

坡地檳榔園水土流失控制之探討

林壯沛¹ 盧惠生² 黃良鑫³

【摘要】檳榔號稱「台灣綠金」，年產值 98 億元，占農畜產值 2.6%，僅次於水稻，為臺灣的高經濟作物。栽植檳榔回收快，利潤大，農民意願高，栽植面積快速增加。根據農委會 2006 年臺灣電子農業年報，民國十年檳榔栽種面積 693 ha，至民國九十五年栽植面積達 50,554 ha，增加 72 倍。檳榔樹冠與一般果樹、造林木有明顯區別。山坡地栽植檳榔，衍生土壤沖蝕與水土保持問題。依據蓮華池坡地檳榔園水土流失試驗，結果顯示檳榔區逕流沖蝕最大，草生地次之，杉木區最小，三者逕流比為 10.4：5.8：1，土壤流失量比為 10.2：7.2：1。山坡地檳榔園配合百喜草與雜草全園覆蓋，能減少地表逕流量 50%~66%，加上山邊溝水土保持處理，地表逕流量能降低 70%~78%，若恢復造林則可降低地表逕流量約 84%。

【關鍵詞】檳榔、逕流、沖蝕、坡地。

SOIL LOSSES CONTROL OF BETEL NUT PLANTATION ON SLOPELAND

Jaung-pey Lin¹ Hui-sheng Lu² Liang-shin Hwang³

【Abstract】 The betel nut was known as “the green gold of Taiwan”. The annual income of betel nut was 9.8 billion dollars and 2.6% of agriculture products. It was Taiwan's high economic crop and next to the income of paddy rice. Planting the betel nut belonged to high and fast profit. Therefore, planting area of betel nut increased very fast with a farmer' will. Based on annual electronic agriculture report of committee of

¹ 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營組副研究員，通訊作者。電子郵件: jplin@tfri.gov.tw
Associate Scientist, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan. Corresponding Author. E-mail: jplin@tfri.gov.tw

² 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營組研究員。
Senior Scientist, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan. Corresponding Author.

³ 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營組助理研究員。
Assistant Scientist, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

Agricultural, betel nut area increased 72 times from 693 ha in 1921 to 50,554 ha in 2006. The crown characteristics of betel nut were rather different from those of fruit trees and China fir. The planting betel nut on slopeland played an important role in soil erosion and conservation questions. Based on runoff and soil erosion experiments of betel nut plantation at Lienhuachih, the surface runoff ratios were 10.4 for betel nut plot, 5.8 for grass plot and 1 for China fir plot, as well as the soil erosion ratios were 10.2 for betel nut plot, 7.2 for grass plot and 1 for China fir plot. When planting betel nut on slopeland, surface runoff can be reduced 50-66% in Bahia grass and weed covering treatment, 70-78% in Bahia grass and weed covering with hillside ditches treatment, and 84% in forest restoration.

【Key words】 Betel nut, Runoff, Erosion, Slopeland.

I、前言

檳榔是訂婚禮俗中必備的禮品，取其結果壘壘，象徵多子多孫吉祥之意。農家園地周遭和房舍前後空地，多會栽種檳榔，增加綠意或為庭園觀賞。檳榔散植於山谷溪旁、水庫周遭、圳邊、道路兩旁和田邊作為行道樹、界標、防風樹。檳榔副產物之利用頗廣，現今已有更好替代品（林壯沛，1992）。栽植檳榔純為生產檳榔提供嚼食，已成為交際應酬必備良品。

臺灣農村勞力普遍缺乏，邁向高齡化，許多繁重農事工作缺乏人手，無法勝任。檳榔栽植容易，回收成本快，利潤好；國人嚼食檳榔人口眾多，需求量大，估計臺灣嗜好嚼食檳榔的人口已超過 280 萬人（傅祖傳、黃萬傳，1991）。農民栽植檳榔意願高，栽植面積不推自廣，急速增加。根據農委會 2006 年臺灣電子農業年報，民國十年檳榔栽種面積 693 ha，民國六十年為 1,607 ha，增加 1.3 倍，至民國九十五年栽植面積達 50,554 ha，增加 72 倍。檳榔年產值 98 億元，占農畜產值 2.6%，僅次於水稻，為果品類之冠，已成為臺灣的高經濟作物，檳榔號稱「台灣綠金」。

農民盲從栽植檳榔，面積逐年增加，朝向山坡地開發利用，形成本省中南部滿山遍谷，處處檳榔。大面積土地開挖栽植檳榔，使林木植生與地被覆蓋破壞，土壤結構與性質的改變，影響土壤入滲與土壤水之儲蓄移動，在水循環過程與各

項目變化，對檳榔園的水土保持與集水區水文整體反應有相當深遠的影響（林壯沛 1995；陳信雄 1994；張文紹、吳輝龍，1997）。農民栽植檳榔著重於檳榔品質與產量之提升，而忽視水土保持之重要性。本文乃對檳榔園水循環各項目包括檳榔園降雨、截留、蒸發、蒸散、滲透、土壤水份儲蓄及移動、地下水、逕流、沖蝕等觀測資料分析，探討坡地種植檳榔的水土流失控制，供相關單位輔導檳榔園水土保持之酌參。

II、坡地土壤沖蝕特性

山坡地介於高山與平地之間，受地形、地質、土壤、降雨及植生等因子影響，是水土資源保育與土壤沖蝕之敏感地區，山坡地栽植檳榔取代森林，林地植生與地被改變，土壤性質與結構破壞，衍生土壤沖蝕與水土保持問題，引起各界重視。

本省雨量充沛，臺灣年平均降雨量在 2,500 mm 左右，雨量集中在 4~10 月；降雨量分佈由西部往東逐漸增加，至中央山脈達到最高，再依次遞減；向北則以東北角 5,000 mm 最大，北部平均降雨量為 2,911 mm，東部為 2,684 mm，向南以屏東地區 4,500 mm 最大，南部平均降雨量為 2,513 mm，西部平均降雨量為 2,075 mm。降雨特性如雨量強度、降雨延時及總量，對土壤沖蝕有密切關係，以降雨沖蝕指數來衡量降雨對土壤沖蝕能力；沖蝕指數越大，表示土壤沖蝕越嚴重，水土流失越大；反之則水土流失小。根據臺灣等降雨沖蝕指數圖（黃俊德，1989），臺灣西部地區之年沖蝕指數約 400，向東逐健遞增至南投附近為 800；海拔高度大的地方，降雨量大，坡度陡，降雨沖蝕指數大，土壤沖蝕越大，相對水土流失越大。

土壤抗沖蝕力是水土流失之一重要影響因素，土壤質地、土壤分散性、孔隙率、有機質含量、土壤滲透性等不同，抗沖蝕力也有所差異，抗沖蝕力高，水土流失少；反之，抗沖蝕力低，水土流失嚴重。根據本省坡地土壤之相對沖蝕性初步歸類（王新傳，1979）如表 1，抗沖蝕力高之土壤不易分散，且因土壤構造發育良好，相對透水性快，所以土壤沖蝕低；反之抗沖蝕力低之土壤，由於粘粒含量低而粉粒含量高，土壤易分散；無良好土壤發育構造者，相對透水性慢，因降雨期間，受雨滴打擊而容易分散，超滲雨量增加後，導致大量地表逕流產生，而引起水土之流失。

表 1. 本省坡地土壤之相對沖蝕性初步歸類 (王新傳, 1979)

Table 1. Soil erodibility of slopeland in Taiwan

相對 沖蝕性	土 類	分散性	相對 透水性
1.低	北部之粘板岩及安山岩土壤。	低	快
2.尚低	北部砂頁岩土壤、東部片岩及安山岩質集塊岩土壤。	尚低	快
3.中	中、南粘板岩質頁土壤，東、南部軟質頁岩土壤，及各地 洪層土壤。	尚低	中
4.稍高	中、南部砂頁岩土壤，西北部軟質砂岩土壤。	中	中
5.高	南部泥岩土壤。	高	慢

III、檳榔植物特徵與習性

檳榔又稱「青仔欖」，為熱帶或亞熱帶園藝作物之常綠大喬木，屬棕櫚科，性喜高溫 25~30°C、潮濕多雨，年雨量 1,600~2,400 mm，終年無霜。檳榔植株為單幹型，大型之長橢圓形羽狀複葉聚生於幹頂，幹莖通直不分歧，樹冠固定而少有變化，無側枝與濃密之枝葉群，葉面積指數 (LAI, Leaf area index) 僅達 1.36，而蓮華池地區天然闊葉林之 LAI=9、30 年生杉木林之 LAI=8.4，相比較之下；檳榔樹與一般果樹、造林木有側枝形成多層樹冠之樹型有很明顯差異 (林壯沛, 1995)。檳榔幹莖為細長之圓柱，幹基稍微膨大，胸高直徑約 10~20 cm，株幹有明顯規則之環狀葉痕節間長 5~10 cm，成齡植株高 10~20 公尺，成活期長達 50 年以上，莖幹組織強韌而富於撓屈性，耐風力強，少有風折現象。

葉為羽狀複葉，葉長 1~1.5 m，樹冠直徑 2.5~3 m，小葉 40 枚呈線狀披針形，葉面光滑無毛，有摺皺或裂痕，葉鞘包圍幼幹如 (圖 1)，葉呈螺旋狀排列，成 4/11 互生，相鄰兩葉夾角約 130 度，成齡植株每年抽葉 7~9 片；葉片叢集聚生於頂，樹冠呈天然漏斗型。檳榔從定植到開花結果，約需五、六年時間；每年抽穗結果一次，著生 3~4 莖，多者可達 800~900 粒，少者僅 200~300 粒。檳榔結果盛產期為 12~15 年生，管理良好可繼續生產 30~50 年。檳榔果實含有多種植物鹼，(江瑞湖, 1995；陳紹光, 1995)，咀嚼檳榔有禦寒、提振精神、助消化和去除口臭之功能，為南北奔波的卡車司機與計程車司機或是夜貓族所喜愛。

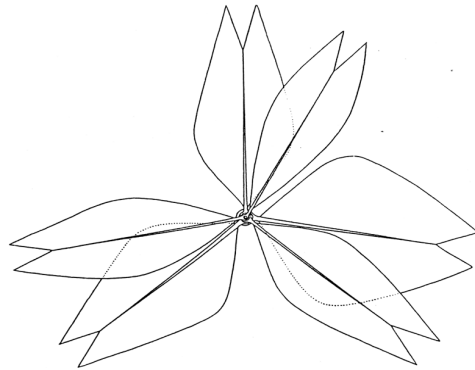


圖 1. 檳榔樹冠投影

Fig. 1. Canopy orthography of betel nut tree

檳榔產期，自每年 5 月屏東地區 3~4 分熟早花檳榔搶割上市後開始，各地檳榔才由南到北次第生產上市，然後遞減至翌年 4 月結束生產。海拔高 500 m 以上檳榔產區，每年 10 月才開始生產，一直到次年 1~5 月仍為盛產期。海拔高、溫度低，檳榔生長緩慢，果實成熟較晚，留在花穗時間較能耐久之故。有心人看準檳榔此一習性，大面積開發山坡地為檳榔園，以獲取晚期檳榔產量低時之厚利。

檳榔根系為團網型之不定鬚根，由微管束鞘分化而成，鬚根直徑約 2~3 mm，主要作用在吸收養份與水份，鬚根系以 30~40 度角向下扎入土層，大部份分佈在 50 cm 的表土內如，若土壤乾燥、立地條件不好，鬚根可向下深入 1~2 m 深，側向兩旁也能延伸長達 2 m 左右，除吸收地表水，並兼具有支撐樹體之功效，若環境濕潤或在基部培土，最下部節上會抽出大量的氣根及支持根，直徑約 0.8~1.2 cm。

IV、檳榔栽植管理

檳榔用種子播種繁殖，容易雜交，變種極多，影響日後植株生長、結果之品質、產量與結果時間。檳榔育苗時苗床應選在陽光充足，排水良好，土壤疏鬆肥沃處，以行株距 15~20 cm 播種，經覆土、蓋草後，並作澆水及防虫工作；檳榔育苗期可長達 2~3 年，其間要經過移植一次，以促進發育，當苗高 70~80 cm 時，方進行定植。

檳榔園採全園栽植，雨季前完成定植整地，挖定植穴長寬 60 cm 見方，深 45 cm，施放基肥回填表土（陳榮明，1989）。初夏雨季以 2~3 m 行株距定植，每公

頃種植數約 1,200~3,000 株，種植太密，光照不足，影響日後產量。定植後頭三年以殘株覆蓋，蔭蔽檳榔基部，生長期以草類植生覆蓋，或間作有經濟價值的作物。除草是檳榔幼齡期之重要工作，定植後第 1 年除草 4 次，以鏟除植株周圍雜草，避免蔓藤纏繞及競爭養分，栽植後每年施用有機肥料，以雞糞、稻殼為多。

V、檳榔園水文循環特性

降雨時，雨水藉由林木之葉、枝、樹幹表面、枯枝落葉層、土壤表面、灌木叢、土層中根群分布層 (root zone)、底土 (subsoil) 的空間分佈貯存，再經由土壤水份之移動及地表水、中間水、地下水之流出，然後蒸發重返大氣；聯結各部分水份動態的變化，包括降雨、截留、滲透、土壤水份儲蓄及移動，此一經由水文過程聯結的連續水分移動即所謂的水文循環 (hydrologic cycle) 如圖 2。

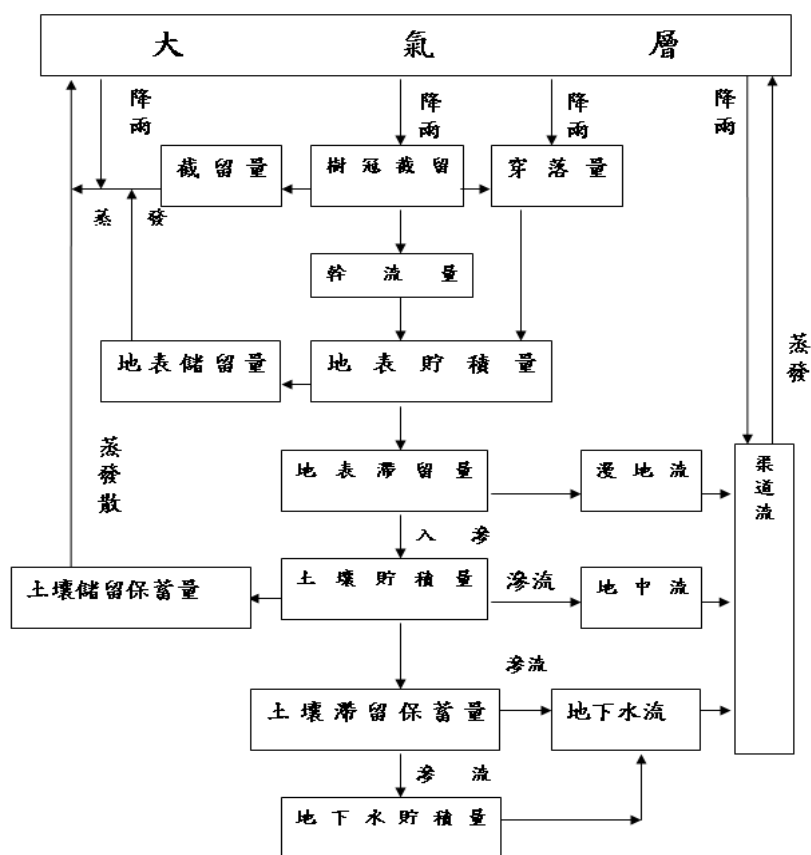


圖 2. 森林集水區的水文循環

Fig. 2. Hydrologic cycle on forest watershed

檳榔的樹冠為漏斗型、形狀固定而疏散；降雨時，穿落雨量很大，佔年雨量之 72 %；羽狀複葉具摺皺與葉面有葛質，雨滴停留在檳榔葉面上之量很少，檳榔樹冠的貯積雨量為 1.09 mm (林壯沛，2002)，截留蒸發量佔年降雨量 6.3 %，森林佔 8~24 %；葉面上的雨水匯集後沿葉梢掉落地面，增加雨水對地面打擊；一部份因葉面摺皺匯集，經由葉柄沿幹莖順流而下成為幹流，檳榔幹流量相當可觀 (林壯沛，1995；吳輝龍等，1997)，佔 21.7 %，樹冠截留蒸發量大時，落到地面的淨雨量小，反之則淨雨量大，樹冠截留蒸發量與幹流量對淨雨量有互補關係，檳榔園淨雨量比森林大，如表 2。

表 2. 不同林份穿落量、幹流量與截留量之雨量分配

Table 2. Percentages of throughfall, stemflow and interception for different vegetation covers

項 目	林 份 別								
	臺灣櫟*	闊葉林*	大葉桉*	杉木林*	肖南林*	相思樹**	馬尾松**	杉木林**	檳榔***
穿落量%	90.87	85.92	88.96	84.80	80.86	69.11	77.33	73.38	71.99
幹流量%	1.41	1.67	3.30	0.83	9.09	14.37	7.68	3.03	21.71
截留量%	7.72	12.41	7.74	14.22	10.05	16.52	14.99	23.59	6.30
Total %	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*潘家聲 1966、1974、1974a、1974b、1976 資料

**周 恆、江永哲 (1966)

***林壯沛 (2002)

土壤總體密度 (bulk density) 隨土壤深度增加而增加，土壤有機質含量與孔隙率比則隨土壤深度增加而減少。孔隙量越多，土壤可以滲透與貯積的水量就越多；有機質含量能夠吸收水量為其本身重量之 2~3 倍，增加土壤水滲透的機會，影響土壤水份貯積量。山坡地大面積開挖整地，栽植檳榔取代森林，擾動土壤，嚴重破壞土壤結構，致土壤質地密緻，有機質流失、土壤孔隙大量減少，影響土壤水份之貯積與移動，原有森林的的理水機能很快跟著減低。從蓮華池不同覆蓋地的土壤性質採樣分析如表 3，明顯看出森林之土壤有機質含量與孔隙率比其他覆蓋地為佳，新植檳榔園比砍伐跡地與成齡檳榔園好。新植檳榔園初期還有森林土壤的

特性，隨著時間增加，土壤孔隙填塞，孔隙率減少，土壤密實，致總體密度增加，有機質含量分解快速，補充量少，減少地表水滯留量，不利於土壤入滲與水份之貯積，坡地栽植檳榔對土壤水分之貯積可說是負面的影響。

表 3. 蓮華池地區不同覆蓋地之土壤質地分析

Table 3. Soil texture characteristics of different covers

調查地區	土壤深度* (cm)	土 壤 性 質			
		土壤質地	總體密度(g/cm ³)	有機質含量(%)	孔隙率(%)
成齡檳榔園	0		1.19	3.30	55.09
	30	坊質壤土	1.43	1.91	46.04
	60		1.50	0.96	43.40
新植檳榔園	0		1.00	5.18	52.26
	30	坊質壤土	1.22	2.16	53.96
	60		1.24	1.56	53.21
砍伐跡地	0		1.16	4.22	55.92
	30	坊質壤土	1.26	2.20	52.15
	60		1.33	1.84	50.84
天然闊葉林	0		0.63	10.85	74.49
	30	坊質壤土	1.04	2.16	60.42
	60		1.21	1.78	54.84

*土壤取樣以取樣罐打入土壤之上層蓋為起算深度

降雨時期，落到地面的淨雨量大部份滲入土壤，有多餘水量才產生地表逕流，地表逕流與土壤滲透容量有密切關係。土壤孔隙大小影響土壤滲透率，孔隙量多寡影響土壤貯積水量。初植檳榔園有森林土壤的特性，比成齡檳榔園佳，隨時間增加，孔隙填塞，土壤密實，導水性減低。根據蓮華池地區之土壤滲透試驗表 4，天然闊葉林最終入滲率為 64 cm/hr，其次為新植檳榔園、砍伐跡地之 16.8 cm/hr、14.4 cm/hr，成齡檳榔園之最終入滲率最少為 8.4 cm/hr，不利土壤入滲與水份貯積。

表 4. 檳榔園與林地之土壤入滲

Table 4. Observed infiltration capacity values of betel nut plantation and forest cover

地面覆蓋	初滲透率(cm/hr)	終滲透率(cm/hr)	何登氏推估式
新植檳榔園	84.0	16.8	$f_t=16.8+(84.0-16.8)e^{-1.73t}$
成齡檳榔園	126.0	8.4	$f_t=8.4+(126.0-8.4)e^{-2.01t}$
天然闊葉林	109.4	64.0	$f_t=64.0+(109.4-64.0)e^{-0.67t}$
砍伐跡地	38.7	14.4	$f_t=16.8+(38.7-14.4)e^{-0.81t}$

地中水移動與地下水補助為坡地檳榔園水源涵養評估的重要因子，地中水量受檳榔園土壤滲透能大小而決定，影響地下水補注。降雨時，大部分降下的水量入滲於土壤中，做為土壤儲蓄保留 (retention storage) 提供檳榔園蒸發與蒸散之用，一部份則滯留保蓄 (detention storage) 在土壤中，或滲漏入地下水位，成為溪流的基流量。事實上，這兩樣水量在土壤中不易區分，以蓮華池滲漏計對不同處理覆蓋區之降雨與流出量觀測，假設滲漏計底層流出的水量為地下補注量，這些底層流出量必須為滯留保蓄量，以降雨量扣除地表逕流量及滯留保蓄量來反推，估算土壤儲蓄保留量，有助於瞭解坡地檳榔園水循環地中水的移動與地下水的補注。

選取蓮華池土壤入滲計三場降雨事件如表 5，地表逕流高峰均發生在雨量集中之後，集流時間很短未超過 6 分鐘。地表逕流高峰過後 20 分鐘中層流出量高峰產生，此時檳榔區中層之高峰流出時間比杉木區快。地表逕流高峰過後 40~50 分鐘接著為底層流出量的高峰，底層流出量受降雨強度的影響很小，流出量的變化均較平滑，受土壤導水度、粗孔隙量、含水量等因子的物理性質影響較大。

小雨量為 14.5 mm 時，因夏日蒸發散量大，臨前降雨量少，滲漏計試區土壤乾燥，土壤入滲率大，滲漏快速，土壤尚未飽和，雨勢即停止，檳榔區、草生區及杉木區之表層流出量都很小，中底層流出量，包括中層及底層流出量，僅佔降雨量之 3.5 %、5.6 %、2.2 %，扣除地表逕流與中底層流出量，為土壤吸收的水量分別為 91.4 %、85.6 %、96 %，絕大部分水量都儲蓄在土壤層中。

中雨量為 22.5 mm 時，地表及中層流出量仍少，底層流出量增加，佔全部流出量之多數，中底層流出率增加分別為 22.3 %、21.1 %及 22.0 %，三個試區之中

底層流出量大致相當。因為中層流出量都很小，顯示土壤滲漏持續在進行。降雨量扣除全部流出量，分別有 70.8 %、56.4 %及 76.3 %之降雨量暫時貯積在土壤中，貯積的水量仍超過一半以上。杉木區因蒸發散量大，耗用水量多，能儲存的水量比檳榔區多，這種情形學者認為降雨初期，森林較能涵蓄水源，調節流量，不同於一般土地利用。可以從檳榔區之地表逕流增加，而杉木區之地表逕流未隨著增加，得到證明。

大雨量為 41.0 mm 時，表層、中層、底層流出量均增加，以底層流出量增加的幅度最大，杉木區底層之流出率比檳榔區大，表層、中層流出率則比檳榔區小。各區之中底層流出率分別為 52.5 %、73.5 %及 65.4 %，顯示杉木區及草生區的導水度與滲漏能力均大於檳榔區。全部流出量的比率，檳榔區為 59.8 %，草生區為 86.6%及杉木區為 67.1 %，剩餘留在土壤中的水量為儲留保蓄量，一般認為土壤儲留保蓄量都是提供植物吸收做為蒸發散之用，檳榔區為 40.2 %，草生區為 13.4 %及杉木區為 32.9 %。檳榔區土壤含水量逐漸飽和，滲漏速度減緩，貯積在土壤中的水量增大，中層流出量隨著增加。土壤孔隙填滿水分，無多餘空間儲存額外水量，土壤勢能降低，入滲能減少，繼續降下之雨量都以地表逕流方式流出，成為增加地表逕流量。杉木區因土壤尚未飽和，土壤勢能高，滲透能大，滲漏快，地表及中層逕流量很小，比檳榔區少，底層流出量則較大，且大於檳榔區很多，較能涵養水源，相對的檳榔區對涵養水源功能不如林地，地表逕流量大，較易產生地表沖蝕。

表 5. 土壤滲漏計不同處理區之降雨與流出量份析

Table 5. Outflows of different treatments at lysimeter study sites

雨量 (mm)	檳榔區(mm)			草生地(mm)			杉木區(mm)		
	表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層
14.5	0.75	0.18	0.31	1.27	0.22	0.60	0.26	0.31	0.01
	5.1%	1.3%	2.2%	8.8%	1.5%	4.1%	1.8%	2.1%	0.1%
22.5	1.54	0.27	4.75	5.05	0.66	4.10	0.39	0.47	4.47
	6.9%	1.2%	21.1%	22.5%	2.9%	18.2%	1.7%	2.1%	19.9%
41.0	2.98	4.12	17.38	5.38	2.46	27.66	0.69	1.74	25.03
	7.3%	10.1%	42.4%	13.1%	6.0	67.5%	1.7%	4.3%	61.1%

VI、檳榔園之水土流失情形

地表逕流決定於降雨量、樹冠截留量、落至地面淨雨量及土壤入滲容量的大小，有多餘的水量才形成地表逕流，有時飽和土壤水從地中滲流出來亦會增加地表逕流量。檳榔與一般林木、果樹的差異，在檳榔樹冠疏散，葉面有葛質與摺痕，檳榔樹冠截留的水量不易貯積，樹冠截留量小，落至地面的淨雨量反而比一般林地大。坡地栽植檳榔後，檳榔園土壤性質改變，森林土壤的特性逐漸消失，土壤孔隙填塞，土壤變為密實，導水性不佳，土壤入滲率降低為 8.4 cm/hr，比同地區林地之 64 cm/hr 小很多。同樣的降雨條件，檳榔園土壤水份會比林地較快達到飽和，產生地表流量。

根據蓮華池滲漏計杉木林區、草生地、檳榔區之降雨逕流觀測，收集 1992 年 4 月~1992 年 9 月共 27 場降雨事件的降雨逕流資料，單場降雨量介於 6.5 mm~320.5 mm。以逕流量對降雨量作直線迴歸分析， r^2 係數達 0.95 以上，結果均達極相關，顯示降雨量與地表逕流量有線性關係，其關係式如圖 3 中所示。各處理區斜率檳榔區為 0.2371、草生區為 0.1236、杉木區為 0.0199。若增加 1 mm 雨量增量，地表逕流量之增量檳榔區為 0.237 mm，草生區為 0.124 mm，杉木區為 0.020 mm，顯然檳榔區產生的地表逕流量增量，比草生地、杉木區大。統計 27 場降雨之總降雨量為 1,674 mm，檳榔區就有逕流量 287.6 mm，逕流率為 17.2%，草生地為 161.6 mm 及 9.7%，杉木區最小為 27.8 mm 及 1.7%。檳榔區的地表逕流為杉木區的 10.4 倍，草生地的 1.8 倍，三者之逕流比約為 10.4 : 5.8 : 1；顯示杉木林區、草生區、檳榔區產生的地表逕流量，檳榔區>草生地>杉木林區，主要原因是由於水循環各項水文因子與土壤性質的改變而引起，這樣的分析結果，印證前文討論的檳榔園降雨逕流特性。

土壤沖蝕為土粒脫離地表，移動到河槽的過程。由於坡面上的逕流水受重力作用沿坡面向下流動，產生推移力與摩擦阻力，若推移力大過摩擦阻力，土壤顆粒被地表水流帶走，隨地表逕流而在地面漫流，通常地表逕流都是速度緩慢，所攜帶的土壤顆粒多半為土壤結構鬆散，粒徑較細之土粒。坡地之地表逕流受重力作用，會加速沖蝕，有地被覆蓋作物會比裸露處沖蝕小。一般森林地沖蝕較少，除了樹冠與地被層保護外，地表逕流很少發生是主要原因。不同地被覆蓋地表逕流量不一樣，減緩沖蝕程度亦不同，通常認為地表逕流是影響沖蝕量的主要因素。

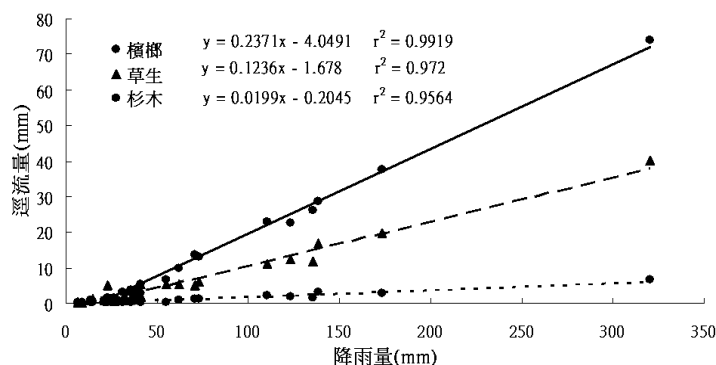


圖 3. 檳榔區、草地區及杉木區之降雨逕流關係

Fig. 3. Relationship between rainfall and runoff for betel nut plantation, grass cover and China fir plantation

根據蓮華池滲漏計杉木、草生及檳榔區之土壤流失量觀測，分析 27 場降雨事件的土壤流失量，作不同覆蓋以沖蝕量對降雨量作曲線迴歸分析， r^2 係數達 0.78，有顯著相關，顯示降雨量與沖蝕量有曲線關係，曲線關係式如圖 4，得知檳榔的作物因子與降雨因子為 0.078 與 1.72，草生地為 0.11 與 57 及杉木區為 0.025 與 1.47。沖蝕量與降雨量為指數關係，降雨因子越大沖蝕增加量越大，故檳榔區產生的沖蝕量，比草生地、杉木區之沖蝕量大，降雨因子反應不同覆蓋地土壤的沖蝕特性統計 27 次降雨事件各覆蓋區的總土壤流失量，檳榔區為 4.2 kg、草生地為 3.0 kg、杉木區為 0.4 kg，換算成年平均沖蝕量分別為 1.125、0.797、0.11 ton/ha，檳榔區的土壤流失量為杉木區的 10.2 倍，草生地的 1.4 倍，三者之土壤流失量比約為 10.2:7.2:1。

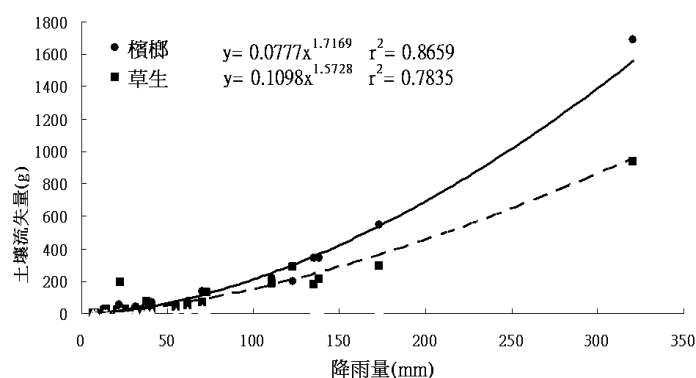


圖 4. 檳榔區、草地區及杉木區降雨與土壤流失關係

Fig. 4. Relationship between rainfall and erosion amounts for betel nut plantation, grassland and China fir plantation

VII、檳榔園之水土控制試驗

地面之覆蓋與敷蓋，亦是影響地表逕流沖蝕的重要因素，覆蓋與敷蓋增加地表粗糙度，減緩流速，降低表面逕流產生的推移力，能防止沖蝕繼續發生。根據林俐玲等（2001）對試驗區之土壤採樣分析，植生覆蓋與敷蓋能提供大量有機質而使土壤有機質含量增高，改變土壤結構，促使土壤非毛細孔隙（non-capillary pores），也就是大孔隙（macro pores）增加，水力傳導度提高，延長地表水滯留的時間，有助於地表的入滲機會與入滲量，減少逕流與土壤沖蝕，應用在坡地檳榔園，會有很好的效果。

蓮華池坡地檳榔園不同水土保持試區，2000年5、6月收集到24次降雨逕流量資料分析，單場降雨量介於1.5 mm~26.0 mm，總觀測雨量為368.0 mm。以逕流量對降雨量作直線迴歸分析， r^2 係數達0.71，結果均達相關，顯示降雨量與地表逕流量有線性關係，各處理區之降雨逕流關係式如圖5所示。

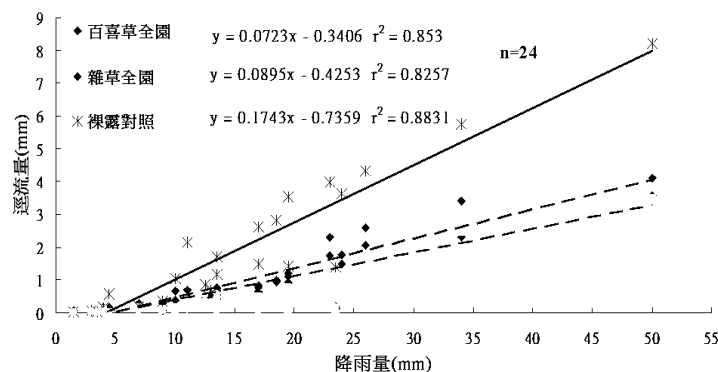


圖 5. 檳榔園不同水土保持處理之降雨逕流關係

Fig. 5. Relationship between rainfall and runoff for different soil conservation treatments

1 mm 之降雨增加量，產生的地表逕流之增加量，以杉木人工林區之 0.029 mm 增量最少，其次為百喜草山邊溝區 0.0434 mm，再依序為雜草山邊溝 0.0686 mm、百喜草全園 0.0723 mm、雜草全園 0.0895 mm，裸露對照區 0.1743 mm 增加量最大，顯示，檳榔園做水土保持處理後，百喜草全園區、百喜草山邊溝區、雜草全園區、雜草山邊溝區、杉木人工林區與裸露對照區，在相同的降雨條件下，產生地表逕流量並不相同。統計各處理區之總逕流量分別為 7.6、10.6、14.5、19.2、23.6、48.2mm，逕流量佔降雨量百分比率分別為 2.1、2.9、4.0、5.2、6.4、13.1%，若以

裸露對照區之逕流量為準，則各處理區的逕流比率關係為 0.16 : 0.22 : 0.30 : 0.40 : 0.49 : 1。

綜合以上統計的分析，印證林俐玲、蔡義誌、杜德怡（2001）對陡坡地茶園六種不同水土保持處理，探討其水土流失情形和土壤之理化性質。處理區包括平台階段植生覆蓋、平台階段草生栽培、平台階段枯草敷蓋、平台階段台面淨耕、山邊溝三角栽植及裸露對照。結果顯示，平台階段植生覆蓋能有效的控制陡坡茶園之水土流失，其年平均逕流率僅 0.021，為裸露對照區之 5 %；而年平均土壤流失量為 0.263 ton/ha，僅為裸露對照之千分之五。不同的水土保持處理方法亦影響土壤之理化性質，平台階段植生覆蓋能明顯的提高土壤有機質含量、幾何平均粒徑和飽和水力傳導度。山坡地栽植檳榔而無水土保持措施，產生地表逕沖蝕量會最大，坡地檳榔園做植生覆蓋及山邊溝處理，地表逕量可減少 50 %~66 %，山坡地輔導栽植杉木林，地表逕流會減到最小 84 %。

VIII、 結論

森林具有多層的樹冠、茂密的灌叢、深厚的枯枝落葉層、錯綜複雜的根系群，空間分配不同於其他土地利用形式，加上森林土壤、微生物、動植物形成森林生態體系，相互影響。從降雨落到地面，到流出集水區，森林對截留、蒸發、幹流、土壤之儲蓄移動及地下水之補注，減少土壤沖蝕、保護水質、調節流量，都扮演重要的角色，這些機能是其他土地利用所不能比擬的。

檳榔的樹冠由巨大的羽葉組成，葉面有葛質與摺皺，雨水不易貯積，量測貯積量僅為 1.09mm，樹冠截留量約為為降雨量之 6.3%，穿落量為 72.0%，兩者皆比林地小，截留的水量大部份成為幹流量佔 21.7%，比林地大很多，降雨量扣除截留量，檳榔園的淨雨量比林地大。初植檳榔園土壤入滲率為 16.8cm/hr，還有森林土壤的特性，比成齡檳榔園佳，隨土壤孔隙填塞，土壤密實，導水性減低，土壤入滲率降為 8.4cm/hr。土壤飽和時，檳榔區的土壤滯留保蓄量為降雨量之 42.4%、草生區為 67.5%、杉木區為 61.1%，是溪流基流量的主要來源；儲蓄保蓄量檳榔區為 40.2%、草生區為 13.4%、杉木區為 32.9%，為植物吸收供蒸發散之用；地表與地中流出量檳榔區為 17.4%、草生區為 19.1%、杉木區為 6.0%，為暴雨流量的主要成份；顯示檳榔園水循環各項因子的水文特性比林地差，對水源涵養有負面影響。

蓮華池地區滲漏計觀測 27 場降雨，總量為 1674 mm，檳榔區逕流量最大為 287.6 mm，草生地次之為 161.6 mm，杉木區最小為 27.8 mm，三者逕流比為 10.4 : 5.8 : 1。年平均土壤沖蝕量分別為 1.125、0.797、0.11 ton/ha，土壤流失量比為 10.2 : 7.2 : 1，顯示檳榔區逕流量及土壤流失量均大於杉木區。坡地檳榔園不同水土保持試區之降雨逕流分析，總降雨量為 368 mm，檳榔的處理區有百喜草全園覆蓋區、百喜草覆蓋及山邊溝區、雜草覆蓋區、雜草覆蓋及山邊溝區、裸露對照區、杉木造林區，逕流量分別為 19.2、10.6、23.6、14.5、48.2、7.6 mm，以裸露對照區之逕流量為準，所有處理區的逕流比率為 0.40 : 0.22 : 0.49 : 0.30 : 1 : 0.16。坡地檳榔園全園植生覆蓋，會減少地表逕流量 50%，植生覆蓋加上山邊溝處理，地表逕流量可以減少 66%。

檳榔為園藝作物，不是造林樹種，林地不適合栽植，尤其是超限利用地更是絕對禁止。超限利用地宜採漸近式，避免二次災害，以混農林方式，限期完成造林。同時積極輔導宜農林地轉作，鼓勵造林，推廣水土保持，配合實務觀摩坡地檳榔園栽植百喜草、雜草覆蓋、山邊溝等水土保持處理，並參酌目前台大、中興、屏科大、台電、林試所等都有相關研究計畫執行成果，作為推行之依據。

IX、謝誌

本文坡地檳榔園不同水土保持試驗承蒙農委會計畫經費支援，觀測資料收集獲本所蓮華池研究中心同仁傅昭憲、石敬萬、邱之偉、王德華協助，及本組盧惠生、黃良鑫、傅鶴翹等參與執行，在此表示感謝致意。

X、參考文獻

- 王新傳（1979）台灣坡地土壤沖蝕性。中華農學會報。39-42 頁。
- 台灣電子農業年報（2006）行政院農業委員會。
- 江瑞湖（1995）檳榔與相關植物。科學月刊 26(9):729-730。
- 林壯沛（1992）山坡地栽植檳榔之水土流失問題探討。高爾夫球場與檳榔園對水土保持之衝擊專題研討會論文集。56-66 頁。
- 林壯沛（1995）山地栽植檳榔對水土保持之影響。臺灣水土保持 11:10-14。
- 林壯沛（1995）坡地栽植檳榔對水土流失之探討。林業試驗所簡訊 11~13 頁。

- 林壯沛（1995）山坡地栽植檳榔的水土流失問題探討。科學月刊 26(9):738-746。
- 林壯沛（1996）台灣環保之癌--檳榔蝕光台灣老本。申齊健康觀念雜誌 83:79-81。
- 林壯沛（1997）坡地栽植檳榔對水土流失之影響。臺灣省林業試驗所推廣摺頁第 012 號。
- 林壯沛（1999）栽植檳榔衍生問題之探討。水土保持研究(6)3:130-138。
- 林壯沛（2002）坡地栽植檳榔對臺灣中部山區集水區水文特性影響之研究。國立中興大學水土保持研究所博士論文。
- 林俐玲、蔡義誌、杜怡德（2001）陡坡茶園之水土流失控制之研究。水土保持學報 33(1):15-24。
- 吳輝龍、張文紹、吳嘉俊、徐森雄（1997）檳榔樹冠對降雨沖蝕能量之影響。中華水土保持學報 28 (1):33-46。
- 黃俊德（1989）臺灣降雨沖蝕指數之研究。中華水土保持學報(10)1:1-11。
- 黃萬傳、潘添進、鍾震東（1991）台灣檳榔產業之經濟分析。屏東農專學報 32:213-229。
- 陳紹光（1995）檳榔的生物鹼成份。科學月刊 26(9):731-733。
- 陳榮明（1989）檳榔·胡椒·椰子栽培法。文笙書局。1-65 頁。
- 陳信雄（1994）檳榔亡國論-臺灣水資源的另一殺手。水資源研討會。5-1~5-5 頁。
- 廖日京（1990）檳榔。台大實驗林研究報告(4):109-117。
- 靳應台（1995）檳榔與口腔病變。科學月刊 26(9):734-737。
- 傅祖傳、黃萬傳（1998）檳榔之產銷及消費分析。檳榔問題研討會。1-25 頁。
- 潘家聲（1966）天然闊葉樹林分樹冠對於降雨截留量之關係試驗。林試所試驗報告 131:20。
- 潘家聲（1974）大葉桉林分樹冠對於降雨截留量之關係試驗。林試所試驗報告 253:8。
- 潘家聲（1974a）尚南不同株行距林分樹冠對於降雨截留量之關係試驗。林試所試驗報告 256:11。
- 潘家聲（1974b）杉木不同疏伐度林分樹冠對於降雨截留量之關係試驗。林試所試驗報告 255:12。
- 潘家聲（1976）尚南不同修枝度林分樹冠對於降雨截留量之關係試驗。林試所試驗報告 274:11。
- 薛 玲（1991）台灣地區檳榔產銷問題之研究。農業金融論叢 25: 131-192。