

人造雨滴之觀測

高中教師組地球科學第一名

省立豐原高級中學

作者：梁光裕 章玟琳

一、研究動機：

土粒從原來結合的位置，受雨水、風等動力之作用，被分離而移動到另一位置，這種現象叫土壤沖蝕（Soil Erosion）。

土壤沖蝕是世界上農業方面最嚴重的問題，不但是土壤及水的損失，且污染並淤填河川、水庫，使植物生長所需養分隨之流失，直接、間接地危害到國計民生並損及人民生命安全。

台灣地形特殊，雨水集中，沖蝕及淤積現象特別可怕，面對這嚴重問題，而地球科學中有關這些教材甚為缺少，爰進行研究，俾能有所貢獻。

因降雨對土壤沖蝕能力是決定於雨滴大小、下降速度及總雨量，對自然雨滴觀測，宜先以人造雨滴為觀測對象，是以本研究主要研究內容如下。

二、研究目的：

1. 拍照並測定大小不同的人造雨滴，在不同高度的平均運動狀況與形狀。
2. 拍測大小不同雨滴打擊各種不同打擊面之情形。
3. 測大小不同雨滴的質量，並求得其在不同高度之平均動能。
4. 尋求雨跡大小與雨滴大小之關係，以便利用雨跡大小，可很快推算雨滴大小、質量與能量之大小，以為將來研究自然雨滴之參考。

三、前人的研究：

雨滴運動之了解，包括雨滴降落速度、雨滴大小以及雨滴打擊力。有關雨滴降落速度之研究，以 J.O. Laws 之成就最著，Laws 應用攝影機及光箱，測試水滴之大小及下降末速，其結果顯示，不同粒徑之下降末速均有其極限，即水滴下降速度在經相

當距離後，即維持等速下降。粒徑愈大，達到此末速之下降高度愈大。以 1.25mm 以下水滴而言，5m 以後即以 4.85m/sec 下降，以 6mm 水滴言，則 15m 後以 9.3m/sec 下降，自然雨滴均如此以其下降末速到達地面。

Hudson 曾摘述各種降落速度測定法。在國內苟淵博與林佑輔、江永哲與梁昇均採自不同高度滴落水滴以測定其降落速度。

有關雨滴大小之測定，Hudson 江永哲與梁昇採用吸收紙法，以降落雨滴之雨跡大小與實際降落水面相核驗建立關係式而得之，此項可有助於大量底片之省用。

雨滴打擊力，僅有標準 Ellison Cup 一種，唯無商品出售，本實驗利用質量與速度求得動能。

四、材料與方法

1. 裝置雨滴實驗筒，以 6 吋塑膠管四根連接，後每隔半公尺開一個 15 × 10 cm 的開口。
2. 以大小不同口徑之滴定管及注射針頭；造成不同大小之水滴，分別在 12 10. 9. 8. 7. 6. 5. 4. 3. 2. 1. 公尺滴下不同水滴，而地面觀測其降落速度、形狀，並求得到達末速所需高度。
3. 降落速度之觀測，以照相機配合高速閃光器 (NAKAMURA NS - 1) 拍測之。
4. 以精密天平 (KANSAI- SEIKI 精密度 0.1mg) 測得不同滴落數率 (滴/秒) 狀況中之平均質量。再由 $M = V \times D$ ， $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ 求得直徑。
5. 在地面以雨滴雨跡吸收紙測定雨滴落跡，以圖建立水滴大小，質量與雨跡之關係。
6. 吸收紙以聚乙烯醇 (Polyvinyl alcohol, $(CH_2 - CH - OH)_n$) 117 號，8 克加水 80C.C. 置於燒杯中加熱至沸騰，加熱中要一面攪拌，後以 1 號濾紙過濾，取得濾液加入染料 Edsin Y 2 克，滑石粉 100 克及清水 200C.C. 後，充分搖盪即得良好塗液，將此塗液用空氣壓縮器以 2 Kg m^{-2} 至 4 Kg m^{-2} 之高壓均勻噴於 ToYo #1 的濾紙上，平鋪陰乾即得。

7. 以絲襪網灑上糖粒，亦可測得無噴濺情況中的雨滴粒徑，求粒徑大小與秤量雨滴質量關係，由此尋出雨滴質量關係。
8. 以不同試材如砂、水面、玻璃等當面來打擊，拍測打擊情況，以馬達旋轉，配合閃光掃攝之相機，使打擊情況分離。
9. 設法拍測自然雨滴之情況與之比較。
10. 以 $\frac{1}{2}mv^2$ 求得能量。

五、實驗結果：

1. 滴速與粒徑、質量之關係：

A、16 號

滴速	4.0/10秒	6/10秒	39.5/10秒	45.7/10秒	52.5/10秒
質量 (mg)	30.36	29.3	29.03	28.4	27.15
半徑 (mm)	1.935	1.9125	1.907	1.893	1.865
粒徑	3.87	3.83	3.81	3.79	3.73

B、18 號

滴速	5.5/10秒	6.4/10秒	3.75/10秒	48.7/10秒	82/10秒
質量 (mg)	23.32	23.0	21.98	22.2	21
半徑 (mm)	1.7725	1.764	1.737	1.743	1.711
粒徑	3.55	3.53	3.48	3.47	3.42

C、26 號

滴速	7.5/10秒	32/10秒	44/10秒	47/10秒	
質量 (mg)	8.8	8.35	9.0	8.85	
半徑 (mm)	1.28	1.26	1.29	1.28	
粒徑	2.56	2.52	2.58	2.57	

2. 粒徑大小與質量雨跡大小：

項目 \ 針管	16 ~ 1	18 ~ 1	26 ~ 1	說明
質量	27.15 ~ 30.36	21.0 ~ 23.22	8.35 ~ 9.0	
(mg / 滴)	28.85	22.3	8.75	平均質量
直徑	3.73 ~ 3.87	3.47 ~ 3.55	2.52 ~ 2.58	由質量推算
(mm)	4	3.6 ~ 4	2.6 ~ 2.7	由照片推算
雨跡 (mm)	21.2 ~ 23.9	19.4 ~ 20.8	12.4 ~ 13.9	

3. 不同粒徑之人造雨滴在不同高度之平均速度 (m / sec)：

針管號 \ 高度 (m)	1公尺	1.5公尺	2公尺	2.5公尺	3公尺	3.5公尺	4公尺	5公尺	6公尺	7公尺	8公尺	9公尺	10公尺
16 ~ 1	4.13	5.10	6.27	7.13	7.05	7.40	7.67	7.86	8.43	8.85	9.01	8.75	9.86
18 ~ 1	4.16	5.16	5.83	7.00	6.64	8.03	8.11	7.63	7.57	7.16	9.13	8.12	9.05
26 ~ 1	4.15	4.40	5.27	5.20	6.11	5.35	6.53	—	7.70	7.45	9.53	8.07	8.10

4. 各種不同粒徑之人造雨滴其質量、粒徑大小：

	質量	由質量求粒徑 $M = \frac{4}{3} \pi r^3$	由絲襪求 雨滴粒徑	由照片求 得粒徑	雨滴吸收紙 雨滴大小
橡皮管	106.2mg	5.86mm	8.7mm	9mm	35.7mm
無針頭管	60.25mg	4.86mm	8.15mm	—	28.85mm
16 ~ 1	29.9mg	3.95mm	5.80mm	5mm	22.59mm
18 ~ 1	26.25mg	3.68mm	5.63mm	3.8mm	20.01mm
23 ~ 2	11.68mg	2.81mm	4.35mm	—	13.03mm
26 ~ 1	7.67mg	2.45mm	3.63mm	2.6mm	12.92mm

六、結論：

1. 利用不同管徑之注射針頭，可以產生大小不同粒徑之人造雨滴。
2. 人造雨滴離口之形狀，在針口近處為圓形或近於圓形。
3. 人造雨滴之滴速會影響水滴質量，滴速快者其質量略大於滴速慢者。
4. 人造雨滴在離針口降落過程，初期為加速運動，到達一定高度則成等速之終端速度，此末速所需之距離，質量大者較質量輕者為高。
5. 雨跡吸收紙所形成之雨跡均為圓形或近於圓形，不過高度愈高，因濺出的芒愈多，故雨跡反而小些，惟18號大體呈直線水平關係。
6. 雨跡大小與質量呈近於正比的關係，故可由雨跡大小推算質量。
7. 雨跡大小與下降速度由結果顯示無規律性，但9.10m者似有規律存在。
8. 雨滴粒徑愈大，則質量愈大，速度愈大，故能量也愈大，所以打擊在砂面破壞力愈大（噴濺較多），打擊水面則水柱愈高。
9. 雨滴吸收紙所成之雨跡大小與由相片、由質量、由絲襪面所求得之粒徑呈正相關，說明雨滴吸收紙之雨跡可以代表雨滴粒徑大小（呈正相關）。

七、討論：

1. 降水中粒徑小於0.02mm者為毛毛雨，若0.02mm~8mm為雨，但一般常見雨滴是2mm~5mm。本實驗有三種大小粒徑之雨滴，種類嫌少，宜再增加不同粒徑之雨滴。
2. 人造雨滴初離針口之形狀為近於圓形，惟下降過程中，受空氣阻力、氣流和蒸發而有所改變，本實驗要繼續探討不同高度之雨滴形狀。
3. 人造雨滴大小與表面張力、重力、管內水壓等因素有關，故滴速不同則質量不一，本實驗在每種實驗要變換滴速，以求得更

詳盡的資料。

4. 一般雨滴達到下降末速約在離口 10m 後，故自然雨滴，若無風力等之影響，應為等速下降。
5. 本實驗採用 6" 塑膠管三根連接，當雨滴實驗筒，每每有上升氣流產生，對質量較大之 16 號、18 號水滴尚無大影響，惟質量小之 26 號水滴，則影響甚巨，故實驗時應力求封閉，以減少上升氣流之影響。
6. 雨跡吸收紙所產生之雨跡大小，與質量幾成正比，若再增加實驗次數，則可得更詳盡資料，而尋出更精密之關係。如此則可經由雨跡大小直接推算雨滴質量與粒徑大小。又因質量、粒徑與速度有關，故以雨跡大小可直接推算下降末速與能量關係，由是對推算雨滴之打擊力估算沖蝕現象，必能有相當之貢獻。
7. 由質量、照片測量、絲襪面所求照片有些差異，主要原因是照片本身的誤差。

八、參考資料：

1. 苟淵博與林佑輔，台灣雨滴末速及其衝擊力之研究。
2. 黃俊德，1977，「台灣中南部降雨沖蝕指數之研究」，暴雨對環境之影響研討會論文集，國科會—356—357。
3. 顏清蓮，1976，「從水理學觀點論土壤沖蝕」，台灣水利，24(2)3—15。
4. Ekern, P.C. 1953, "Problems of Raindrop Impact Erosion", *Agricultural Engineering*, 34(1) 23—25。
5. Hudson, N.W. 1964, "A Review of Methods of Measuring Rainfall Characteristics Related to Soil Erosion" *Research Bull # 1 Depart of Conservation and Extension, Rhodesia*。
6. Lans, J.O. and Parsons, D.A. 1943, "The Relation of Rain Drop Size to Intensity" *Trans AGU*, 24, 452。
7. C.K. Mutchler and R.A. Young 1974 "Soil detachment by Raindrops", *Present and Prospective Technology for*

Predicting Sediment Yields and Sources , ARS—S
— 40 , USDA 113 — 117 。

8. Hudson , N.W. 1971 , Soil Conservation Cornell
University Press N.Y. U.S.A. 。

9. 江永哲、梁昇，1978，坡地農學環境之研究(一)坡地水土保持
處理對沖蝕防止之功效試驗(N. SC — 66B — 0409 — 04 (1))

。

10. 廖綿濬，談水土保持，科學月刊 10 (3) 23 — 25 。

11. 戚啟勳，普通氣象學。

評語：能克服困難，對水滴降落作實際觀測及攝影，富有科學精神，
作品名稱者修改為「人造雨滴濺蝕之觀測」，較為切題。