

不同噴植植生工法應用於道路邊坡之研究

李元智⁽¹⁾ 李錦浚⁽¹⁾ 黃育珍⁽¹⁾ 張禎驩⁽¹⁾

摘要

由於台灣山區道路地勢陡峭，地形起伏變化大及地質脆弱，每逢颱風、豪雨及地震過後，往往造成邊坡滑落導致坡面裸露，且導致道路交通時常中斷，本研究利用我國目前常用之六種噴植植生工法於道路邊坡上進行植生工法之試驗，探討試驗區內不同噴植植生工法之植生效益及適當性。試驗結果顯示土壤團粒化劑當作粘著劑及土壤改良劑，配合加上 1 cm 厚之木屑堆肥噴植植生工法（TCP）對中高海拔板岩地區道路邊坡草本類植物生長之成活株數有較好之效果；而厚層之木屑堆肥噴植工法對中高海拔板岩地區道路邊坡草本類植物生長之成活株數則有較差之效果。薄層木屑堆肥團粒化劑植生工法（TCP）於植生中期（施工後 45 天）及植生後期（施工後 105 天）之植物株高生長之影響則有明顯優於其他工法；而薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法（TKPP）之植物株高生長於後期（施工後 105 天）為最矮，且植物葉片有黃化現象。於中高海拔板岩區薄層噴植植生工法導入草本類植物之初期及中期植生覆蓋率明顯優於厚層噴植植生工法；添加 1cm 厚之木屑堆肥之團粒化劑噴植植生工法明顯優於未添加木屑堆肥之薄層噴植植生工法。但於後期則厚層噴植植生工法明顯優於薄層噴植植生工法。

（**關鍵詞**：坡面裸露、噴植植生工法、土壤團粒化劑）

A Study on The Application with Different Spray Planting Methods on Road Side - Slopes

Yuan-Chih Lee⁽¹⁾, Jen-Huan Chang⁽¹⁾, Yu-Jen Huang⁽¹⁾, Chin-Chun Lee⁽¹⁾

Graduate Students⁽¹⁾, Soil and Water Conservation Department, National Chung Hsing University,

Taichung, Taiwan 402

ABSTRACT

This study investigated the efficiency of the six spray planting methods on the slope of the road. The results indicated that thin Polsoil spray planting method (TCP) had better initial and medium plant growth and succession by adding the 1cm thickness of the chip compost. In the medium

(1) 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

and high altitude of the plot , the TCP method had higher vegetation cover rate in the initial and medium stages. But the plots of HC (Heavy Sawdust Compost Spray Planting) method, HCP#A (Heavy Sawdust Compost Polisoil Spray Planting) method, and HCP#B (Heavy Sawdust Compost Polisoil Spray Planting) method have more vegetation cover rate in later stage.

(**keywords** : Bare slope , Spray planting method , Polisoil.)

前言

1.1 研究動機

一般山區道路邊坡經常採用之護坡工法主要有：

- (1)噴凝土配合鋪網岩栓護坡工法
- (2)噴凝土配合格樑地錨護坡工法
- (3)土壤袋植生配合格樑地錨護坡工法
- (4)土壤袋植生配合格樑岩栓護坡工法
- (5)土壤袋植生配合格樑護坡工法
- (6)厚層鋪網噴植植生配合格樑地錨護坡工法
- (7)厚層鋪網噴植植生配合自由格樑護坡工法
- (8)厚層鋪網噴植植生護坡工法
- (9)中層鋪網噴植植生護坡工法
- (10)薄層噴植植生護坡工法
- (11)薄層配合不織布噴植植生護坡工法
- (12)薄層配合稻草蓆植生護坡工法
- (13)肥束網袋配合噴植植生護坡工法
- (14)鋪肥束網袋植生護坡工法
- (15)打樁編柵配合噴植植生護坡工法
- (16)打樁編柵植生護坡工法等工法

而藉由植物有助於邊坡提升穩定性之正面效應以及考量環境倫理之觀念下，植生工法是在上述諸多護坡工法中較能達到快速性、經濟性及永久性且能符合自然景觀與生態保育之要求。

傳統植生工法之直播法與栽植法，因九二一地震造成甚多大小規模邊坡崩塌後，均需快速而有效地植生復育之情況下已無法發揮植生工法應有之效應，加上近年來植生機具技術與植生材料科技之快速發展，噴植植生工法已是我國經常使用於大規模崩塌邊坡之植生復育與治理之護坡工法。在諸多我國本土改良或由國外引進之噴植植生工法中，其工法特性、地區適用性、方便性、施工效益、工程單價以及與當地植物生態之相容性並未能於中高海拔板岩地區之道路邊坡一併探討研究。故本研究之動機主要針對目前國內常用之數種噴植植生工法同時應用於南部橫貫公路中高海拔道路邊坡之護坡適用性、方便性、經濟效益以及與當地植物生態之相容性等方面做一比較探討，期能掌握這些工法在本區域之一些特性，以達到南部橫貫公路中高海拔道路邊坡最佳之植生護坡效果。

1.2 研究目的

護坡工法之規劃設計除了應考慮護坡效果、快速方便性外，亦常常受到工程經費之限制，又近幾年在我國政府對環境保護及生態保育之強烈要求下，利用植生護坡工法來進行道路邊坡保護已是一可行之趨勢。然而除了少數對植生工法有研究之設計工程師外，一般設計工程師對於植物生態演進及植生工法之特性均未能有機會瞭解或獲得足夠之文獻供其作為道路邊坡規劃設計之參考，而大多以前人設計之圖說加以參照設計，無法針對不同之植生工法之優缺點及特性作靈活之運用而使工程達到經濟性、快速

性、景觀化及生態復育之要求。以往南部橫貫公路沿線道路邊坡大多以噴凝土或混凝土連續格樑配合護坡效果較差之草本植物為主，今為加強道路邊坡植生之防災效果，而對可施行之工法及適用植物作一深入之研究探討。

本研究主要目的為瞭解不同噴植工法對南部橫貫公路中高海拔板岩地區道路邊坡植物生長及演進情形，另考慮經濟效益、施工方便快捷性、生態綠化等因素，嘗試僅以厚層鋪網噴植植生工法及薄層噴植植生工法進行研究，避免使用過多之噴凝土及混凝土格框等構造物而破壞生態，故本研究預計採用三種厚層噴植工法外，另採用三種薄層噴植植生工法，分別探討不同噴植植生工法之導入植物生長及鄰近原生植物入侵情形，並針對不同噴植植生工法之施工方便性及工程單價比較分析作為中高海拔板岩地區道路邊坡植生保護規劃設計之參考。

1.3 研究內容

本研究之內容主要包含有五種導入植物及六種不同噴植植生工法，針對五種導入之植物及入侵之鄰近原生植物於六種不同噴植植生工法試驗區生長及演替情形作調查分析及效益探討。其中五種導入植物採用二種木本植物及三種草本植物混播，期能營造複層植被結構，構築優質而利於原生鄉土植物入侵演進之立地環境基礎，以期發揮符合生態之長久護坡穩定效益。所採用之二種木本植物為臺灣赤楊及楓香均是本地區之原生植物種類，且其種子於市面上較為容易購得。所採用之三種草本植物為義大利（多年生）黑麥草、律柏草及果園草均是適生於中高海拔環境之植物，且其生育情形亦較不會破壞當地植物生態，又其種子易於市面上購得。

本研究之現地植生調查之調查內容包括六種不同噴植植生工法之試驗區內植生

之成活株數、植生生長株高、植生覆蓋率及入侵植物之種類、株數逐一調查記錄，並針對不同噴植植生工法之特性對上述諸項調查結果之影響做逐一探討，由於工法之單價亦是工法選擇之重要因素之一，故本研究亦針對不同噴植植生工法之工程單價做分析比較，以提供中高海拔道路邊坡植生護坡規劃設計之參考，俾能提升其道路邊坡植生護坡之效益，而達到符合經濟性、快速性、長久性及生態景觀化之工程目標。

前人研究

陳振盛、王惠敏等（1991）於泥岩邊坡植生提出研究成果：（1）邊坡經植生處理後效果較佳。（2）排水方式試驗六種形式以客土帶草溝效果為佳。（3）日製植生帶有較佳耐旱性，美製防沖毯無二次污染之虞、省產植生帶較為經濟實用。

蕭榮福、陳振盛等（1992）泥岩邊坡植生技術暨道路邊坡複層植生被建立之研究提出：以兩種方法進行建立道路邊坡複層植被：（1）一次植生法（播種法）：裸露坡面經整坡後，混合草本、野花、木本種子。建立後一年，地被、草、花、木本植物均發芽成長良好，漸具複層植被雛形。（2）二次植生法（植苗法）：先播植百喜草、百慕達草等草類；當存活率達 80% 以上時再種植喬木及野花，栽植後木本植物的存活率達 90% 以上，成效良好。複層植被建立後，可使土壤表層獲得完密的植物覆蓋及保護，土壤中且有深淺不同的植物根系可固結土壤，對於提昇邊坡穩定效果助益甚大。

邱創益（1993）之研究：以不同植生帶種植百慕達草、百喜草及肥料等植物，比較植生帶對植物生長以及對邊坡保護之效果，就植物生長及地面覆蓋情形而言，以不織布加稻草蓆之效果最佳；依施工效率、坡面安定及防止地表沖蝕較果而言，以不織布

加遮光網之效果最佳。

蕭榮福、陳振盛等 (1993) 泥岩人工邊坡穩定性之研究報告提出：分別以坡度 1：1 禾草區、1：1.5 禾草區、1：1.5 複層植被區、1：2 禾草區為試驗對象，其中以 1：1.5 禾草區、1：1.5 複層植被區之水土流失量較少，且水土流失量與其覆蓋率成反比。

蕭榮福、陳振盛等 (1993) 泥岩自然邊坡植生研究暨人工坡植生及紅土植生示範區之研究指出：(1) 經由省道 184 線旗山試驗區之實驗結果顯示，邊坡斜率應緩於 1：1.5。(2) 自然坡改採區隔速綠帶及防沖蝕截流束鋪設於坡面及蝕溝，覆蓋率有顯著提昇，蝕溝也獲得適當控制。

邱創益、謝杉舟等 (1995) 之研究報告中提出：1. 道路邊坡植生方法於緩坡地薄層噴植法植生效果最佳，種子發芽分布均勻，且坡面土壤之防沖效果良好，附近植物易自然入侵，而與當地景觀形成一致性。噴植法施工時基材與機具設備之搬運，因近臨道路故施工可達到快速、簡易。陡坡道路邊坡因選擇試驗坡面大於 65°，且噴植基材厚度不足，復逢連續颱風侵襲，造成道路邊坡噴植鋪網部份滑落及植生破壞，形成噴播種子不易固定於坡面而滑落至坡腳處。2. 噴植粘著劑之研發，土壤之防沖效果愈佳之粘著劑，則種子發芽率愈低，配方濃度雖對種子初期發芽率有影響，但經降雨後粘著劑漸被洗去，種子仍可繼續發芽，因此粘著劑使用之種類及濃度，需針對噴植地區之坡面坡度及降雨特性予以瞭解，再進行選擇與調製適用之粘著劑，若降雨強度大之地區可選擇耐水性較佳之樹脂類粘著劑，如尿素甲醛樹脂及聚醋酸乙稀樹脂；反之，降雨強度小之地區，為使快速達到綠化植生，可選擇較容易水溶性之粘著劑，如水泥漆及澱粉膠類等，可加速種子之發芽。

邱創益 (1998) 之研究報告中提出：礫石邊坡之植生法，在陡峭上則以鋪網後以厚

層噴植法噴播草類之百喜草、百慕達草、類地氈草及木本植物之山鹽菁、九芎、番石榴為宜；緩坡則以直接客土後，鋪植生帶（含上述植物種子）為佳。坡面穩定設施，宜盡量將礫石坡面整成 35°。以下之緩坡後，每隔 5~7m 做階段（複式坡面），在坡頂、坡面及坡腳設置適當的排水系統，儘速予以植生覆蓋，以穩定坡面收植生綠化、美化之效。

楊紹昇、陳鳳湘 (2000) 提出：BFM 工法 (Bounded Fiber Matrix，即稱高效能噴射式纖維植生氈工法)，係針對傳統植生噴植工法上的缺失加以改進，於地表為植生完全覆蓋坡面前的裸露期間，保護地表面不受雨水衝擊及地表逕流沖刷的影響，並提供植物種籽一更優良之生長環境及保護所設計的特殊工法。BFM 工法係利用細小之純木纖維，依四面八方及上下不同方向的立體交錯排列方式，噴覆於土表而組成具有一定厚度之機械性網狀結構，藉此以隔絕表土團粒受到雨水直接打擊的破壞，並經由密著於表土面上之植生氈的強力吸水及保水能力，利用重力作用將水份向下輸送，而把多餘的水份匯集於植生氈（植生層）上方成為地表逕流排出，以強化噴植工法中最為人所詬病的沖蝕控制之能力，由於其厚度控制於 0.2~0.3cm 之間，鳥類無法啄食位於其中及其下方之草籽，及立體之植生氈結構又具有保溫及保溼之效果，均足以有效提高種子之發芽率，並加速種子之萌芽生長。本工法材料主要包括有種子、純木纖維、粘著劑、土壤活性改良劑及腐植酸有機肥料。

試驗區之立地環境

3.1 位置及地形

由於南橫公路全長頗長，本研究擬剔除台南市至甲仙及海端至關山路段，原因係台南市至甲仙段為南化泥岩地區，在這方面之

研究，已經有多位學者從事相關研究多年，成果斐然。至於海端至關山路段為平地，無須進行道路邊坡相關之研究。故本研究僅於道路邊坡保護問題較為嚴重梅山至啞口段間，擇一典型崩塌裸露地進行試驗，兼顧道路邊坡代表性、施工可及性及維持施工期間道路暢通等問題。

本研究試驗區根據多次於南部橫貫公路沿線之現地勘查結果，決定於里程 140K+850 之檜谷地區，高程 2,454m，昌仕橋東北側之道路邊坡上設置本研究試驗區，屬高冷地區，距天池（里程 135K，高程 2,280m）及啞口（里程 146K，高程 2,722m）甚近，行政區隸屬於高雄縣，其地理位置圖詳見圖 1。坡面坡度平均約 50°，坡向為南偏東 45°。



圖 1. 地理位置圖

Figure 1. Geographic location

3.2 氣候

本試驗區地理位置位於南部橫貫公路天池與向陽之間，其海拔高度 2454m，屬於寒帶重濕氣候型，其特徵為低溫多雨、濕度高之氣候。本試驗區之年平均雨量推估約 3,265.6 mm，集中於每年 5 月至 9 月。推估方法利用中央氣象局梅山站（站號 01V060）、天池站（站號 01V070）及向陽站（站號 01S470）等三氣象站之資料以反距加權法推估而得。

3.3 地質

本試驗區之區域地質係屬於中央山脈地質區，為始新世之畢祿山層（舊稱新高層），本試驗區即位於畢祿山層最南端之板岩地質區內，板岩劈理約為 N20o~30oE，傾角約為 NE10o~15o。現地邊坡坡面之植生基盤主要由嚴重風化之板岩或其崩積層所構成，現場植生稀疏不良，大部份為裸露地，邊坡極不穩定。

3.4 土壤

本試驗區主要之母質種類為中央山脈之粘板岩變質岩類，含白雲母、石英及綠泥石等礦物，所形成之土壤，土色呈暗棕色至棕色，屬含磷量較高，質地細緻。然因板狀劈理發達，崩解較易，難有發育良好之土壤，故本試驗區土壤多屬板岩石質土，土壤剖面內含有中至多量半風化之板岩碎屑及石塊，底土以下為板岩母質層，若有機質多者，表土或成團粒構造，土壤反應呈中酸至強酸。

經調查本試驗區之土壤性質，其土壤反應呈弱鹼性，平均 pH 值 8.68，其山中式土壤硬度計測值約在 8~21mm 之間，尚小於 25mm，平均有機質含量 1.44%、平均全氮量為 0.06%、平均有效性 K 為 0.11 ppm，平均有效性 Ca 為 0.19 ppm、平均有效性 Mg 為 0.00 ppm，平均有效性 Na 為 0.81 ppm，理論上種子應可發芽、生育及根系伸展良好，然本研究試區屬板岩質壤質砂土，土壤剖面內含有多量半風化之板岩碎屑及石塊，可能影響植物之生長。

研究方法與材料

4.1 植生演替理論之應用

由前人之研究成果可知，利用植物之

根、莖、葉來穩定邊坡是一種較符合生態化、景觀化、長久性及經濟性之方法。然而並非加以植生即可達到穩定邊坡之目的，必須應用植物演替理論建立複層植被之立體結構，方能有保護及穩定邊坡之效果。

邱創益（2003）認為一般裸露地之植生演替過程經由苔蘚、羊齒植物至草類植物至灌木類再至喬木類。裸露地經由低層至高層之入侵植群建構一複層植被之立體結構，以保護邊坡。然而裸露地經由自然演替至喬木類最少需要 10 年以上之時間，但經由人為之植生工法可免去苔蘚、羊齒植物期，而直接導入草類與喬木類所組成之複層植被。

利用人為植生工法建立複層植被的方法一般有兩種方法，一是直接於混合導入植物草本類及木本類之植物種子，然而此種方法之木本植物往往於特殊現地條件下常有無法順利發芽生長。另一方法即先導入草本類植物，先構築利於鄰近原生植物入侵演替之環境或利用二次栽植法導入喬木類植物。但對草類植物之導入量應予規劃控制，否則過密之草本植物往往阻礙及減少鄰近原生植物之入侵，而無法順利建立複層植被，亦無法於最短時間恢復當地植物生態及保護邊坡。

4.2 噴植植生試驗

本試驗採用草本類及木本類種子混播，其試驗區之配置及各種噴植植生工法之施行，詳見下列各節之敘述。

1. 導入植物及播種量

目前一般中高海拔邊坡植生綠化常採用多年生禾草類，其設計播種量約 30~100 g/m²，期待發芽株數約 5,000~15,000 株/m²似有偏高之虞，而過高之草本類植物密度將導致鄉土植物入侵困難之情形，此現象可由植物綠化之成果可看出。故本試驗基於生態植生綠化之觀點，加入本試驗區鄉土木本植

物台灣赤楊及楓香種子，採用中高海拔適生之草本類及木本類種子混播，所擬定之供試植物及播種量

2. 噴植植生試驗工法

行政院農業委員會水土保持技術規範（2000）對噴植植生工法之分類共分 3 種，分別為薄層噴植植生工法，其噴植厚度為 0.1~3cm，中層噴植植生工法，需於噴植前鋪設鐵絲網於坡面上，噴植厚度為 3~6cm，厚層噴植植生工法，亦需噴植前鋪設鐵絲網於坡面上，噴植厚度為 6cm 以上。本研究試驗採用三種厚噴植植生工法，搭配鋪設菱形鐵網使用，另採用三種薄層噴植植生工法，各工法之說明、資材及配比分述如下：

（1）厚層木屑堆肥噴植植生工法(HC)：

本工法噴植厚度 7cm，屬厚層噴植工法，施工方法為整理坡面、清除浮動石塊後鋪設菱形鐵網，再將植生基材噴附於坡面上。本工法因屬厚層植生基材，為避免基材流動及剝離，故加設菱形鐵網增加其穩定性。本工法為目前國內最常使用之一種噴植工法，其木屑堆肥為一般食用菇類培養使用後之木屑堆肥再加入米糠充份混合再製後，運至現場施工；其粘著劑為一般粘著劑，成分為丙烯酸醯胺類聚合物(俗稱 Polymer 系列)。本工法之配比如表 1 所示。（2）厚層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(HCP#A)：

此工法與第一種相似，其噴植厚度亦為 7cm，並加設菱形鐵網，僅其粘著劑變更為土壤團粒化劑(Polisoil)，土壤團粒化劑(Polisoil)八十八年九二一大地震後經中琉文化交流協會相關技術支援正式由日本引進，分為主劑(B 劑)成分為乙烯基聚合物(陰離子)及副劑(L 劑)丙烯酸樹脂(陽離子)，其作用原理為先藉由 B 劑滲入土壤中，再藉由 L 劑與土壤作用而土壤團粒化，且其造膜效果良好，依其材料說明，造膜持性應有 6 個

表 1. HC 工法材料配比

Table 1. Material allocated proportion of HC

木屑堆肥	0.08	(m ³ /m ²)
高分子粘著劑	0.028	(kg/m ²)
水泥	1.6	(kg/m ²)
台肥 1 號	0.28	(kg/m ²)

透氣性，有利於植物生長，且其乾燥時間依氣象條件不同為 1 至 8 小時，由於無毒性符合生態環保要求，本工法之材料配比如表 2 所示。

表 2. HCP#A 工法材料配比

Table 2. Material allocated proportion of HCP1

木屑堆肥	0.08	(m ³ /m ²)
團粒化劑(Polisoil)	0.33	(kg/m ²)
水泥	1.6	(kg/m ²)
台肥 1 號	0.28	(kg/m ²)

(3) 厚層木屑堆肥雙層團粒化劑噴植植生工法(HCP#B)：

此工法與第 2 種工法相似，僅於噴植植生基材前於坡面土壤先行噴佈一層土壤團粒化劑(Polisoil)，待一小時後再噴佈 7cm 厚之植生基材，其配比亦同第 2 種工法，本工法之材料配比如表 3 所示。

表 3. HCP#B 工法材料配比

Table 3. Material allocated proportion of HCP2

木屑堆肥	0.08	(m ³ /m ²)
團粒化劑(Polisoil)	0.66	(kg/m ²)
水泥	1.6	(kg/m ²)
台肥 1 號	0.28	(kg/m ²)

(4) 薄層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(TCP)：

本工法之噴植基材厚度為 1cm，不鋪設菱形鐵網，配合團粒化劑使用。其配比如表 4 所示。

表 4. TCP 工法材料配比

Table 4. Material allocated proportion of TCP

木屑堆肥	0.01	(m ³ /m ²)
團粒化劑(Polisoil)	0.33	(kg/m ²)
台肥 1 號	0.05	(kg/m ²)

(5) 薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法(TKPP)：

其噴植基材厚度小於 2mm，主要由日本進口之紙漿屬化學性木質纖維搭配土壤團粒化劑使用，此化學性纖維係利用苛性鈉、硫化鈉及蘇打灰水水溶液蒸煮而成，俗稱牛皮紙漿(Kraft Pulp)，其纖維強韌性較高結織成約直徑 0.5 ~ 1.5 cm 片團狀紙片。因屬薄層噴植，其施工單價較低廉，施工快速方便性佳，其工法材料配比如表 5 所示。

表 5. TKPP 工法材料配比

Table 5. Material allocated proportion of TKPP

紙漿(木質纖維)	0.15	(kg/m ²)
團粒化劑(Polisoil)	0.33	(kg/m ²)
台肥 1 號	0.05	(kg/m ²)

(6) 薄層木纖維噴植植生工法(TMF)：

本工法噴植基材厚度平均約 2mm 屬薄層噴植工法其工法材料主要包括有純木纖維、粘著劑(有機天然連結介質，屬多醣類粉末)腐植酸有機肥料(含有腐植酸、黃酸、CNS3076 有機肥料)生長輔助劑(天然礦物質及有機質，符合 CNS13207)、土壤活性改良劑(活性土壤材，由天然沸石及磷灰組成)、種子及水等植生材料，其材料配比如表 6 所示。

表 6. TMF 工法材料配比

Table 6. Material allocated proportion of TMF

綠色純木纖維	400	(g/m ²)
有機天然連結介質	40	(g/m ²)
有機質腐質酸複合有機肥料	0.2	(g/m ²)
長效型植物生長輔助劑	20	(g/m ²)
活性土壤材	6	(g/m ²)

4.3. 試驗區配置

1. 子試區大小：5m x5m

2. 子試區排列：

試驗區現地坡腳已有公路管理單位早期施作完成之 2m 高重力式擋土牆穩定設施，故本研究選定於擋土牆上方由左至右設置七個子試驗區，即 A 區、B 區、C 區、D 區、E 區、F 區及 G 區，其分區位置圖詳見圖 2。其配置分述如下：

A 區：為對照區，保持邊坡原狀，不施作任何植生工法，以供日後其他試驗區之植生成果對照之用。

B 區：施作(1)厚層木屑堆肥噴植植生工法 (HC)。

C 區：施作(2)厚層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法 (HCP#A)。

D 區：施作(3)厚層木屑堆肥雙層團粒化劑噴植植生工法 (HCP#B)。

E 區：施作(4)薄層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法 (TCP)。

F 區：施作(5)薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法 (TKPP)。

G 區：施作(6)薄層木纖維噴植植生工法 (TMF)。

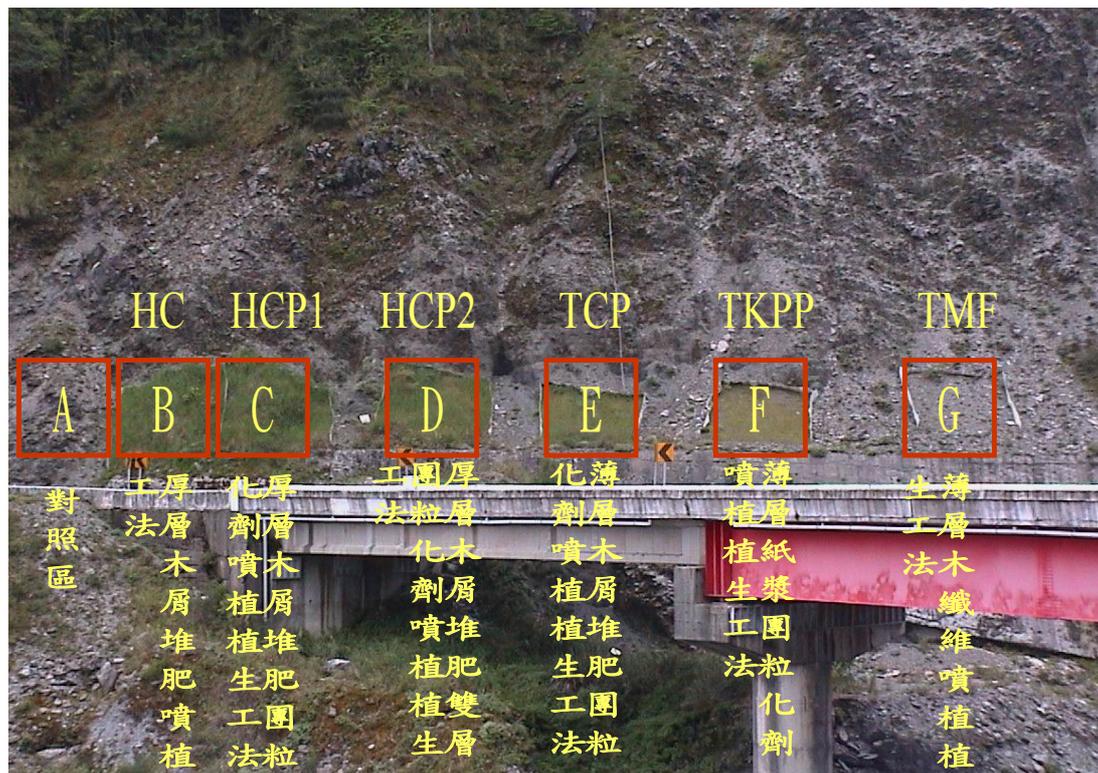


圖 2. 試驗分區位置圖

Figure 2. Experimental district site

結果與討論

本試驗之植生施工於 91 年 5 月 10 日完成，並分別於 91 年 5 月 25 日（施工後 15 天）、91 年 6 月 25 日（施工後 45 天）、91 年 8 月 25 日（施工後 105 天）、91 年 11 月 25 日（施工後 199 天）及 92 年 3 月 25 日（施工後 319 天）進行試驗區之植生調查，調查結果經分析整理後分別討論不同噴植植生工法對植生成活株數、植生株高生長、入侵植物生長及植生覆蓋率之影響。

1. 不同噴植植生工法對植生成活株數之影響

由表 7 及圖 3 之調查結果顯示，不同噴植植生工法對本區草本植物初期及中期(施工後 15 日及 45 日)之影響很明顯，E 區薄層木屑堆肥團粒化劑噴植工法(TCP)之草本類植物生長初期(施工後 15 日)或後期(施工後 105 日)成活株數最多，其次為 F 區薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法(TKPP)，兩者均明顯優於其他工法。D 區厚層木屑堆肥雙層團粒化劑噴植植生工法(HCP#B)於生長初期及中期(施工後 15 天及 45 天)之成活株數最少，而 C 區厚層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(HCP#A)則於生長後期(施工後 105 天)之成活株數最少。

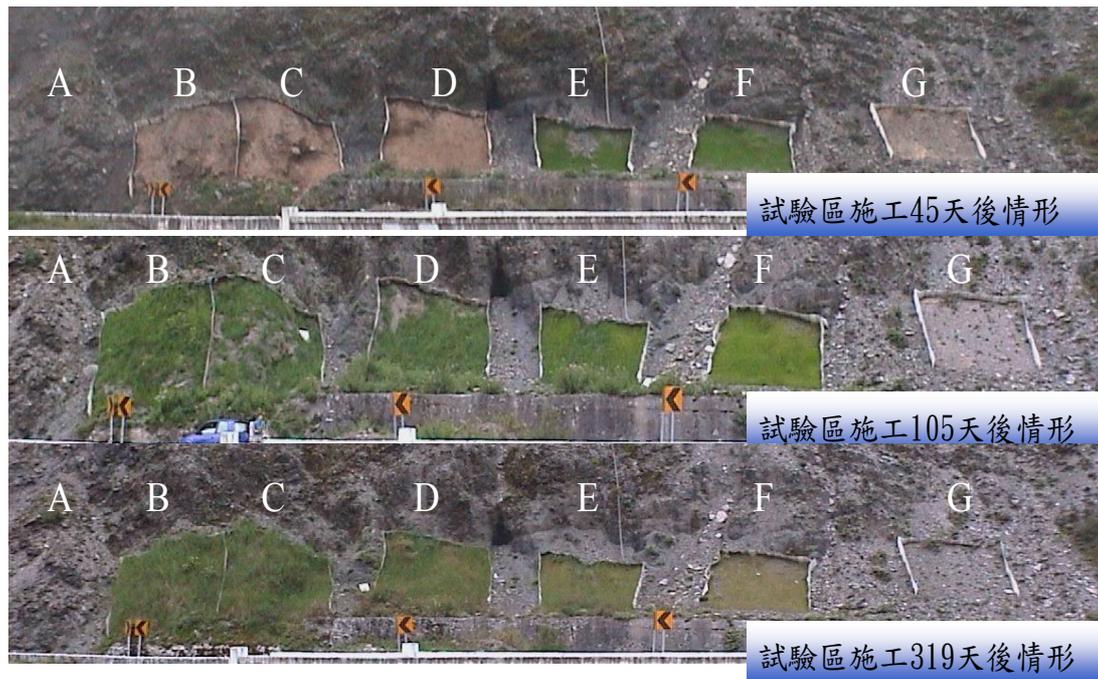


圖 3. 試驗區施工後情形

Figure 3. Situation after constructing in the trying area

綜合以上之分析，顯示土壤團粒化劑當作粘著劑及土壤改良劑，配合加上 1 cm 厚之木屑堆肥噴植植生工法（TCP）對中高海拔

板岩地區道路邊坡草本類植物生長之成活株數有較好之效果；而厚層之木屑堆肥噴植工法對中高海拔板岩地區道路邊坡草本類植物

生長之成活株數則有較差之效果，故一般有經驗之植生綠化施工者為利於完工驗收，並達到規範要求之覆蓋度，往往會對厚層噴植工法加重種子之使用量，但若超量使用種子容易導致過高的植生密度將導致符合生態要求之鄰近鄉土植物入侵困難，根據以往道路邊坡植生綠化調查之結果發現，亦有施工 18 個月以上而鄰近原生植物難入侵之現象。

由於各子試驗區木本植物台灣赤楊及楓香截至 92 年 3 月 25 日（施工後 319 天）仍尚未見有發芽株數，由於種子發芽之機制受環境之水分、溫度、光度、光期及介質種類之影響甚鉅，本試驗區因位於高海拔板岩地區之坡地上，故可能因現地環境因子之影響而導致本試區之木本類種子無法順利發芽的現象，建議日後可再針對此現象做一深入之研究。而 G 區種子均未見有發芽現象，可能因為本區之粘著劑（有機天然連結介質）未發揮粘著效果，又因本區之地形坡度較陡（平均約 50%），致植生資材及種子於施工後流失之緣故，此點可由 G 區坡腳下游處有長出甚多導入草類可推知。而本區粘著劑未能發揮粘著效果，可能是因山區之霧氣及溼度較高，而影響其凝結時間，再加上施工後 91 年五月 12、15、16、17 日均有下雨，而致種子及植生資材流失。

2. 不同噴植植生工法對植生株高生長之影響

植物株高之生長，於種子發芽後，受植生資材與土壤養分、土壤結構、環境水分與溫度之影響。由表 7 顯示，各噴植植生工法於植生初期（施工後 15 天），對植物株高之影響不明顯。E 區薄層木屑堆肥團粒化劑植生工法（TCP）於植生中期（施工後 45 天）及植生後期（施工後 105 天）之植物株高生長之影響則有明顯優於其他工法；而 F 區薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法（TKPP）之植物株高生長於後期（施工後 105 天）為最矮，且

植物葉片有黃化現象，顯示葉片葉綠素之生長衰退，此現象應為植物生長缺乏養分之故 B 區、C 區、D 區厚層木屑堆肥噴植工法（HC、HCP#A、HCP#B）及 E 區薄層木屑堆肥團粒化劑噴植工法（TCP）之草本類植物株高生長差異不大。

綜合以上分析，建議於中高海拔板岩地區，應用團粒化劑噴植植生工法，於坡面植生綠化時，應考慮增加有機質或長效型肥料之配比以及符合生態環保要求之保水保肥基材，而由本試驗之結果顯示，填加薄層木屑堆肥為可行的方法之一。

一般植生噴植所使用之木屑堆肥乃利用栽培金針菇或柳松菇之廢棄木屑（培養土）添加米糠（無需添加雞糞），經過混合、堆積發酵、送風及翻堆等程序後，約 1 至 2 個月之堆肥化及腐熟，即可獲得穩定腐熟的木屑堆肥，依目前（92 年）之價格尚屬低廉且供應量充足，又屬天然有機木屑纖維，不需要添加雞糞，可直接用來發酵製造堆肥，符合經濟、生態、環保及資源再利用之原則，不失為一良好之植生資材。

然若木屑堆肥有添加禽畜類糞糞尿，或未經腐熟穩定則有難聞之酸壞臭味、惡臭或濃厚之氨氣味及滋生蚊蠅之問題，不符合生態及環保原則，且未經腐熟之堆肥常含有中間產物，如甲烷（methane， CH_4 ）、硫化氫（ H_2S ）、腐魚味磷（phosphine）等，加上微生物活動熱累積，溫度可升至 $45^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ ，均對植物之生長均有危害作用。另外，木屑堆肥之木質纖維較短，與粘著劑所構築網毯結構之防沖蝕效果較差，可配合添加長纖型之天然木質纖維，如目前一般常用於植生綠化之化學纖維紙漿（Kraft Pulp）、Mat-Fiber、EcoFiber 等，或覆蓋可腐化之天然纖維植生毯應可彌補木屑堆肥之不足。

表 7. 不同噴植植生工法之植物生長情形

Table 7. Plant growth with different spray planting methods

工法別	植物種類	調 查 值					
		91.5.25		91.6.25		91.8.25	
		成活數 株/m ²	平均高 cm	成活數 株/m ²	平均高 cm	成活數 株/m ²	平均高 cm
B 區 厚層木屑堆肥 噴植植生工法 (HC)	草本類	250	0.8	425	6.4	1275	45.3
	木本類	0	-	0	-	0	-
C 區 厚層木屑堆肥 團粒化劑噴植 植生工法(HCP#A)	草本類	150	0.8	275	6.2	725	49.7
	木本類	0	-	0	-	0	-
D 區 厚層木屑堆肥 團粒化劑噴植 植生工法(HCP#B)	草本類	125	0.9	150	8.1	1050	50.2
	木本類	0	-	0	-	0	-
E 區 薄層木屑堆肥 團粒化劑噴植 植生工法(TCP)	草本類	3875	0.8	4400	13.8	4775	54.5
	木本類	0	-	0	-	0	-
F 區 薄層紙漿 團粒化劑噴植 植生工法(TKPP)	草本類	2775	0.8	3675	11.6	4225	25.7
	木本類	0	-	0	-	0	-
G 區 薄層木纖維 噴植工法(TMF)	草本類	0	-	0	-	0	-
	木本類	0	-	0	-	0	-

3.不同噴植植生工法對植生覆蓋率之影響
由表 8 及圖 4 之結果顯示，各試驗區中

期(施工 105 天後)之植生覆蓋率以 E 區薄層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(TCP)之植

生覆蓋率達 98.6% 為最高，其次為 F 區薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法(TKPP)達 96.9%，植生覆蓋度最小者為 C 區厚層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(HCP#A)，其值 72.9%。而噴植之前基盤土壤先以團粒化劑處理過之 D 區厚層木屑堆肥雙層團粒化劑噴植植生工法(HCP#B)之植生覆蓋度為 79.8%，較基盤土壤無先以團粒化劑處理之 C 區厚層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(HCP#A)之植生覆蓋度為高。採用高分子粘著劑之 B 區厚層木屑堆肥噴植植生工法 (HC) 之植生覆蓋度 89.1%，大於 C 區及 D 區厚層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(HCP#A 及 HCP#B)之 72.9% 及 79.8%。

於後期(施工 199 天後及施工 319 天後)之植生覆蓋率相差不多，但以施工 199 天後之植生覆蓋率稍低於施工 319 天後之植生覆蓋率。而晚期(施工 319 天後)之植生覆蓋率以 B 區厚層木屑堆肥噴植植生工法 (HC)

94.2% 為最高，其次為 C 區厚層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(HCP#A) 92.5%，第三高者為 D 區厚層木屑堆肥雙層團粒化劑噴植植生工法(HCP#B)86.3%，而 E 區薄層木屑堆肥團粒化劑噴植植生工法(TCP)為 62.7%，最低者為 F 區薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法(TKPP)46.5%。

綜合以上之分析，於初期(施工 45 天後)及中期(施工 105 天後)薄層噴植植生工法之導入草本類植物植生覆蓋率明顯優於厚層噴植植生工法；添加 1cm 厚之木屑堆肥之團粒化劑噴植植生工法明顯優於未添加木屑堆肥之薄層噴植植生工法。而傳統常採用高分子粘著劑之厚層噴植植生工法之植生覆蓋度較優於厚層團粒化劑噴植植生工法，但相差不多。但於後期則以 B 區厚層木屑堆肥噴植植生工法 (HC) 最高，而以 F 區薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法(TKPP)最低，厚層噴植植生工法明顯優於薄層噴植植生工法。

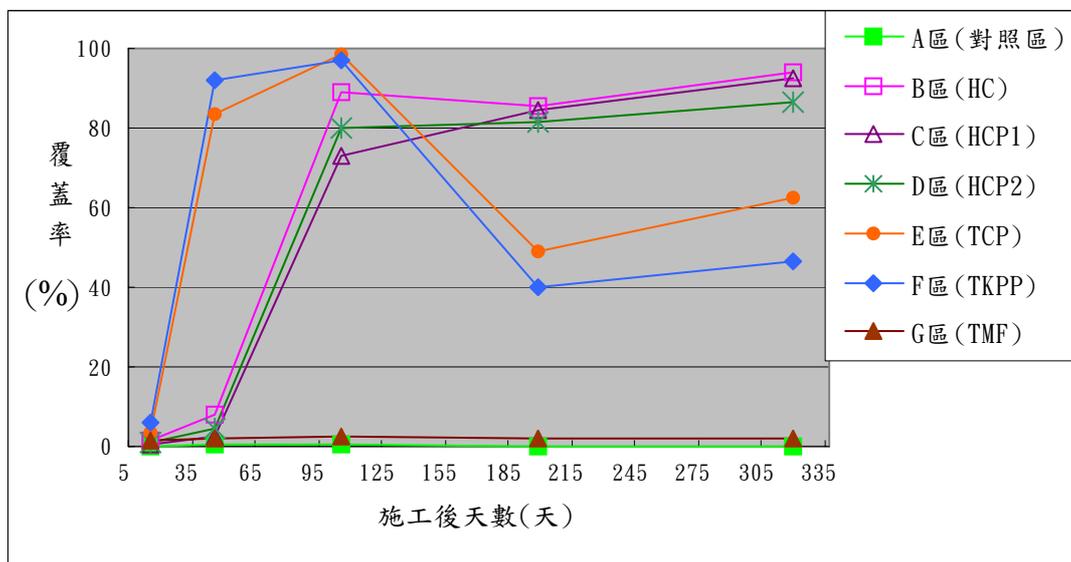


圖 4. 不同噴植植生工法之覆蓋率變化圖

Figure 4. Vegetation cover rate change with different spray planting methods

表 8. 不同噴植植生工法不同時期之覆蓋率

Table 8. Vegetation cover rate of different periods with different spray planting methods

施 工 後 天 數 (日 期)	A 區	B 區	C 區	D 區	E 區	F 區	G 區
	對照區 (%)	厚層木屑 堆肥噴植 植生工法 (HC) (%)	厚層木屑 堆肥團粒 化劑噴植 植生工法 (HCP#A) (%)	厚層木屑 堆肥雙層 團粒化劑 噴植植生 工法 (HCP#B) (%)	薄層木屑 堆肥團粒 化劑噴植 植生工法 (TCP) (%)	薄層紙漿 團粒化劑 噴植植生 工法 (TKPP) (%)	薄層木纖 維噴植 植生工法 (TMF) (%)
15 (91/05/25)	0.2	1.3	0.6	0.9	3.5	5.8	1.4
45 (91/06/25)	0.3	7.8	2.3	4.3	83.7	92.1	2.1
105 (91/08/25)	0.5	89.1	72.9	79.8	98.6	96.9	2.7
199 (91/11/25)	0.1	85.6	84.7	81.4	49.2	40.1	1.8
319 (92/03/25)	0.2	94.2	92.5	86.3	62.7	46.5	2.1

結論及建議

1. 土壤團粒化劑當作粘著劑及土壤改良劑，配合加上 1 cm 厚之木屑堆肥噴植植生工法 (TCP) 對中高海拔板岩地區道路邊坡草本類植物生長之成活株數有較好之效果；而厚層之木屑堆肥噴植工法對中高海拔板岩地區道路邊坡草本類植物生長之成活株數則有較差之效果。
2. 薄層木屑堆肥團粒化劑植生工法 (TCP) 於植生中期(施工後 45 天)及植生後期(施工後 105 天)之植物株高生長之影響則有明顯優於其他工法；而薄層紙漿團粒化劑噴植植生工法 (TKPP) 之植物株高生長於後期(施工後 105 天)為最矮，且植物葉片

有黃化現象。

3. 於中高海拔板岩區初期及中期薄層噴植植生工法導入之草本類植物植生覆蓋率明顯優於厚層噴植植生工法；添加 1cm 厚之木屑堆肥之團粒化劑噴植植生工法明顯優於未添加木屑堆肥之薄層噴植植生工法。而後期，厚層噴植植生工法明顯優於薄層噴植植生工法。
4. 厚層植生基材噴植或鋪網之植生工法於施工後初期，有可能導致原生於試驗區之低莖類臺灣莓種子無法順利發芽生長而不符生態綠化之原則。
5. 薄層木屑堆肥團粒化劑植生工法 (TCP) 雖然於後期之植生覆蓋率稍低於厚層噴植植生工法，但綜合考慮施工快速性、經濟性及生態要求等因素，於加強其長效性肥

料或保肥能力後，應為一較佳之噴植植生工法。

6. 本研究僅針對南部橫貫公路中高海拔路段版岩地區進行試驗研究，建議應針對不同地質情況及區域進行道路崩塌裸露邊坡植生復育之相關研究，以提昇道路邊坡護坡之技術，並作為工程人員規劃設計之參考。

參考文獻

1. 蔡進來、陳清義，1981，台灣南橫公路維管植物資源之研究，理工學報，18：pp.223-275。
2. 台灣省政府農林廳山地農牧局，1984，高雄縣山坡地土壤調查報告，p30 & p34。
3. 陳振盛、王惠敏等，1991，泥岩邊坡植生綠化暨紅土植生技術之研究，行政院防災科技報告 79-48 號。
4. 蕭榮福、陳振盛等，1992，泥岩邊坡植生技術暨道路邊坡複層植生被建立之研究，行政院防災科技報告 80-43 號。
5. 邱創益，1993，被覆資材對植物生長及土壤沖蝕影響之研究，中日水土保持敷蓋資材應用研討會，pp.1-19。
6. 蕭榮福、陳振盛等，1993，泥岩人工邊坡穩定性之示範，行政院防災科技報告 81-48 號。
7. 蕭榮福、陳振盛等，1993，泥岩自然邊坡植生研究暨人工坡植生及紅土植生示範區之建立（一），行政院防災科技報告 82-23 號。
8. 林文智，1993，台灣高山植物圖鑑，淑聲出版社，p21、p61、p113、117 & p131。
9. 林文智，1995，台灣高山野花圖鑑，淑聲出版社，p114。
10. 邱創益、謝杉舟等，1995，噴播技術在坡面植生方法應用之研究，農業綜合調整方案試驗研究年度總報告。
11. 內政部營建署玉山國家公園管理處，1985，玉山觀石，p21 & p110。
12. 台灣省農林廳水土保持局，1997，工程環境材料之應用與解說，中華民國環境綠化協會，pp.102-103。
13. 邱創益，1998，高雄地區山坡地開發引致地工環境災害之研究（二）—子計畫：護坡植物材料之調查研究（2），行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
14. 邱創益，1998，高雄地區山坡地開發引致地工環境災害之研究 — 護坡植物材料之調查研究暨阿里山山地道路邊坡植生研究之試驗，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
15. 林恆德、洪進宗，1999，連續纖維團粒噴植工法應用在坡面復育上之介紹，第八屆大地工程學術研究討論會論文集，pp.2010-2024。
16. 林文智，1999，台灣的野花-高海拔篇，渡假出版社，p36、p45、p105、p147、p157、p195 & p196。
17. 呂福源、歐辰雄、呂金誠，1999，台灣樹木解說（三），行政院農業委員會，p10 & p24。
18. 行政院農業委員會，2000，水土保持技術規範，p132 & p198。
19. 林信輝、何怡增，2000，高效能噴射式纖維植生氈植生工法之應用，水土保持植生工程研討會論文集，pp.67-75。
20. 楊紹昇、陳鳳湘，2000，特殊噴植工法之引進與應用，集水區保育研討會論文集，pp.63-80。
21. 林信輝、黃俊仁，2000，集集大地震後崩塌地之植生穩定處理，第二屆全國治山防災研討會論文集，pp.23-35。
22. 林信輝，2001，水土保持植生工程，高立圖書有限公司，pp.61-94。
23. 陳玉峰，2001，台灣植被誌（四）檜木霧林帶，前衛出版社，pp.234-237。
24. 楊遠坡、劉和義、彭鏡毅、施炳霖、呂勝

- 申，2001，台灣維管束植物簡誌（第肆卷），行政院農業委員會，p229 & p279。
25. 行政院農業委員會，2001，肥料要覽，中華土壤肥料學會。
26. 行政院農業委員會，2001，九十年度水利工程人員生態保育研習班手冊，pp.39-60。
27. 何怡增，2001，噴植資材對植物發芽生長影響之探討，中興大學水土保持系碩士論文，78p。
28. 謝杉舟、吳政謀、李元智等，2002，山區道路邊坡植生保護及綠化生態工法之研究（三），行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
29. 吳政謀，2002，影響南部橫貫公路沿線邊坡穩定因子之探討，屏東科技大學吳水土保持系碩士論文，80p。
30. 游以德、陳玉峰、吳盈，2002，台灣原生植物（上），淑馨出版社。
31. 游以德、陳玉峰、吳盈，2002，台灣原生植物（下），淑馨出版社。
32. 机霆維，2003，不同噴植植生資材對於泥岩土壤百慕達草初期生長之研究，屏東科技大學吳水土保持系碩士論文，pp.3-4。
33. 邱創益，2003，邊坡穩定植生工法與特殊環境生態綠化技術，演講講義，p4。
34. Coppin, N.J. and I.G. Richards, 1990, Use of Vegetation in Civil Engineering, pp.23-46 and pp.84-86.
35. Media Cybernetics, 2001, The Proven Solution for Image Analysis – Image Database User Guide For Windows, Image-Pro Plus.
36. Media Cybernetics, 2001, The Proven Solution for Image Analysis – Image-Pro Plus Reference Guide For Windows, Image-Pro Plus.

96 年 2 月 10 日 收稿

96 年 3 月 16 日 修改

96 年 3 月 20 日 接受