

山鹽菁與山水柳在石灰石礦區之生長與根力特性之研究⁽¹⁾

林信輝⁽²⁾

摘要

本研究於台灣南部半屏山及大崗山之石灰石礦區，調查山鹽菁與山水柳之生長與根力特性，試驗結果如下：

1. 依根系調查，山鹽菁根多密集於上層，細根及鬚根不多，水平根發達。山水柳根系較深，主根粗且鬚根發達，基徑部萌芽而成叢狀生長。

2. 依不同根徑之拉張力試驗結果，山鹽菁根多彎曲且脆弱、韌性差。而山水柳根系堅韌，其拉應力強度大於山鹽菁，根系補強能力較強。

3. 依植株引拔抗力試驗結果，以相同基徑而言，山水柳之引拔抗力大於山鹽菁，亦即山水柳之固土能力大於山鹽菁。

另外，本文亦綜合探討山鹽菁與山水柳在石灰石礦區捨石場之群落生長特性，供為參考。

(關鍵詞：石灰石礦區、優勢植物、農藝性狀、根拉強度、引拔抗力)

一、前言

台灣地區石灰石礦蘊藏量豐富，全省共有356個石灰石礦區，開採面積達四萬多公頃。其大面積露天開採後造成殘壁裸露，無法使用之廢棄土石常堆置於礦場附近，降雨時造成大量土石沖刷、崩塌，晴天時塵沙飛揚，對該地區之水土保持及環境品質影響甚大。因此如何選取適生植物進行植生綠化，以減低各種環境衝擊，實為當務之急。筆者曾調查石灰石礦區捨石場植生特性(林等，1992)，並

曾在台灣南部大崗山之石灰石礦區測定山鹽菁、山水柳等優勢植物之淨光合成率與氣孔導度，探討其對環境因子之生理反應等(林，1995)。因此本研究以台灣南部之石灰石礦開採區為主要試驗地點，進一步探討山鹽菁與山水柳之根系特性、植株引拔抗力與根段拉張力，及比較植物間生長模式之差異等，期能提供石灰石礦區植生綠化之應用及未來相關研究之參考。

二、調查項目與試驗方法

(一) 試區特性調查

1. 本研究承國科會NSC83-0409-B-005-082計畫經費補助，特此誌謝。
2. 國立中興大學水土保持學系副教授

1. 試區之位置

本研究分別於台灣南部之半屏山、大崗山、環球水泥及大崗山、嘉新水泥等礦區進行試驗研究，其試驗地點位置如圖1。

2. 試區土壤之特性分析

採集其土壤樣品，分析其粒徑、土壤質地、pH值和電導度、有機質、有效性磷、交換性陽離子及萃取性微量元素。

(1) 土壤質地-Bouyoucos氏比重法測定。

(2) pH值及電導度-土與水重量比1:1之混合液測定之。

(3) 有機質-用重鉻酸鉀和濃硫酸將土壤有機質氧化後，以硫酸亞鐵

滴定。

(4) 有效性磷-Bray's No.1法測定。

(5) 交換性陽離子K、Ca、Mg-以中性醋酸銨溶取後，K用火燄光度計測定；Mg和Ca則用原子吸光儀測定之。

(6) 萃取性微量元素Fe-以0.1N鹽酸萃取後用原子吸光儀測定之。

(二) 植物物理特性調查及試驗

1. 植物地上部調查

調查山鹽菁、山水柳之幼齡木之基徑、樹齡、根系分布與根系重量等，並測定周圍土壤含水量及土壤性質等。其中樹齡係以植物徑部之年輪推測而得。

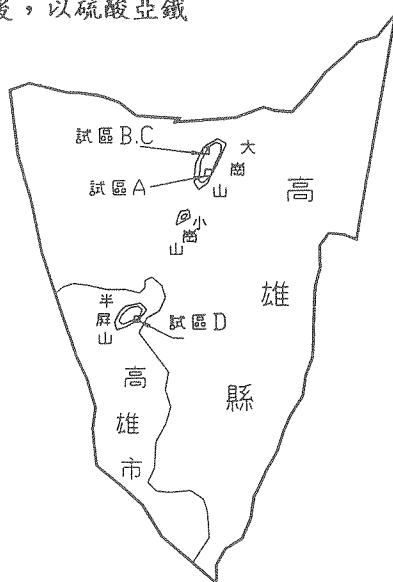


圖1 試驗地點位置圖

Fig.1 The location of experimental site

2. 植株引拔抗力試驗

採用日製背筋力計測定山鹽菁、山水柳單株之引拔抗力。引拔試驗

時，由於人力可拉起之力量最大約為240Kgf，故本試驗選取之植株以1至5年生之小苗為主。引拔方向與坡面垂

直、拔根速度約為20cm/min。

3. 根系調查

測定引拔抗力試驗所拉起之根部，及挖起斷裂於土中之細根部分之根系重量。另就挖出之根系，截取不同根徑之樣本，置入封口袋中並加以冷藏，以保持其濕度和新鮮度並於三日內完成室內根株拉力試驗。

4. 不同根段拉力試驗

採用HT-9012型1000Kg材料試驗拉力機、HT-8338荷重變形量計、拉張速率50 mm/min、夾具分別為自動夾具(適用於根徑11mm以下)與手動夾

具(適用於根徑5-20mm範圍)。拉力試驗開始時，夾具間之距離10cm，若根系斷裂在中央區域，則記錄破壞時之最大拉力強度。

三、試驗結果

(一) 立地特性與土質分析

有關四試區之立地特性與土質分析結果如表。由表可知，各試區之土壤粒徑、含石率等均甚相似，但土壤性質則有甚大之差異。唯土壤均具微鹼性反應、土壤含鈣量高等一般石灰質土之特性(USDA, 1978)。

表1 試區之立地特性與土質分析

Table 1. Site characteristics and soil analysis

試區	礦場地點	位置	海拔高 (m)	地表 ⁽¹⁾ 含石率 (%)	土壤粒徑(mm) ⁽²⁾		
					D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀
A	嘉新水泥	棄石平台	188	32	0.20	2.14	5.75
B	環球水泥	採掘殘壁	210	35	0.14	1.61	2.88
C	環球水泥	棄石平台	200	40	---	---	---
D	東南水泥	採掘殘壁	140	42	0.22	2.64	5.85

試區	土壤 質地	O.M. (%)	pH	Ca -----	K mg/Kg	P	Fe	Mg	EC μs/cm
B	SL	0.51	8.58	3520	16.5	8.91	3.0	23.3	261
C	L	3.42	7.64	4884	90.4	4.91	3.0	70.9	465
D	SL	4.72	7.43	4168	373.8	---	---	---	96

(1)：以線截法量測地表直徑大於10cm 之比率表示。

(2)：粒徑以下之分析資料， D_{10} 、 D_{30} 、 D_{50} 分別表示通過10%、30%及50%之篩徑大小。

(二) 農藝性狀與引拔抗力

分別於四個試區，針對不同樹齡之植物所做之調查結果如表2。由表得知，山鹽菁、山水柳之樹高、乾物重與基徑等隨著樹齡增大均有明顯增加的趨勢。但其中山鹽菁根之長度與樹齡相關性及山水柳樹高與樹齡之相關性不顯著。其植株引拔抗力與基徑之關係大約成直線正相關，此結果與(林與陳，1994)調查五年生台灣赤楊；北村嘉一、難波宣士(1981)與阿部和時(1984)對山毛櫸與日本黑松

等之研究所得相同。

一般在石灰石礦區石礫甚多，含石率甚有高達70%以上，往往造成土壤硬度大，植物之根系穿透不易，致無法深入土層較深處。因此根系便往側邊生長以尋找水分、養分來源，使得礦區植物之根系淺、根系長、根多轉折。經實際就挖取之根系觀查所得，山鹽菁樹根表皮呈灰褐色、略粗糙，根多彎曲且較脆、水平根發達、根多密集於上層且細根及鬚根不多、屬橫走型。山水柳樹根表皮呈紅棕色、細根及鬚根多且呈纏繞狀、

表2 植物之農藝性狀與引拔抗力

Table2 Plant agronomic characteristics and the pulling resistance

植物	試區	引拔抗力 (kgf)	基徑 (cm)	樹高 (cm)	樹齡 (Yr)	地上部重 (gw)	地下部重 (gw)	坡度 (°)	T/R
山鹽菁	A	10.0	1.1	35.0	1	60	45	--	1.333
		61.0	1.6	62.0	2	200	250	--	0.800
		47.0	0.9	85.0	2	170	170	--	1.000
		97.0	1.8	80.0	4	140	100	--	1.400
		92.0	1.5	70.0	2	230	----	----	
		46.0	1.0	54.0	1	80	80	--	1.000
		150.0	4.3	125.0	4	580	620	--	0.935
		16.5	1.2	100.0	2	120	18	18	7.111
		18.0	1.9	132.0	3	495	183	15	2.705
		2.0	0.7	56.0	1	35	15	13	2.333
73.0	3.0	192.0	4	820	182	30	4.505		
9.0	1.0	79.0	2	115	19	55	6.053		

山鹽菁	D	50.0	2.4	174.0	4	1125	230	35	4.891
		56.0	1.9	127.0	3	420	103	55	4.078
		115.0	2.8	226.0	4	1240	365	43	3.397
		29.0	1.2	84.0	2	89	25	25	3.560
		68.0	2.6	112.0	3	370	50	83	7.400
<hr/>									
山水柳	A	124.0	1.0	140.0	3	900	200	0	4.500
		38.0	1.1	110.0	2	260	80	0	3.250
		55.0	2.2	115.0	2	260	100	0	2.600
		104.0	3.4	100.0	3	400	100	0	4.000
		160.0	3.5	100.0	3	850	130	0	6.538
<hr/>									
山水柳	B	7.0	0.7	78.0	1	50	10	70	5.000
		14.0	1.2	77.0	2	120	95	70	1.263
		60.0	0.8	93.0	3	345	80	62	4.313
		17.0	2.4	97.0	3	275	115	83	2.391
		4.0	0.6	75.0	1	37	7	65	5.286
		39.0	1.4	103.0	2	97	100	55	0.970
		23.0	1.0	79.0	2	40	--	60	---
		20.0	0.8	67.0	2	37	--	63	---
92.0	1.4	104.0	3	285	42	35	6.786		
<hr/>									
山水柳	C	82.0	1.0	113.0	2	153	--	0	---
		32.0	0.8	68.0	2	102	--	0	---
		27.0	0.9	52.0	2	130	22	0	5.909
		34.0	1.1	52.0	2	163	59	0	2.763
		10.0	1.0	39.0	1	75	10	0	7.500
		51.0	1.2	73.0	2	270	47	0	5.745
		80.0	1.5	70.0	3	507	202	0	2.510
		180.0	1.8	119.0	3	665	138	0	4.819
		30.0	0.8	38.0	1	75	25	0	3.000
		43.0	1.3	69.0	2	180	79	0	2.278
50.0	1.1	63.0	1	180	60	0	3.000		

註：試區編號及其立地、土壤特性如表1。

(三) 根系力學特性

1. 不同根徑之拉張力強度

將試區挖取之山鹽菁、山水柳根系，徑級在0.2-6.5mm間之根段50個樣品，以材料試驗拉力機測試其拉張力強度。由於山鹽菁根系韌性較差，無法整條完整剝皮，剝皮時多呈片狀，故在拉力試驗時忽略表皮之拉力強度。而山水柳根系堅韌、表皮易剝落，粗根在拉力試驗時則分別處理皮層與木質部之拉力強度並累加之。另由於棄石平台與採掘殘壁之立地特性差異甚大，為便於比較，將其試驗結果分別點繪於圖2與圖3。

由圖可知，就棄石平台與採掘殘壁之根系拉張力強度之比較，兩種植生長於採掘殘壁之根系拉張力強均大於棄石平台之拉張力強度，其差值約為30%左右。而兩種植物間之比較，在同一基徑時山水柳之根拉張力強度均遠大於山鹽菁，尤其在根基徑小於4mm時，山鹽菁根張力強度僅為山水柳之1/2左右，顯然，山水柳具較強之根力。

上述圖2與圖3之測得數據，以根徑為自變數，根拉張力強度為因變數，進行多項式二次迴歸分析，得迴歸方程式如表3。結果顯示山鹽菁、

山水柳根拉張力強度與根徑成正相關，其相關係數皆達1%顯著水準。此關係亦與多位學者之結論相近（陳與謝，1993；吳，1990）

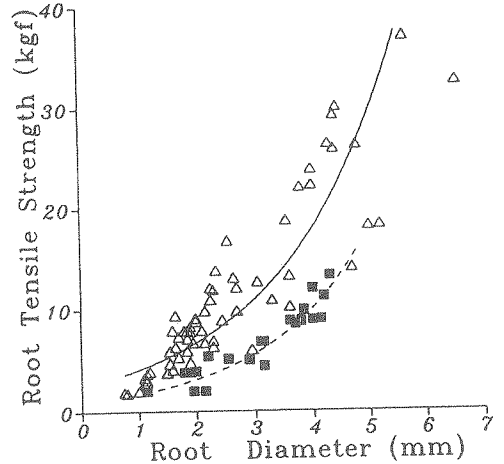


圖2 棄石平台植物根系之拉張力強度 (■-■：山鹽菁, △-△：山水柳)

Fig 2 The tensile strength of Roxburgh Sumac and Dense-flowered False-nettle grown in limestone spoils.

(■-■：Roxburgh Sumac

△-△：Dense-flowered False-nettle)

圖3 採掘殘壁植物根系之拉張力強度 (■-■：山鹽菁, △-△：山水柳)

Fig 3 The tensile strength of Roxburgh Sumac and Dense-flowered False-nettle in limestone remain walls.

(■-■：Roxburgh Sumac

△-△：Dense-flowered False-nettle)

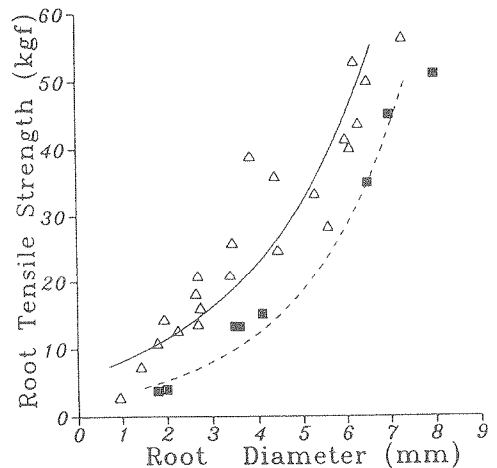


表3 根拉張力強度與根徑之迴歸方程式

Table 3 Regression equations of root tensile strength and root diameter

試區	植物	迴歸方程式	r 值
採掘殘壁	山鹽菁	$Y = 0.967 * \text{Exp} (0.584X)$	+0.9950***
棄石平台	山鹽菁	$Y = 2.277 * \text{Exp} (0.419X)$	+0.9434***
採掘殘壁	山水柳	$Y = 2.497 * \text{Exp} (0.493X)$	+0.9434***
棄石平台	山水柳	$Y = 5.780 * \text{Exp} (0.342X)$	+0.9110***

註: X : 根徑(mm) Y : 根拉張力強度 (kgf)

2.不同根徑之拉應力強度

為推估不同根徑之根拉應力強度，以根徑為自變數而以根拉應力強度為因變數，進行多項式二次迴歸分析結果如表4。其中棄石平台植物根徑與根拉應力之關係繪如圖4，供為

參考。結果顯示根根拉應力強度與根徑成負相關，其相關係數達0.1%與1%顯著水準，此關係亦與其他學者對台灣赤楊、山黃麻及台灣杉之研究結果相似（吳與陳，1989；吳，1993）。因此，不同根徑之拉應力強度，可以此迴歸所得之迴歸方程式推估。

表4 根拉應力強度與根徑之迴歸方程式

Table 4. Regression equations of root stress and root diameter

試區	植物	迴歸方程式	r 值
採掘殘壁	山鹽菁	$Y = 5.6676 - 1.0520X + 0.0553X^2$	-0.8485**
棄石平台	山鹽菁	$Y = 2.7651 - 1.0650X + 0.1276X^2$	-0.7616***
採掘殘壁	山水柳	$Y = 5.6676 - 1.0529X + 0.0553X^2$	-0.9055***
棄石平台	山水柳	$Y = 4.2602 - 1.0108X + 0.0823X^2$	-0.7681***

註: X : 根徑(mm) Y : 根拉應力強度 (kgf/mm)

***, **: 分別表示其相關性達0.5% 及1% 顯著水準

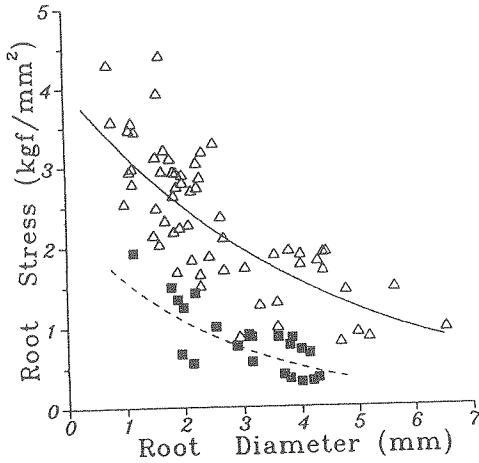


圖4 棄石平台植物根徑與根拉應力之關係

Fig 4 The relationship between root stress and root diameter grown in limestone spoils.

(四) 山鹽菁與山水柳在礦區棄石地之群落生長模式

本研究並未針對水鹽菁與山水柳之不同樹齡之生長量、植物群落分布特性及其植生演替過程做詳細與長期之調查，茲依大崗山嘉新水泥採礦場棄石平台試區植物生長與根系調查與觀測所得，歸納其在礦區棄石地山鹽菁與山水柳之群落生長過程如下：

1. 山鹽菁之群落生長特性

(1) 石灰石礦棄石地，通常具較高之含石量，土壤保水力低，立地條件不佳。

(2) 山鹽菁種子開始入侵定著後，由於種子含有硬殼，發芽較不容易，偶有發芽，其數量甚少，分散生長。

(3) 種子發芽後，初期生長略較山

水柳快。其植株不分蘖，根系亦以水平生長為主，尤其在底部硬岩之情況。部份水平根因石塊滑落而露出，或因坡度關係向下斜出長，露出地表，可發芽成一新苗木。

(4) 因山鹽菁耐旱性強，在土壤水分壓力大時有自然落葉情形，但遇有水分會再發芽生長。在乾旱、含石率較高之處，其他植物生長不易，山鹽菁會成群落生長。

2. 山水柳之群落生長特性

(1) 石灰石礦區棄石地或採掘場殘壁內側之碎石地，通常位處遮蔭，光照較少，相對濕度較高。

(2) 在斜面滲水、大石塊間隙含水量較高或表面逕流匯集之處，會有山水柳種子定著、發芽與生長。

(3) 山水柳初期生長不易，初期之生長緩慢且常會因土壤乾燥而死亡，但如有較長時期之土壤濕潤，則能成活生長。

(4) 山水柳植株分蘖及根系擴展，成叢狀生長。

(5) 由於山水柳種子量多發芽率高，在濕潤地區或立地條件適宜之處能成小群落生長。

四、結論與建議

1. 樹木根系對土壤之錨定、固土、網結作用，增加了土壤的剪力強度，即根系之補強效應。這些穩定效果來自於根株的拉應力，以及根與土壤之

摩擦力。是故樹木根系的分布均勻與否、根域範圍與深淺、根密度的多寡，都直接影響根力之大小（顏, 1974）。惟由於樹木根系之分部無法由其地面生長狀況獲得瞭解，因此以地上部資料，包括地質、樹齡、胸徑、土壤條件等，推測地下部根系之分布、生長模式及根系補強效應等之相關資料，實屬必要。

2. 就本試驗調查所得，本試區石礫甚多、土壤硬度大、含石率高達7%以上，根系無法深入土層較深處，通常在礫石間隙伸長。致植物之根系淺、水平生長且多曲折。但比較山水柳與山鹽菁之根力特性差異，在相同一基徑或同一樹齡時，山水柳之植株引拔抗力、根拉張力、根拉應力等均遠大於山鹽菁，顯然山水柳之根力較強，較能穿入岩石縫隙且較適生於岩面或硬石地上，而山鹽菁則較適生於鬆軟之棄石地上。由於植株之引拔抗力受根系分布、根本身拉張力、土壤含水量以及根與土壤間摩擦力等之綜合影響，山水柳根系對土壤之補強效果大於山鹽菁。因此，以植株之引拔抗力，作為植物在礦區復育及在捨石場坡面穩定、防止崩塌功能上之指標，應具有其價值。惟相關植物之測值資料尚未建立，而坡度、坡向及土壤含水量等環境因子對根系之生長影響頗大。且植物之蒸散作用亦對根系固土有密切之關係（Anderson & Richard, 1987；Gray & Andrew, 1982），但其實際之應用價值尚待進一步探討。

3. 帶回之鮮根施測時，較大根徑之

試體於拉張時，常在夾具兩端破壞且使表皮滑落。此因夾具兩端之試體承受壓應力、拉應力，致使應力集中於此處，產生破壞、表皮層滑出之現象。做根力試驗時，表皮層易滑落且破壞點常發生於夾具兩端。致使本試驗之成功率僅達62%。因此夾具之如何設計才能使試驗更理想為一值得研究之問題。為使試驗趨於理想，乃研究改進各種夾具。由原先之平鈹夾具→平鈹特殊橡膠夾具→凹鈹特殊橡膠夾具→凹鈹孔特殊橡膠夾具。經過改良之夾具可使山鹽菁根徑在8mm以內、山水柳在9mm以內不易滑落。而在此範圍外之較大根徑因易滑落，可將表皮層與幹材部視為獨立變數，進行剝皮處理，分別施測累計之。

4. 山鹽菁在石灰石礦區之根系分布甚淺，根力在坡面穩定功能上具有的效用可能較低。至於坡度、坡向及土壤含水量等對根系生長之影響，則尚待進一步探討之。

五、參考文獻

- 吳正雄, 陳信雄(1989) 森林植生根力應用在崩塌地處理上之研究。中華林學季刊 22(4):3-19.
- 吳正雄(1990) 崩塌地優勢草本植物根力特性之研究。中華水土保持學報21(1):47-54.
- 吳正雄(1993) 樹木根力與坡面穩定關係之研究。中華水土保持學報

- 24(2):23-37.
- 林信輝, 巫建達, 呂金誠(1992) 石灰石礦區捨石場植生特性之研究。中華水土保持學報 23(2):57-72.
- 林信輝(1994) 崩塌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.157
- 林信輝 (1995) 山鹽菁、山水柳在石灰石礦區及控制環境下之光合成氣體交換反應。中華水土保持學報 26(2):編印中。
- 陳明義, 謝杉舟(1993) 海岸砂丘植物根系模式與定砂功能之研究(二)。防風林營造研究報告 P.1-11.
- 顏正平(1974) 水土保持木本植物根系分佈類型研究。中興大學水土保持系 276P.
- 蔡光榮(1988-1992) 台灣西南部泥岩坡地根系力學特性之研究 (1)-(5)。行政院國家科學委員會防災科技研究報告-36號。
- 竹下敬司(1985) 森林土壤水源涵養機能 森林立地 26(2):19-26.
- 竹下敬司, 中尾博美等(1990) 森林根系崩壞防止機能關實驗的研究 (1) 九大演報 63:71-85.
- 北村嘉一, 難波宣士(1981) 拔根試驗推定林木根系崩壞防止機能。日本林業試驗所研究報告313:175-208.
- 阿部和時 (1984) 樹木根系分布特性與斜面保護、安定效果。日本綠化工技術 10(3):1-9.
- Anderson, M.G. and K.S. Richards (1987) Slope Stability. John Wiley & Sons. chapter 1, 2, 6.
- Gray, D.H. and T.L., Andrew (1982) Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Van Nostrand Reinhold company Inc. PP.37-65
- USDA (1987) Kentucky Guide for classification, Use and Vegetation Treatment for Surface Mine Spoil. P.309

Study on the growth and root strength of Roxburgh Sumac and Dense-flowered False-nettle in limestone mining area

Shin-Hwei Lin⁽¹⁾

SUMMARY

The investigation on the growth and root strength of Roxburgh Sumac (*Rhus chinensis* var. *roxburghii*) and Dense-flowered False-nettle (*Boehmeria densiflora*) was taken place at Banpinshan and Takanshan limestone mining areas in southern Taiwan. Results obtained were summarized as follows :

1. Roxburgh Sumac has densed root system in upper-layer soil, due to the horizontal roots stretch outward to be a new individual, Roxburgh Sumac could be grows gathering in stony area. Dense-flowered False-nettle has a well-developed main root and has denser fibril comparatively.

2. The root tensile strength of Dense-flowered False-nettle was greater than Roxburgh Sumac's, the former's root reinforcement in limestone mining spoil was more efficient.

3. According to the pulling resistance test, the same size root pulling resistance of Dense-flowered False-nettle was greater than Roxburgh Sumac on the same diameter of root.

In addition, the growth and population characteristics of Roxburgh Sumac and Dense-flowered False-nettle in limestone spoils also discussed in this paper that indicated the holding soil strength of Dense-flowered False-nettle was better.

(Key words: Limestone mining area, Dominant plants, Agronomic characteristics, Root tensile strength, Pulling resistance.)

(1) Associate professor, Dept. of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University.