

基于 CorelDRAW 软件的小流域模型雨滴测量试验研究

舒若杰^{1,3}, 高建恩^{1,2,3*}, 吴普特^{1,2,3}, 田 栋^{1,3}, 杨世伟^{1,2,3}

(1. 西北农林科技大学资环学院, 杨凌; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所;
3. 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 杨凌 712100)

摘 要: 降雨雨谱的观测, 是了解降雨特性的一项重要工作。修建小流域模型, 是对小流域进行各种试验研究的有效手段。该文基于相似率要求, 在模型降雨雨滴较小, 雨谱参数难以测定问题的基础上, 运用 CorelDRAW 软件与传统色斑法相结合, 探索出一种新的测量与数据处理方法, 并得出不同情况下模型的雨谱特性。该法提高了测量精度, 并减少了工作量。

关键词: CorelDRAW; 雨谱特性; 人工降雨; 色斑法

中图分类号: S161.6; S157

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2006)11-0044-03

舒若杰, 高建恩, 吴普特, 等. 基于 CorelDRAW 软件的小流域模型雨滴测量试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 44-46.

Shu Ruojie, Gao Jian'en, Wu Pute, et al. Measurement of raindrop distribution of watershed model using corelDRAW[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 44-46. (in Chinese with English abstract)

0 引言

降雨因子与土壤侵蚀密切相关, 要了解降雨特性, 需对降雨雨谱进行测定。在众多测量方法中, “色斑法”是最为适用、应用最广的一种雨滴粒径测量方法。该法是基于“水滴在同一材料上形成的色斑大小与水滴的粒径大小成正比”^[1]的假定, 预先率定好水滴粒径与色斑粒径之间的关系, 然后通过量测雨滴在相同材料上形成的色斑大小推知相应的雨滴粒径。

很多学者^[1-7]以此方法为基础进行了大量研究, 但就处理数据与对细小雨滴的测量上, 或操作复杂、精度低、或与应用脱节, 结果难以为他人借鉴使用。针对此问题, 笔者利用 CorelDRAW 软件, 采用十字交叉法量出色斑直径, 然后取平均值, 进而通过 Excel 用率定的公式换算出雨滴直径, 这不仅减小了工作量, 同时增加了观测精度, 为更好的了解降雨特性提供依据。

1 试验系统与设备

为了更好地在室内模拟黄土高原小流域降雨试验, 需要对野外原型降雨按相似理论进行比尺缩小^[8], 同时对室内人工降雨特性进行分析。本文以文献[8-10]中的小流域相似模型为基础, 采用 BX-1 型便携式野外降雨器进行人工降雨。降雨喷头距地面 8 m, 45°仰角喷散, 均匀度控制在 80% 以上。在侧喷式喷头内挡水板孔径一定的情况下 ($\Phi=2$ mm), 用变频柜改变降雨架下压力, 能得到各种均匀的降雨强度。在此条件下进行雨谱特性试验研究。

2 材料与方法

2.1 材料选取

滤纸选用杭州新华造纸厂生产的 $\Phi 15$ cm 定性中速滤纸; 染料用天津登峰化学试剂厂生产的曙红水溶性染料和滑石粉的混

合粉末, 其重量比按 1:10 配合。使用前将混合粉末薄薄地均匀涂在滤纸上, 当雨滴落在滤纸上时, 即留下永久性的近似圆形色斑。

2.2 色斑直径和雨滴直径关系率定

进行测定前, 需对色斑直径和雨滴直径进行率定, 率定用普通医用注射器针管和不同型号的针头充当雨滴发生器, 先向针管内注入一定量的水, 装上针头, 然后将针管内的水通过针头滴在涂有混合粉末的滤纸上, 同一针头取 10 个点, 滴时保持水滴在滤纸上的距离, 距离太近水滴在滤纸上浸润相互间有影响, 误差大。

直径的算术平均值, 用净水重量除以色斑个数, 计算出单个水滴的质量 W , g, 然后, 假定水滴是球体状的, 算出水滴直径 d , mm, 即

$$d = 10 \times \left[\frac{6W}{\pi\rho} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中 ρ ——水的容重, g/cm^3 。这样, 用不同型号的针头就可得出多个色斑直径 D_i , mm 及所对应的雨滴直径 d_i , 再通过 Excel 对两组数据进行回归分析, 绘出图形 (见图 1), 并得到色斑直径与雨滴直径的关系式为

$$d = 0.36D^{0.73} \quad R = 0.9990 \quad (2)$$

式中 d ——雨滴直径, mm; D ——色斑直径, mm。

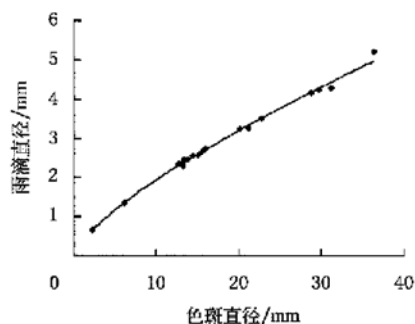


图 1 雨滴直径—色斑直径关系图

Fig. 1 Relationship between raindrop diameter and color spot diameter

2.3 取样与测定

取样器是作者自行设计的一个上表面有规则圆孔的木盒, 孔径 ($\Phi 11$ cm) 比滤纸直径 ($\Phi 15$ cm) 稍小, 这样能完全收集到通

收稿日期: 2006-01-16 修订日期: 2006-08-24

资助项目: “十一五”国家支撑计划“坡面降雨径流调控与高效利用技术”(2006BAD09B01)

作者简介: 舒若杰(1980-), 男, 苗族, 贵州岑巩人, 主要研究方向为水土保持及地表径流调控利用。杨凌 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 712100。Email: shuruojie@163.com

*通讯作者: 高建恩(1962-), 男, 研究员, 主要研究方向为地表径流调控与利用。杨凌 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 712100。Email: gaojianen@126.com

过盒孔下落的雨滴,木盒里有一个可以向外抽出的活动板,用来摆放滤纸。试验时,把涂好混合粉末的滤纸放在取样器里,待降雨均匀后,用取样器在模型上收集雨滴。取样完毕,在滤纸背面记载取样时间、雨强、取样环境条件等。

待滤纸干燥后,把收集不同雨强雨滴的滤纸分别按 1:1 扫描进电脑,为了使小雨滴留下的色斑在放大时不失真,扫描分辨率最好用 300 以上。然后用 CorelDRAW 软件进行放大处理(如图 2),具体步骤如下:

1) 进入 CorelDRAW 系统,先将扫描文件导入到编辑窗口中:文件+ 导入(扫描存放的图片)——图层 1(底图),可以对图层 1 重新命名,但不能横竖拉伸改变图片比例。

2) 将图层 1 设置为不可编辑,并在物件管理员窗口新建图层 2(测量标注图层),然后把图片放大,用标尺量出每个色斑直径 D_i ,每个色斑多量几次取平均值,再求出色斑直径。所测量的结果将自动保存在图层 2。若扫描图片上色斑太密,为了方便记录测量结果,可以对图片先进行分区,然后逐一对每个区域的色斑进行测量。

3) CorelDRAW 是一种平面设计软件,矢量化能力较强。由于图片是按 1:1 扫描,在对图片进行放大测量时,不会变形,即测量结果为原有图片上色斑真实直径的大小。在每次测量后,能如图 2 那样把测量结果的矢量值保留在图上,方便每次查阅。对于雨滴降落时形成的一些极不规则图案,CorelDRAW 无法准确量出色斑真实直径。这时可以采用 CorelDRAW 与 MapInfo 或 AutoCAD 结合,先用 CorelDRAW 对不规则色斑进行矢量化,然后把色斑的矢量图转换为 dxf 格式,再用后两种软件打开并量出色斑面积 S ,并转换成相应的圆斑直径。

4) 将各雨强下的测定结果导入 Excel,再用(2)式算出实际雨滴直径。用传统方法测量时,测量的下限为 1 mm,对于细小雨滴形成的色斑,则不能进行精确测量,通过运用该软件,能准确测定各种色斑直径,不仅大大减少了工作量,还大大提高了测量精度。



图 2 色斑直径量测图

Fig. 2 Diagram of the measurement of color spot diameter

3 结果分析

雨滴密度为单位时间降落于模型单位面积上的雨滴数。由于取样器雨滴下落孔面积一定(0.01 m^2),滤纸比取样器孔径大,能完全收集穿过取样孔下落的雨滴。对一定雨强取样后,用

CorelDRAW 软件数出滤纸上的色斑个数,除以取样孔面积与取样时间,即可得出该雨强下模型的雨滴密度。

一场降雨,雨滴直径分布的密度反映出直径的分布率,对于小流域模型,降雨雨滴直径分布率是验证降雨相似的一个重要指标。对于降雨雨滴直径的分布,比较有代表性的为贝斯特雨滴直径分布函数^[11,12],其形式为

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

式中 d ——雨滴直径,mm; $F(d)$ —— d 的体积分布函数; a ——参数, $a = AI^p$,其中 A 、 p 为常数; I ——降雨强度, $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$; n ——与雨型、降雨强度有关的参数。

对(3)式求导,得出降雨的雨滴直径分布密度函数为

$$f(d) = \frac{n}{a} \left(\frac{d}{a}\right)^{n-1} \exp\left(-\left(\frac{d}{a}\right)^n\right) \quad (4)$$

江忠善^[13]由黄土高原的实测资料拟合贝斯特的雨滴直径分布函数,得到黄土高原不同降雨雨型下的参数值。

对于短阵性降雨雨型有

$$a = 3.58I^{0.25} \quad n = 2.44I^{-0.06} \quad (5)$$

由于模型降雨选取最大 30 min 雨强,满足文献[13]中定义的短阵性降雨条件。将(5)式代入(4)式得

$$f(d) = \frac{2.44I^{-0.06}}{3.58I^{0.25}} \left(\frac{d}{3.58I^{0.25}}\right)^{2.44I^{-0.06}-1} \exp\left(-\left(\frac{d}{3.58I^{0.25}}\right)^{2.44I^{-0.06}}\right) \quad (6)$$

将模型实测雨滴直径代入(6)式,可得模型不同降雨强度下的雨滴直径分布密度(图 3),与天然降雨的比较关系。

不同雨强下模型雨谱特性见图 3、表 1。

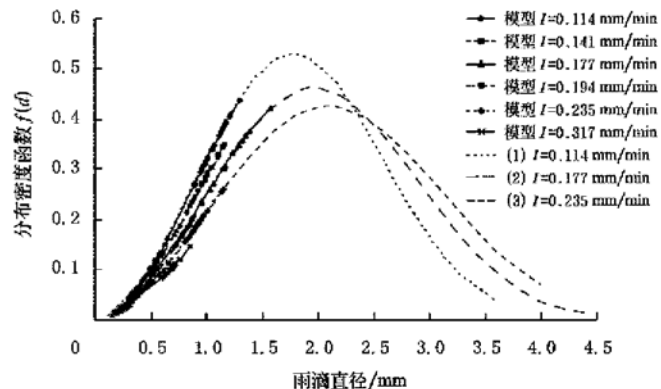


图 3 雨滴直径分布密度图

Fig. 3 Curves of raindrop diameter distribution density

表 1 模型雨谱特性表

Table. 1 Characteristics of the modeling rain

降雨强度 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	0.114	0.141	0.177	0.194	0.235	0.317
平均直径/mm	0.8550	0.8022	0.8422	0.6717	0.6800	0.4724
雨滴密度 / $\text{个} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$	5100	5950	6400	6917	7300	10600
模型雨滴中数 直径/mm	1.227	0.9564	1.1637	0.8081	0.9178	0.6762

图 3 中,曲线(1)、(2)、(3)为根据江忠善^[13]统计的天然降雨结果,回归得出的雨强分别为 $I = 0.114 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $I = 0.177 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $I = 0.235 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 天然降雨雨滴直径分布密度。

试验表明,在模型条件下:①模型雨滴直径分布密度随降雨

强度增大而降低,跟天然降雨趋势一致;②雨滴直径分布密度曲线与相同降雨强度下的天然降雨基本重合,得出试验方法适当,能较好地模拟黄土高原天然降雨;③模型雨强越大,雨滴雾化程度越高,雨滴平均直径与中数直径越小,单位面积上的雨滴密度增大,但模型是按一定的相似比尺对野外小流域进行的缩小,其降雨侵蚀力也应遵循比尺缩小的原则,即对天然降雨降落的雨滴大小也应缩小,模型降雨应为细雨雨滴,因此,降雨设备及其测试手段符合模型试验要求。

4 结 论

1) 色斑法操作简单,成本低廉,通过运用 CorelDRAW 软件,可对测量数据进行较为精确的处理,该法可以精确测定任意雨滴在滤纸上形成的色斑直径,在减少工作量的同时,打破了传统测量的局限,为准确了解降雨雨谱特性提供了较为先进的手段,用此方法测量时可直接使用色斑——雨滴率定公式(2)。

2) 试验是在模型降雨条件下,即短阵性降雨条件下得出的结果。为了更好地在室内模拟黄土高原小流域地表径流调控的过程,在考虑比尺条件下模拟的雨强、径流较小,传统雨滴测定方法难以达到精度要求。该方法能为人工降雨提供一系列重要参考数据,也可作为小流域地表径流调控模型降雨试验选取降雨时的参考,为室内人工模拟降雨尺度的选择与相似性验证提供依据(对于小流域径流调控模型降雨相似性的验证,将在另文予以报道)。

[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):22-25.
- [2] 李红,任志远,汤跃,等.喷头喷洒雨滴粒径测试的改进研究[J].2005,36(10):50-53.
- [3] 高昌珍,王治国,侯新明,等.滤纸法新雨滴取样器的试验研究[J].中国水土保持科学,2003,1(1):99-102.
- [4] 姚文艺,汤立群.水力侵蚀[M].黄河水利出版社,2001:29-56.
- [5] Laws J O Measurement of fall-velocity water-drops and rain drops [J]. Transactions of the American Geophysical Union, Vol. 22, 709, 1941.
- [6] Gunn R, Kinzer G D. Terminal velocity of water droplets in stagnant air[J]. Journal of Meteorology, 1949, (6): 243.
- [7] 窦保障,周佩华.雨滴观测方法[J].水土保持,1976,(1):46-50.
- [8] 高建恩.地表径流调控与模拟试验研究[D].中国科学院,2005:53-84.
- [9] 高建恩,吴普特,牛文全,等.黄土高原小流域水力侵蚀模拟试验设计与验证[J].农业工程学报,2005,21(10):41-45.
- [10] 高建恩,杨世伟,吴普特,等.水力侵蚀调控物理模拟试验相似率的初步确定[J].农业工程学报,2006,22(1):27-31.
- [11] 蔡丽君,王国栋,张社奇.黄土高原降雨雨滴动能的分布律[J].水土保持通报,2003,23(4):28-29.
- [12] 钱允祺,陶上珩.黄土高原降雨雨滴最终速度的分布律[J].西北农业大学学报,1998,26(5):20-24.
- [13] 江忠善,宋文经,李秀英.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.

Measurement of raindrop distribution of watershed model using corelDRAW

Shu Ruojie^{1,3}, Gao Jian'en^{1,2,3*}, Wu Pute^{1,2,3}, Tian Dong^{1,3}, Yang Shiwei^{1,2,3}

(1. College of Resources and Environmental Science Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;

3. National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Shannxi 712100, China)

Abstract: Raindrop spectrum observation is a key to acquiring the raindrop characteristics. To build small watershed model is an effective way to do experiment in all kinds of small drainage areas. Based on the similitude ratio and the small raindrop of model rainfall and the difficulty of measuring raindrop spectrum characteristics, the authors tried to use traditional Color-spot method with CorelDRAW to form a new method for data processing and obtained the raindrop spectrum characteristics. It proves that the new method can improve measuring precision and reduce the workload greatly.

Key words: CorelDRAW; raindrop distribution; artificially simulated rainfall; color-spot method