硬度越大則抗拉力越大。而抗拉力之比較，於校區內以，百慕達草>聖奧古斯丁>天竺草>百喜草>孟仁草>巴拉草>牧地狼尾草；泥岩地區以，聖奧古斯丁>百喜草>孟仁草>牧地狼尾草。高(1998)指出刺竹拉拔抗力與胸高直徑成正相關，且拉拔抗力受到生長勢及含水量不同而有所差異。林與高(1999)研究泥岩地區之刺竹(*Bambusa stenostachya* Hackel)、鐵刀木(*Cassia siamea*

Lamarck)、摩鹿加合歡 (*Albizia falcata* Backer)、大葉桃花心木 (*Swietenia macrophylla* King in Hook)、赤桉 (*Eucalyptus camalculensis* Dehn.) 等植物的引拔抗力與胸高直徑成指數正相關。阿部和時(1984)以杉木、山毛櫸及日本黑松等試驗，指出引拔抗力與植株地際直徑大約成指數正相關。林與陳(1994)針對崩塌地區五年生之臺灣赤楊進行調查，其研究指出引拔抗力與地際直徑(基徑)成正相關。黃(2001)於南部泥岩地區研究優勢植物冬青菊 (*Pluchea indica*) 與 苦 藍 盤 (*Clerodendron inerme*) 之引拔抗力與其地際直徑呈指數正相關。陳等(2002)於台灣中橫公路崩塌地建立台灣赤楊與羅氏鹽膚木 (*Rhus javonica L. var roxburghiana*) 之根力模式。林等(2002)於台灣高雄石灰石礦跡地建立羅氏鹽膚木與木苧麻 (*Boehmeria densiflora*) 之根力模式。林等(2004)

研究美洲闊苞菊引拔抗力之最佳模式為與地面上 10cm 基徑及根系乾重成正相關。且利用統計迴歸分析方法找出非破壞性量化之推估模式，即可藉由量測植物之基徑上 10 cm 及附近土壤之山中式硬度計值，推估該植物之根力強度。但前人相關研究中，大多針對崩塌地植株之地際直徑(基徑)或根徑與引拔抗力之關係，而對於河溪護岸植生之相關研究甚少，且多為定性之描述，但是影響植生根系固土能力之因子，可能包括植物種類、地上部重、土壤性質(硬度、質地、孔隙)、坡度、根系分佈情形及氣候條件等重要因子，然影響因子複雜，且各因子間尚可能有相關性之存在。本研究以利用統計迴歸分析方式可分析出主要之影響因子，以探討最佳之根力模式，初步成果以供後人參考及後續研究。

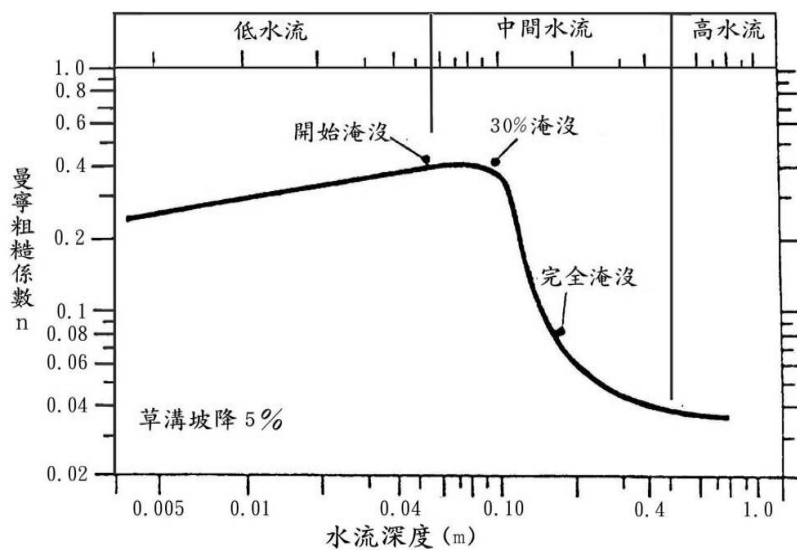


圖 1. 草地之曼寧粗糙係數與逕流水深之關係(Coppin and Richards, 1990)

Figure 1. Manning's roughness coefficient of grasses and runoff depth (Coppin and Richards, 1990).

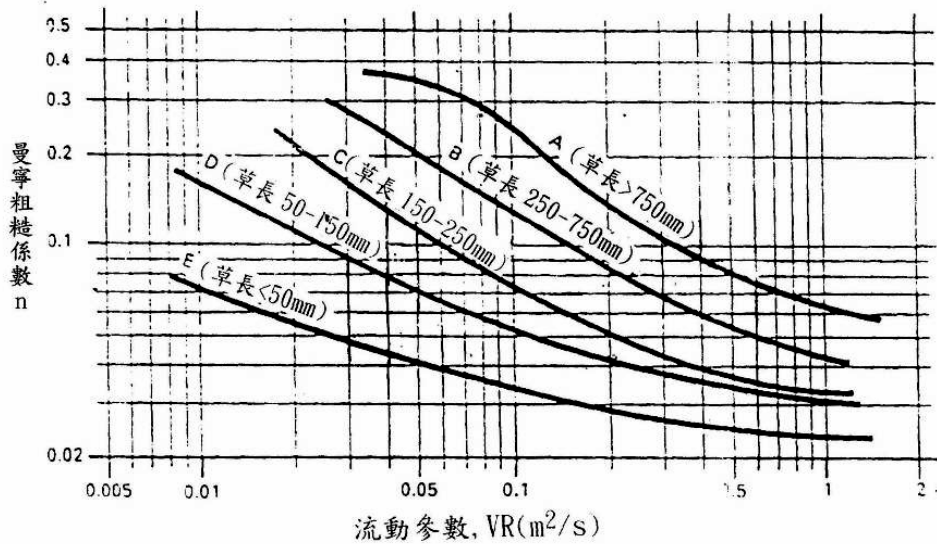


圖 2. 不同草地型態之粗糙係數(n 值)(USSCS, 1954)

Figure 2. Manning's roughness coefficient of the different kind grasses (USSCS, 1954).

材料與方法

一、研究流程

經現場勘查，選定受到颱風之影響，而產生大量崩塌破壞與土石流淤積之河川，以其自然環趨於達穩，且植物已大量自然入侵之加走寮溪為試驗樣區，在經由植生調查選定主要優勢植物甜根子草為試驗材料，量測植株之基本相關資料，包括株數、草長(量測植株最長之葉片長度)、地際直徑(量測植株每株之基徑，以累加之方式代表喬灌木之地際直徑)、植株重、植株含水量、乾物重及試驗植株下之土壤含水量等；植株含水量及乾重需携回實驗室作室內試驗求得。所得數據統計分析，以分別建立引拔根力、地上部重及地下部重之推估模式。

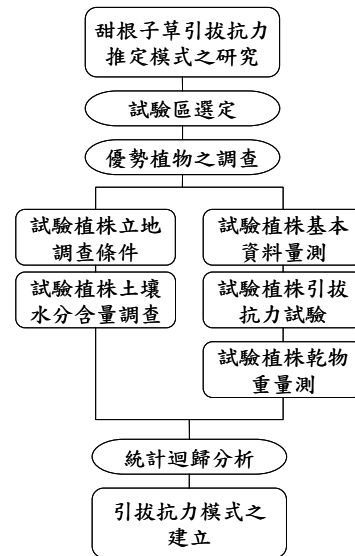


圖 3. 研究流程圖

Figure 3. The flow chart of this study.

二、試驗地點概述

本研究試驗地點為南投縣竹山鎮清水溪集水區之支流加走寮溪，如(圖 4.)所示，研究區域為瑞興橋上游 300 公尺瑞興堤防旁為樣區如(圖 5.)所示。清水溪全流域幾為山區，其降雨量多受季節風之影響，十月至年四月為東北季風盛行時期，由於中央山脈之阻擋，降雨量不多；每年五月至九月則為西南季風時期，雨量充沛，且颱風常引進大量豪雨。依歷年實測資料統計，五月至九月之降雨量約佔全年降雨量之 80%以上。

加走寮溪地形分區屬阿里山山脈北段，集水區範圍內最低高程約 200 公尺，最高為 2,268 公尺(烏松坑山)，其中以高程 800~2,000 公尺所佔的面積為最多，約佔全區面積之 73%；發源於杉林溪山區，河床平均坡降 1/14，

主流自杉林溪遊樂區青龍瀑布以下至與清水溪匯流處，海拔高度約 1,700 公尺至 200 公尺；加走寮溪位於濁水溪南側，地質分區屬中央山脈西部麓山帶地質區。其地質多屬砂岩、頁岩互層及含煤層，地質年代出露之地層以南莊層所佔面積最大。(經濟部水利署第四河川局，2004)

三、植生材料

植生方式採用線截法調查實施植生調查，經分析後以植物之豐多度(Abundance)為判斷，主要優勢植物包括甜根子草、牛筋草、鴨跖草、大花咸豐草、小花蔓澤蘭及野塘蒿等。本研究以生態生法未採用過之原生種，自然入侵能力強，且具有較長之葉片長度，莖部具有柔韌性及引拔抗力較大之本土植物甜根子草為試驗材料。

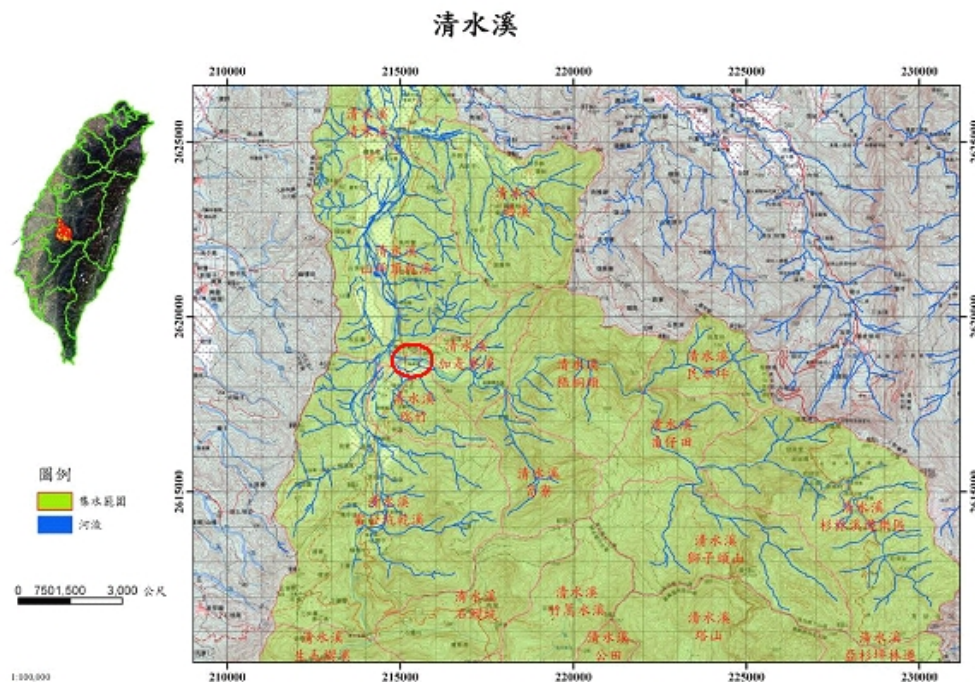


圖 4. 清水溪流域位置圖 (調查地點：加走寮溪瑞興橋上游)

Figure 4. The location of study areas in chia-tsou-liao stream.



圖 5.試驗樣區示意圖

Figure 5. Illustration of field test areas.

甜根子草之特性如下所示：

學名：*Saccharum spontaneum* L.

英名：wild sugarcane

俗名：濱芒、甘蔗蘆、野蔗。

形態：稈直立，高 2~3 m，嫩梢及節上密生白毛，節底下呈粉狀，花序下具毛。葉線形，頂端葉較密集，細齒緣，銳利，鞘口部有毛；葉舌鈍狀，長約 2 mm，具短纖毛。圓錐花序長達 50 cm，分枝直立。

習性：多年生草本。

分佈：產臺灣河床砂土處，其耐水濕又能耐乾旱，抗風力強，常群集於河床及沙質土壤處成大群落。分佈中國大陸東南沿海、琉球。

用途：可應用河海岸飛砂地區之植栽材料。

四、植株引拔抗力試驗

引拔抗力試驗儀器採用日製 SHIMPO 背筋力計（人力可拉起 240kgf 內），如(圖 6.)

所示由人力拉拔起植物，在經由拉力計將引拔抗力資料儲存至電腦，並顯示最大引拔抗力。拉拔選擇之試驗樣本植物，以隨機方式選取，株高大小並符合常態分佈為原則，以單叢植株為樣本，依試驗情況而簡化，選取時不考慮倒伏後繼續生長之植株，或未受到周圍植物根系影響等試驗植株為主。拉拔時與地面成垂直，平均 10cm/min 的速度平穩緩慢的拉拔起植株，並記錄其最大引拔抗力數值，拔根後分別量測試驗植株之地上部及地下部重量並分別裝袋，攜回實驗室 85℃ 烘乾 48 小時，烘乾後分別稱重，以換算試驗植株之含水重量百分比。

1. 地上部植株含水百分比：

$$\left(\frac{\text{地上部濕重} - \text{烘乾重}}{\text{地上部濕重}} \right) \times 100$$

2. 地下部根系含水百分比：

$$\left(\frac{\text{根系濕重} - \text{烘乾重}}{\text{根系濕重}} \right) \times 100$$

五、試驗植株基本性質之量測

植株在進行引拔抗力試驗前，先以捲尺(精度 1mm)量測其葉片最長之長度；日製 MITUTOYO 游標尺(精度 0.05mm)量測每一根稈之基徑，取其累加值；拉拔後，分別截取植株之地上部及地下部(根系)，再將因拉拔斷裂於土壤中之根系小心挖掘秤重；另以 HydroSense 土壤水分測量顯示器(圖 7.)，量測植株根系下 12cm 內土壤含水率百分比。



圖 6. 引拔抗力試驗示意圖

Figure 6. Pullout test of *Saccharum spontaneum* L.



圖 7. HydroSense 土壤水分測量顯示器

Figure 7. The HydroSense soil water content meter.

六、植株引拔根力模式建立

利用現代迴歸分析方法建立一破壞與非

破壞性之根力模式。迴歸分析是一種統計技術，目的在於發現實驗數據因子之關連性及瞭解模式建立之合理性與預測準確性。有關根系引拔抗力經驗迴歸方程式之建立參考林等(2004)所建立之標準，從中再多加入一項考慮變數，以增加模式之預測能力，將其分為以下三部分：

(一)逐步線性迴歸(Stepwise linear regression)：

利用 F 檢定，作為迴歸方程式的顯著性檢定，可反應出依變項與若干自變項間之系統性關係，自變量之進入最先考慮進入迴歸方程式中，以 $F_{\text{值}} \leq \alpha = 0.05$ 者先進入方程式中， $F_{\text{值}} \geq \alpha = 0.1$ 則直接刪除，此過程重複進行。

(二)定量標準：

用以評估該方程式之預測能力，比較不同模式之適稱性(fitting)，可採用下列統計量來評估：

1. R^2 ：迴歸決定係數(Coefficient of determination, 相關係數平方)
2. S：標準差(Standard error)
3. RSS：殘差平方和(residual sum of squares)
4. PRESS：預測平方和(Prediction sum of square)
5. PRESS 殘差絕對值

(三)定性標準：

1. 殘差分析(residual analysis)：

以模式預測值對殘差的標準化殘差分佈圖(residual plots)，來評估迴歸模式是否有均勻分佈之殘差值，可篩選離群(差)值(outliers)，理想之殘差圖為沿著標準化殘差值為 0 軸($y=0$)附近均勻分佈趨向。

2. 重合性檢查(VIF)：

重合性可能嚴重的阻礙模式的預測

能力。可用對第 i 個迴歸係數的變異數膨脹係數(Variance inflation factors, VIF)加以檢測。

有關 F 、 VIF 、 $PRESS$ 及 RSS 及 $PRESS$ 殘差絕對值之計算式分別如下：

$$F = \frac{R^2/p}{(1-R^2)/(n-p-1)}$$

$$VIF = \frac{1}{1-R_i^2}$$

$$PRESS = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{y}_{i,-i} \right)^2 = \sum_{i=1}^n \left(e_{i,-i} \right)^2$$

$$RSS = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2$$

$$PRESS \text{ 殘差絕對值} = \sum_{i=1}^n \left| y_i - \hat{y}_{i,-i} \right| = \sum_{i=1}^n \left| e_{i,-i} \right|$$

上式中 R^2 為依變項之整體變量中可被迴歸方程式預測或解釋的比例； R_i^2 為自變數 x_i 對其他自變數進行多重線性迴歸分析的決定係數， R_i^2 值愈高，則此自變數之估計量準確度愈差。或利用相關矩陣存在正交此相關函數之特徵根趨近於零時，表示自變數間有重合性存在。 $\hat{y}_{i,-i}$ 為不含第 i 點之迴歸推估值， $e_{i,-i}$ 為不含第 i 點推估模式之殘差值。； $PRESS$ 統計量用以量測模式之穩定性，可輔助分析對迴歸結果有巨大影響之數據組； $PRESS$ 殘差絕對值可發現大的預測誤差位置，以進行剔除。通常 RSS 及 $PRESS$ 最小值，可做為最佳模式選擇之標準(Myers,1986)。

依據研究目的考量所需之變項，再將所有變項以 $SPSS$ 之逐步迴歸分析及 $Multreg$ 『screen』指令篩選迴歸模式，以選定最佳之模式，並利用相關係數矩陣，得知各變數間之相關性，以建立相關模式，推估甜根子草之相關數據。以選定模式變數經多重重和性

檢定分析後，再以殘差分析做初步模式之比較數據之優劣，作為模式修正時之參考，當模式不良時，是否以轉換或增加項次來提高模式適稱(fitting)能力；並檢查模式是否符合常態分佈，是否有離異點之存在，在做重合性檢查，重新建立模式。本研究建立之模式以破壞性及非破壞性作為評估及探討，可作為往後研究參考。

以甜根子草試驗植株所量測其性狀及引拔抗力試驗之數據，利用統計方法探討以下之問題：

1. 探討植株引拔抗力模式推估及在非破壞性模式考量下變項間之相關性。
2. 植株地上部及地下部(根系)之含水量及相關性。
3. 由株數、草長及基部莖徑等，可直接量測之資料，以非破壞性觀點推估植株地上部及地下部重。

結果與討論

一、植株引拔抗力試驗

(一) 破壞性試驗

將甜根子草之最大引拔抗力(Pr, kgf)與株數(N)、草長(L, cm)、地際直徑(D, mm)、最大根長(Rh, cm)、根幅(Ra, m2)、地上部濕重(Wu, g)、地上部乾重(Wud, g)、地上部含水百分比(Wup, %)、地下部濕重(Wr, g)、地下部乾重(Wrd, g)、地下部含水百分比(Wrp, %)、植株總重(Tw, g)、土壤水分含量(Sw, %)等試驗或量測結果(圖 8.)，以 $SPSS$ 及 $Multreg$ 統計軟體進行迴歸分析。

以上述各變項(參數)以 $SPSS$ 執行逐步線性迴歸，其引拔抗力迴歸方程式如(1-a)所示，引拔抗力主要與草長、根幅及地上部乾重成正相關，與最大根深成負相關，即其他變項在相同狀態下，若植株最大根深越深，則其引拔抗力值越低；再將各變項進行

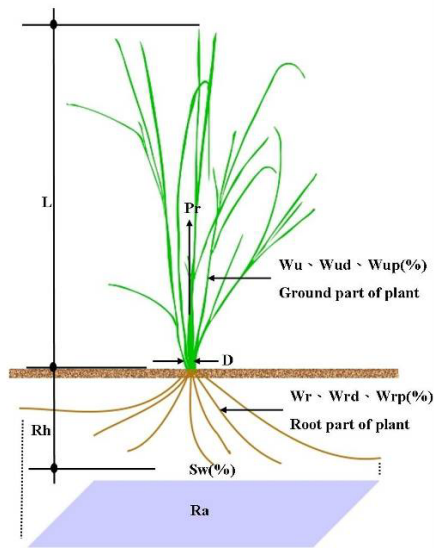


圖 8. 甜根子草試驗各變數示意圖

Figure 8. Illustration of model parameters for *Saccharum spontaneum* L.

重和性檢定，當 VIF 值大於 10 時，表示該變數與其他迴歸變數具又高度相關性 (Mayer, 1986)，式(1-a)中各變項之 VIF 接小於 10，表示該式為預測能力是可以接受的引拔抗力模式；另用 Multreg 的指令『screen』輔助挑選最佳模式，由五種模式中經多重重合性檢定後，在剔除與 SPSS 逐步迴歸模式相同者後，挑選 RSS 最小者，其模式為(1-b)及(1-c)式；比較兩式之結果，在模式適稱性(fitting)上，以 R² 及 RSS 為考量，式(1-b)優於其他兩模式；在模式預測性上以 PRESS 及 PRESS 殘差絕對值最小為考慮，如(表 1.)所示，模式(1-a)預測性最好，模式之殘差分析，以預測值及殘差值繪製標準化殘差圖(圖 9.)，其殘差值分佈為 2.5363~-2.4598，介於三個標準差之間，無離群值之存在，且殘差值均勻分佈在標準化殘差值(y = 0)軸直線附近，並未有顯著之曲線、發散及不規則等圖形情形，表示該模式在一定顯著水準下，具有良好之預測能力。

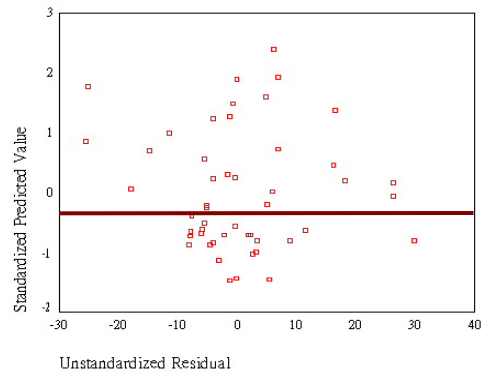


圖 9. 模式 1-a 之甜根子草根力模式標準化殘差圖

Figure 9. Standard residual of pullout resistance model of *Saccharum spontaneum* L.

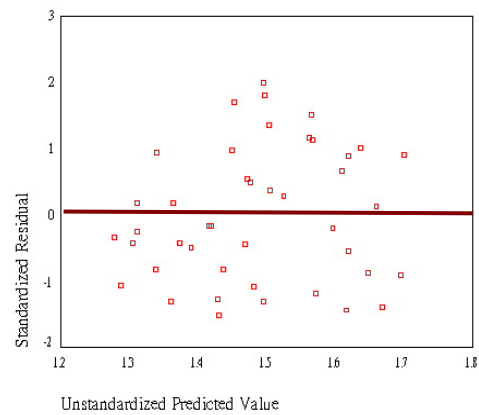


圖 9. 模式 3-d 之甜根子草非破壞性根力模式標準化殘差圖

Figure 9. Standard residual of non-destructive pullout resistance model 1-9 of *Saccharum spontaneum* L.

從林等人(1995)指出草類植物之根量越多，引拔抗力越大，故以植株地下部乾重之參數代替植株根量，以強迫進入法進行迴歸分析，其迴歸式如式(2-a)所示，但其重合性檢定中草長與其他變數間有重合性之關係，如(表 2.)所示，故將此變項刪除，再次進行迴歸分析，其迴歸式如(2-b)所示，經專業之判

斷，該模式雖無重合性之問題，迴歸式也達相關性，但模式與專業知識違背，故該模式捨棄。

(二) 非破壞性模式

從不破壞植株之觀點，直接量測植株為前提，作為迴歸式之推估，其變項以 Pr、N、L 及 D(符號同上說明)等，經上述相同之步驟，其結果如式(3-a)所示，引拔抗力與植株之草長(L)及地際直徑(D)達顯著相關，無重合性問題；以 Multreg 所得之結果與模式(3-a)相同。模式(3-a)之殘差圖顯示此多重迴歸模式需再修正，故將其變數轉換後重新上述之步驟，其迴歸式如(3-b)式，對該式進行重合性檢定，其 VIF 皆為 64.833，顯示兩變數具有高度相關性，故以單獨一個變數對引拔抗力進行分析，其迴歸之結果顯示，引拔抗力與草長或地際直徑之相關性均不高。

二、植株與土壤含水量

試驗植株經由烘乾秤重，得植株之含水量，再由 SPSS 敘述統計結果(表 3.)，50 組試驗植株中，地上部植株含水百分比值介於

93.75~37.70%，平均為 63.42%；地下部之含水百分比則介於 93.90~21.30%間，平均為 45.44%，顯示地上部植株之含水量高於地下部根系。在由 Pearson 相關雙尾檢定，檢定植株地上部及地下部之含水百分比之相關性，其相關性為 0.425，在顯著水準為 0.01 時，達到顯著相關，在利用成對樣本檢定， $t = 7.191(df = 49)$ ，其結果相同但地上部及地下部含水量則與土壤水分含量無顯著相關；同樣採用 Kendall's tau_b 及 Spearman's rho 係數，亦得到相同之結果，參考(表 4.)。

由於植株地上部及地下部與土壤水分含量在此次實驗中，無法求出相關迴歸式，此原因需進一步探討。

三、植株重之模式推估

將植株地上部濕重與乾重及地下部濕重與乾重進行迴歸分析，其迴歸式如 (4-a)、(4-b)所示，兩式均達顯著相關；經由殘差分析將離群值逐一消去，其最佳迴歸式如(4-c)及(4-d)式。

表 1. 迴歸模式適稱性與預測性檢定

Table 1. The diagnosis for choice of best model.

Model	R ²	RSS	PRESS	PRESS 殘差絕對值
1-a	0.926**	6204.661	7314.893	434.485
1-b	0.927**	6119.670	7384.490	453.315
1-c	0.927**	6128.070	7406.379	419.195
2-a	0.927**	6055.691	7734.453	460.095
3-a	0.852**	12379.675	13697.83	648.30
3-b	0.856**	12008.1	14546.19	670.7
5-a	0.991***	1.908345	1.987584	84.5005
5-b	0.992***	1.752016	1.827005	7.956

註：在顯著水準為 0.05 時，相關顯著。*註：在顯著水準為 0.01 時，相關顯著

表 2. 甜根子草重合性檢定 (VIF)

Table 2. The diagnosis of collinearity of model parameters in pullout test.

Model Parameter	1-a VIF	1-b VIF	1-c VIF	2-a VIF	3-a VIF	3-b VIF
L	9.593	9.469	9.661	10.171	5.445	64.833
Ra	3.076	3.088	2.932	3.097	-	-
Wud	3.255	-	-	7.074	-	-
Rh	7.704	8.111	7.962	8.280	-	-
Tw	-	3.033	-	-	-	-
Wu	-	-	3.602	-	-	-
Wrd	-	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	5.445	64.833

表 3. 甜根子草植株含水量百分比敘述統計

Table 3. Descriptive statistic of plant body and moisture water content of soil.

敘述統計					
	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
地上部含水量百分比 (%)	50	37.66	93.80	63.4200	11.3458
地下部含水量百分比 (%)	50	23.10	93.90	46.4360	19.2163
土壤含水量 (%)	50	3.00	8.8	4.988	1221.0
有效的 N (完全排除)	50				

- Pr = 0.216L + 50.57Ra + 0.144Wud - 0.549Rh, R² = 0.926** (n=50) -----(1-a)
- Pr = 0.231L + 49.960Ra + 0.06957Tw - 0.613Rh, R² = 0.927** (n=50) -----(1-b)
- Pr = 0.212L + 54.507Ra + 0.06097Wu - 0.592Rh, R² = 0.927** (n=50) -----(1-c)
- Pr = 0.225L + 49.528Ra + 0.103Wud - 0.598R + 0.44Wrd, R² = 0.928** (n=50) -----(2-a)
- Pr = 82.507Ra + 0.186Wud - 0.01913Wrd + 0.266Rh, R² = 0.862** (n=50) -----(2-b)
- Pr = 0.168L + 0.142D, R² = 0.852** (16.6 ≤ D ≤ 203.7 78 ≤ L ≤ 143.62) (n=50) -----(3-a)
- Pr = L^{0.343}D^{0.406}, R² = 0.985** (16.6 ≤ D ≤ 203.7 78.0 ≤ L ≤ 210.0) (n=50) -----(3-b)
- Wud = 0.383Wu, R² = 0.936** (16 ≤ Wu ≤ 555) (n=50) -----(4-a)
- Wrd = 0.554Wr, R² = 0.820** (5 ≤ Wr ≤ 494) (n=50) -----(4-b)
- Wud = 0.414Wu, R² = 0.993** (16 ≤ Wu ≤ 555) (n=43) -----(4-c)
- Wrd = 0.729Wr, R² = 0.981** (5 ≤ wr ≤ 373) (n=46) -----(4-d)
- Wu = D^{12.618}, R² = 0.992*** (16.6 ≤ D ≤ 203.7) (n=47) -----(5-a)
- Tw = D^{16.18}, R² = 0.993*** (16.6 ≤ D ≤ 203.7) (n=48) -----(5-b)

表 4.甜根子草地上部含水百分比、地下部含水百分比及土壤含水量相關性及無母數分析表

Table 4. Correlations analysis of plant body, root system and moisture water content of soil.

		相關			
			地上部 含水百分比 (%)	地下部 含水百分比 (%)	土壤 含水量 (%)
Pearson 相關	地上部含水 百分比(%)	相關係數	1.000	.425(**)	.060
		顯著性 (雙尾)	.	.002	.679
		個數	50	50	50
	地下部含水 百分比(%)	相關係數	.425(**)	1.000	.099
		顯著性 (雙尾)	.004	.	.494
		個數	50	50	50
	土壤含水量 (%)	相關係數	.060	.100	1.000
		顯著性 (雙尾)	.679	.488	.
		個數	50	50	50
Kendall's tau_b 統計量數	地上部含水 百分比(%)	相關係數	1.000	.286(**)	.008
		顯著性 (雙尾)	.	.004	.933
		個數	50	50	50
	地下部含水 百分比(%)	相關係數	.286(**)	1.000	.022
		顯著性 (雙尾)	.004	.	.827.
		個數	50	50	50
	土壤含水量 (%)	相關係數	.007	.033	1.000
		顯著性 (雙尾)	.946	.743	.
		個數	50	50	50
Spearman's rho 係數	地上部含水 百分比(%)	相關係數	1.000	.377(**)	.009
		顯著性 (雙尾)	.	.007	.952
		個數	50	50	50
	地下部含水 百分比(%)	相關係數	.377(**)	1.000	.033
		顯著性 (雙尾)	.007	.	.819
		個數	50	50	50
	土壤含水量 (%)	相關係數	.006	.044	1.000
		顯著性 (雙尾)	.964	.759	2
		個數	50	50	50

** 在 .01 水準 (雙尾) 上的相關才會顯著。

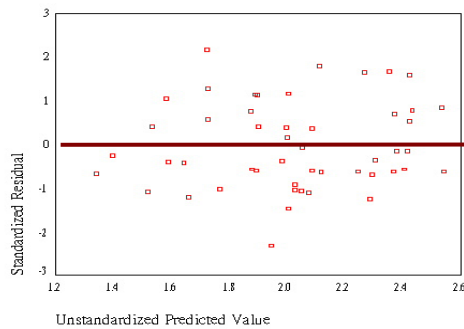


圖 10. 模式 5-a 之甜根子草非破壞性根力模式標準化殘差圖

Figure 10. Standard residual of non-destructive pullout resistance model 3-5 of *Saccharum spontaneum* L.

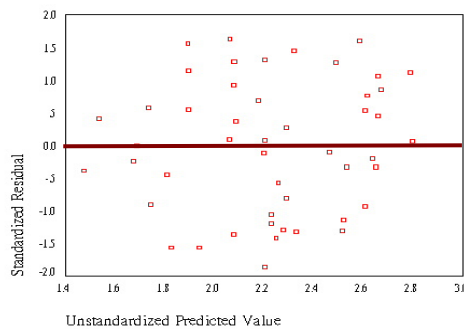


圖 11. 模式 5-b 之甜根子草非破壞性根力模式標準化殘差圖

Figure 11. Standard residual of non-destructive pullout resistance model 3-7 of *Saccharum spontaneum* L.

若欲求植株重之非破壞性模式，需將株數(N)、草長(L, cm)、地際直徑(D, mm)等可直接量測之變數作為模式之推估，以相同之統計分析程序及逐步迴歸之方法，進行地上部、地下部及植株總重之推估，迴歸式式分別為(5-a)、(5-b)；(5-a)式之地上部重與地際直徑為指數函數形式，其標準化殘差圖如(圖 10.)所示；(5-b)式以植株重與地際直徑成指數函數形式，標準化殘差圖如(圖 11.)所示。上述之兩方程式具有其一定之價值，可作為往

後研究之參考。

結論

植物根系之生長受到立地環境及植物種類之影響甚巨，我們無法單純的由植物地上部生長狀況而獲知其根系特性，因此利用土壤質地等條件及植物地上部相關資料，以推測植株根系分佈及根力模式，其有詳加討論之必要。有關植物根系之研究，目前大多針對喬木及灌木做研究，草類根系之研究甚少，本研究希能由有限之破壞試驗瞭解植物根系之特性，並能準確的由非破壞性模式推估植株之引拔抗力，即量測植株之草長及基部莖徑，以討論植株之固土能力。

本研究利用統計迴歸分析方法進行模式之推估，以研究之目的，考量所需之模式參數，利用逐步迴歸方法篩選各相關變數，進行重和性檢定及殘差分析，考量模式之適稱性(fitting)及預測性，建立引拔抗力之模式；研究所得之初步結論與建議如下：

1. 甜根子草之引拔抗力模式為

$$Pr = 0.216L + 50.57Ra + 0.144Wud - 0.549Rh$$

$$R^2 = 0.926^{**} \quad \text{---(1-a)}$$

引拔抗力與草長(L, cm)、根幅(Ra, m²)及地上部乾重(Wud, g)成正相關，與最大根深(Rh, cm)成負相關，草長之量測範圍在 78.0cm 至 210.0cm 之間，根域量測範圍介於 22.5cm² ~ 936.0cm²，地上部乾重量測範圍介於 3.0 g ~ 222.0 g，最大根深量測範圍介於 8.0cm ~ 53.0cm 之間。

2. 非破壞性甜根子草引拔抗力最佳模式為

$$Pr = 0.168L + 0.142D$$

$$R^2 = 0.852^{**} \quad \text{---(3-d)式}$$

引拔抗力與草長(L, cm)及地際直徑(D, mm)成正相關，草長之量測範圍

在 78.0cm 至 143.62cm 之間，地際直徑之範圍 16.6mm 至 203.7mm 之間。

3. 植株地上部及地下部與土壤水分含量，無顯著之關係，經專業之判斷，三者因有顯著之相關性，而此次試驗可能為現地之土壤水分含量差異不大，無法顯現其差異，或者有其他影響因素，並不單純為受此單一變項之影響，需在更進一步討論其他變項之影響，此提供給往後研究參考。

4. 植株地上部重、地下部重及植株總重，可由直接量測植株之地際直徑求得，該三者模式為：

$$W_u = D^{12.618},$$

$$R^2=0.992^{***} \quad \text{----(5-a)}$$

$$T_u = D^{16.18}, R^2=0.993^{***} \quad \text{----(5-b)}$$

地際直徑介於 16.6mm 至 203.7mm 之間，兩模式皆為幕次函數形式，在顯著水準 0.01 下均達顯著相關，對非破壞性模式推估上有其一定價值。

5. 草類植物並無明顯之主根，多以大量之鬚根為主，如遇較硬或無法穿透之土壤質地，即沿其周圍生長，至可穿透處在向下生長，惟河川區域礫石甚多，阻礙植物根系生長，導致根系無法深入土壤深處，多大量水平生長於土壤表面，以尋找水分及養分來源。
6. 本研究僅在河川區域以優勢植物甜根子草進行根力模式及相關變數間之初步探討，而在同一河川區域，立地條件不同，如礫石含量的多寡及土壤質地等對根力間是否有差異，或在繼續探討不同環境下模式間是否有顯著之差異。

參考文獻

1. 吳正雄（1990）『崩場地優勢草本植物根力特性之研究』，中華水土保持學報，21（1），pp.47~54。
2. 吳正雄（1990）『植生根力與坡面穩定關係之研究』，國立中興大學森林學研究所博士論文。
3. 吳正雄（1993）『樹根力與坡面穩定關係之研究』，中華水土保持學報，24（2），pp.23~37。
4. 吳正雄、陳信雄（1989）『森林植生根力應用在崩場地處理上之研究』，中華林學季刊，22（4），pp.3-19。
5. 林信輝（2004）『水土保持植生工程』，高立圖書有限公司，pp.67~69、81~89。
6. 林信輝、高齊治（1999）『西南部泥岩地區刺竹根力特性之研究』，中華水土保持學報，30（1），pp.1-12。
7. 林信輝、陳意昌（1994）『崩場地植生特性及其保育功能之研究』，83 年度水土保持與集水區經營研究成果彙編，pp.779~796。
9. 林信輝、陳意昌、施証育（2002）『石灰石礦區優勢植物根力模式探討』，第十三屆水利工程研討會，pp.69-76。
9. 林信輝、陳意昌、張俊斌、孫明德（2004）『美洲闊苞菊根株引拔抗力推定模式之研究』，農林學報，53（4），pp.293~306。
10. 林德貴（2005）『植生邊波穩定分析』，2005 台日治山防災與植生綠化工法研討會，pp.137~154。
11. 林哲朗、陳世銘、蔡祺彬、鄧智應、蕭見益（1995）『草類根系力學之研究』，水土保持技術學報，27(2)，pp.61~70。
12. 邱創益（1984）『臺灣西南部青灰岩（泥岩）裸露地植生復原之研究（第二報）』，屏東農專學報，25：93~129。
13. 邱創益（1985）『臺灣西南部青灰岩（泥岩）裸露地植生復原之研究（第三報）』，屏東農專學報，26：59~86。

14. 高齊治 (1998) 『臺灣西南部泥岩地區刺竹之耐旱性及其對坡面保育功能探討』，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
15. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2004) 『臺灣地區水利生態公法是用植物補充調查成果報告書』。
16. 經濟部水利署第四河川局 (2004) 『濁水溪水系清水溪支流加走寮溪治理規劃報告』。
17. 經濟部水利署 (2004) 『河川區域種植規定修正研究』。
18. 張敬昌 (1993) 『檳榔根系分佈及根力之研究』，國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
19. 陳意昌、張俊斌、林信輝 (2002) 『崩塌地先趨植物根力模式分析』，第三屆海峽兩岸山地災害與環境保育研討會論文集，pp.413~419。
20. 黃俊仁 (2001) 『苦藍盤與冬清菊在泥岩地區之根系特性與水分生理之研究』，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
21. 顏正平 (1984) 『覆蓋作物根系特性與抗剪強度關係之研究』，國立中興大學水土保持學系承農委會補助計畫報告。
22. 阿部和時 (1984) 『樹木根系分佈特性斜面保護・安定效果』，日本綠化工技術，10 (3) : 1~9。
23. 阿部和時 (1991) 『根系の引き拔抵力によるせん断補強度の推定』，日本綠化工學會誌，16 (4) ， pp.37-45。
24. Coppin, N. J. and I. G. Richards (Edi).(1990) Use of Vegetation in Civil Engineering. London 21.Boston Singapore Sydney Toronto Wellington.
25. Chow, V. T.(1959)Open-channel hydraulics. McGraw-hill, New York.
26. Gray, D. H.(1970) Effect of forest clear-cutting on the stability of natural slopes. Bull.Assn.Engg. Geol.,7(1) pp 45-66.
27. Kazutoki Abe and Rober R. Ziemer (1991) Effect of tree roots on shear zone: modeling reinforced shear stress。
28. Myers, R. H. (1986) Classical and Modern Regression with Applications, PWS and Kent Publishing Co. p 137-211.
29. U.S.S.C.S.(1954) Handbook of channel Design for Conservation Practices. Soil Conservation Service, USUS Department of Agriculture, Washington Dc.

93 年 03 月 26 日 收稿

93 年 04 月 27 日 修改

93 年 05 月 04 日 接受