

颱風干擾對天然闊葉林與檳榔園 穿落雨空間分佈特性之影響

盧惠生⁽¹⁾ 林壯沛⁽²⁾ 黃良鑫⁽²⁾ 林介龍⁽²⁾ 周玉奇⁽³⁾

摘 要

穿落雨空間分佈的變異特性，影響逕流過程與流徑，造成樹冠內穿落雨量測、計算及地表逕流推估的誤差。本研究於南投縣魚池鄉蓮華池分所的天然闊葉林、檳榔園及空曠地建立試區，每個試區設置 81 個簡易雨量筒，量測穿落雨空間分佈特性。顯示以承雨口直徑 11.8cm 之簡易雨量筒量測穿落雨時，颱風干擾前期穿落雨的空間分佈平均變異係數，檳榔園(0.75)最大，天然闊葉林(0.23)次之，空曠地極小(0.006)，颱風干擾後期穿落雨的空間分佈平均變異係數，檳榔園(0.81)最大，天然闊葉林(0.25)次之，空曠地極小(0.015)。不論颱風干擾前、後期穿落雨空間分佈，天然闊葉林及檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂而不均，但檳榔園穿落雨的空間分佈比天然闊葉林穿落雨的空間分佈更為不均，其與樹冠密度的關係並不明顯，空曠地降雨空間分佈甚為均勻。檳榔園與天然闊葉林穿落雨的標準偏差具有比例效應，且檳榔園穿落雨的比例效應大於天然闊葉林，比例效應愈大，量測可靠性減小，致檳榔園穿落雨量測困難度甚高。但如僅知穿落雨空間分佈的平均值，則可由穿落雨的平均值與林外雨量的關係式推估。颱風干擾影響天然闊葉林與檳榔園的樹冠密度與分佈，但對穿落雨量影響不大。以 11.8cm 承雨口徑量測穿落雨，天然闊葉林的穿落雨約 91.5%，檳榔園的穿落雨約 54.5%。降雨量小於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 84.4%，檳榔園的穿落雨約 52.7%。降雨量大於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 92.8%，檳榔園的穿落雨約 54.9%。

(關鍵詞：穿落雨、檳榔、天然闊葉林、颱風干擾)

Effects of Typhoon Disturbance on Spatial Distribution Characteristics of Throughfall in a Natural Hardwood Forest and Betel Palm Plantation

Hui-sheng Lu

Senior Scientist and Head, Division of Watershed Management,
Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, 100 Taiwan, R.O.C.

Jaung-pei Lin, Liang-shin Hwang, Chieh-lung Lin

Assistant Scientists, Division of Watershed Management, Taiwan
Forestry Research Institute, Taipei, 100 Taiwan, R.O.C.

(1) 農業委員會林業試驗所集水區經營組研究員兼組長

(2) 農業委員會林業試驗所集水區經營組助理研究員

(3) 農業委員會林業試驗所集水區經營組助理

Yu-chi Chow

Assistant, Division of Watershed Management, Taiwan

Forestry Research Institute, Taipei, 100 Taiwan, R.O.C.

Abstract

Spatial distribution and variation of throughfall affect runoff processes and paths. In addition, measuring and calculating errors of throughfall and estimating bias of surface runoff were also caused by spatial variation of throughfall. Throughfall plots in a natural hardwood forest, betel palm plantation and open area in central Taiwan were established in this study. Each plot contained 81 simple throughfall gages with an orifice diameter of 11.8 cm to measure spatial distribution of throughfall. The average coefficients of variation of throughfall in a betel palm plantation, natural hardwood forest and open area before typhoon disturbance period were 0.75, 0.23 and 0.006, respectively. The average coefficients of variation of throughfall in a betel palm plantation, natural hardwood forest and open area after typhoon disturbance period were 0.81, 0.25 and 0.015, respectively. Spatial distributions of throughfall for both betel palm plantation and natural hardwood forest were rather uneven during pre- and post-typhoon disturbance periods. But the spatial distribution of throughfall was more uneven in the betel palm plantation than in the natural hardwood forest. There were no clear relationships between spatial distribution of throughfall and canopy density of tree for both betel palm plantation and natural hardwood forest during pre- and post-typhoon disturbance periods. The spatial distribution of rainfall of open area was rather even. Standard errors of throughfall in the betel palm plantation and natural hardwood forest showed proportional effects with their means. The proportional effect of betel palm plantation was larger than that of natural hardwood forest. It was very difficult to measure throughfall accurately due to larger proportional effect of betel palm plantation. The means of spatial distribution of throughfall in the betel palm plantation and natural hardwood forest could be estimated from rainfall in the open area using regression equations. Although the effect of typhoon disturbance could change canopy density and distribution of betel palm plantation and natural hardwood forest, their average throughfall amount couldn't be affected. Based on average of throughfall for gages with an orifice diameter of 11.8 cm during pre- and post-typhoon periods, throughfall amounts in the natural hardwood forest and betel palm plantation were 91.5% and 54.5%, respectively, and those for rainfall less than 100 mm were 84.4% and 52.7%, respectively, and those for rainfall greater than 100 mm were 92.8% and 54.9%, respectively, of the amount falling on the open area.

(**Keywords:** throughfall, betel palm, natural hardwood forest, typhoon disturbance)

前言

林木與果樹的穿落雨受到樹冠的影響，

空間分佈極為不均，而穿落雨至地表後，經過土壤入滲、土壤涵蓄及地表滯留等過程，才以不同的逕流型態流出。樹冠內穿落雨空

間分佈的變異，不但影響逕流過程與流徑，亦造成樹冠內穿落雨量測與計算及坡地逕流推估的誤差。

穿落雨量測起步甚早，Rothacher(1963)於美國西北部進行花旗松穿落雨觀測，林分密度甚高的老齡林花旗松，穿落雨約為雨量的 75 % - 92 % 間，雨量愈大，穿落雨佔雨量的比率愈大，當雨量超過 200mm 以上時，穿落雨可達雨量的 96 %。Helvey and Patric(1965)於美國東部進行的穿落雨觀測，獲悉天然闊葉林的穿落雨約為雨量的 90 %。Collings(1966)調查林地夏季雷雨的穿落雨特性，得悉穿落雨的分佈與距離樹幹的遠近與方向有關，樹葉寬闊的樹種其穿落雨量比樹葉細窄的樹種為少。Eschner(1966)觀測孤立樹穿落雨分佈特性，發現樹冠中心的穿落雨比樹冠邊緣為少。Rogerson and Byrnes(1968)觀測天然闊葉林與紅松人工林穿落雨量的差異，發現兩者的穿落雨約為降雨量的 90 %，差異不顯著。然而 Rogerson(1968)另外於 loblolly 松人工林探討疏伐對穿落雨量之影響，發現疏伐增加穿落雨量。Orr(1972)進行黃松穿落雨觀測，獲知黃松的穿落雨量約為降雨量的 85 % - 90 % 間。Mahendrappa and Kingston(1982)於不同針葉林與闊葉林設置穿落雨試區，採用標準雨量筒與較小口徑雨量筒量測穿落雨，得悉採用較小口徑雨量筒量測穿落雨，亦能可靠的量測穿落雨，且簡單直線迴歸式足夠有效的由雨量推估穿落雨量。Schmid et al.(1991)調查松林受到甲蟲為害後對穿落雨量的影響，發現受到甲蟲為害的松林與建康的松林其穿落雨量差異不顯著。

有關降雨空間分佈的探討起步稍微較晚，直到 Huff(1970)探討不同降雨強度的空間分佈。而 Molnau et al.(1980)從事山區雨量站空間分佈的疏密特性與面積雨量計算的可靠性探討。Roth and Chang(1981)探討林分穿落雨量測方法。Bastin et al.(1984)獲悉計算面積雨量時，降雨空間分佈的影響極為重要。

Lloyd and Magues(1988)認為線形隨機置換穿落雨量測空間分佈樣點，可增加穿落雨量測的可靠性。近年來以地域統計方法分析降雨的空間變異亦已逐漸成熟(Dingman et al. 1988; Isaaks and Srivastava 1989, 鄭 1993)。Lin et al.(1997)於台灣東北部福山亞熱帶雨林的穿落雨試區，得悉穿落雨空間變異甚大，每場降雨事件穿落雨量測誤差小於 10% 時，約需 20 個取樣值。Rodrigo and Avila(2001)量測橡木林穿落雨，認知穿落雨量測誤差小於 10% 時，約需 9-11 個取樣值，誤差小於 5% 時，約需 22-23 個取樣值。Gomez et al.(2002)得悉暴雨量大時橄欖樹的穿落雨空間分佈型式較為一致，暴雨量小時其穿落雨空間分佈零亂不一。

穿落雨的觀測方法、佔雨量的比率及空間分佈特性已獲得不少成果，然颱風干擾作用的穿落雨空間分佈特性較少涉及，另外台灣山坡地開墾不少檳榔園，檳榔園穿落雨的特性亦亟待積極瞭解。本研究乃於南投縣魚池鄉蓮華池分所天然闊葉林、檳榔及空曠地，設置穿落雨空間分佈試區，量測並探討颱風干擾前後穿落雨的空間分佈特性，同時建立颱風干擾前後以雨量推估天然闊葉林與檳榔園穿落雨的推估式。

材料與方法

1. 蓮華池試驗地概況

蓮華池試驗地位於南投縣魚池鄉，依據歷年來蓮華池分所氣象站觀測資料分析，全年平均降雨量 2181.3mm，3 月至 9 月的月平均降雨量超過 100mm，佔全年降雨量的 89.3 %，10 月至翌年 2 月的月平均降雨量少於 100mm，佔全年降雨量的 10.7 %，6 小時最大降雨量 405mm，12 小時最大降雨量 631mm，1 日最大降雨量 713mm，3 日最大降雨量 808mm，年平均氣溫 20.8 °C，年平均蒸發量 1032.9mm，年

平均相對濕度 85.6 % (陸 1997, 盧 1999)。地質為新生代北部第三紀砂岩與頁岩構成，土壤為趨紅化作用的黃壤，植生型態為天然闊葉林夾雜不同針闊葉樹種人工造林地，天然闊葉林以樟科與殼斗科為主(葛等 1978)，鄰近有局部私有地種植檳榔。

2. 穿落雨試區量測設計

於蓮華池天然闊葉林、檳榔園及空曠地各設置穿落雨量測試區，試區形狀為 $16 \times 16 \text{ m}^2$ 正方形，面積 324 m^2 ，其相關位置，空曠地穿落雨試區居中，天然闊葉林穿落雨試區在空曠地穿落雨試區北向距離 150 m，檳榔園穿落雨試區在空曠地穿落雨試區南向距離 300 m。每個試區內均勻設置 81 個雨量筒，承雨口為圓形漏斗型，漏斗底端插入儲水塑膠筒的開孔甚小，使蒸發損失儘可能減少到極小，雨量筒的儲水體積為 4 公升的圓筒狀白色塑膠筒，採用直徑 11.8cm 的圓形漏斗為承雨口，俾便量測雨量超過 100mm 以上的穿落雨量。雨量筒的行列距間隔 2m，形成 9×9 正方形矩陣排列。

3. 穿落雨試區植生概況

天然闊葉林穿落雨試區植生種類計有厚殼桂(*Cryptocarya chinensis* Hemsl.)、江某(*Schefflera octophylla* (Lour.) Harms)、南投黃肉楠(*Actinodaphne nantoensis* Hay.)、變葉新木薑子(*Neolitsea variabilissima* (Hay.) Kaneh. & Sasaki)、香桂(*Cinnamomum randaiense* Hay.)、糊欖(*Ilex formosana* Maxim.)、山紅柿(*Diospyros morrisiana* Hance)、短尾葉石櫟(*Pasania brevicaudata* (Skan) Schottky)、川上氏櫟(*Castanopsis kawakamii* Hay.)、紅皮(*Styrax suberifolia* Hook.)、杜英(*Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poiret.)等為主。這些植生大小差異甚大，參差分佈於試區內。以胸高直徑論，51 株

(72%)小於 10cm，11 株(15%)在 10-20cm 間，5 株(7%)在 20-30cm 間，4 株(6%)大於 30cm。以樹冠而言，植生樹冠相互重疊且鬱閉，唯樹種間冠幅差異甚大。1998 年 10 月 16 日瑞伯颱風侵襲時，天然闊葉林穿落雨試區受到颱風干擾，折斷 8 株植生，其中 6 株植生胸高直徑小於 10cm，2 株胸高直徑在 10-20cm 間，植生折斷率約 11 %，植生樹冠鬱閉狀況受到影響。檳榔園試區為樹齡約 20 年的檳榔(*Areca catechu* Linn.)，檳榔植株間距約 2 公尺，檳榔之樹冠相互孤立，冠幅的個別葉片甚大。1998 年 10 月 16 日瑞伯颱風侵襲時，檳榔穿落雨試區雖受到颱風干擾，但檳榔植株並未有折斷發生，僅冠幅的葉片有逢機性的掉落。

4. 穿落雨量測資料分析

每日上午視降雨是否停止，以具有刻劃的不同大小量筒，視各穿落雨量器的儲水塑膠筒內水量多寡，使用適當大小的具有刻劃量筒，量測各試區雨量筒的穿落雨量，由於全部 243 個雨量筒必須花費整日時間量測，如果量測中途再降雨，243 個雨量筒未能量完，或量測時發現部分雨量筒遭受不明原因破壞，則該次穿落雨資料不用，因此僅能獲得有限的可靠量測資料。又量測值為體積，再將穿落雨量測體積值，除以穿落雨量筒的承雨口面積，換算為深度，以 SURFER 軟體繪製各試區每次量測的穿落雨等高線分佈，計算穿落雨平均值、標準偏差與變異係數值(標準偏差/平均值)，探討各試區穿落雨的空間變化特性與推估式。

結果與討論

1. 穿落雨空間分佈變異係數

茲將 1998 年 10 月 16 日瑞伯颱風干

表 1. 颱風干擾前後期天然闊葉林、檳榔園及空曠地穿落雨空間分佈變異係數
Table 1. Coefficients of variation in throughfall for a natural hardwood forest, betel palm plantation and open area during pre- and post-typhoon periods.

時期	降雨量範圍	變異係數(範圍)		
		天然闊葉林	檳榔園	空曠地
颱風干擾前期	全部降雨	0.23 (0.18-0.32)	0.75 (0.50-1.63)	0.006 (0.001-0.027)
	降雨 < 100mm	0.25 (0.18-0.32)	0.93 (0.66-1.63)	0.01 (0.005-0.022)
	降雨 > 100mm	0.23 (0.19-0.31)	0.72 (0.50-1.02)	0.005 (0.001-0.027)
颱風干擾後期	全部降雨	0.25 (0.20-0.40)	0.81 (0.48-2.31)	0.015 (0.002-0.113)
	降雨 < 100mm	0.28 (0.23-0.40)	1.16 (0.84-2.31)	0.034 (0.005-0.113)
	降雨 > 100mm	0.25 (0.20-0.32)	0.75 (0.48-1.00)	0.012(0.002-0.028)

擾前期與後期之穿落雨分佈變異係數列表如表 1。

颱風干擾前期量測 29 場穿落雨，降雨量範圍在 26.7mm-244.2mm 時。天然闊葉林的變異係數範圍在 0.18-0.32 間，其平均變異係數為 0.23；檳榔園的變異係數範圍在 0.50-1.63 間，其平均變異係數為 0.75；空曠地的變異係數範圍在 0.001-0.027 間，其平均變異係數為 0.006。然此 29 場穿落雨，其中有 10 場降雨量小於 100mm 時，在 26.7mm-94.3mm 時：天然闊葉林的變異係數範圍在 0.18-0.32 間，其平均變異係數為 0.25；檳榔園的變異係數範圍在 0.66-1.63 間，其平均變異係數為 0.93；空曠地的變異係數範圍在 0.005-0.022 間，其平均變異係數為 0.01。另外有 19 場降雨量大於 100mm 時，在 104.3mm-244.2mm 時：天然闊葉林的變異係數範圍在 0.19-0.31 間，其平均變異係數為 0.23；檳榔園的變異係數範圍在 0.50-1.02 間，其平均變異係數為 0.72；空曠地的變異係數範圍在 0.001-0.027 間，其平均變異係數為 0.005。

颱風干擾後期量測 31 場穿落雨，降雨量範圍在 9.07mm-239mm 時。天然闊葉林的變異係數範圍在 0.20-0.40 間，其平均變異係數為 0.25；檳榔園的變異係數範圍在

0.48-2.31 間，其平均變異係數為 0.81；空曠地的變異係數範圍在 0.002-0.113 間，其平均變異係數為 0.015。然此 31 場穿落雨，其中有 11 場降雨量小於 100mm 時，在 9.07mm-92.89mm 時：天然闊葉林的變異係數範圍在 0.23-0.40 間，其平均變異係數為 0.28；檳榔園的變異係數範圍在 0.84-2.31 間，其平均變異係數為 1.16；空曠地的變異係數範圍在 0.005-0.113 間，其平均變異係數為 0.034。另外有 20 場降雨量大於 100mm 時，在 104.9mm-239mm 時：天然闊葉林的變異係數範圍在 0.20-0.32 間，其平均變異係數為 0.25；檳榔園的變異係數範圍在 0.48-1.00 間，其平均變異係數為 0.75；空曠地的變異係數範圍在 0.002-0.028 間，其平均變異係數為 0.012。

不論颱風干擾前、後期與雨量多寡，其穿落雨分佈變異係數，檳榔園的平均變異係數 (0.72-1.16) 最大，天然闊葉林的平均變異係數 (0.23-0.28) 其次，空曠地的平均變異係數 (0.005-0.034) 極小，檳榔園的平均變異係數約為天然闊葉林的平均變異係數的 3.1-4.2 倍，空曠地的平均變異係數極小，顯示檳榔園穿落雨的空間分佈極為不均，量測檳榔園的穿落雨，必須

要設置較多的雨量筒，否則誤差甚大，影響檳榔園穿落雨的精確度，天然闊葉林穿落雨的空間分佈雖比檳榔園小，但空間分佈亦屬甚為不均，量測天然闊葉林穿落雨時，仍需相當數量的雨量筒，由於空曠地的平均變異係數極小，僅設置 1 個雨量筒應可準確的量測雨量。

如不考慮雨量多寡，僅討論颱風干擾前、後期穿落雨分佈變異係數差異，檳榔園於颱風干擾前期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.75，颱風干擾後期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.81，颱風干擾後期的平均變異係數約為颱風干擾前期的平均變異係數之 1.08 倍，颱風干擾後期的平均變異係數有略微增加的趨勢，顯示檳榔園受到颱風干擾，雖然檳榔植株並未有折斷發生，僅冠幅的葉片有逢機性的掉落，仍然略微增加檳榔園穿落雨分佈的平均變異係數，減少其穿落雨量測的可靠性。天然闊葉林颱風干擾前期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.23，颱風干擾後期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.25，颱風干擾後期的平均變異係數約為颱風干擾前期的平均變異係數之 1.09 倍，颱風干擾後期的平均變異係數亦有略微增加的趨勢，顯示天然闊葉林受到颱風干擾，天然闊葉林植生折斷率約 11%，植生樹冠鬱閉狀況受到影響發生，致略微增加天然闊葉林穿落雨分佈的平均變異係數，減少其穿落雨量測的可靠性。

如考慮雨量多寡，討論颱風干擾前、後期穿落雨分佈變異係數差異，當雨量 <100 mm 時；檳榔園颱風干擾前期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.93，颱風干擾後期穿落雨分佈的平均變異係數為 1.16，颱風干擾後期的平均變異係數約為颱風干擾前期的平均變異係數之 1.25 倍，颱風干擾後期的平均變異係數明顯的增加；天然闊葉林颱風干擾前期穿落雨分佈的平均變異

係數為 0.25，颱風干擾後期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.28，颱風干擾後期的平均變異係數約為颱風干擾前期的平均變異係數之 1.12 倍，亦有增加。當雨量 >100 mm 時；檳榔園颱風干擾前期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.72，颱風干擾後期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.75，颱風干擾後期的平均變異係數約為颱風干擾前期的平均變異係數之 1.04 倍，颱風干擾後期的平均變異係數亦有略微增加的趨勢；天然闊葉林颱風干擾前期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.23，颱風干擾後期穿落雨分佈的平均變異係數為 0.25，颱風干擾後期的平均變異係數約為颱風干擾前期的平均變異係數之 1.09 倍，颱風干擾後期的平均變異係數亦有略微增加的趨勢。故雨量的多寡，亦影響颱風干擾前、後期穿落雨分佈變異係數差異，雨量較小時，天然闊葉林與檳榔園於颱風干擾後期的穿落雨分佈變異係數更易比颱風干擾前期增加。

2. 穿落雨空間分佈特性

由圖 1 的颱風干擾前期之天然闊葉林量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 64.7 mm，設定橫軸為 X 軸，縱軸為 Y 軸，其空間位置 (X, Y) 表示，在位置 (4,4)、(4,10)、(6,6)、(6,12)、(10,10)、(10,12)、(10,14) 等處等高線密集，穿落雨較多。至於是否天然闊葉林穿落雨空間分佈與樹冠密度有關？本研究於 81 個穿落雨量筒定點位置調查樹冠密度，分為 3 級，樹冠密度較高的定點位置其密度標號為 2，樹冠密度較低的定點位置其密度標號為 1，無樹冠即透空的定點位置其密度標號為 0。由圖 2 的颱風干擾前期天然闊葉林樹冠密度空間分佈資料，部份天然闊葉林樹冠密度較低的位置，天然闊葉林穿落雨較大，符合樹葉阻隔降雨減少穿落雨，但亦有部份樹冠密度較低的位置，天然闊葉林穿落雨並未減少，未能符合樹葉阻隔而減少穿落雨，分

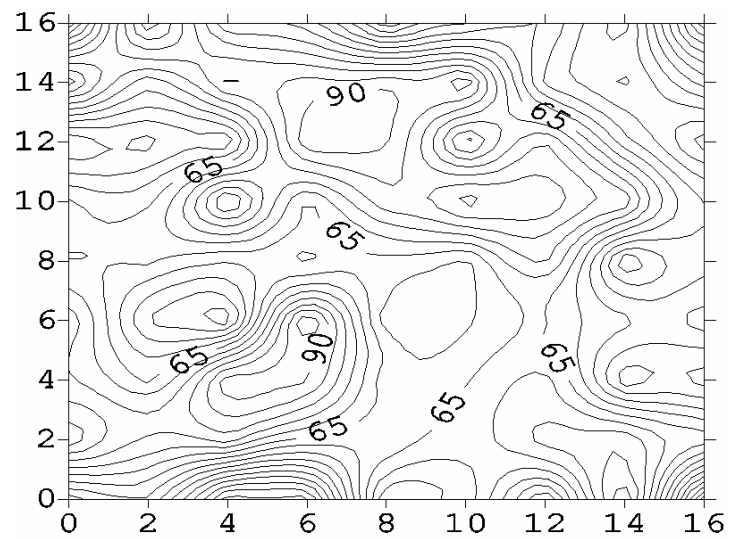


圖 1. 天然闊葉林颱風干擾前期穿落雨空間分佈
 (穿落雨 64.7mm , Feb. 9, 1998)

Figure 1. Spatial distribution for 64.7 mm of throughfall in a natural hardwood forest. (Feb. 9, 1998, pre-typhoon period)

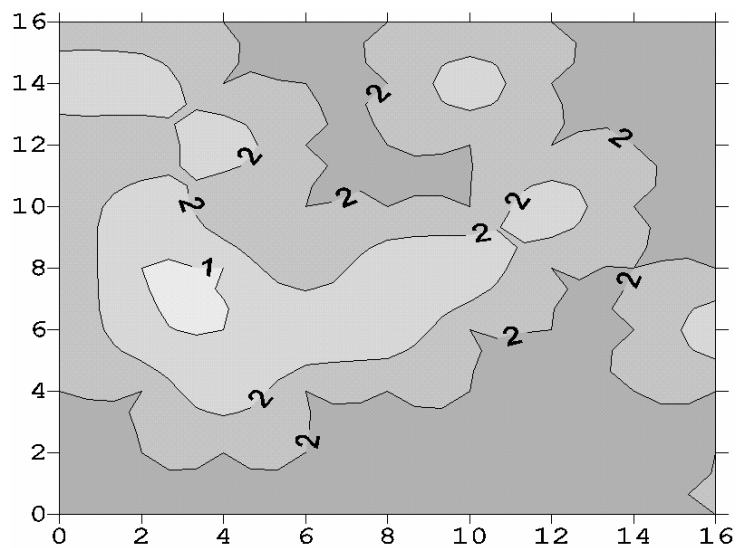


圖 2. 天然闊葉林颱風干擾前期樹冠密度空間分佈

Figure 2. Spatial distribution of canopy density in a natural hardwood forest. (pre-typhoon period)

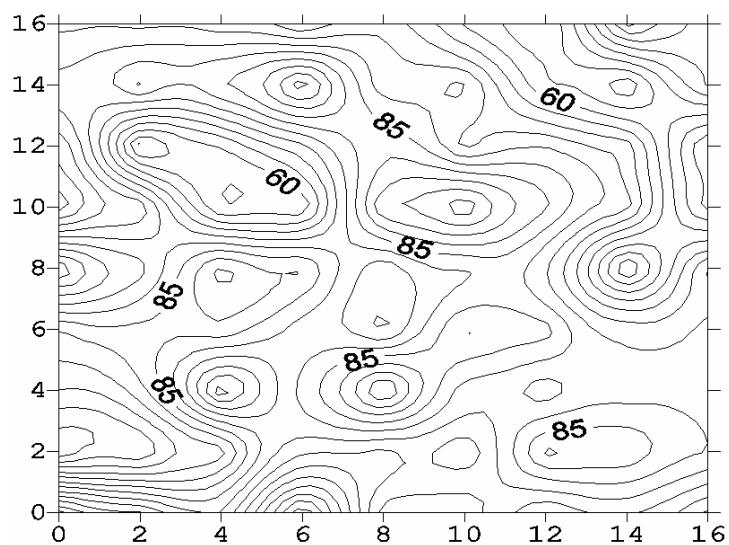


圖 3. 天然闊葉林颱風干擾後期穿落雨空間分佈
(穿落雨 76.1mm, Oct. 4, 2000)

Figure 3. Spatial distribution for 76.1 mm of throughfall in a natural hardwood forest. (Oct. 4, 2000, post-typhoon period)

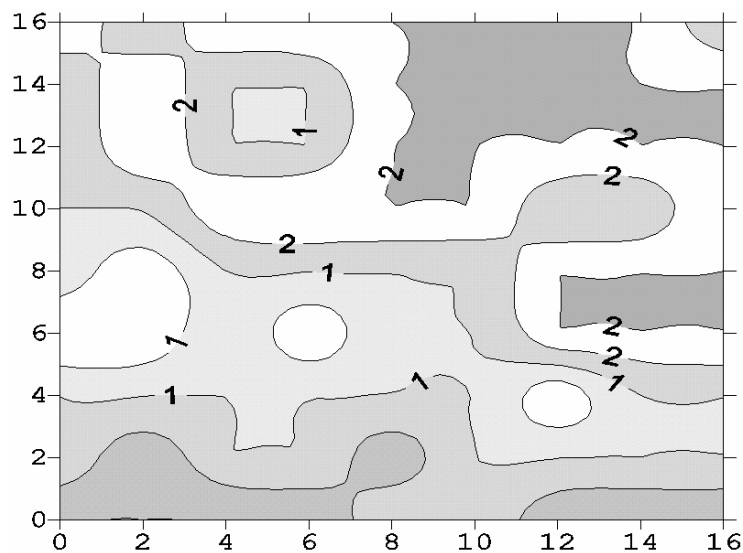


圖 4. 天然闊葉林颱風干擾後期樹冠密度空間分佈

Figure 4. Spatial distribution of canopy density in natural hardwood forest. (post-typhoon period)

佈有顯著關聯性。

圖 3 的颱風干擾後期之天然闊葉林量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 76.1 mm，在位置 (4,4)、(4,8)、(6,14)、(8,4)、(10,10)、(12,2)、(14,8)等處等高線密集，穿落雨較多。由圖 4 的颱風干擾後期之天然闊葉林樹冠密度空間分佈資料，部份天然闊葉林樹冠密度較低的位置，天然闊葉林穿落雨較大，符合樹葉阻隔降雨減少穿落雨，但亦有部份樹冠密度較低的位置，天然闊葉林穿落雨並未減少，未能符合樹葉阻隔而減少穿落雨。

比較圖 2 與圖 4 天然闊葉林颱風干擾前、後期樹冠密度分佈，顯然天然闊葉林受到颱風干擾作用，樹冠密度較疏，穿落雨分佈多寡位置亦受影響。

由圖 5 的颱風干擾前期之檳榔園量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 37.7 mm，在位置 (2,10)、(4,2)、(6,10)、(8,2)、(10,10)、(10,12)、(12,10)、(12,12)等處等高線密集，穿落雨較多。至於是否檳榔園穿落雨空間分佈與樹冠密度有關？本研究於 81 個穿落雨量筒定點位置亦同樣的調查樹冠密度，分為 3 級，樹冠密度較高的定點位置其密度標號為 2，樹冠密度較低的定點位置其密度標號為 1，無樹冠即透空的定點位置其密度標號為 0。由圖 6 的颱風干擾前期檳榔園樹冠密度空間分佈資料，部份檳榔園樹冠密度較低的位置，檳榔園穿落雨較大，符合樹葉阻隔降雨減少穿落雨，但亦有部份樹冠密度較低的位置，檳榔園穿落雨並未減少，未能符合樹葉阻隔而減少穿落雨，由降雨時的現場觀察，可能因檳榔園的冠幅孤立，樹冠葉片大而平滑，當雨量筒位於株行間或葉片末端，穿落雨直接進入雨量筒或葉片截留雨水後沿葉緣末端流入雨量筒，穿落雨甚大，僅當雨量筒位於葉片正下方，葉片截留作用阻隔雨滴穿落，穿落雨減少，致部份樹冠亦未能與穿落雨分

佈具有關聯性。

由圖 7 的颱風干擾後期之檳榔園量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 45.6 mm，在位置 (0,2)、(2,10)、(2,14)、(6,10)、(10,8)、(12,0)、(14,10)、(16,2)等處等高線密集，穿落雨較多。由圖 8 的颱風干擾後期之檳榔園樹冠密度空間分佈資料，同樣的部份檳榔園樹冠密度較低的位置，檳榔園林穿落雨較大，符合樹葉阻隔降雨減少穿落雨，但亦有部份樹冠密度較低的位置，檳榔園未減少，未能符合樹葉阻隔而減少穿落雨。

比較圖 6 與圖 8 檳榔園颱風干擾前、後期樹冠密度分佈，顯然檳榔園受到颱風干擾作用比天然闊葉林為小，僅樹冠密度疏密位置有移動，但整體而言樹冠疏度並未如天然闊葉林般的減少，然穿落雨分佈多寡位置仍然受到影響。

由圖 9 的空曠地颱風干擾前期量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 74.86 mm，及圖 10 的空曠地颱風干擾後期量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 87.45 mm，穿落雨等高線極為稀疏。顯然空曠地穿落雨空間分佈甚為均勻，不論颱風前、後期量測穿落雨，即使僅一個雨量筒量測空曠地穿落雨，亦不影響量測的可靠性。

故不論颱風前、後期量測穿落雨空間分佈，天然闊葉林及檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂，其與樹冠密度的關係並不明顯，然空曠地穿落雨空間分佈甚為均勻。

3. 穿落雨空間分佈的標準偏差與均值間的關係

颱風干擾前、後期天然闊葉林、檳榔園及空曠地穿落雨空間分佈的標準偏差與其均值間的關係如表 2。

表 2 迴歸式(1)-(18)中 P_{nh} 與 SE_{nh} 為天然闊葉林穿落雨空間分佈的均值(mm)與標準偏差(mm)， P_{bp} 與 SE_{bp} 為檳榔園穿落

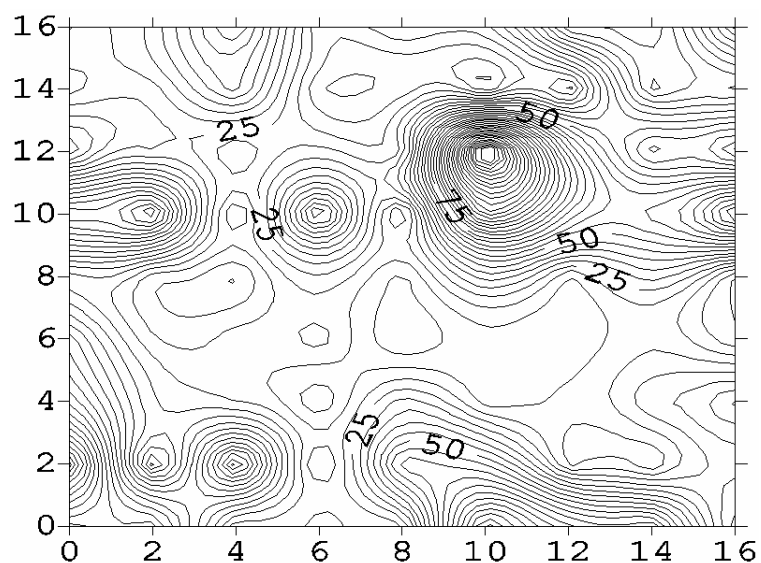


圖 5. 檳榔園颱風干擾前期穿落雨空間分佈
(穿落雨 37.7mm , Feb. 9, 1998)

Figure 5. Spatial distribution for 37.7 mm of throughfall in a betel palm plantation. (Feb. 9, 1998, pre-typhoon period)

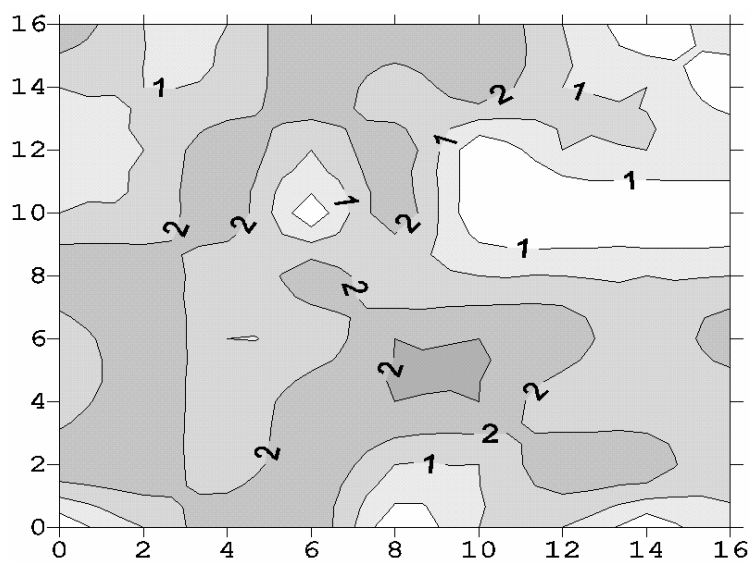


圖 6. 檳榔園颱風干擾前期樹冠密度空間分佈

Figure 6. Spatial distribution of canopy density in betel palm plantation. (pre-typhoon period)

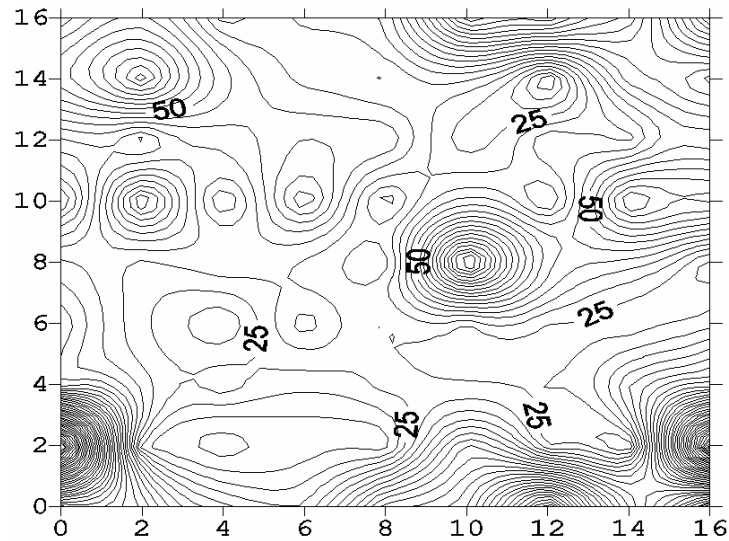


圖 7. 檳榔園颱風干擾後期穿落雨空間分佈
(穿落雨 45.6mm , Oct. 4, 2000)

Figure 7. Spatial distribution for 45.6 mm of throughfall in a betel palm plantation. (Oct. 4, 2000, post-typhoon period)

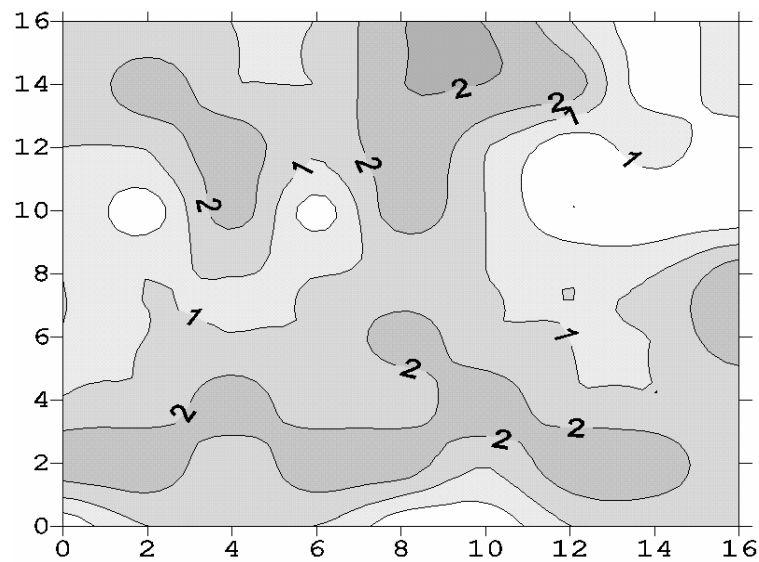


圖 8. 檳榔園颱風干擾後期樹冠密度空間分佈

Figure 8. Spatial distribution of canopy density in betel palm plantation. (post-typhoon period)

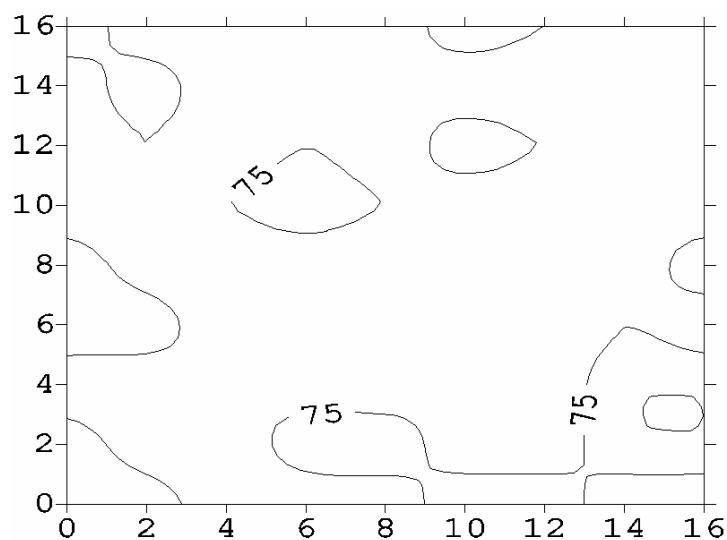


圖 9. 空曠地颱風干擾前期降雨空間分佈(降雨 74.86mm , 1998, 2, 9)
Figure 9. Spatial distribution for 74.86 mm of rainfall in an open area.
(Feb. 9, 1998, pre-typhoon period)

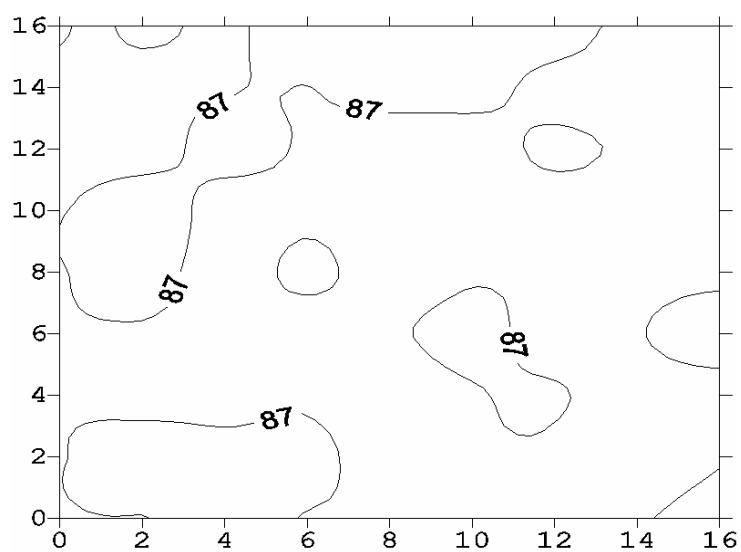


圖 10. 空曠地颱風干擾後期降雨空間分佈
(穿落雨 87.45mm , 2000, 10, 4)
Figure 10. Spatial distribution for 87.45 mm of rainfall in an open area .(Oct. 4, 2000, post-typhoon period)

表 2. 颱風干擾前後期天然闊葉林、檳榔園與空曠地穿落雨
標準偏差與其平均值間的迴歸關係式

Table 2. Regression equations of standard error on the means for throughfall of a natural hardwood forest, betel palm plantation, and open area during pre- and post-typhoon periods.

穿落雨試區	時期	降雨量範圍 (mm)	迴歸式 (mm)	r^2	n
天然闊葉林	颱風干擾前期	26.7-244.2	1. $SE_{nh} = 0.199P_{nh} + 3.26$	0.93	29
		26.7-94.3	2. $SE_{nh} = 0.257P_{nh} - 0.45$	0.88	10
		104.3-244.2	3. $SE_{nh} = 0.159P_{nh} + 9.55$	0.84	19
	颱風干擾後期	9.1-239	4. $SE_{nh} = 0.219P_{nh} + 3.50$	0.96	31
		9.1-92.9	5. $SE_{nh} = 0.235P_{nh} - 2.04$	0.93	11
		104.9-239	6. $SE_{nh} = 0.193P_{nh} + 7.56$	0.88	20
檳榔園	颱風干擾前期	26.7-244.2	7. $SE_{bp} = 0.577P_{bp} + 10.92$	0.84	29
		26.7-94.3	8. $SE_{bp} = 0.696P_{bp} + 6.04$	0.72	10
		104.3-244.2	9. $SE_{bp} = 0.457P_{bp} + 21.93$	0.57	19
	颱風干擾後期	9.1-239	10. $SE_{bp} = 0.566P_{bp} + 15.41$	0.84	31
		9.1-92.9	11. $SE_{bp} = 0.792P_{bp} + 9.96$	0.79	11
		104.9-239	12. $SE_{bp} = 0.543P_{bp} + 16.88$	0.73	20
空曠地	颱風干擾前期	26.7-244.2	13. $SE_{oa} = 0.002P_{oa} + 0.494$	0.022	29
		26.7-94.3	14. $SE_{oa} = -0.002P_{oa} - 0.632$	0.114	10
		104.3-244.2	15. $SE_{oa} = 0.0005P_{oa} + 0.6882$	0.0007	19
	颱風干擾後期	9.1-239	16. $SE_{oa} = 0.007P_{oa} + 1.014$	0.06	31
		9.1-92.9	17. $SE_{oa} = 0.025P_{oa} - 0.428$	0.1	11
		104.9-239	18. $SE_{oa} = 0.012P_{oa} + 0.015$	0.167	20

雨空間分佈的均值 (mm) 與標準偏差 (mm), P_{oa} 與 SE_{oa} 為空曠地穿落雨空間分佈的均值 (mm) 與標準偏差 (mm), 迴歸式 (1)-(6) 的 r^2 相關係數超過 0.80, 迴歸式 (7)-(12) 的 r^2 相關係數大部分超過 0.70, 顯示天然闊葉林與檳榔園穿落雨空間分佈的標準偏差具有比例效應 (proportional effect), 不論颱風干擾前、後期及雨量多寡, 標準偏差隨均值增加而增加, 由於檳榔園標準偏差與均值間的迴歸係數遠大於天然闊葉林的迴歸係數, 致檳榔園穿落雨

的比例效應大於天然闊葉林, 而比例效應愈大, 量測可靠性將減小。迴歸式 (13)-(18) 的 r^2 相關係數僅 0.0007-0.167, 相關性極差, 甚至完全無相關性, 顯示空曠地降雨空間分佈的標準偏差不具有比例效應。

4. 穿落雨的推估

將颱風干擾前、後期檳榔園及天然闊葉林穿落雨空間分佈均值與空曠地降雨空間分佈均值之迴歸分析, 結果如表 3。

表 3 迴歸式 (1)-(12) 中的 P_{bp} 、 P_{nh} 、 P_{oa} 分別為檳榔園、天然闊葉林、空曠地穿

落雨空間分佈均值(mm)。迴歸式(1)-(12)的 r^2 相關係數均達 0.83 以上，且大部份 r^2 相關係數在 0.93 以上，顯示穿落雨不論颱風干擾前、後期或雨量多寡，檳榔園與天然闊葉林穿落雨空間分佈均值，仍可由空曠地降雨空間分佈均值推算。

檳榔園與天然闊葉林的穿落雨平均值，雖可由林外雨量推估。然檳榔園穿落雨的空間分佈變異係數過大，致檳榔園穿落雨在檳榔園內的各區位差異性極大，導致檳榔園地表逕流不均勻。再者迴歸式自變數前的係數頗有差異，檳榔園穿落雨的係數僅 0.5-0.6 間，而天然闊葉林穿落雨係數超過 0.90，顯示天然闊葉林穿落雨佔降雨的比例比檳榔園大。

至於檳榔園與天然闊葉林的穿落雨佔降雨量的百分比問題，可由檳榔園與天然闊葉林穿落雨量測的總平均值與空曠地穿落雨的總平均值關係獲得如表 4 以 11.8cm 直徑承雨口的雨量筒量測穿落雨，颱風干

擾前期：天然闊葉林的穿落雨為降雨量的 92.1%，檳榔園的穿落雨為降雨量的 54.9%，顯示天然闊葉林的穿落雨遠比檳榔園的穿落雨為大。但如僅分析小於 100mm 的雨量時，天然闊葉林的穿落雨為降雨量的 84.7%，檳榔園的穿落雨為降雨量的 50.6%，另僅分析大於 100mm 的雨量時，天然闊葉林的穿落雨為降雨量的 93.4%，檳榔園的穿落雨為降雨量的 55.7%，顯示雨量多時，不論天然闊葉林或檳榔園的穿落雨佔降雨量的百分比有增加的趨勢，天然闊葉林的穿落雨增加 8.7%，檳榔園的穿落雨增加 5.1%。颱風干擾後期：天然闊葉林的穿落雨為降雨量的 90.9%，檳榔園的穿落雨為降雨量的 54.2%，亦顯示天然闊葉林的穿落雨遠比檳榔園的穿落雨為大。但如僅分析小於 100mm 的雨量時，天然闊葉林的穿落雨為降雨量的 84.0%，檳榔園的穿落雨為降雨量的 54.7%，另僅分析大於 100mm 的雨量時，天然闊葉林的穿落雨

表 3. 颱風干擾前後期天然闊葉林及檳榔園穿落雨與空曠地降雨間的迴歸關係式
Table 3. Regression equations for throughfall means of a natural hardwood forest and betel palm plantation on the open area during pre- and post-typhoon periods.

穿落雨試區	時期	降雨量範圍 (mm)	迴歸式 (mm)	r^2	n
天然闊葉林	颱風干擾前期	26.7-244.2	1. $P_{nh} = 0.987P_{\alpha} - 1.94$	0.98	29
		26.7-94.3	2. $P_{nh} = 0.918P_{\alpha} - 3.61$	0.97	10
		104.3-244.2	3. $P_{nh} = 1.011P_{\alpha} - 11.7$	0.97	19
	颱風干擾後期	9.1-239	4. $P_{nh} = 0.963P_{\alpha} - 6.23$	0.99	31
		9.1-92.9	5. $P_{nh} = 0.966P_{\alpha} - 6.03$	0.99	11
		104.9-239	6. $P_{nh} = 0.965P_{\alpha} - 6.53$	0.99	20
檳榔園	颱風干擾前期	26.7-244.2	7. $P_{bp} = 0.566P_{\alpha} + 1.94$	0.98	29
		26.7-94.3	8. $P_{bp} = 0.559P_{\alpha} - 2.73$	0.93	10
		104.3-244.2	9. $P_{bp} = 0.533P_{\alpha} + 3.5$	0.94	19
	颱風干擾後期	9.1-239	10. $P_{bp} = 0.543P_{\alpha} - 0.12$	0.93	31
		9.1-92.9	11. $P_{bp} = 0.568P_{\alpha} + 1.05$	0.85	11
		104.9-239	12. $P_{bp} = 0.546P_{\alpha} + 0.71$	0.83	20

表 4. 颱風干擾前後期天然闊葉林與檳榔園的穿落雨變化

Table 4. Throughfall of a natural hardwood forest and betel palm plantation during pre- and post-typhoon periods.

時期	降雨量範圍 (mm)	穿落雨均值, mm (% of 空曠地)		
		天然闊葉林	檳榔園	空曠地
颱風干擾前期	全部降雨	107.4mm (92.1%)	64.02mm (54.9%)	116.6mm
	降雨 < 100mm	43.08mm (84.7%)	25.73mm (50.6%)	50.89mm
	降雨 >100mm	141.3mm (93.4%)	84.17mm (55.7%)	51.2mm
颱風干擾後期	全部降雨	105.4mm (90.9%)	62.87mm (54.2%)	115.9mm
	降雨 <100mm	42.14mm (84.0%)	27.42mm (54.7%)	50.14mm
	降雨 >100mm	140.2mm (92.2%)	82.37mm (54.1%)	152.1mm

為降雨量的 92.2%，檳榔園的穿落雨為降雨量的 54.1%，顯示雨量多時，僅天然闊葉林穿落雨佔降雨量的百分比有增加的趨勢，亦約增加 8.2%，而檳榔園穿落雨佔降雨量的百分比並未增加，反而減少 0.6%。

至於颱風干擾對穿落雨之影響問題：天然闊葉林在颱風干擾前穿落雨佔雨量 92.1%，在颱風干擾後穿落雨佔雨量 90.9%，僅減少 1.3%；檳榔園在颱風干擾前穿落雨佔雨量 54.9%，在颱風干擾後穿落雨佔雨量 54.2%，亦僅減少 0.7%，故颱風雖然折斷植生或造成葉片掉落，對於天然闊葉林與檳榔園穿落雨的影響不大。如果同時考慮雨量多寡時颱風干擾對穿落雨之影響，雨量小於 100mm 時：天然闊葉林在颱風干擾前穿落雨佔雨量 84.7%，在颱風干擾後穿落雨佔雨量 84.0%，僅減少 0.7%；檳榔園在颱風干擾前穿落雨佔雨量 50.6%，在颱風干擾後穿落雨佔雨量 54.7%，僅約增加 4.1%。雨量大於 100mm 時：天然闊葉林在颱風干擾前穿落雨佔雨量 93.4%，在颱風干擾後穿落雨佔雨量 92.2%，僅減少 1.2%；檳榔園在颱風干擾前穿落雨佔雨量 55.7%，在颱風干擾後穿落雨佔雨量 54.1%，亦僅減少 1.6%。故即使同時考慮雨量多寡時颱風干擾對穿落雨之影響，僅雨量小於 100mm 時，檳榔園穿

落雨受到颱風干擾造成葉片掉落後僅增加 4.1%，雨量大於 100mm 時檳榔園穿落雨受到颱風干擾影響不大，而天然闊葉林穿落雨不論雨量多寡，受到颱風干擾影響均甚微。

再者，檳榔園量測穿落雨量約為降雨量的 50.6% -55.7% 間，遠小於天然闊葉林穿落雨量約為降雨量的 84.0% -93.4% 間。如與 Helvey and Patric (1965) 及 Rogerson and Byrnes (1968) 天然闊葉林穿落雨約為降雨量的 90%、潘(1966) 天然闊葉林穿落雨約為降雨量的 86%、Lin et al. (1997) 亞熱帶雨林穿落雨為降雨量的 79.7% -100% 相比，本文天然闊葉林穿落雨量佔降雨量的比率應屬合理。然檳榔園穿落雨僅約降雨量的 50.6% -55.7% 間的問題，孫(1995) 使用 2.4-3.4 m² 的大面積穿落雨搜集裝置量測檳榔穿落雨僅約降雨量的 50%，陸等(1999) 使用 4 個雨量筒量測檳榔穿落雨僅約降雨量的 34.7%，本文檳榔園穿落雨量佔降雨量的比率與孫(1995) 的結果頗為接近。檳榔園穿落雨為何較少，雖然檳榔園樹冠密度比天然闊葉林為疏，然檳榔葉面積甚大，葉面光滑具有葛質與摺皺，雨水易沿著葉片匯集形成幹流量，吳等(1997) 分別量測 5 株檳榔樹的幹流量，獲悉幹流量為降雨量的 34.4% -82.9% 間，孫(1995) 量測檳榔幹

流量約為降雨量的 25%，陸等(1999)量測 2 株檳榔幹流量約為降雨量的 30%，至於天然闊葉林的幹流量約 1.67%-13.1% (潘 1966, 林 1976), 由此可見檳榔園減少的穿落雨似為轉為幹流量增加。

由於颱風干擾對天然闊葉林與檳榔園穿落雨影響甚微，故將天然闊葉林與檳榔園颱風前、後期穿落雨平均之，天然闊葉林的穿落雨約 91.5%，檳榔園的穿落雨約 54.5%。降雨量小於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 84.4%，檳榔園的穿落雨約 52.7%。降雨量大於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 92.8%，檳榔園的穿落雨約 54.9%。

結論

1. 以承雨口直徑 11.8cm 之簡易雨量筒量測穿落雨時，颱風干擾前期穿落雨的空間分佈平均變異係數，檳榔園(0.75)最大，天然闊葉林 (0.23) 次之，空曠地極小 (0.006)，颱風干擾後期穿落雨的空間分佈平均變異係數，檳榔園(0.81)最大，天然闊葉林 (0.25) 次之，空曠地極小(0.015)，顯示颱風干擾作用增加檳榔園與天然闊葉林穿落雨的空間分佈變異。
2. 不論颱風干擾前期、後期量測穿落雨空間分佈，天然闊葉林及檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂，其與樹冠密度的關係並不明顯，空曠地穿落雨空間分佈甚為均勻。
3. 檳榔園與天然闊葉林穿落雨空間分佈的標準偏差甚大且具有比例效應，不論颱風干擾前期、後期，標準偏差隨均值增加而增加，而比例效應愈大，量測可靠性將減小。空曠地穿落雨空間分佈的標準偏差極小且不具有比例效應，僅一個雨量筒即可達到量測的可靠性。
4. 不論颱風干擾前期、後期，檳榔園與天然闊葉林穿落雨空間分佈均值，可由空曠

地穿落雨空間分佈均值推算。

5. 雖然颱風干擾影響天然闊葉林與檳榔園的樹冠密度與分佈，但對穿落雨量影響不大。以 11.8cm 承雨口徑量測穿落雨，天然闊葉林的穿落雨約 91.5%，檳榔園的穿落雨約 54.5%。降雨量小於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 84.4%，檳榔園的穿落雨約 52.7%。降雨量大於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 92.8%，檳榔園的穿落雨約 54.9%。

謝誌

本研究承農委會林業試驗所 89 林試-集營-03(1)及 90 農科-1.4.2-森-G1(02)計畫經費提供，集水區經營組傅鶴翹及蓮華池研究中心黃長禎、王德華、邱之偉等先生的野外調查與觀測協助，特予致謝。林業試驗所報告登記第 238 號。

參考文獻

1. 吳輝龍、張文詔、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):33-64.
2. 林琚三 (1976) 「台灣天然植生地及人工造林地之水文收支的比較研究」，國科會彙刊 9:273-296.
3. 孫正春 (1995) 「蓮華池地區不同樹種截留特性之研究」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文，79p.
4. 陸象豫 (1997) 「林業試驗所蓮華池分所氣象資料 1961-1996」，林業試驗所林業叢刊第 76 號，449p.
5. 陸象豫、黃良鑫、傅鶴翹 (1999) 「檳榔園水文特性之研究」，台灣林業科學 14(2):211-221.
6. 葛錦昭、楊炳炎、林淵霖、楊楚淇、漆陞忠 (1978) 「臺灣森林集水區經營試驗初步報告」，林業試驗所試驗報告第 304

- 號, 50p。
7. 潘家聲 (1966) 「天然闊葉樹林樹冠對於降雨截留量之關係試驗」, 台灣省林業試驗所報告, 131 號, 20 p。
 8. 鄭克聲 (1993) 「區域統計與地理資訊系統應用於雨量站網評估與設計之研究」, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 NSC82-0410-E-002-227, 國立台灣大學農業工程研究所刊印, 141p。
 9. 盧惠生 (1999) 「蓮華池地區降雨-延時-頻率關係及不同降雨延時之設計雨型歷線」, 台灣林業科學 14(1):63-76。
 10. Bastin G., B. Lorent, C. Dugue and M. Gevers (1984) "Optimal estimation of the average area rainfall and optimal selection of rain gage locations," *Water Resour. Res.* 20(4):463-470.
 11. Collings M. R. (1966) "Throughfall for summer thunderstorm in a juniper and pinyon woodland Cibecue Ridge, Arizona," *Geological Survey Professional Paper 485-B, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.*, 13p.
 12. Dingman S. L., D. N. Seely-Reynolds and R. C. Reynolds (1988) "Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence," *Water Resour. Bulletin* 24(2):329-339.
 13. Eschner A. R. (1966) "Interception and soil moisture distribution," *International Symposium on Forest Hydrology, Proceedings of a National Foundation Advanced Science Seminar, Aug. 29-Sept. 10, Pennsylvania State University, Pennsylvania.* p.191-200.
 14. Gomez J. A., K. Vanderlinden, J. V. Giraldez, and E. Fereres (2002) "Rainfall concentration under olive trees," *Agriculture Water Management* 55:53-70.
 15. Helvey J.D. and J. H. Patric (1965) "Canopy and litter interception of rainfall by hardwood forests of eastern United States," *Water Resour. Res.* 1(2):193-206.
 16. Huff F. A. (1970) "Spatial distribution of rainfall rates," *Water Resour. Res.* 6(1):254-259.
 17. Isaaks E. H. and R. M. Srivastava (1989) *Applied geostatistics*, Qxford University Press, Inc., New York, 561p.
 18. Lin T. C., S. P. Hamburg, H. B. King, and Y. J. Hsia (1997) "Spatial variability of throughfall in subtropical rain forest in Taiwan," *Journal Environmental Quality* 26:172-180.
 19. Lloyd C.R. and A. O. Margues (1988) "Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest," *Agric. For. Meteorol.*, 42:63~73.
 20. Mahendrappa M. K. and D. G. O. Kingston (1982) "Prediction of throughfall quantities under different forest stands," *Canadian Journal of Forest Research* 12:474-481.
 21. Molnau M., W. J. Rawls, D. L. Curtis and C. C. Warnick (1980) "Gage density and location for estimating mean annual precipitation in mountainous areas," *Water Resour. Bulletin* 16(3):428-432.
 22. Orr H. K. (1972) "Throughfall and stemflow relationships in second growth Ponderosa pine in the Black Hills," *USDA For. Serv. Res. Note RM-210, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado*, 7p.
 23. Rodrigo A, and A. Avila (2001) "Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean Holm

- oak forests,” *Journal of Hydrology* 243:216-227.
24. Rogerson T.L. (1968) “Thinning increases throughfall in loblolly pine plantations,” *Journal of Soil and Water Conservation* 23(4):141-142.
25. Rogerson T. L. and W. R. Byrnes (1968) “Net rainfall under hardwoods and red pine in central Pennsylvania,” *Water Resour. Res.* 4(1):55-57.
26. Roth F. A. and M. Chang (1981) “Throughfall in planted stands of four southern pine species in east Texas,” *Water Resour. Bulletin* 17(5):880~885.
27. Rothacher J. (1963) “Net precipitation under a Douglas-fir forests,” *Forest Science* 9(4):424-429.
28. Schmid J. M., S. A. Mata, M. H. Martinez and C. A. Troendle (1991) “Net precipitation within small group infestation of the mountain pine beetle,” *USDA For. Rerv. Res. Note RM-508*, 4p.