

天然闊葉林與檳榔園穿落雨之量測研究

盧惠生^[1] 林壯沛^[2] 黃良鑫^[3] 林介龍^[3] 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研究中心的天然闊葉林、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。顯示以直徑 20 公分承雨口量筒量測穿落雨時，天然闊葉林量測穿落雨允許最大誤差率 10%時，只需 5 個量筒即可，允許最大誤差率 5%時，必須 33 個量筒才可；而檳榔園量測穿落雨允許最大誤差率 30%時，只需 9 個量筒即可，允許最大誤差率 20%時，需 33 個量筒，允許最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可。天然闊葉林及檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂，當天然闊葉林與檳榔園量筒數目減少時，穿落雨空間分佈的細微變化逐漸無法顯示。空曠地降雨空間分佈甚為均勻，僅一個雨量筒量測空曠地降雨，亦不影響量測的可靠性。以直徑 20 公分承雨口量筒量測穿落雨時，降雨量小於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 81.5%，檳榔園的穿落雨約 51.8%。檳榔園與天然闊葉林穿落雨空間分佈均值，可由空曠地降雨推算。

(**關鍵詞：**穿落雨、檳榔、天然闊葉林)

(1) 農業委員會林業試驗所集水區經營組研究員，通訊作者

(2) 農業委員會林業試驗所六龜研究中心副研究員兼主任

(3) 農業委員會林業試驗所集水區經營組助理副研究員

Throughfall Measurement in Natural Hardwood Forest and Betel Palm Plantation

Hui-sheng Lu

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

Jaung-pei Lin

Associate Scientist & Chief, Liouquei Branch Station, Taiwan Forestry Research
Institute, Liouquei, Kaoshiung county, Taipei, Taiwan 844, R.O.C.

Liang-shin Hwang, Chieh-lung Lin, Yu-chi Chow

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

Abstract

Spatial distribution and variation of throughfall affected runoff processes and paths. Meantime, measuring and calculating errors of throughfall and estimating bias of surface runoff were also caused by spatial variation of throughfall. Throughfall plots at a natural hardwood forest, betel palm plantation and open area have been established in this study. Each plot has 81 simple throughfall gages with an orifice diameter of 20 cm to measure spatial distribution of throughfall. When permitting maximum error percentages of measured throughfall at natural hardwood forest are 10% and 5 %, throughfall gages of 5 and 33 need to be satisfied, respectively. When permitting maximum error percentages of measured throughfall at betel palm plantation are 30%, 20% and 10 %, throughfall gages of 9, 33 and 41 need to be satisfied, respectively. No matter betel palm plantation or natural hardwood forest, both spatial distributions of throughfall were rather uneven. Decreasing number of gages for measured throughfall at betel palm plantation or natural hardwood forest cannot detect spatial variation in detail. The spatial distribution of rainfall of open area was rather even. Measured rainfall at open area needs only one gage. Based on calculation of throughfall gages with orifice in diameter 20 cm, throughfall amounts in natural hardwood forest and betel palm plantation for rainfall less than 100 mm are 81.5% and 51.8%, respectively. 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.

(**Key words:** throughfall, betel palm, natural hardwood forest)

緒 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健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。盧等(2003)獲悉不論颱風干擾前、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。

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，然台灣山坡地開墾不少檳榔園，檳榔園穿落雨的量測方法與特性亦亟待積極瞭解。本研究乃於南投縣魚池鄉蓮華池研究中心天然闊葉林、檳榔及空曠地，設置穿落雨空間分佈試區，以 20 公分直徑承雨筒之雨量筒，量測穿落雨的空間分佈特性，探討量筒密度與天然闊葉林及檳榔園穿落雨量測可靠性之關係。

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，依據歷年來蓮華池研究中心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℃，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，試區形狀為正方形，面積 324 平方公尺，其相關位置，空曠地降雨試區居中，天然闊葉林穿落雨試區在空曠地降雨試區北向距離 150 公尺，檳榔園穿落雨試區在空曠地降雨試區南向距離 300 公尺。每個試區內均勻設置 81 個雨量筒，雨量筒的儲水體積為 4 公升的圓筒狀白色塑膠筒，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，採用直徑 20 公分的圓形漏斗為承雨口，量測穿落雨量，雨量筒的行列距間隔 2 公尺，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 variabilis* (Hay.) Kaneh. & Sasaki)、香桂(*Cinnamomum randaiense* Hay.)、糊樗(*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.) Poir.)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 10 公分，11 株(15%)在 10-20 公分間，5 株(7%)在 20-30 公分間，4 株(6%)大於 30 公分。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。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。

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不同數量的量筒量測之穿落雨等高線分佈，計算穿落雨平均值、誤差率（（不同量筒數量的穿落雨平均值-81 個量筒穿落雨平均值） $\times 100\%$ /81 個量筒穿落雨平均值），探討量筒密度與天然闊葉林及檳榔園穿落雨量測可靠性之關係。

結果與討論

1. 雨量筒密度與穿落雨量測關係

由於天然闊葉林與檳榔園樹冠密度分佈頗為不均，導致穿落雨的空間分佈不均，欲準確的推算穿落雨的平均值時，增加穿落雨量筒數量不失為可行的途徑之一，然穿落雨量筒數量需要多少才能滿足精確度，亟待解決。本文以 81 個直徑 20 公分的圓形漏斗型承雨口量測穿落雨量，雨量筒的行列距間隔 2m，形成 9×9 正方形矩陣排列，獲得 12 場穿落雨量測值，降雨量範圍在 3.3mm-97.5mm，同時假設穿落雨量筒由 81 個量筒逐步均勻的減少為 45、41、33、17、13、9、5、1 個量筒如圖 1，計算此八種不同量筒數量的穿落雨平均值與 81 個量筒穿落雨平均值之誤差率，如圖 2-4。

由圖 2 不同數量量筒計算天然闊葉林穿落雨的誤差率，此 12 場穿落雨的不同數量量筒穿落雨的誤差率，互有差異；1 個量筒時誤差率最小為 18.70%，最大為 53.55%；5 個量筒時誤差率最小為 -0.03%，最大為 -10.83%；9 個量筒時誤差率最小為 -0.37%，最大為 12.46%；13 個量筒時誤差率最小為 -0.38%，最大為 -11.36%；17 量筒時誤差率最小為 -0.14%，最大為 -10.81%；33 個量筒時誤差率最小為 0.58%，最大為 5.86%；41 個量筒時誤差率最小為 -0.046%，最大為 -3.68%；45 個量筒時誤差率最小為 -0.62%，最大為 -6.33%。顯示天然闊葉林穿落雨量筒數量增加時，穿落雨量測平均值的誤差率成起伏式減小。

由圖 3 不同數量量筒計算檳榔園穿落雨的誤差率，此 12 場穿落雨的不同數量量筒穿落雨的誤差率，亦互有差異；1 個量筒時誤差率最小為 -6.20%，最大為 54.80%；5 個量筒時誤差率最小為 -1.82%，最大為 -22.62%；9 個量筒時誤差率最小為 0.65%，最大為 -33.25%；13 個量筒時誤差率最小為 -0.25%，最大為 15.44%；17 量筒時誤差率最小為 -0.74%，最大為 31.63%；33 個量筒時誤差率最小為 -3.24%，最大為 -19.42%；41 個量筒時誤差率最小為 -0.13%，最大為 6.21%；45 個量筒時誤差率最小為 -0.11%，最大為 9.81%。顯示檳榔園穿落雨量筒數量增加時，穿落雨量測平均值的誤差率亦成起伏式減小，但其最大誤差率減小的速率比天然闊葉林為緩，同時起伏度亦較大。

由圖 4 不同數量量筒計算空曠地降雨的誤差率，此 12 場穿落雨的不同數量量筒降雨的誤差率，亦互有差異，但差異不大；1 個量筒時誤差率最小為 0.063%，最大為 -6.078%；5 個量筒時誤差率最小為 0.010%，最大為 5.581%；9 個量筒時誤差率最小為 0.039%，最大為 2.775%；13 個量筒時誤差率最小為 -0.005%，最大為 2.601%；17 量筒時誤差率最小為 -0.013%，最大為 -1.126%；33 個量筒時誤差率最小為 -0.036%，最大為 0.812%；41 個量筒時誤差率最小為 0.010%，最大為 0.934%；45 個量筒時誤差率最小為 -0.012%，最大為 -0.536%。顯示空曠地降雨量筒數量增加時，降雨量測平均值的誤差率亦成起伏式減小，但即使 1 個量筒量測空曠地降

雨，其最大誤差率僅 5%。

至於多少個量筒才能到達所需的精確度問題，本文將天然闊葉林、檳榔園及空曠地 12 場不同數量量筒穿落雨的最大誤差率顯示如圖 5-7。由圖 5 之天然闊葉林不同數量量筒穿落雨的最大誤差率，天然闊葉林量筒數量由 81 個量筒減少到 33 個量筒時，最大誤差率約 5%，減少到 5 個量筒時，最大誤差率約 10%。由圖 6 之檳榔園不同數量量筒穿落雨的最大誤差率，檳榔園量筒數量由 81 個量筒減少到 41 個量筒時，最大誤差率約 10%，減少到 33 個量筒時，最大誤差率約 20%，減少到 9 個量筒時，最大誤差率約 30%。由圖 7 之空曠地不同數量量筒降雨的最大誤差率，空曠地量筒數量由 81 個量筒減少到 1 個量筒時，最大誤差率約 5%。由此可見天然闊葉林量測穿落雨時如果允許最大誤差率約 10%時，只需 5 個量筒即可，如果允許最大誤差率約 5%時，必須 33 個量筒才可；而檳榔園量測穿落雨時如果允許最大誤差率約 30%時，只需 9 個量筒即可，如果允許最大誤差率約 20%時，必須 33 個量筒才可，如果允許最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可；空曠地只需 1 個量筒即不會超過 5%的最大誤差率。

2.不同數量量筒量測穿落雨空間分佈特性

由圖 8 的天然闊葉林 81、33、5 個直徑 20 公分承雨口量筒量測穿落雨空間分佈數據，平均穿落雨 86.8 mm，設定橫軸為 X 軸，縱軸為 Y 軸，其空間位置(X, Y)表示；其中 81 個量筒在位置(2,10)、(4,4)、(8,8)、(10,8)、(14,2)、(14,8)、(14,10)等處等高線密集，穿落雨較多；而 33 個量筒在位置(4,4)、(8,8)、(10,8)、(14,2)、(14,8)等處等高線密集，穿落雨較多；至於 5 個量筒在位置(6,8)、(8,6)、(8,8)、(8,10)、(10,8) 為穿落雨較多的中心範圍。基本上而言，量筒數目減少，量測的穿落雨最大處不變，但量筒數目逐漸減少時，穿落雨空間分佈的細微變化逐漸無法顯示。

由圖 9 的檳榔園 81、41、33、9 個直徑 20 公分承雨口量筒量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 49.7 mm，設定橫軸為 X 軸，縱軸為 Y 軸，其空間位置(X, Y)表示；其中 81 個量筒在位置(2,6)、(4,10)、(6,10)、(8,10)、(10,8)、(10,10)、(10,12)、(12,10)、(14,8)等處等高線密集，穿落雨較多；而 41 個量筒在位置(2,6)、(6,10)、(10,10)、(12,10)、(14,14)等處等高線密集，穿落雨較多；33 個量筒在位置(2,2)、(6,10)、(10,8)、(12,10)、(14,8)、(14,12)等處等高線密集，穿落雨較多；至於 9 個量筒在位置(2,2)、(10,12)、(12,10)、(12,12) 等處為穿落雨較多的中心範圍。基本上而言，檳榔園量筒數目減少，量測的穿落雨最大處尚不失真，但量筒數目逐漸減少時，穿落雨空間分佈的細微變化亦逐漸無法顯示。

由圖 10 的空曠地 81 及 5 個直徑 20cm 承雨口量筒量測降雨空間分佈資料，平均降雨 97.54 mm，其等高線極為稀疏。顯然空曠地降雨空間分佈甚為均勻，即使僅一個雨量筒量測空曠地降雨，亦不影響量測的可靠性。

3.穿落雨的推估

檳榔園與天然闊葉林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的總平均值與空曠地降雨的總平均值關係獲得如表 1。

以 81 個 20 公分直徑承雨口的標準雨量筒量測穿落雨，由於穿落雨量器的儲水塑膠筒最大容量的限制，只能量測小於 100 mm 的雨量時，當小於 100mm 的雨量時，天然闊葉林穿落雨為降雨量的 81.5%，檳榔園穿落雨為降雨量的 51.8%。

由前節結果可知天然闊葉林量測穿落雨時最大誤差率約 10%時，只需 5 個量筒即可，最大誤差率約 5%時，必須 33 個量筒才可；而檳榔園量測穿落雨時最大誤差率約 30%時，只需 9 個量筒即可，最大誤差率約 20%時，必須 33 個量筒才可，最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可；空曠地只需 1 個量筒即不會超過 5%的最大誤差率。

因此將不同數量量筒量測天然闊葉林與檳榔園穿落雨空間分佈均值為因變數，空曠地降雨空間分佈均值為自變數，進行迴歸分析，結果如表 2。

式(1)-(12)中的 P_{bp81} 、 P_{bp41} 、 P_{bp33} 、 P_{bp9} ，分別為檳榔園 81、41、33、9 個量筒穿落雨空間分佈均值(mm)； P_{nh81} 、 P_{nh33} 、 P_{nh5} ，分別為天然闊葉林 81、33、5 個量筒穿落雨空間分佈均值(mm)； P_{oa81} 、 P_{oa41} 、 P_{oa33} 、 P_{oa9} 、 P_{oa5} 、 P_{oa1} ，分別為空曠地 81、41、33、9、5、1 個量筒降雨空間分佈均值(mm)。r²相關係數均達 0.97 以上，顯示以不同數量量筒測的檳榔園與天然闊葉林穿落雨空間分佈均值，均可由空曠地不同數量量筒測降雨空間分佈均值或空曠地單一量筒量測降雨推算。天然闊葉林量測穿落雨，可由式(1)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 5%時，需 33 個量筒才可，但可由式(2)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 10%時，必須 5 個量筒才可，但可由式(3)以空曠地降雨量推估。檳榔園量測穿落雨，可由式(4)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 10%時，需 41 個量筒才可，但可由式(5)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 20%時，需 33 個量筒才可，但可由式(6)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 30%時，需 9 個量筒才可，但可由式(7)以空曠地降雨量推估；式(8)至(12)為空曠地不同數量量筒與單一量筒量測降雨的關係，由迴歸式的係數幾乎接近 1，而常數項值亦趨近於 0，可知僅一個雨量筒即可精確的量測空曠地降雨。

結 論

- 1.以直徑 20 公分承雨口量筒量測穿落雨時，天然闊葉林量測穿落雨允許最大誤差率 10%時，只需 5 個量筒即可，允許最大誤差率 5%時，必須 33 個量筒才可；而檳榔園量測穿落雨允許最大誤差率 30%時，只需 9 個量筒即可，允許最大誤差率 20%時，需 33 個量筒即可，允許最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可；空曠地只需 1 個量筒即不會超過 5%的最大誤差率。
- 2.天然闊葉林及檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂，當天然闊葉林與檳榔園量筒數目減少，量測的穿落雨最大處雖尚不失真，但量筒數目逐漸減少時，穿落雨空間分佈的細微變化逐漸無法顯示。空曠地穿落雨空間分佈甚為均勻，僅一個雨量筒量測空曠地降雨，亦不影響量測的可靠性。
- 3.以直徑 20 公分承雨口量筒量測穿落雨時，降雨量小於 100mm 時，天然闊葉林的穿落雨約 81.5%，檳榔園的穿落雨約 51.8%。
- 4.檳榔園與天然闊葉林穿落雨空間分佈均值，可由空曠地降雨推算。

謝 誌

本研究承行政院農業委員會林業試驗所 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 361 號。

參考文獻

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 盧惠生、林壯沛、黃良鑫、林介龍、周玉奇 (2003) 「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」，水土保持學報 35(2):199-216。
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Gomez J. A., K. Vanderlinden, J. V.Giraldez, and E. Fereres (2002) "Rainfall concentration under olive trees," *Agriculture Water Management* 55:53-70.
11. 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.
12. Huff F. A. (1970) "Spatial distribution of rainfall rates," *Water Resour. Res.* 6(1):254-259.
13. Isaaks E. H. and R. M. Srivastava (1989) *Applied geostatistics*, Qxford University Press, Inc., New York, 561p.

14. 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.
15. Lloyd C.R. and A. O. Margues (1988) "Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest," *Agric. For. Meteorol.*, 42:63~73.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Rogerson T.L. (1968) "Thinning increases throughfall in loblolly pine plantations," *Journal of Soil and Water Conservation* 23(4):141-142.
21. 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.
22. 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.
23. Rothacher J. (1963) "Net precipitation under a Douglas-fir forests," *Forest Science* 9(4):424-429.
24. 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.

表 1. 天然闊葉林與檳榔園穿落雨變化

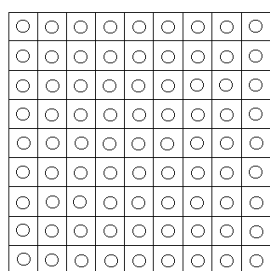
Table 1. Throughfall of a natural hardwood forest and betel palm plantation

穿落雨試區	穿落雨均值	
	mm	佔空曠地%
天然闊葉林	24.36	81.5%
檳榔園	15.47	51.8%
空曠地	29.88	

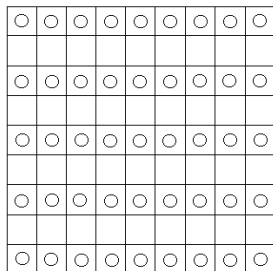
表 2. 天然闊葉林及檳榔園穿落雨與空曠地降雨間的迴歸關係式

Table 2. Regression equations for throughfall means of a natural hardwood forest and betel palm plantation on the open area

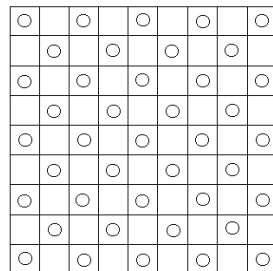
穿落雨試區	降雨量範圍 (mm)	迴歸式 (mm)	r^2	n
天然闊葉林	20, 3.3-97.5	1. $P_{nh81} = 0.90P_{oa81} - 2.59$	0.99	12
		$P_{nh81} = 0.90P_{oa1} - 2.62$	0.99	12
		2. $P_{nh33} = 0.91P_{oa33} - 2.54$	0.99	12
		$P_{nh33} = 0.91P_{oa1} - 2.60$	0.99	12
		3. $P_{nh5} = 0.89P_{oa5} - 2.89$	0.98	12
		$P_{nh5} = 0.88P_{oa1} - 2.89$	0.98	12
檳榔園	20, 3.3-97.5	4. $P_{bp81} = 0.51P_{oa81} + 0.27$	0.99	12
		$P_{bp81} = 0.51P_{oa1} + 0.26$	0.99	12
		5. $P_{bp41} = 0.51P_{oa41} + 0.32$	0.99	12
		$P_{bp41} = 0.50P_{oa1} + 0.30$	0.99	12
		6. $P_{bp33} = 0.46P_{oa33} - 0.37$	0.99	12
		$P_{bp33} = 0.45P_{oa1} - 0.35$	0.99	12
空曠地	20, 3.3-97.5	7. $P_{bp9} = 0.49P_{oa9} + 1.19$	0.97	12
		$P_{bp9} = 0.49P_{oa1} + 1.16$	0.97	12
		8. $P_{oa81} = 0.995P_{oa1} - 0.066$	0.995	12
		9. $P_{oa41} = 0.997P_{oa1} - 0.08$	0.997	12
		10. $P_{oa33} = 0.997P_{oa1} - 0.1$	0.999	12
		11. $P_{oa9} = 0.995P_{oa1} - 0.041$	0.999	12
		12. $P_{oa5} = 0.998P_{oa1} - 0.03$	0.998	12



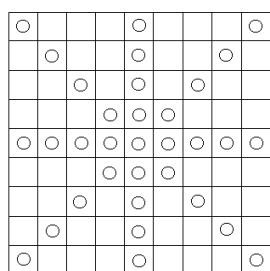
(a) 81 個量筒



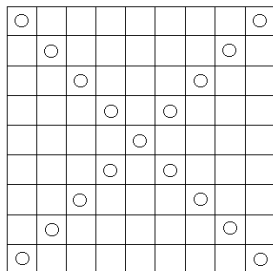
(b) 45 個量筒



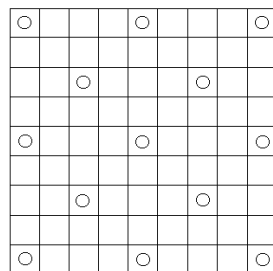
(c) 41 個量筒



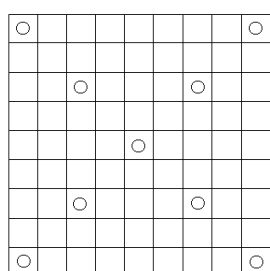
(d) 33 個量筒



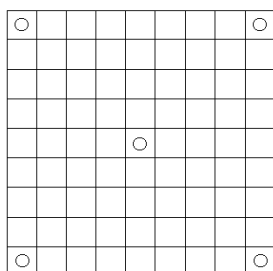
(e) 17 個量筒



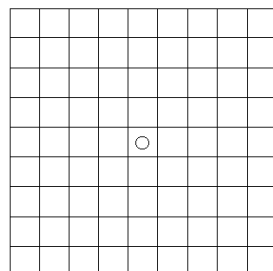
(f) 13 個量筒



(g) 9 個量筒



(h) 5 個量筒



(i) 1 個量筒

圖 1. 不同數量穿落雨量筒排列設計

Fig. 1. Location design for different number of gages in space to measure throughfall

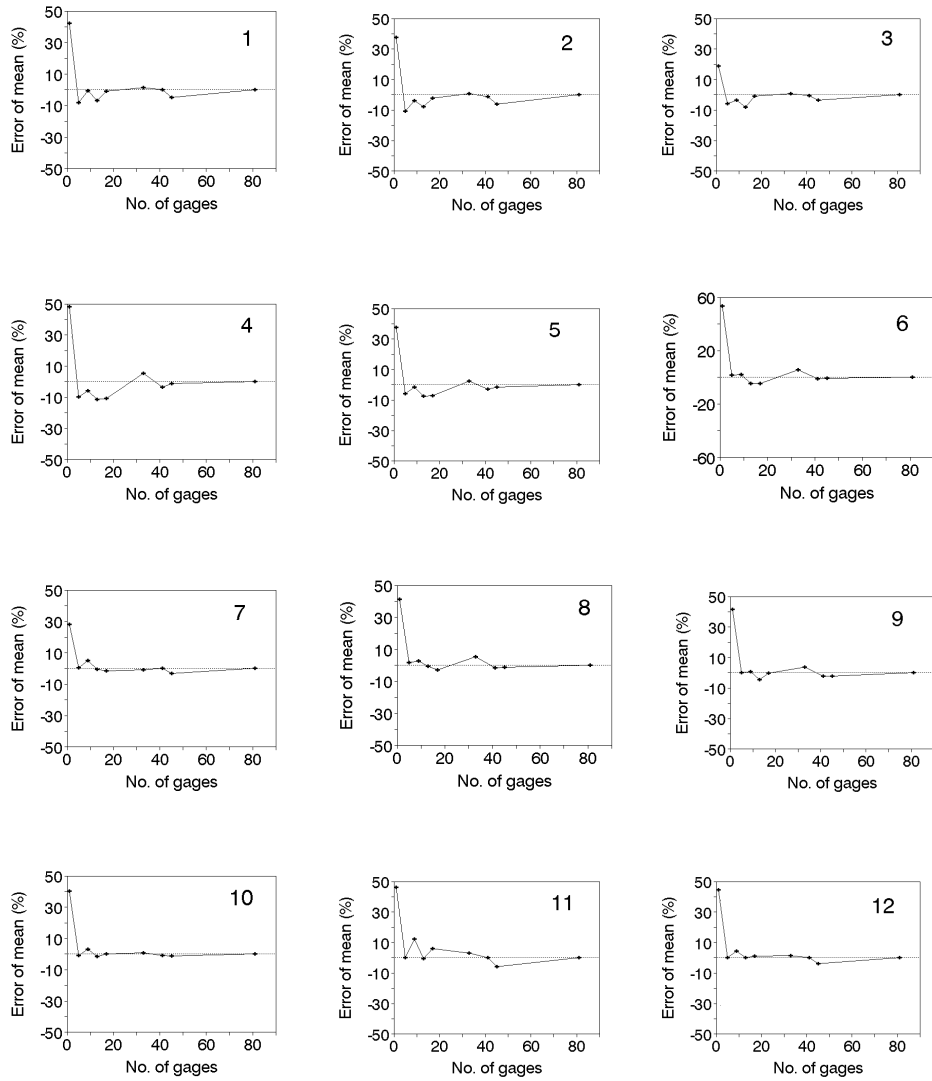


圖 2. 天然闊葉林不同數量量筒(20 公分直徑承雨口)計算 12 場穿落雨平均值之誤差率
 Fig. 2. Error of mean of measured throughfall from different number of gages (20 cm in diameter) for 12 events at natural hardwood forest.

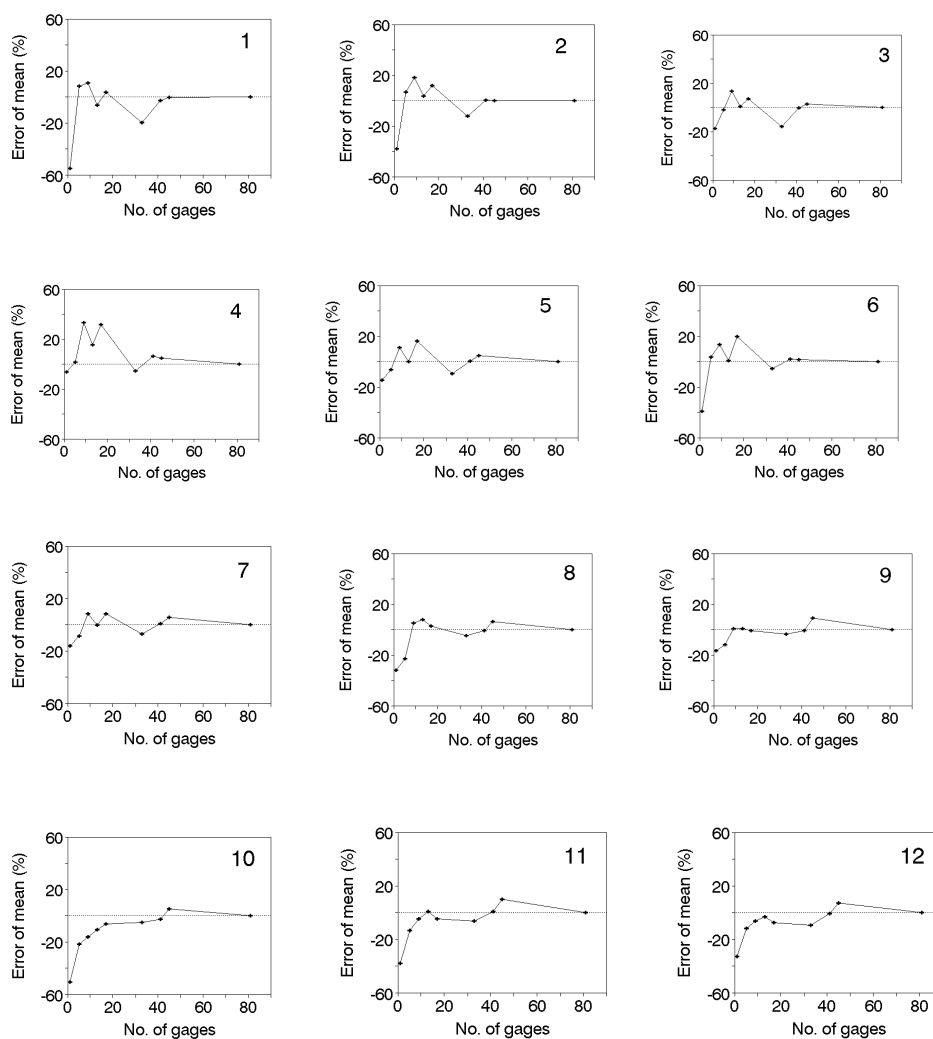


圖 3. 檳榔園不同數量量筒(20 公分直徑承雨口)計算 12 場穿落雨平均值之誤差率
 Fig. 3. Error of mean of measured throughfall from different number of gages (20 cm in diameter) for 12 events at betel palm plantation.

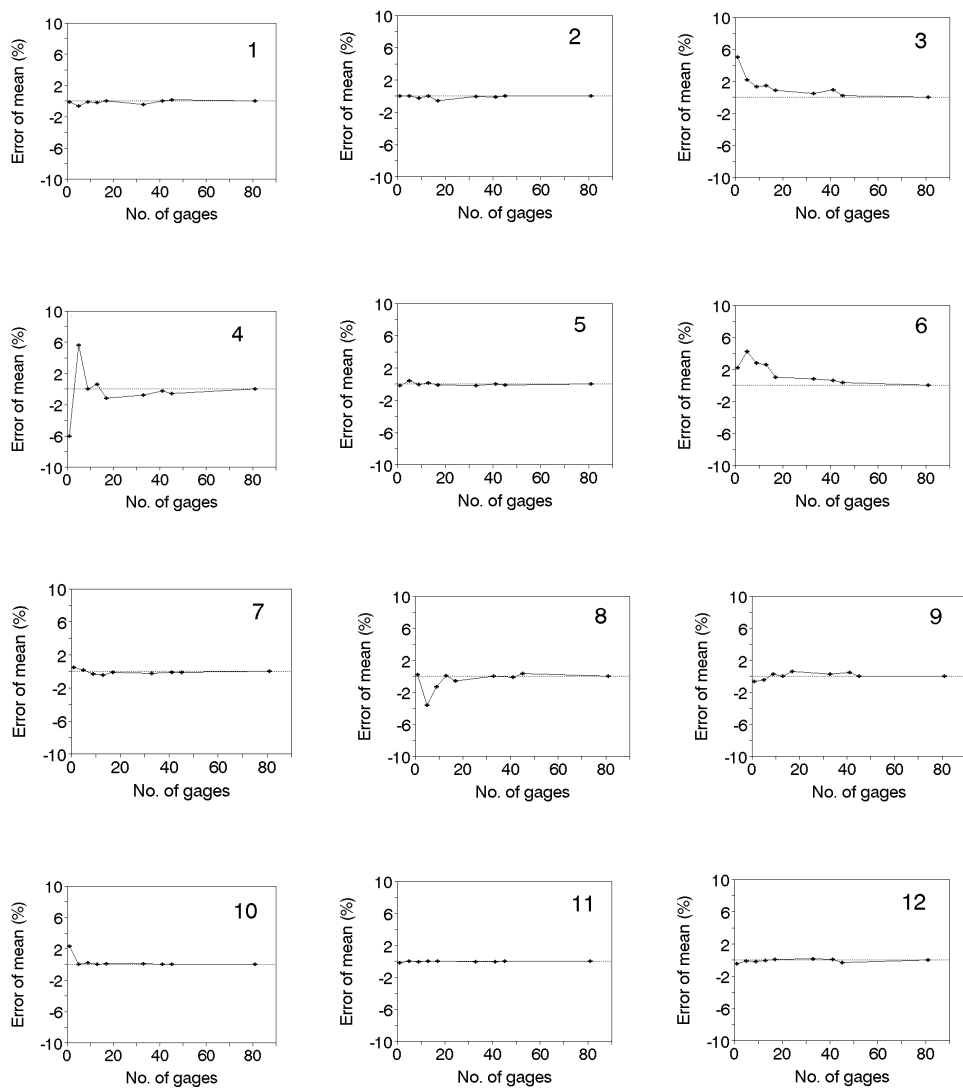


圖 4. 空曠地不同數量量筒(20 公分直徑承雨口)計算 12 場降雨平均值之誤差率
 Fig. 4. Error of mean of measured rainfall from different number of gages (20 cm in diameter) for 12 events at bare land.

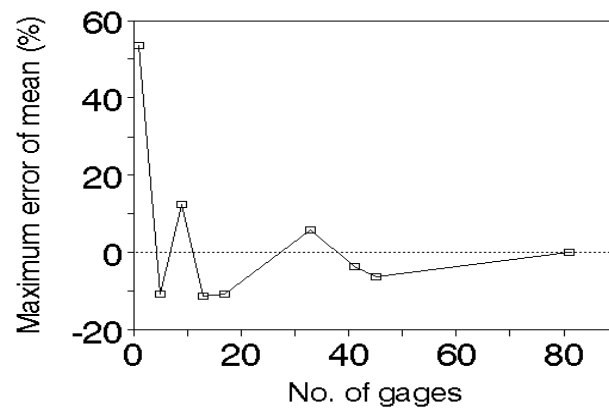


圖 5. 天然闊葉林 12 場不同數量量筒穿落雨的最大誤差率

Fig. 5. Maximum error of mean of measured throughfall in natural hardwood forest under different number of gages for 12 events.

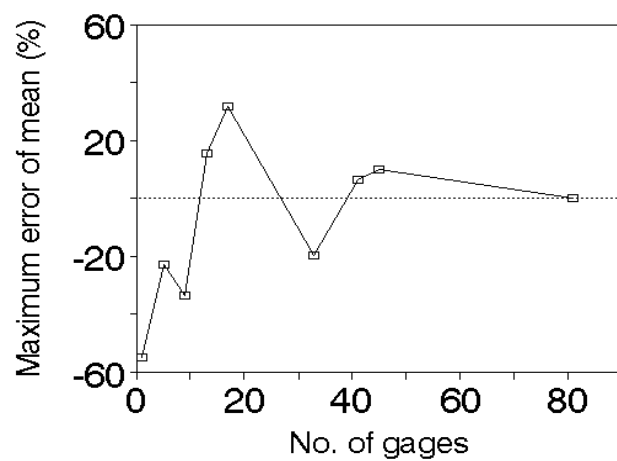


圖 6. 檳榔園 12 場不同數量量筒穿落雨的最大誤差率
 Fig. 6. Maximum error of mean of measured throughfall in betel palm plantation under different number of gages for 12 events.

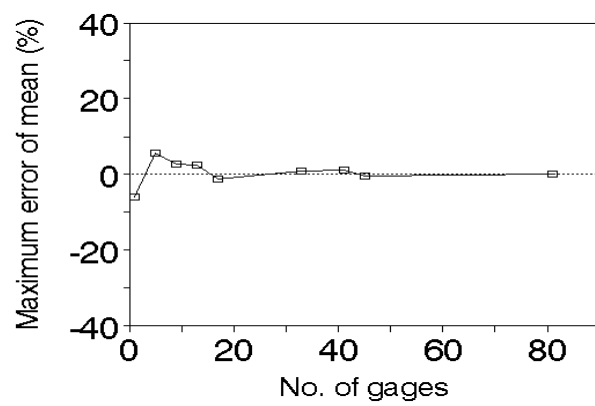


圖 7. 空曠地 12 場不同數量量筒降雨的最大誤差率

Fig. 7. Maximum error of mean of measured rainfall in open area under different number of gages for 12 events.

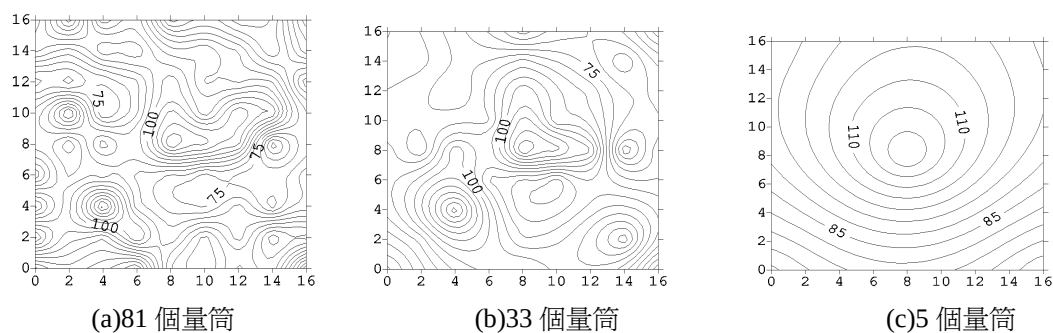


圖 8. 天然闊葉林不同數量量筒 ((a)81 個量筒(b)33 個量筒(c)5 個量筒) 量測穿落雨的空間分佈特性(20 公分直徑承雨口，穿落雨 86.8mm，1997,6,5)

Fig. 8. Spatial distribution of throughfall for different number ((a)81, (b)33, (c)5) of gages in natural hardwood forest and 86.8 mm of its mean with orifice of gages in diameter 20 cm (1997, 6, 5,).

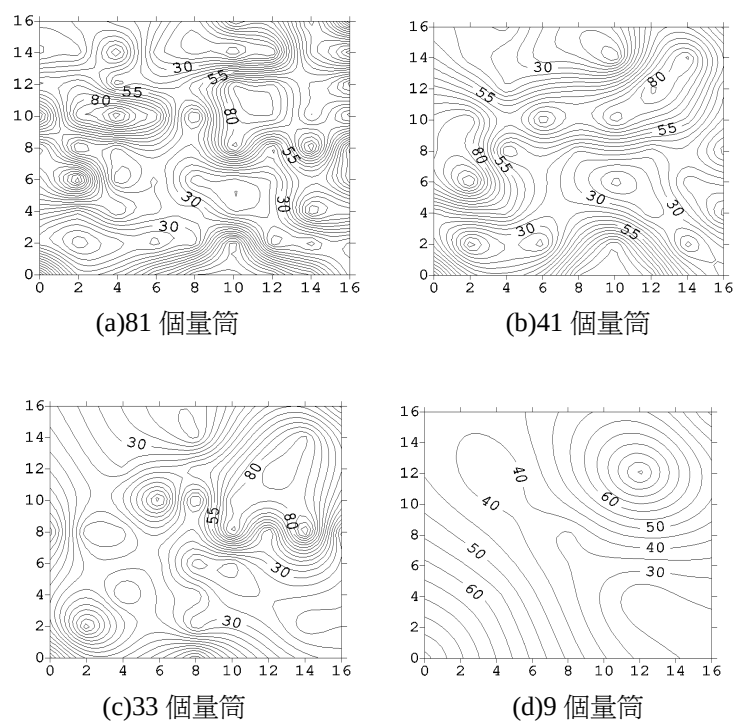


圖 9. 檳榔園不同數量量筒量 (a)81 個量筒(b)41 個量筒(c)33 個量筒 (d) 9 個量筒) 測穿落雨的空間分佈特性(20 公分直徑承雨口，穿落雨 49.7mm，1997,6,5)

Fig. 9. Spatial distribution of throughfall for different number ((a)81, (b)41, (c)33, (d)9) of gages in betel palm plantation and 49.7 mm of its mean with orifice of gages in diameter 20 cm (1997, 6, 5,).

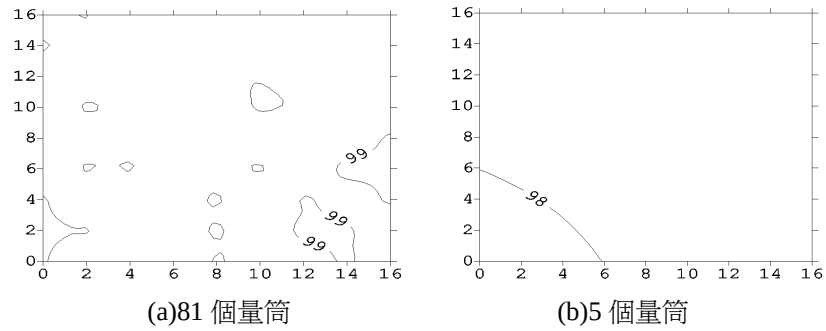


圖 10. 空曠地不同數量量筒 ((a)81 個量筒(b)5 個量筒) 量測降雨的空間分佈特性(20 公分直徑承雨口，穿落雨 97.54mm，1997,6,5)

Fig. 10. Spatial distribution of rainfall for different number ((a) 81, (b) 5) of gages in open area and 97.54 mm of its mean with orifice of gages in diameter 20 cm (1997, 6, 5,).