

不同降雨強度下雨滴粒徑與速度特性-以屏東老埤地區為例

周佳翰 江介倫* 林紘立

摘要 雨滴的粒徑與速度是計算雨滴動能及模擬降雨試驗時的重要參數依據。唯近年來氣候變遷趨勢影響受重視，且觀測科技日益進步，因此本研究藉由雷射雨滴譜儀(LPM)觀測屏東老埤地區的雨滴粒徑及速度，透過雨滴譜儀紀錄 2014 年 5 月到 10 月的降雨雨滴粒徑與速度等資料，分析雨滴粒徑與速度的特性，期間觀測到雨滴粒徑在 8mm 以內，雨滴速度在 10m/s 以下，各降雨強度之中值粒徑約介於 1.25mm~4mm 間，而最大雨滴粒徑及最大雨滴速度分別與降雨強度成乘冪的相關性，且體積中值粒徑(medium volume drop diameter)與降雨強度亦呈乘冪相關，不同降雨強度時雨滴的動能變化可以 $E=0.0017(I)^{1.05}$ 描述，判斷係數 R^2 高達 0.954。

關鍵詞：雨滴粒徑、雨滴譜儀、降雨動能、土壤沖蝕、降雨沖蝕指數

Characteristics of Drop Size and Velocity of Various Rainfall Intensities – A Case Study in Pingtung Laopi Area

Chia Han Chou^[1] Jie-Lun Chiang^{[1]*} Hung Li Lin^[1]

ABSTRACT Raindrop size and velocity are the major parameters for calculating rainfall kinetic energy and rainfall simulation. Because of climate change affect and the improvement of the observation technology, we used laser precipitation monitor (LPM) to observe the relevance between rainfall diameter and velocity of the Pingtung area in this study. The records are from May to October in 2014. The raindrop's velocity is usually less than 10 meters per second and the diameter is no more than 8mm. The median volume drop diameter is in the range of 1.25mm to 4mm. The relationship between maximum drop diameter and rainfall intensity can be fitted as power regression model. The relationship between max raindrop velocity diameter and rainfall intensity was fitted to power model as well. The relationship between medium volume drop diameter and rainfall intensity was fitted to power regression model. The relationship of rainfall kinetic energy and rainfall intensity can be fitted the model: $E=0.0017(I)^{1.05}$ ($R^2=0.954$).

Key Words : raindrop velocity , raindrop size, soil erosion, disdrometer, rainfall erosivity

國立屏東科技大學水土保持系

Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail:jlchiang@mail.npust.edu.tw

一、前言

台灣位處於亞熱帶氣候，年平均降雨量為 2500 公厘，多颱風與地震，夏季亦常有對流雨的強降雨發生，常因的強降雨造成土壤沖蝕及土砂災害。雨滴粒徑的大小與其分布是計算雨滴動能及模擬降雨試驗時的重要參數依據，因降雨動能又影響土壤沖蝕指數，故亦為土壤沖蝕量估算時之重要因子。

由於台灣山高水急，土壤沖蝕嚴重，幸而山坡地利用保育條例及水土保持法分別於民國 65 年及 83 年公布實施，對山坡地的開發與土壤的保護有一定的把關機制。而通用土壤流失公式 (USLE)，於 1954 年於美國農部開始發展，經過數次修正在 1978 年完成 (Wischmeier and Smith 1978)，由於使用簡便，為目前世界上應用最廣泛的土壤流失估算模式，亦是我國政府部門及水土保持技術規範所採用的土壤沖蝕估算公式。其參數 R、K、L、S、C、P 中以水文觀點來看，以降雨沖蝕指數 R 是與驅動力-降雨有關的因子，其他指數可將其歸類於地文類因子。Watson et al.(1985)由降雨實驗結果顯示，土壤強度、坡度、降雨強度三因素與蝕溝之沖蝕量關係，其中以降雨強度為最主要影響因子。其中降雨沖蝕指數在台灣已有前人研究成果可供參考(黃俊德，1979；盧光輝，1999；盧昭堯等，2005；江介倫，2013)，唯近年來氣候變遷趨勢日益嚴重且觀測科技日益進步，因此本研究藉由雷射雨滴譜儀(Distrometer (LPM))觀測雨滴粒徑的大小、速度及其分布特性。以獲取計算雨滴動能及模擬降雨試驗時的重要參數，進而供推估降雨沖蝕指數或土壤流失量時及其他相關水文與土壤沖蝕研究與應用參考。

二、文獻回顧

雨滴粒徑速度的觀測在國內外曾有諸多研究，雨滴粒徑量測隨著科技的發展有不同的儀器方法，例如染色濾紙法、麵粉糰粒法、油法、攝影法等。其中，染色濾紙法(Stain method)以色的濾紙承接水滴，由雨滴留在濾紙上擴散開之痕跡進而分析計算得到雨滴粒徑(Wiesner, 1895)，其中濾紙的均勻與否會影響量測準確性，且較長時間觀測時濾紙的抽換將面臨的問題。麵粉糰粒法(Flour Method)係利用淺盤裝盛麵粉來承接落的雨滴、雨滴掉落裝麵粉之淺盤會形成麵粉糰粒，經烘乾質量比率的律定關係進而可以推求雨滴直徑(Bentley, 1904；Laws and Parson, 1943；Carter et al. 1971；Kohl, 1974)應用此法時小粒徑之雨滴不易結成麵粉團粒，且會有易破碎及團粒間互相黏結等情況而影響粒徑量測之準確性。動量法(momentum method)係應用壓力感應器感測不同粒徑落地時衝擊感測器之動量(Joss and Waldvogel, 1967；Schleusener 1967；Kinnell, 1976)，再分析求得粒徑，由於感應器感測到的是落於整個感測器之數個雨滴之總動量，某一時刻降下之雨滴粒徑常為不均勻，因此可能影響觀測準確性。油法(Oil method)係以裝油容器承接下之雨滴，因油與水不相融可以再由投影或攝影求得雨滴粒徑(Eigel and Moore, 1983)但因光線折射率及承接太多雨滴時不易判讀等將影響觀測準確性。攝影法採用高速攝影後續分析(Laws, 1941；張文詔, 1994)多顆粒時的影像分析及長期的觀測將是此方法的挑戰。

Wischmeier 與 Smith(1959)研究得到美國地區之降雨動能方程式為 $E=916+331 \times \log I$ ，當時他們採用 Laws 的近 100 個雨滴粒徑資料，而此資料降雨強度大於 50.8mm/h 者僅有五筆紀錄，其中最大者為 114.3mm/h。Chang 等(1993)量測屏東老埤地區自然降雨之中值粒徑得到中值粒徑界於 1.4mm~2.6mm 之間。吳嘉俊等(1996)觀測屏東老埤地區 1992 年 7 月~1994 年 9 月之雨滴粒徑並計算降雨動能，觀測到之最小瞬間降雨強度 0.85mm/h，最大為 163.04mm/h，得到降雨動能 $E=0.119+0.0873 \log I$ (當 $I < 4 \text{mm/h}$)； $E=0.276-0.521/I+1.146 \exp(-I)$ (當 $I \geq 4 \text{mm/h}$)。盧昭堯等人(2005)以濾紙法測定雨滴粒徑並計算降雨動能，研究中將天然降雨動能與降雨強之關係以 $E=a+b \times \log I$ 之數學形式表現。

二、研究材料與方法

如前節國內外已有降雨雨滴粒徑與速度及降雨動能相關研究之成果，唯不同時間、地點降雨之特性恐有不同，加上近年來氣候變遷的可能影響，因此本研究以具良好精度的雷射式雨滴譜儀觀測屏東老埤地區之雨滴特性。

雷射雨滴譜儀使用雷射訊號的原理設計，將一雷射發射端與一雷射接收端之間構成一雷射介面，當降雨時，雨滴通過兩者間的雷射介面，便能分析該雨滴的相關資料，並將此紀錄於紀錄器連線傳送回電腦。

本研究分別擷取歷史降雨事件中的分鐘紀錄資料，包含其瞬時降雨強度，一分鐘內通過觀測區之雨滴數量、粒徑、速度等。經由這些資料，可以進一步分析最大與最小降雨強度間各分鐘的(1)雨滴粒徑與降雨強度的關係；(2)雨滴速度與降雨強度的關係；(3)一分鐘內通過觀測區(xx cm^2)所有雨滴的總動能。

其中計算各雨滴粒徑體積所佔的百分比，計算累積體積百分比(cumulative percentage of volume)進而求出中值體積粒徑 D_{50} 。由於儀器可觀測到觀測區內所有降雨雨滴顆粒粒徑與速度，令雨滴之密度為 1g/cm^3 引此降雨動能可以式(1)計算。

$$E=(1/2) m_i v_i^2 \quad (1)$$

m: 第 i 個雨滴之質量

V: 第 i 個雨滴之落下速度

三、結果與討論

本研究以 LPM 雨滴譜儀觀測 2014 年 5 月至 10 月之屏東老埤地區之自然降雨雨滴，期間觀測到之瞬時降雨強度界於 0.02mm/h~250.384mm/h 之間。觀察到雨滴粒徑多大數在 5.5mm 以內。觀測之最大雨滴粒徑為 8mm，最大雨滴速度為 10m/s，計算各降雨強度之體積中值粒徑約界於 1.25mm~4mm 間，而最大雨滴粒徑及最大雨滴速度分別與降雨強度成乘冪的相關性，當降雨強度增大時，其雨滴粒徑及速度皆呈增加趨勢。最大雨滴粒徑與降雨強度關係如圖 1，橫軸為瞬時降雨強度，縱軸為最大雨滴粒徑，兩者成乘冪的相關性，判斷係數 R^2 高達 0.88。最大雨滴速度與降雨強度關係如圖 2，橫軸為瞬時降雨強度，縱軸為最大雨滴速度，兩者亦呈冪關係，判斷係數 R^2 為 0.68，其與降雨強度之相關性不若粒徑高，可能是因為風力影響使雨滴速度之不確定性較高。

分析各降雨強度下之雨滴體積中值粒徑，並回歸得兩者呈乘冪關係 $D_{50} = 1.066 \times I^{0.211}$ 。由分析結果可以發現 2014 年屏東降雨之雨滴中值粒徑曲線與 Laws 等人 1943 年所得曲線頗為相似。不同降雨強度時雨滴的動能變化可 $E=0.0017I^{1.05}$ 描述，判斷係數 R^2 高達 0.954，如圖 3 所示。

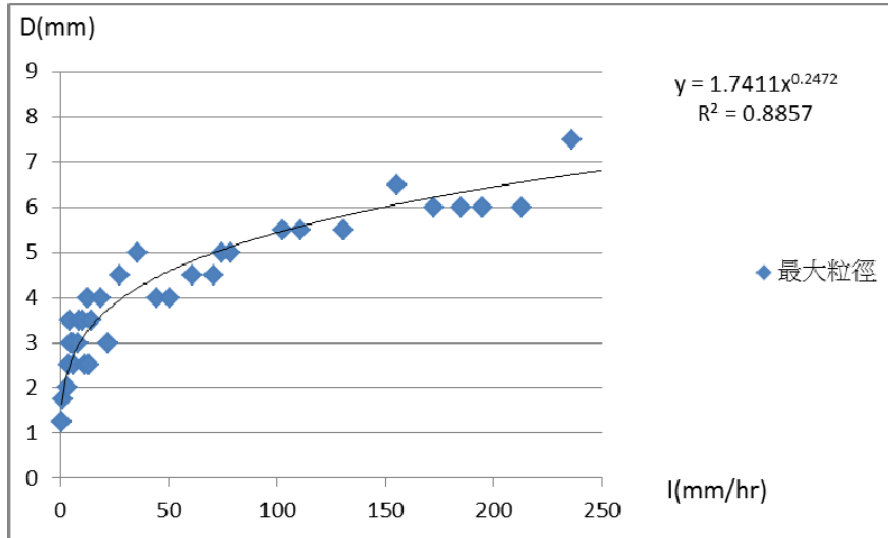


圖 1 最大粒徑與降雨強度關係

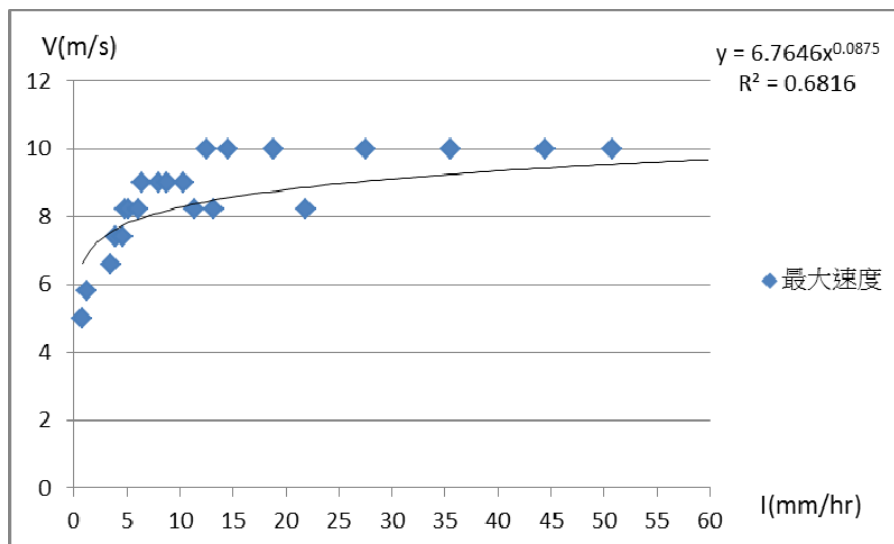


圖 2 最大速度與降雨強度關係

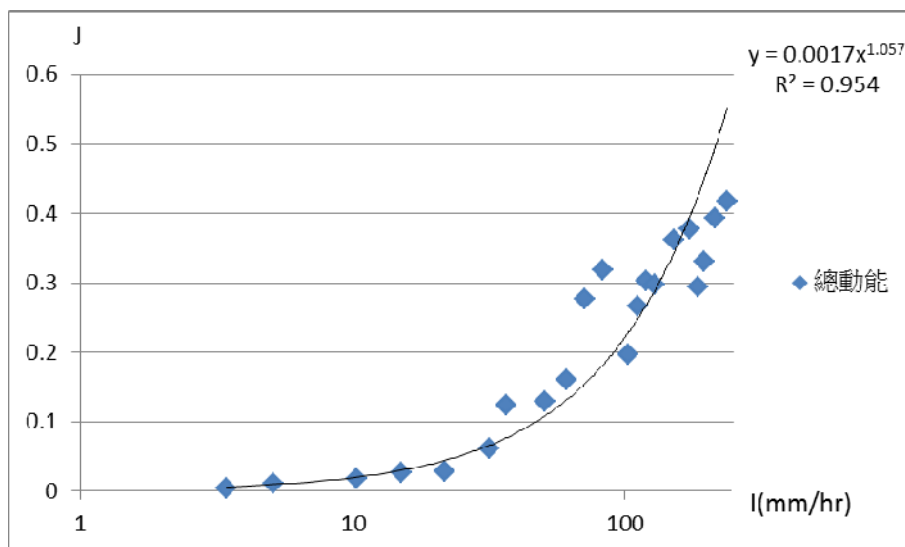


圖 3 某時刻觀測區間降雨總動能與降雨強度關係

計算不同強度下體積中值粒徑，並繪出雨滴體積中值粒徑與降雨強度關係之散佈圖及其回歸模式，如圖 4。將之與 Laws and Parsons(1951) 及吳與王(1996)的觀測資料比對，可以發現 2014 年濕季平東老埤地區的自然降雨雨滴體積中值粒徑與降雨強度關係跟 Laws and Parsons(1943)所得到的曲線頗為相似(如圖 5)。

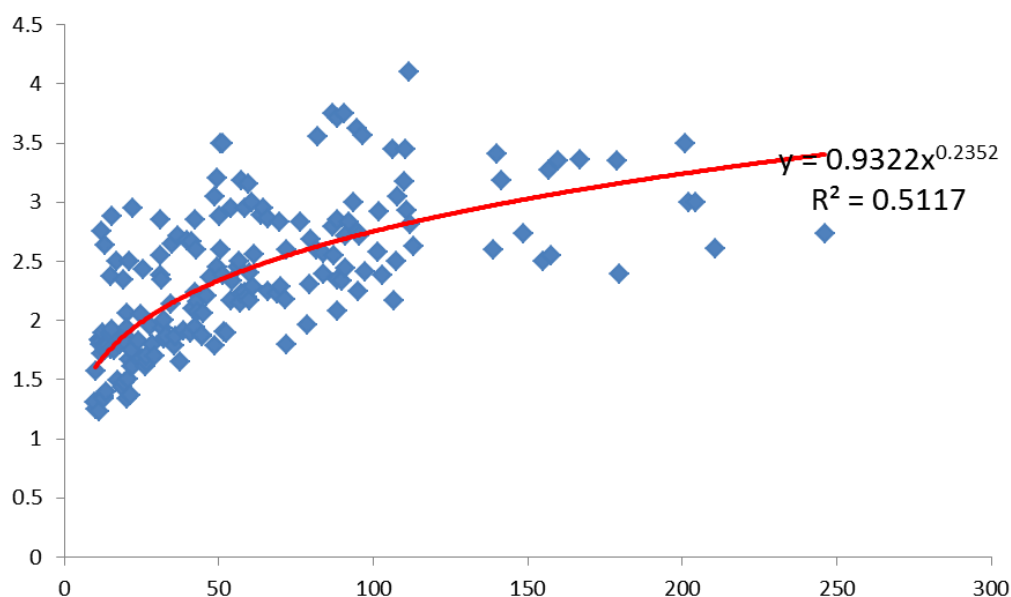


圖 4 雨滴體積中值粒徑與降雨強度關係

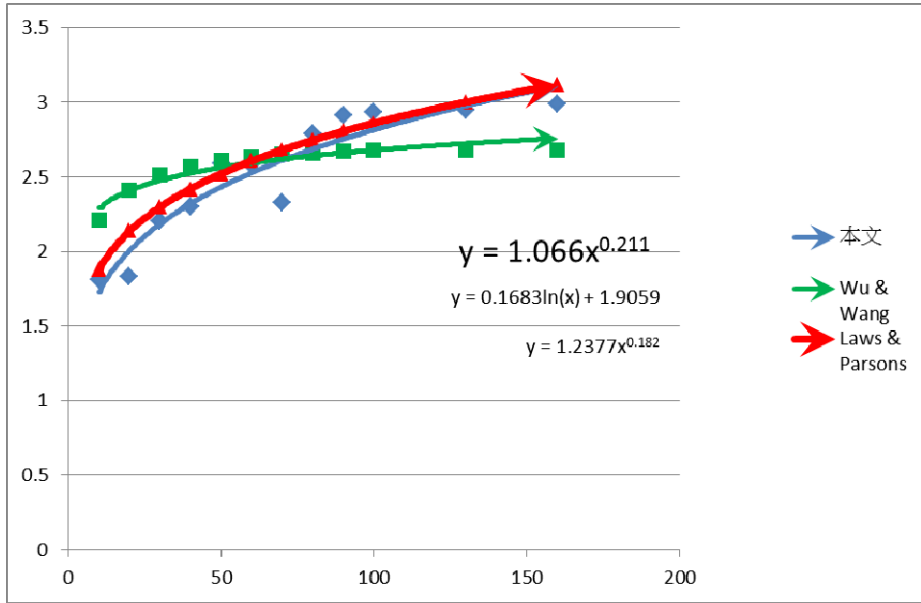


圖 5 雨滴體積中值粒徑與降雨強度關係比較圖

計算雨滴體積中值粒徑，並繪出不同瞬時降雨強度中值粒徑的盒鬚圖，其中紅色點表示某降雨強度下中值粒徑的平均值，如圖 6，其變化趨勢如前述最大粒徑與降雨強度之關係相似。並且可以從此圖看出中值粒徑最大最小的分布範圍約在 1.25mm~4mm 之間。

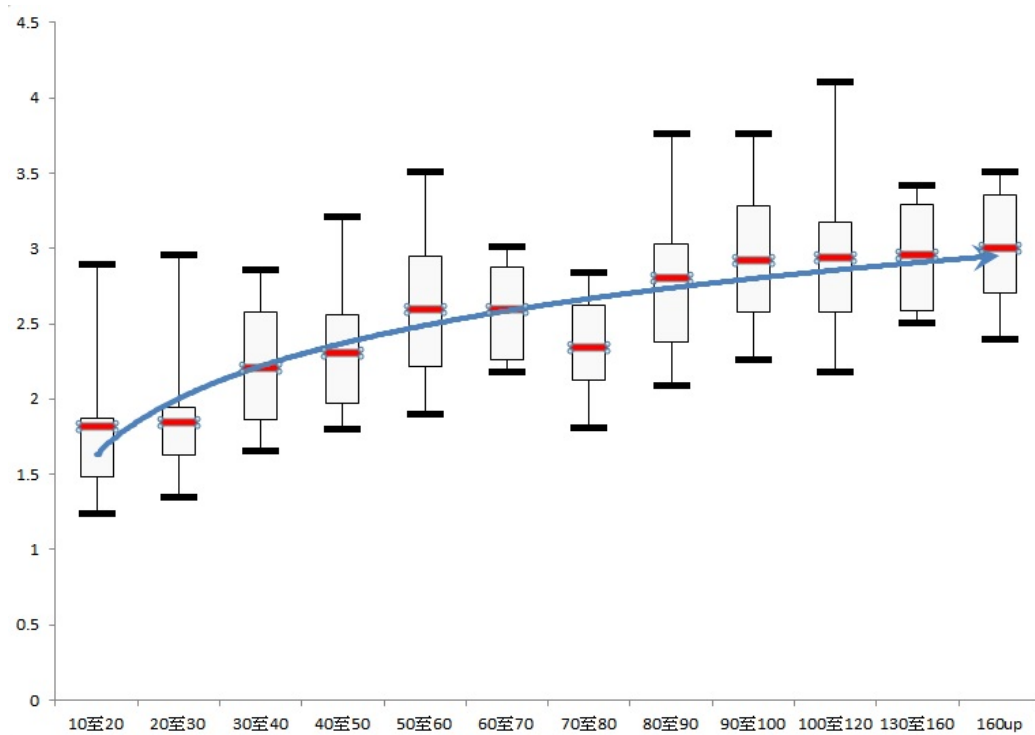


圖 6 體積中值粒徑盒鬚圖

四、結論與建議

本研究以屏東老埤地區為研究區域，利用 LPM 雨滴譜儀觀測 2014 年 5 月至 10 月之降雨資料，期間觀測到之最大雨滴粒徑為 8mm，最大雨滴速度為 10m/s，各降雨強度之體積中值粒徑約界於 1.25mm~4mm 間，而最大雨滴粒徑及最大雨滴速度分別與降雨強度成乘幕的相關性，當降雨強度增大時，其雨滴粒徑及速度皆呈增加趨勢，分析各降雨強度下之雨滴體積中值粒徑，並回歸得兩者呈乘幕關係 $D_{50} = 1.066 \times I^{0.211}$ 。由分析結果可以發現 2014 年濕季屏東自然降雨之雨滴中值粒徑曲線與 Laws 等人 1943 年所得到曲線頗為相似。不同降雨強度時雨滴的動能變化可以 $E=0.0017(I)^{1.05}$ 描述，其判斷係數 R^2 高達 0.954。此成果後續可以作為計算降雨動能及模擬降雨試驗時的重要參數依據，亦可提供最新實際雨滴粒徑與速度資料來評估台灣地區降雨沖蝕指數 R 值，以增進土壤沖蝕推估的準確性。

未來本團隊將持續收集更長時期的雨滴粒徑與速度觀測紀錄，然台灣降雨類型繁多，相同降雨強度下，不同降雨類型的雨滴粒徑大小與速度是否有不同特性值得後續探討，因此未來擬分析颱風、梅雨、對流雨等主要降雨類型之雨滴粒徑與速度特性。

參考文獻

- [1] 王阿碧、張吉村 (1993)，屏東老埤地區自然降雨雨滴粒徑分布之研究(一)，資源保育學報，第二期，P56-69
- [2] 江介倫，「氣候變遷對台灣年降雨沖蝕指數潛在影響」，地理學報，68:1-17，2013。
- [3] 行政院農委會水土保持局，水土保持手冊，2006。
- [4] 吳嘉俊 (1994)，大型戶外人工模擬降雨機之研發，行政院農業委員會八十三年度研究報告，83 科技-2.10-林-23
- [5] 吳嘉俊、王阿碧(1996)，「屏東老埤地區雨滴粒徑與沖蝕動能之研究」，中華水土保持學報，27(2): 151-165。
- [6] 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲，土壤流失量估算手冊，國立屏東科技大學，2004。
- [7] 黃俊德，「台灣降雨沖蝕指數之研究」，中華水土保持學報，10(1): 127-142，1979。
- [8] 張文詔 (1994)，水滴於靜止空氣中自由落下加速過程之量測與數值模擬，中華水土保持學報，25(2)，103-119。
- [9] 盧昭堯、吳益裕 (1992)，降雨之模擬與雨滴特性之量測，中華水土保持學報，23(2)，1-12。
- [10] 盧光輝，「降雨沖蝕指數之修訂」，中華水土保持學報，30(2): 87-94，1999。
- [11] 盧昭堯、蘇志強、吳藝昀，「台灣地區年等降雨沖蝕指數圖之修訂」，中華水土保持學報，36(2): 159-172，2005。
- [12] Bread, K.V. and H.R. Pruppacher. (1969). "A determination of the terminal velocity and drag of water drop by means of a wind tunnel" Journal of the Atmospheric Sciences, Vol.26, 1066-1072
- [13] Fowles, G.R. and G.L. Cassiday. (1993). "Analytical Mechanics, 5th edition," Saunders Golden Sunburst Series, 456pp.
- [14] Gunn, R. and G.D. Kinzer. (1949). "Terminal Velocity of water Droplets in Stagnant Air," Journal of Meteorology,

Vol.6,243-248

- [15] Hudson, N.W. (1986). "Soil conservation," B T batsford Limited,London, 55-57,292-298pp
- [16] Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (1980). "Soil Erosion, A Wiley-Interscience Publication," 85pp.
- [17] Laws, J.O.. (1941). "Measurements of fall velocity of water drops and raindrops," Transactions of the American Geophysical Union,24,452.
- [18] Laws, J. O. and D. A. Parson (1943), "The relation of raindrop-size to intensity," Trans. Am. Geophys. Union, 24: 452-460.
- [19] Meyer, L.D. (1965). "Simulation of rainfall for erosion control research," Transactions of the American Society of Agricultural Engineering,8(1),63-65.
- [20] Watson, D. A., and Laflen, J. M.,1985, "Soil strength, slope and rainfall intensity effects on interrill erosion", Transactions of the ASAE, Vol. 29, No. 1, pp.98-102.