

## 摄影法在人工降雨装置水滴终点速度中的应用研究

梁 伟<sup>1</sup>, 程 复<sup>1</sup>, 赵廷宁<sup>1</sup>, 杨建英<sup>1</sup>, 刘小牛<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学, 北京 100094)

**摘 要:** 结合实例详细介绍了摄影法在测定人工降雨装置水滴降落终点速度的应用。试验结果表明: 在不同雨强下相同粒径的水滴降落速度相同, 与理论值之间的差别介于 0.01~0.05 m/s, 其原因主要是由于测量时有部分水滴的位置并不是打击地面时的位置。通过分析软件 SPSS 对雨强与平均终点速度的相关性分析, 得出雨强与平均终点速度无相关性。试验认为该方法用于测定水滴降落终点速度可行, 其方法简单、易操作, 为以后从事此方面研究的工作人员提供了科学依据。

**关键词:** 人工降雨装置; 摄影法; 水滴终点速度

**中图分类号:** TP27; S157

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006)02-0014-03

## Study on the Method of Photograph Application of the Rainfall Terminal Speed in the Artificial Simulating Rainfall Equipment

LIANG Wei<sup>1</sup>, CHENG Fu<sup>1</sup>, ZHAO Ting-ning<sup>1</sup>, YANG Jian-ying<sup>1</sup>, LIU Xiao-niu<sup>2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** The method of photograph is applied in the artificial simulating rainfall equipment to measure the rainfall terminal speed. It can be concluded that under different rainfall intensity have the same rainfall speed with same rainfall diameter. Contrast to the theories, the difference between 0.01 m/s and 0.05 m/s, the main result is when measuring have part of rain drop do not attack the position of ground. The software SPSS analyze the data, the result indicates that there is no relation between rainfall intensity and the average rainfall terminal speed. The method used for the measurement of rainfall terminal speed is feasible, and it is simple and easy to operate, which provides scientific basis for researchers engaged in this aspect.

**Key words:** artificial rainfall equipment; the method of photograph; rainfall terminal speed

传统的摄影法是适用于在实验室内观测模拟降雨的一种较为常用的方法, 观测中, 先用摄影机拍摄出正在下落的水滴的相片, 然后在显微镜下量测水滴的粒径<sup>[1]</sup>。在土壤侵蚀研究中, Ellison (1944) 通过实验发现, 溅蚀与水滴大小、水滴降落速度和雨强有关。Mihara (1951) 和 Free (1960) 发现溅蚀直接与降雨动能有关。计算降雨侵蚀力  $EI$  值时, 首先需要计算一次降雨的总动能, 它是指一次降雨过程中所有水滴具有的总能量。降雨能量难以直接测量, 所以通过观测水滴大小分布和雨滴终点速度进行计算得到<sup>[2]</sup>。

在水土保持研究工作中, 利用天然降雨进行野外试验径流小区土壤流失量的观测是普遍采用的方法。要得出定量的结果, 需有足够的系列资料, 积累年限一般 15~20 年和可靠的数据, 有时往往因某些原因或资金不足, 造成资料短缺或数据不可靠而被废弃<sup>[3]</sup>。应用人工模拟降雨装置, 就可克服上述缺点, 缩短试验周期, 加速土壤侵蚀规律研究的过程<sup>[4]</sup>。在实践中通过测定雨滴的大小以及落地速度来评价降雨装置模拟天然降雨的适宜性, 研制模拟降雨装置必须考虑率定水滴的降落终点速度。因此测定雨滴降落终点速度的研究在科研、生产实践中有重要意义。

### 1 雨滴速度研究方法简介

中国科学院水土保持研究所孙清芳等根据滤纸色斑法测定雨滴直径, 并用以下公式计算终点速度。当雨滴直径  $d < 1.99 \text{ mm}$  时, 用修正的沙玉清公式<sup>[5]</sup>

$$V = 0.469 \times 10^{\sqrt{28.32 - 6.524 \log 0.1d - (\log 0.1d)^2 - 2.665}}$$

当雨滴直径  $d > 1.99 \text{ mm}$  时, 用修正的牛顿公式<sup>[5]</sup>:

$$V = (17.20 - 0.844d) \sqrt{0.1d}$$

由于研究雨滴降落终点速度最终为了反映雨滴的动能, 为此, 美国学者威斯迈尔 (W. H. Wischmeier) 和史密斯 (D. D. Smith) 根据雨滴分布和终点速度, 建立了一个经过简化的计算降雨动能经验公式, 即

$$E = 21Q^{2+89\log I}$$

许多科研工作者通过大量研究总结了静止空气中各种雨滴直径与雨滴终极速度之间的关系, 雨滴降落终点速度随雨滴直径增大而变大<sup>[5]</sup>, 如图 1 所示。

传统的摄影法是适用于在实验室内观测模拟降雨的一

收稿日期: 2005-05-31

基金项目: “21 世纪初期首都水资源可持续利用”水土保持措施治理效果及技术参数体系研究

作者简介: 梁伟 (1978-), 男, 硕士, 主要研究方向: 水土保持监测; 通讯作者: 赵廷宁, 男, 副教授, 主要研究方向: 荒漠化防治。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

种较为常用的方法,观测中,先用摄影机拍摄出正在下落的雨滴的相片,然后在显微镜下量测雨滴的粒径。本次试验中所采取的摄影法突破传统思路用于测定水滴的瞬间速度。根据巴西农业科学研究中心的研究,认为摄影法拍摄雨滴,能精确地评价确定降雨侵蚀潜力时所必须的雨滴特征<sup>[6]</sup>。

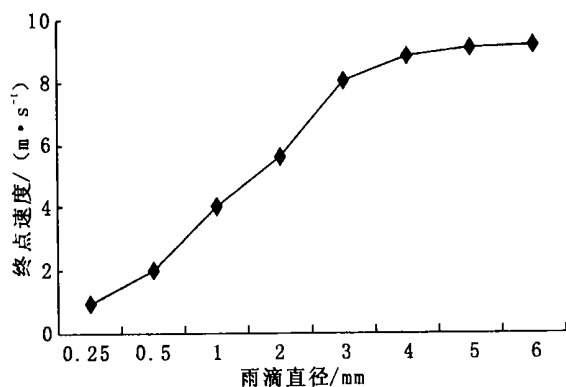


图1 雨滴直径

## 2 试验设计

### 2.1 试验场地布设

本次试验在中国农业大学喷灌实验室进行,喷头型号为美国产亨特17A。喷头设计高度为6m,喷洒范围为4.2~7.0m,喷洒方式为一组喷头对喷。在喷洒半径范围内布设直径为6.7cm烧杯9个与直径为19.2cm塑料桶4个,用于测定不同水压条件下雨强的大小。场地布设为“田”字形,并留有足够空间用于摄影法的进行。

### 2.2 试验方法

在降雨范围选合适地方布设黑暗背景物,黑暗背景物是用黑布包着的一块木板,长为75cm,宽为43cm,在木板上钉一个长度为30cm的钢尺,钢尺固定在木板底部并与地面垂直,目的是减少量测时的误差。黑暗背景物的作用是增加雨滴的清晰度,钢尺是用来量算雨滴的长度和宽度。在每一个雨强的情况下,将雨滴和钢尺全部摄入镜头,根据相片上钢尺显示的实际长度及相片长度来确定相片比例尺,在放大镜下量测雨滴的宽度 $L_1$ (即直径),由相片的比例尺换算出雨滴的实际直径 $D_1$ ,量测雨滴的长度 $S_1$ 。

假设雨滴为球形,则它在成像时间内下落的高度即为量测的长度与雨滴直径的差,用相片比例尺换算成实际的下落高度,然后除以成像的时间,便可以得到每个雨滴的降落速度,计算公式为<sup>[7]</sup>

$$V_1 = \frac{(S_1 - L_1)M}{t} \cdot D_1 = M \cdot l$$

式中: $V_1$ ——每个雨滴的降落速度(m/s); $S_1$ ——相片上的雨滴长度(mm); $L_1$ ——相片上雨滴宽度(mm); $M$ ——相片比例尺; $t$ ——成像时间(s); $D_1$ ——实际雨滴宽度(mm)。

具有某一直径( $d_1$ )雨滴的平均终速即为:

$$V_d = \frac{\sum_{i=1}^n V_{1i}}{n}$$

式中: $V_d$ ——某一直径雨滴的平均速度(m/s); $n$ ——具有该直径的雨滴个数; $V_{1i}$ ——某个雨滴的终速(m/s)。

在拍摄雨滴时,共设成像时间为1/125s、1/250s、1/500s、1/1000s四个档,各成像时间拍摄4次,共拍摄112张相片。带回室内剔除模糊不清的水滴影像共分析了水滴270个。

## 2.3 数据处理

在同一雨强下,求出水滴终点速度,利用SPSS统计软件分析不同雨强与水滴终点速度的相关关系。

## 3 结果与分析

### 3.1 终点速度与水滴直径关系的分析

(1)由图1~2可得,水滴降落终点速度呈现的规律性变化即降落速度随水滴直径增加而变大。孙清芳等根据公式计算静止空气中的雨滴终点速度,直径为1.0mm的雨滴终点速度为4.0m/s<sup>[5]</sup>,本次试验中所测得的直径为1.1mm的水滴的终点速度为4.23m/s,说明摄影法测得的水滴数据与理论得出的结论接近,在实际的应用中可行。

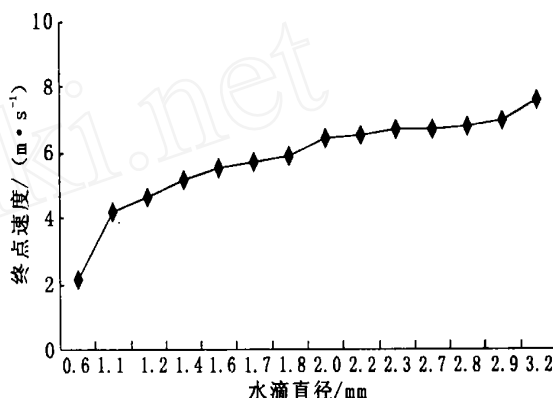


图2 0.243mm/min雨强下水滴粒径与终点速度关系

(2)从图2来看,当水滴粒径在2.3~3.2mm之间时终端速度与水滴粒径在0.6~2.2mm的相比增幅较小,这是因为喷头设计高度6m不能满足大于等于2.3mm的水滴达到终点速度时的高度。

(3)综合图2~6可以得出如下几点:

(1)本次试验中水滴降落终点速度呈现规律性的变化,即降落速度随水滴直径的增加而变大。

(2)在试验结果中,水滴降落终点速度与理论值相比有差别,差别为0.01~0.05m/s。

这是因为在量测分析过程中,测定的水滴位置并不完全是水滴打击地面时的位置,相对于这部分水滴来说所计算的速度还没有达到终点速度,这样取其平均值,使所测的终点速度小于理论的终点速度。

(3)在水滴直径小于2.3mm的终点速度与前人实测数据非常接近。如冈恩(R·G·unn)与金泽尔(G·D·KinZer)实测直径为0.50mm雨滴降落终点速度为2.06m/s<sup>[8]</sup>,本次试验水滴直径为0.5mm的降落终点速度为2.1m/s。

### 3.2 平均终点速度与雨强

为了说明摄影法的可操作性,用统计软件SPSS对雨强和平均终点速度进行相关性分析。分析结果如下图:

从图3可以看出,平均终点速度与雨强无相关性,相关系数 $r = -0.660$ 。这是因为喷头在工作压力增大的情况下雾化效果强,直径小的水滴数量多,因此平均终点速度低。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1)人工降雨装置喷头洒水水滴降落终点速度呈现的规律性变化即降落速度随水滴直径增加而变大。

(2)由于降雨装置喷头高度的关系,当水滴粒径在2.3

~ 3.2 mm 之间时终点速度与水滴粒径在 0.6~2.2 mm 的

相比增幅较小。

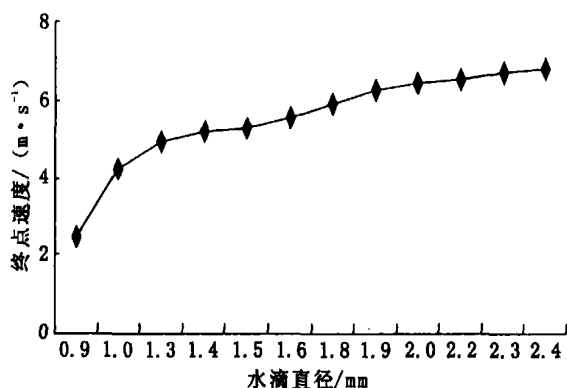


图 3 0.357 mm/min 雨强下雨滴与终点速度关系

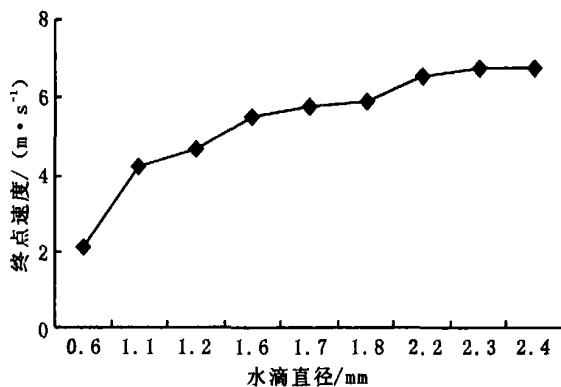


图 4 0.252 mm/min 雨强下雨滴与终点速度关系

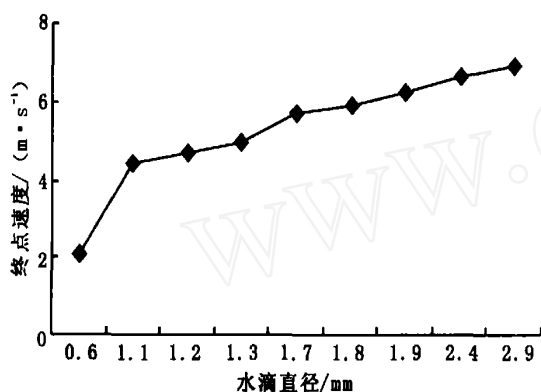


图 5 0.427 mm/min 雨强下雨滴与终点速度关系

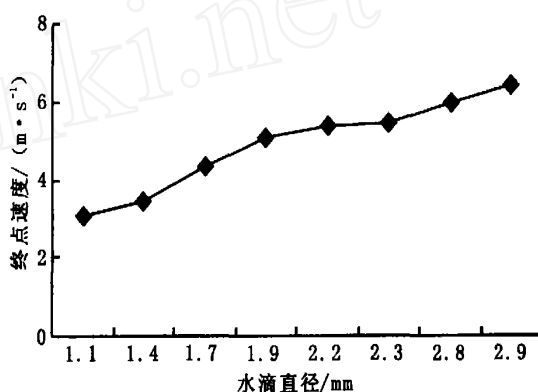


图 6 0.240 mm/min 雨强下雨滴与终点速度关系

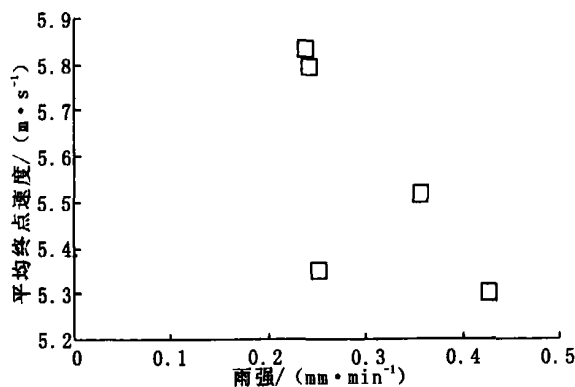


图 7 平均终点速度与雨强相关关系

(3) 在试验结果中, 水滴降落终点速度与理论值相比有差别, 差别为 0.01~0.05 m/s。在水滴直径小于 2.3 mm 的终点速度与前人实测数据非常接近。

(4) 水滴降落终点速度与雨强无相关关系。

#### 4.2 讨论

本次试验由于测量时无法避免的人为误差, 使结果与理论值有一定差别。由于喷头高度的关系, 水滴直径大于等于 2.3 mm 时所测速度并未达到终点速度。但从整个结果来看, 摄影法对于测量雨滴的降落速度是合理可行的, 不仅可以测定雨滴的终点速度, 而且还可以测定某一时刻的瞬间速度。水土保持科研工作人员在以后从事相关的科研时, 可以改进摄影法的装置, 完善该方法的拍摄过程, 尽量减少人为误差提高测量精度。

#### 参考文献

- [1] 徐向舟, 张红武, 朱明东. 雨滴粒径的测量方法及其改进研究[J]. 中国水土保持, 2004, (2): 22-24
- [2] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科技出版社, 2001.
- [3] 刘素媛, 韩奇志, 聂振刚, 贾天会. SB-YZCP 人工降雨模拟装置特性及应用研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 6(2): 1-7.
- [4] 陈文亮, 唐克丽. SR 型野外人工模拟降雨装置[J]. 水土保持研究, 2000, 7(4): 1-5.
- [5] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [6] Iede de Brito Chares. 中国科学院西北水土保持研究所编译, 测定雨滴大小和降速的摄影法[Z]. 第四届土壤保持会议论文摘要, 1985.
- [7] 杨建英. 人工模拟降雨试验及黄土坡面径流泥沙模型的建立[D]. 北京: 北京林业大学, 1992.
- [8] 高淑琴, 李京善. 人工模拟降雨装置性能试验[J]. 河北水利科技, 1996, 17(1): 32-36.