

沈阳市天然降雨雨滴特征研究*

尚佰晓^{1,2}, 王瑄¹, 陶伟³, 任秉枢³, 王莉⁴, 李洪丽¹

(1. 铁岭市环境保护科学研究院, 辽宁 铁岭 112000; 2. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161; 3. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 沈阳 110161; 4. 铁岭市水土保持站, 辽宁 铁岭 112000)

摘要: 采用滤纸色斑法对沈阳市天然降雨雨滴进行观测, 通过计算并运用回归分析对沈阳地区天然降雨雨滴特性进行研究。结果表明: 沈阳地区天然降雨雨滴的大小分布遵守 Best 函数分布式; 雨滴中数直径及降雨动能同降雨强度关系显著, 呈幂函数关系。

关键词: 雨滴特征; 中数直径; 降雨动能; 天然降雨

中图分类号: S157; P426. 6

文献标识码: A

文章编号: 1005 3409(2008) 06-0139-03

Study on Characteristics of Natural Raindrop in Shenyang City

SHANG Bai-xiao^{1,2}, WANG Xuan¹, TAO Wei³, REN Bing-shu³, Wang Li⁴, LI Hong-li¹

(1. Tieling Municipal Research Institute of Environmental Protection, Tieling, Liaoning 112000, China; 2. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 3. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 4. Soil and Water Conservation Station of Tieling, Tieling, Liaoning 112000, China)

Abstract: The natural raindrop was observed with filter color stain method in shenyang city. The characteristics of natural raindrop was studied by computation and using statistical analysis. The results indicated that the distribution of natural raindrop size was coincided with Best's function in shenyang city. The median raindrop diameter and the kinetic energy of rain had significant relationship with rainfall intensity and expressed significantly degree dependence.

Key words: characteristics of raindrop; median raindrop diameter; kinetic energy of rain; natural rainfall

降雨雨滴对地面产生的击溅作用, 雨水降落到坡面后产生的地表径流等都对水土流失产生直接的影响。而雨滴的击溅侵蚀, 地表径流的产生和土壤流失无不与降雨量、降雨强度、雨滴大小及其分布等降雨的特征有关。因此, 研究降雨的雨滴特征, 是认识溅蚀机理及坡面径流水力学特性的力学基础。Best^[1]通过对天然降雨雨滴大小的研究分析, 提出了著名的 Best 雨滴大小分布式。国内窦葆璋等人^[2]采用滤纸色斑法对雨滴观测, 并对色斑直径和水滴直径的关系进行率定, 提出了雨滴的观测方法及雨滴直径的计算公式, 对研究天然雨滴降雨特征奠定了基础。江忠善^[3]采用色斑法对黄土地区天然降雨雨滴特征进行研究, 得出黄土地区的降雨特征符合 Best 的分布函数式; 雨滴的中数直径与降雨强度呈幂函数关系。黄炎和、涂宏章等人^[4-6]采用滤纸色斑法研究了福建省天然降雨雨滴的特征, 提出福建省天然降雨雨滴大小分布及雨滴中数直径、降雨动能与降雨强度的关系式; 同时得出雨型对雨滴特性各参数有影响。姚文艺^[7]通过采集雨滴滴谱并对雨滴直径进行率定, 研究了雨滴的大小分布

及雨滴的中数直径、降雨动能与降雨强度的关系, 并采用力学方法推导出雨滴的终点速度公式。

本文通过采集沈阳地区天然降雨滴谱, 研究沈阳地区雨滴特性, 旨在为定量研究东北地区土壤侵蚀和设计人工模拟降雨试验提供科学依据。

1 观测站概况

观测站位于沈阳农业大学水利学院综合试验基地, 地处沈阳市东陵区, 位于北纬 41°44', 东经 123°27', 海拔 44.7 m。气候属于受季风影响的半湿润温带大陆性气候, 四季分明, 降水集中, 日照充足。年平均气温 8℃, 7 月最热, 平均气温 24.6℃, 1 月最冷, 平均气温 -11.8℃。无霜期 150 d。年平均降水量 722 mm, 7 月最多, 平均降水量 183 mm, 1 月最少仅 7 mm。

2 试验方法

2.1 雨滴测定

在天然降雨过程中, 由于雨滴在降落过程中受到空气阻力和风力等的作用, 不可能保持球体, 所以, 通常所谓的雨滴

* 收稿日期: 2008-05-28

基金项目: 辽宁省自然科学基金(20062110)

作者简介: 尚佰晓(1980-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 从事流域综合治理及环境保护工作。E-mail: bxshang@sina.com

通信作者: 王瑄(1965-), 女, 辽宁昌图人, 博士, 教授, 主要从事土壤侵蚀和农业节水的教学研究。E-mail: xuanw@vip.sina.com

直径是指与雨滴重量相同的球体体积。

我国目前研究雨滴大小所采用较普遍的方法是滤纸色斑法, 本研究同样采用滤纸色斑法测雨滴直径。滤纸使用新华造纸厂出品的直径为 15 cm 的定性中速滤纸; 涂料用天津登峰化学试剂厂生产的曙红和滑石粉的混合粉末, 按其重量比为 1: 10 混合均匀, 用刷子将曙红和滑石粉混合粉末均匀地涂抹在滤纸上备用。在干燥的情况下, 滤纸不显色, 当雨滴降落在滤纸上时, 每个雨滴就产生大体上圆形的色斑。

2.2 计算方法

测量每份滴谱上色斑的大小后, 采用窦葆璋等人^[2]提出的雨滴直径与色斑直径的关系式计算雨滴直径, 计算式为

$$d = 0.365D^{0.712} \quad (1)$$

式中: d ——雨滴直径(mm); D ——雨滴色斑直径(mm)。

对于单个雨滴, 其动能可近似的表示为

$$e = \frac{1}{12} \pi \rho d^3 V^2 \quad (2)$$

式中: e ——单个雨滴的动能(J); ρ ——雨滴的密度(kg/m³); d ——单个雨滴直径(m); V ——单个雨滴的体积(m³)。

3 结果与分析

天然降雨雨滴特征主要是指雨滴的大小分布、中数直径、降雨动能以及它们随降雨强度的变化规律等。这些资料不仅是设计人工模拟降雨装置的重要依据, 也是定量研究土壤侵蚀和侵蚀预报模型中不可缺少的基本资料; 在喷灌农业中, 可以通过测量雨滴粒径的大小来评估降水的蒸发率、受风力的影响程度等。

3.1 雨滴大小和分布特征

从 2007 年 3—10 月在观测站共采集 77 场降雨雨滴, 获滴谱 234 份。通过计算得出滤纸色斑法测到的最小雨滴直径为 0.18 mm, 最大雨滴直径为 9.32 mm。

根据我国江忠善、黄炎和等人^[3,5]分别对黄土地区和福建省的天然降雨资料分析研究表明, 黄土地区和福建省的天然降雨雨滴的分布遵守贝斯特(Best)的分布函数式。即:

$$F = 1 - \exp[-\left(\frac{d}{a}\right)^n] \quad (3)$$

$$a = A i^p \quad (4)$$

式中: F ——雨滴中小于或等于 d 的雨滴累积体积(%); d ——雨滴直径(mm); n ——取决于雨型的常数; i ——降雨强度(mm/min); a ——常数; A, p ——分别为系数和常数。

沈阳市属温带大陆性气候, 天然降雨雨滴大小分布有其自身的特征。对照我国福建省及黄土地区天然降雨雨滴特征的研究, 沈阳地区的雨滴特征是否同样符合 Best 函数分布式, 根据采集的 234 份天然降雨滴谱资料, 来计算 Best 雨滴分布函数中 a 和 n 值。对(3)式进行移项、取对数, 转化为:

$$\ln d = \ln n + \frac{1}{n} \times \ln \ln \left(\frac{1}{1-F}\right) \quad (5)$$

设 $Y = \ln d, A = \ln a, B = 1/n, X = \ln \ln [1/(1-F)]$, 则式(5)可写成:

$$Y = A + BX \quad (6)$$

通过雨滴滴谱资料, 可以求得每份滴谱的一组 X, Y 值,

以这一组的 X, Y 值为基础, 应用回归分析求算(6)式中的常数 A 和 B 值, 进而求得 Best 雨滴分布函数中的 a 和 n 值。

随机抽取不同雨强的雨滴谱对上述计算的雨滴分布函数进行验证, 实测值 F 和计算得到的 F 值的误差均在 15% 以下, 其拟合效果较好。因此 Best 的雨滴大小分布函数可以用来描述沈阳地区天然降雨雨滴大小分布特征, 即沈阳地区天然降雨雨滴大小分布可以用方程(3)来表达。方程中的 a 值同样符合 $a = A i^p$ 的关系, 利用回归分析, 对 a, n 值和降雨强度 i 进行拟合可以得出沈阳地区的 a, n 值与 i 值的关系式:

$$a = 6.1825i^{0.29} \quad r = 0.925^{**} \quad (7)$$

$$n = 3.055i^{-0.092} \quad r = -0.853^{**} \quad (8)$$

从而得出沈阳地区天然降雨雨滴大小分布函数式为

$$F = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d}{6.18i^{0.29}}\right)^n\right] \quad (9)$$

其中 $n = 3.055i^{-0.092}$

在(8)式中 n 值与降雨强度 i 呈显著负相关关系, 随着降雨强度的增大, n 值减小。该结论同江忠善等人^[3]在黄土地区研究的结果相似; 但是与黄炎和等人^[4,5]在福建省东南部所研究的 n 值与降雨强度呈正相关关系这一结论不同。其原因是 n 值不是常数, 它随雨强而变化, 不同地区雨型是影响 n 值的重要因素, 因此, 不同地区 n 有不同的计算方法^[8]。

3.2 雨滴中数直径(D_{50})与雨强的拟合关系

根据实测的滴谱资料可计算每份滴谱的雨滴中数直径, 利用回归分析拟合雨滴中数直径(D_{50})与 i 的函数关系, 结果发现二者符合幂函数关系, 其关系式为

$$D_{50} = 6.11i^{0.31} \quad r = 0.882^{**} \quad (10)$$

由(10)式可以看出沈阳地区天然降雨的雨滴中数直径与降雨强度(i)之间是呈幂函数关系。雨强越大雨滴的中数直径越大, 但由于回归指数 $0 < b = 0.31 < 1$, 所以单位雨强引起雨滴中数直径的增量却越小。

3.3 降雨动能

根据滤纸上的色斑直径, 按(1)式求出每个雨滴直径 d , 由雨滴直径 d 求出相应的雨滴终点速度 v 。雨滴的终速, 采用姚文艺^[7]研究得出的雨滴终速计算公式进行计算, 公式如下:

当雨滴直径 $0 < d \leq 3$ mm 时:

$$V_m = \sqrt{38.9 \frac{v}{d} + 2.40gd} - 38.9 \frac{v}{d} \quad (11)$$

当雨滴直径 $3 \text{ mm} < d \leq 6$ mm 时

$$V_m = \frac{d}{0.113 + 0.0845d} \quad (12)$$

式中: V_m ——雨滴终速(m/s); d ——雨滴直径(mm); v ——空气运动粘滞系数(cm²/s); g ——重力加速度(m/s²)。

按(2)式求出滤纸上每个雨滴所具有的动能 e_i , 其中 i 代表雨滴编号; 将每个雨滴的动能累加, 得到滤纸上全部雨滴的总动能 E ; 再将滤纸上每个雨滴质量累加, 除以水的密度和滤纸面积, 得降雨深; 雨滴的总动能除以降雨深和滤纸面积, 即得到该次降雨在单位面积上单位降雨深所具有的能量。

根据上述步骤计算得出的每份滴谱所测时刻的降雨动能, 经回归分析得出沈阳地区降雨动能和降雨强度之间符合幂函数关系, 关系式为:

$$e = 50.73i^{0.23} \quad r = 0.889^{**} \quad (13)$$

式中: e ——降雨动能 [$J/(m^2 \cdot mm)$]; i ——降雨强度 (mm/min)。

由(13)式可以看出, 沈阳地区的降雨动能与降雨强度之间符合幂函数的关系, 且达到极显著相关水平。因此, 可用幂函数来表达沈阳地区降雨动能与降雨强度的关系。

4 结 论

通过对沈阳市天然降雨雨滴进行观测, 利用相关公式计算出雨滴的直径, 经回归分析得出: 沈阳地区天然降雨雨滴的大小分布遵守 Best 函数分布式, 函数中参数 a 和 n 值随降雨强度的变化而变化, 同雨强呈幂函数关系; 雨滴的中数直径及降雨动能同降雨强度关系显著, 符合幂函数关系。

参考文献:

[1] Best. The Size Distribution of Raindrop [J]. Quarterly

Journal of the Royal Meteorological Society, 1950, 76 (16): 16-36.

[2] 窦葆璋, 周佩华. 雨滴的观测和计算方法 [J]. 水土保持通报, 1982, 2(1): 44-47.

[3] 江忠善. 黄土地区天然降雨雨滴特性研究 [J]. 中国水土保持, 1983(3): 32-36.

[4] 黄炎和, 卢程龙, 郑添发, 等. 闽东南天然降雨雨滴特征的研究 [J]. 水土保持通报, 1992, 12(3): 29-33.

[5] 黄炎和, 朱鹤健, 郑达贤. 闽南地区的土壤侵蚀与治理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

[6] 涂宏章. 闽西地区天然降雨雨滴特性的研究 [J]. 福建水土保持, 1994(3): 53-55.

[7] 姚文艺, 汤立群. 水力侵蚀产沙过程及模拟 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.

[8] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省天然降雨雨滴特征的研究 [J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 8-12.

欢迎订阅 2009 年《水土保持学报》

《水土保持学报》创刊于 1987 年, 中国科学院主管, 中国土壤学会和中国科学院水利部水土保持研究所共同主办, 是我国水土保持与土壤侵蚀领域具有一定影响的学术性期刊。

《水土保持学报》主要刊登有关水土保持、土壤侵蚀方面的基础研究和应用研究——水土流失和荒漠化防治, 土壤侵蚀(水蚀、风蚀等)过程及模型, 水土流失预防监督与管理, 流域植被修复与生态环境建设, 区域水土保持与农业可持续发展, 土地利用、退化(荒漠化、沙化、石化)与评价, 土壤水分与养分的变化特征, 水土保持生物、工程措施及其综合治理效益与评价, 泥石流、滑坡、洪涝等灾害的防治与监测, 以及与之有关的交叉、边缘学科和高新技术(RS, GIS, GPS 等)在水土保持方面的最新研究成果。

《水土保持学报》为中国自然科学核心期刊和中文核心期刊、中国科技核心期刊。连续多年为影响因子和被引频次最高的中国科技期刊 100 名之一, 在全国水土保持类期刊中一直名列第一, 影响因子最高达 1.709。现被《中国科学引文数据库》、《中国科技论文统计与分析》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国学术期刊全文数据库》作为来源期刊, 并被英国的《Center for Agriculture and Bioscience International》和《英联邦农业局文摘》(CAB), 以及《中国期刊全文数据库》、《ChinaInfo(万方)数据库》、《维谱中文期刊数据库》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、《中国核心期刊数据库》、《中国农业资源环境文摘》、《中国生物学文摘》、《中国林业文摘》、《中国地质文摘》、《中国地理科学文摘》、《环境科学文摘》、《中国学术期刊文摘(中文版、英文版)》等权威性文摘和数据库收录。2005 年荣获“国家期刊奖提名奖”, 2002—2007 年多次被评为“中国百种杰出学术期刊”, 2001 年入选中国期刊方阵“双效”期刊, 2000 年荣获中国科学院优秀期刊三等奖, 1999 年被评为陕西省十佳期刊和陕西省优秀期刊一等奖。目前, 刊物的覆盖面已辐射到全国 30 个省市自治区, 并通过各种渠道交流至美国、英国、日本、德国、澳大利亚等 10 多个国家, 具有相当广泛的国内外影响。

《水土保持学报》读者对象: 主要为国内外从事水土保持、土壤侵蚀及其相关学科的科研人员、高等院校师生和有关管理者等。《水土保持学报》双月刊, A4 开本, 200 页/期, 定价 20 元/期, 全年 120 元。国际刊号 ISSN 1009-2242, 国内刊号 61-1362/TV, 国内邮发代号 52-150, 国外发行代号 4722QR。

地址: 陕西省杨凌区西农路 26 号 中国科学院水利部水土保持研究所

邮编: 712100

电话: (029) 87012707

E-mail: journal@ms.iswc.ac.cn

http://www.iswc.ac.cn