

泾河南小河沟流域自然降雨特性

乔勇虎¹, 郭东静², 陈锡云³

(1. 山西师范大学地理科学学院, 山西 临汾 041004;

2. 山西师范大学图书馆, 山西 临汾 041004; 3. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875)

摘要: 采用德国 HSC-OTT Persivel32 激光雨滴谱探测仪监测南小河沟流域自然降雨的雨滴谱, 分析不同雨型自然降雨雨滴特征及其分布规律, 并分析了降雨特性各要素间的相互关系。结果表明: (1) 该区自然降雨雨滴直径集中在 0.3~1.5 mm, 与黄土高原利用传统的滤纸色斑法测定结果基本一致, 但略小于东北和闽南地区。当雨强 $I < 10$ mm/h 时, 雨滴中数直径随雨强的增大而增大; 当 $I \geq 10$ mm/h 时, 雨滴中数直径骤然下降, 这在一定程度上和雨强增大后大雨滴破裂有关。该地区雨谱随雨强的变化可用 Best 分布拟合。(2) 普通型降雨雨滴数量随直径的分布曲线较平缓, 其动能与雨强呈线性相关; 而短阵型降雨的雨滴数量随直径的分布曲线较陡峭, 其动能与雨强呈幂函数关系。两种雨型的降雨动能均随雨强的增大而增大, 但短阵型降雨动能增大的更快, 因此短阵型降雨的侵蚀力更大。

关键词: 南小河沟流域; 雨滴特性; 降雨动能; 雨强; 激光雨谱仪

中图分类号: P426.62

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0133-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.05.021

Characteristics of Natural Rainfall of Nanxiaohegou Basin in Jinghe River

QIAO Yonghu¹, GUO Dongjing², CHEN Xiyun³

(1. School of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004; 2. Library, Shanxi

Normal University, Linfen, Shanxi 041004; 3. Faculty of Geographical, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: By using HSC-OTT Persivel32 laser raindrop spectrum detector (Germany), raindrop size distribution under natural rainfall was detected in Nanxiaohegou basin of Jinghe River, and the characteristics and distribution of raindrops in different kinds of natural rainfall were analyzed. The relationships among the elements of rainfall characteristics were analyzed as well. Results showed that: (1) The raindrop diameter of natural rainfall was concentrated at 0.3~1.5 mm in the study area, and this result was basically identical with that on the Loess Plateau which determined by the method of traditional filter paper splash. But the raindrop diameter was smaller than those in Northeast and Minnan region. The median raindrop diameter (D_{50}) increased with the increase of rainfall intensity when rainfall intensity (I) was less than 10 mm/h. When rainfall intensity was greater than or equal to 10 mm/h, the median raindrop diameter (D_{50}) dropped abruptly, to some extent, it was related to rupture of large raindrops after the increase of rainfall intensity. The variation of rain spectrum with rain intensity in this area could be fitted by Best distributed. (2) The distribution curve of raindrops number with the diameter was flat in common rainfall, and its kinetic energy was linearly correlated with rainfall intensity, while the distribution curve of raindrop number with diameter in short formation rainfall was steeper, and its kinetic energy and rain intensity were power function. The rainfall kinetic energy increased with the increasing of rain intensity in both kinds of rainfall, but the kinetic energy of short formation rainfall increased faster, therefore short formation rains were more erosive.

Keywords: Nanxiaohegou basin; raindrop characteristics; rainfall kinetic energy; rainfall intensity; laser raindrop spectrum detector

雨滴谱又称雨滴尺度分布, 是评价降雨特征的重要指标, 在降雨侵蚀力相关的研究中广受关注, 尤其

是在降雨动能的研究中应用较多。雨滴谱能够反映降雨动能变化的内在机理, 从而为深入研究降雨侵蚀

力奠定基础^[1]。

雨滴大小分布是降雨的基本特性,而雨滴中数直径(D_{50})是说明雨滴分布的最好指标。雨滴终点速度是决定其动能的关键因素。目前,国内外已经形成了诸多基于自然降雨的雨滴终速估算经验公式,其计算结果可以代表雨滴直径在一定范围内的自然降雨雨滴终速。对雨滴大小和终点速度的相关研究始于 20 世纪 40 年代,代表性的工作包括美国的 Laws^[2]、Gunn-Kinzer^[3] 和日本的三原义秋等^[3] 使用转动圆盘测定水滴的降落速度,以及 Wiesner、Lenard^[4] 利用滤纸色斑法、面粉团法等测定雨滴直径,在此基础上,建立了诸多不同降雨类型下雨滴终点速度与雨滴直径间的经验计算公式,典型的如 Gunn-Kinzer、三原公式等。自 1956 年以来,国内代表性的成果有沙玉清公式^[5]、牟金泽公式^[5] 和姚文艺公式^[5]。这些工作与经验公式为定量描述不同类型与不同条件下的自然降雨基本特征提供了依据。

目前,已有学者对国内外不同地区的天然降雨特性做了研究^[6-7]。江忠善等^[8] 早在 1983 年对黄土地区天然降雨雨滴特性的研究中发现,一定雨型的天然降雨雨谱特征随雨强的变化而变化,不同雨型对雨滴的组成也有较大的影响,为降雨侵蚀力的定量研究提供了基本依据。但前人的测量方法传统且精确度不高,数据获取费时费力,数据处理计算过程复杂,雨滴终点速度多依据经验公式推算,误差较大,影响到降雨侵蚀力的计算。位于泾河支流蒲河左岸的南小河沟流域属黄土高原沟壑区典型地貌类型和严重水土流失区,为此本文借助德国产激光雨滴谱探测仪连续监测泾河南小河沟流域的自然降雨,采集雨滴特性数据,分析研究区不同雨型的自然降雨雨滴特征及其分布规律,为蒲河流域定量研究降雨侵蚀力和设计人工模拟降雨试验提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南小河沟是泾河支流蒲河左岸的一条支沟,属于典型黄土高原沟壑区和严重水土流失区。流域面积 36.6 km^2 ,位于东经 $107^{\circ}30' - 107^{\circ}37'$,北纬 $35^{\circ}41' - 35^{\circ}44'$,位于甘肃省庆阳市后官寨及西峰区境内,海拔 $1\,050 \sim 1\,423 \text{ m}$,流域长 13.6 km ,平均宽 2.7 km 。流域主要地形地貌包括塬面、山坡、沟谷,塬面面积占流域总面积的 56.9% ,梁峁坡面积占流域总面积 15.7% ,沟谷面积占流域总面积 27.4% 。南小河沟是以高原沟壑区的水土流失规律研究及各项水土保持措施的拦蓄效益监测为主的监测基地,是黄河水利委员会于 1954 年建立的水土保持试验站,是我国为数不多的几个水土保持长期定位观测站^[9]。

南小河沟处于内陆地带,地形较复杂,属于大陆性气候。冬季降水稀少;夏季降雨较多,但不均匀,侵蚀性降雨多发生在夏季。根据西峰气象站的观测统计,南小河沟 40 余年年均降雨量 520.0 mm ,平均蒸发量 $1\,503.5 \text{ mm}$,其中 6—9 月降雨量占全年降雨量的 67.3% ,属于半干旱大陆气候。年最大降水量和最小降水量分别为 $750.2, 344.6 \text{ mm}$,流域年平均气温 9.3°C ,最低与最高气温分别为 -22.6°C 和 39.6°C 。

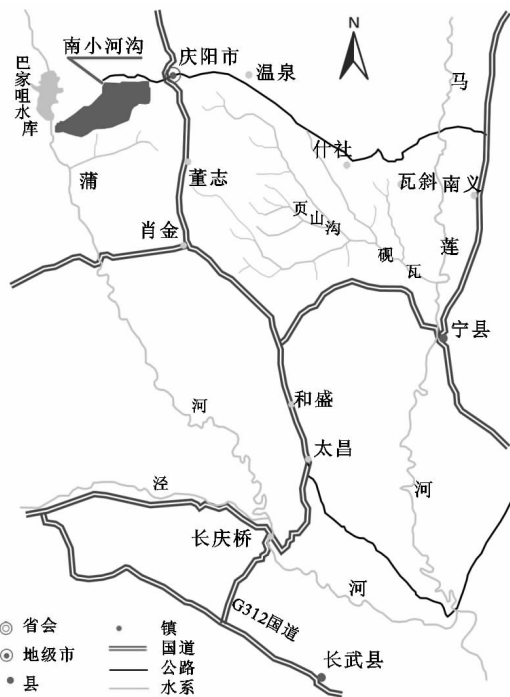


图 1 南小河沟流域位置示意

1.2 雨滴观测仪器

德国生产的激光雨滴谱仪 HSC-OTT Parsivel32 是一种现代化的以激光为基础的光学测量系统,探测各种气候环境条件下的降雨雨滴特性。其工作原理是通过一个能够发射面积为 $180 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 水平光束的激光传感器(图 2),直接测量和记录降水粒子的直径大小和经过激光束所经历的时间,并由此推导出降水滴谱、降水类型、降水动能、降水强度等参数。仪器可以测量各种类型的降水,液态降水的可测粒径范围为 $0.2 \sim 5.0 \text{ mm}$,固态降水的可测粒径范围为 $0.2 \sim 25.0 \text{ mm}$ 。它可对终点速度为 $0.2 \sim 20.0 \text{ m/s}$ 的降水粒子进行测量。激光雨滴谱仪传感器把测量结果通过串行接口传输到 RS485 数据输出箱,再经过转换器和 RS-232/USB 转换到计算机中,利用 CASDO 软件将数据输出并保存为 Access 数据库。按照研究的需要,对数据进行规整化整理,再进行相应的计算^[10]。

1.3 计算方法

1.3.1 降雨观测 于 2014 年 6—10 月采用德国产激光雨滴谱仪 HSC-OTT Parsivel32 和传统的雨量

筒,在南小河沟气象园内开展野外连续观测试验。为避免降雨受到建筑物和树木的干扰,观测仪器布设在开阔且无遮挡物的区域。一次降雨结束后用量筒测量降雨量,用于对照激光雨谱仪测得的雨量。

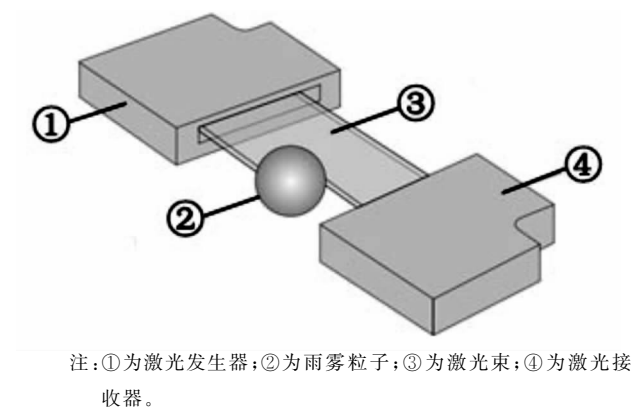


图 2 HSC-OTT Parsivel32 的滴谱测量原理

试验共收集了 2014 年汛期 5 个月的降雨特性数据,包括雨量、雨强、雨滴大小与雨滴终点速度、雨滴谱数据,于 2015 年 1 月开展试验分析。根据国家气象局对降雨强度的等级的划分标准^[11](表 1),基于激光雨谱仪及雨量筒的日降雨量数据将南小河沟流域的降雨划分为小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨。

表 1 降雨类型划分依据

降雨强度等级	日降雨量/mm
小雨	0~9.9
中雨	10~24.9
大雨	25~49.9
暴雨	50~99.9
大暴雨	100~199.9
特大暴雨	≥200

1.3.2 降雨量与雨强计算 依据各径级雨滴直径,将雨滴视为球体计算各径级雨滴体积 $V_n = \pi d_n^3 / 6$,将各个径级雨滴体积求和计算总体积 $V = V_1 N_1 + V_2 N_2, \dots, V_{32} N_{32}$ 。分钟雨量 $P = V / S$ 。雨强 I 的计算公式为^[10]:

$$I = \frac{\pi}{6St} \sum_{i=1}^n N_i d_i^3 \tag{1}$$

式中: I 为雨强(mm/h); n 为雨滴直径的分级数目; N 为各径级的雨滴数; d 为雨滴直径(mm); t 为样点持续时间(h); S 为采样面积(mm²)。

1.3.3 雨滴中数直径与雨谱分布 雨滴中数直径是反映雨滴大小特征的重要指标,根据雨滴谱数据计算 32 个粒径范围内雨滴的体积和场次降雨雨滴累计体积,求得对应 50% 累计体积的直径值即为雨滴中数直径^[12]。雨滴分布特性一般采用 Best 的天然降雨分布经验关系来计算^[13]:

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d}{a} \right)^n \right] \tag{2}$$
$$a = AI^p \tag{3}$$

式中: F 为雨滴直径 $\leq d$ 的雨滴累计体积(%); d 为雨滴直径(mm); a 、 n 为取决于雨型的常数; I 为降雨强度(mm/h); A 和 p 为系数和指数。

根据试验结果验证该降雨的雨滴分布是否属于 Best 分布,若分布满足此分布式,并求出 a 和 n 的表达式。对公式(2)移向取对数:

$$\exp \left(\frac{d}{a} \right)^n = \ln(1 - F) \tag{4}$$

再次取对数可得: $\ln d = \ln a + \frac{1}{n} \ln \ln \frac{1}{1 - F}$,设 $Y = \ln d$, $X = \ln \ln \frac{1}{1 - F}$, $M = \ln a$, $N = \frac{1}{n}$,则上式可写成:

$$Y = M + NX \tag{5}$$

通过雨滴谱资料,由雨滴直径可求得雨滴体积累计百分数,即 Y 和 X ,通过回归分析可得每份雨滴谱函数的 M 和 N 值,进而求得 a 和 n 的表达式。

1.3.4 雨滴动能计算 雨滴动能是根据雨滴大小及其组成计算求得的。一般将雨滴视为球体,由此得到单个雨滴的动能计算公式为^[13]:

$$e = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{10^{-9}}{12} \rho \pi d^3 v^2 \tag{6}$$

一场降雨的动能公式为计算:

$$E = \frac{\pi \rho}{12St} \sum_{i=1}^n N_i d_i^3 v_i^2 \tag{7}$$

式中: N 为各径级的雨滴数; d 为雨滴直径(mm); t 为样点持续时间(h); S 为采样面积(mm²); ρ 为水的密度(1 000 kg/m³); v 为雨滴终点速度(m/s)。

2 结果与分析

2.1 观测期雨量与雨型特征

土壤侵蚀的主要外力是降雨侵蚀力,其根源是降雨。包括降雨量、雨强、降雨历时、雨谱分布和降雨动能在内的降雨特征及其时间空间分布差异是影响各地区土壤侵蚀强度和规律的主要因素。因此,对研究区雨量和雨型特征的研究是准确合理分析降雨特性的前提。

已有研究中将雨量高于平均降雨量 20% 的年份定为丰水年,低于平均降雨量 20% 的年份定为枯水年,降雨量为二者之间定为平水年^[14]。南小河沟流域年平均降雨量为 520.0 mm,故年降雨量介于 416.0~624.0 mm 均为平水年。研究区 2014 年总降雨量 482.47 mm,因此可以代表南小河沟流域平水年的降雨特征。汛期 6—9 月份降雨量 294.88 mm,占全年降雨总量的 61%。其中 9 月份降雨量最多为 164.25 mm,占汛期降雨量的 56%,7 月份降雨量在汛期最小,仅 13.50 mm,占汛期降雨量的 5%。2014 年月平均降雨量 40.21 mm,汛期月平均降雨量 59.00 mm;季平均降雨量 120.61 mm,标准差 65.41 mm,变异系数 1.11。

统计研究区各降雨类型的天数发现 2014 年该流域内无暴雨和特大暴雨出现,大雨仅出现在 9 月份,中雨均匀分布在 8 月份和 9 月份,小雨在汛期的每个月份都会出现,且均匀分布,雨量多的月份相应的降雨天数略微偏多(图 3)。大雨及以上级别的降雨时间短,降雨过程线呈单峰曲线,出现峰值时段的降雨对侵蚀的影响最大;小雨降雨历时长,主要是普通型降雨,降雨过程线一般呈多峰曲线,侵蚀力较弱。因此,南小河沟流域 2014 年侵蚀性降雨主要出现在 9 月份。

降雨一般分为对流雨、锋面雨、地形雨、台风。按照气象学的分类方法,将黄土高原主要的雨型分为 2 种^[8]:其一,是由局部地形和气候影响产生的来势猛、短历时(1 h 左右)的小面积降雨,称为短阵型降雨;其二,主要是季风(锋面)影响的大面积普通型降雨。对本次试验观测结果的分析也表明研究区主要的降雨类型可归类为以上 2 种,因此本文选择了典型的普通型降雨和短阵型降雨分别研究降雨特性。研究区 2014 年 6—9 月份的降雨中普通型降雨占优势,短阵型降雨主要分布在 8—9 月份。

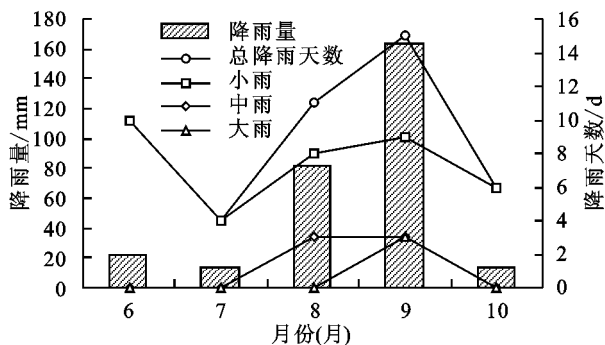


图 3 南小河沟汛期降雨量及其降雨类型分布

2.2 雨滴大小与分布特征

研究观测期自然降雨雨滴分布特性,有助于认识研究区降雨基本特性,并为降雨侵蚀力研究提供参考依据。研究区 2014 年 6—9 月降雨的最小雨强和最大雨强分别为 0.1、18.0 mm/h,不同雨强的自然降雨其雨滴径级分布具有连续性,雨滴直径分布在 0.18~2.13 mm,其中以 0.30~1.50 mm 分布最为集中。众多关于雨滴特性的观测表明,自然降雨雨滴一般在 0.10~6.50 mm 的小直径范围内,平均直径 3.56 mm,直径超过 7.00 mm 的雨滴下落过程中因空气阻力会破碎。吴光艳等^[8]在黄土高原的天水、绥德水保站等地应用传统滤纸色斑法观测结果表明自然降雨雨滴分布最大直径不超过 5.00 mm,而尚佰晓等^[15]在东北沈阳地区的观测则表明雨滴最小直径 0.18 mm,最大直径 9.32 mm。本次观测结果与已有成果比较可见,南小河沟 2014 年多场降雨的雨滴分布及变化特征与黄土高原相似,但雨滴直径略小于东北地区 and 闽南地

区^[15]。说明,本研究野外观测的降雨雨滴其分布特征符合大多数降雨特性规律,但不同区域的雨滴大小与分布存在差异。因此,在不同区域的降雨侵蚀力研究与人工模拟降雨试验设计中需参考本地区降雨的降雨特性,使研究结果更加可靠。

2.3 雨谱随雨强的变化规律

不同雨强的降雨,其雨滴谱分布特征不同。南小河沟观测期雨滴谱随雨强变化的动态如图 4,不同雨强的降雨其最大雨滴直径和雨滴数量均随雨强增大而增大。当雨强 $I < 10$ mm/h 时,雨滴最大直径和雨滴中数直径随雨强的增大而增大;当雨强 $I \geq 10$ mm/h 时,雨滴最大直径和中数直径骤然下降,但较小直径的雨滴数量骤然上升。这种现象在一定程度上和降雨雨强增大后大雨滴破裂为小雨滴有关,但众多关于自然降雨的研究表明,雨滴直径随雨强的增大呈幂函数增加^[8],与本研究的结果存在差异。这可能与研究中所选用的降雨类型有关,短阵型降雨,雨强的增大与雨滴直径的增加密切相关;而普通型降雨雨强增大则与小雨滴数量增加有关。

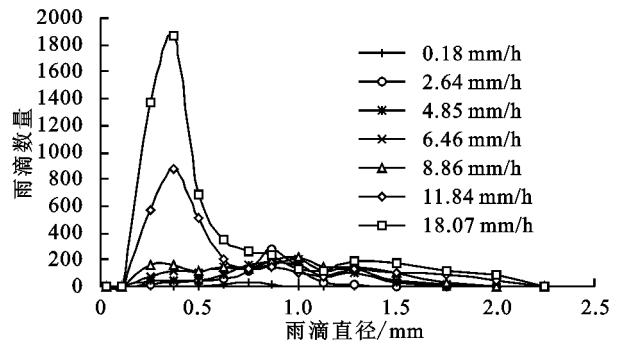


图 4 南小河沟自然降雨雨谱随雨强变化规律

雨滴分布是描述降雨特性随雨强变化的参数,是反映降雨动能的重要参数之一,也是研究降雨动能中不可缺少的一个组成部分,雨滴特征与雨强的函数关系对研究降雨侵蚀力具有特殊的意义。雨滴分布特性研究表明,黄土高原地区降雨雨滴分布一般可由 Best 的天然降雨分配经验关系式拟合,若分布函数 F 值与实测 F 值拟合较好,说明该降雨符合 Best 分布。

南小河沟野外观测多份雨滴谱的计算与回归分析所得出的分布函数 F 值和实测 F 值拟合效果较好,误差均在 10% 以下。通过对 a 、 n 值与雨强关系的回归分析(图 5),得出该地区降雨 a 、 n 和 I 之间满足关系式:

$$a = 0.98I^{0.30} \quad (8)$$

$$n = 6.27I^{-0.23} \quad (9)$$

a 、 n 值与雨强 I 的关系式能反映该地区的降雨类型。上式中 a 值与雨强 I 呈显著 ($R^2 = 0.68$) 正相关关系, n 值与雨强 I 呈显著 ($R^2 = 0.78$) 负相关关系,随着雨强的增大, a 值增大, n 值减小,这与吴光

艳等^[8]得出的普通降雨型公式较吻合。由于降雨类型的差异而造成每个地区的 a 、 n 值都不同。因此,说明南小河口流域的降雨雨滴分布满足 Best 分布式,关系式为:

$$F=1-\exp\left[\left(\frac{d}{0.98I^{0.30}}\right)^{6.27I^{-0.23}}\right]\quad(10)$$

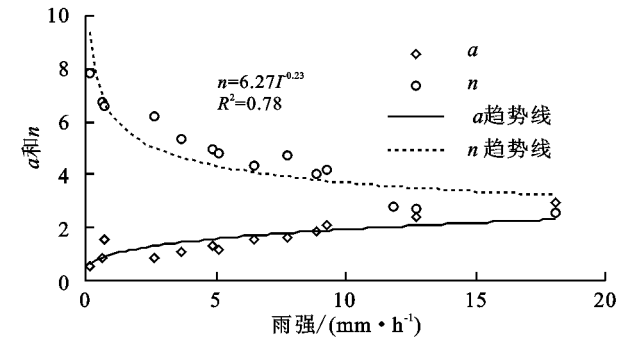


图 5 南小河口自然降雨雨谱分布参数随雨强的变化

2.4 不同雨型的雨滴直径随雨强的变化规律

雨滴直径随雨强的变化规律因雨型的不同而不

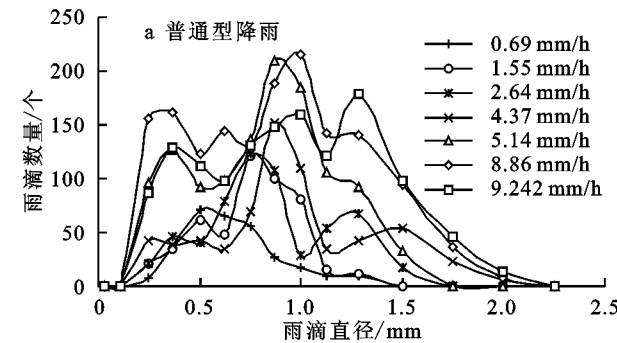


图 6 不同雨强降雨的雨滴数量随直径的变化特征

2.5 不同雨型的雨滴终点速度随雨强的变化规律

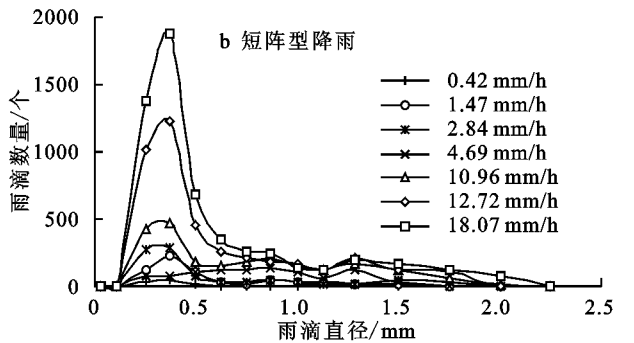
雨滴终点速度是决定其动能的关键因素,也是表达降雨特征的重要指标。不同雨强的降雨其雨滴直径不同,导致雨滴终点速度也随降雨强度的不同而不同。

激光雨滴谱探测仪 HSC-OTT Persivel32 将雨滴直径大小分成 32 个级别,每个雨滴直径所在的级别成为雨滴径级。研究区观测期的普通型降雨雨滴终点速度随雨滴径级的变化动态曲线如图 7,雨滴终点速度分布具有连续性,且随雨滴径级的增大呈波动上升趋势。最大雨滴终点速度 4.5 m/s,绝大多数雨滴终点速度集中在 1.5~3.5 m/s,对应的雨滴直径大小为 0.44~2.12 mm。雨滴终点速度随雨强的变化较小,仅最大雨滴终点速度随雨强增大而增大,这与雨强增大后大直径雨滴出现频率较高有关。

研究区观测期的短阵型降雨雨滴终点速度随雨滴径级的变化动态曲线如图 7 所示。雨强为 0.42~18.07 mm/h 的降雨,雨滴终点速度随雨滴径级的变化趋势同普通型降雨类似,但短阵型降雨雨滴终点速度随雨滴径级增大的速率比普通型降雨快,上升曲线

同。研究区观测期的普通型降雨雨强为 0.69~9.24 mm/h,雨滴直径范围为 0.19~2.50 mm。其雨滴直径随雨强的变化动态如图 6 所示,雨滴数量随雨滴直径的分布曲线较平缓,其峰值出现在 0.50~1.50 mm,直径大于 1.50 mm 的雨滴数量逐渐减少。由此可见,直径小于 0.50 mm 和大于 1.50 mm 的雨滴数量较少,雨滴直径主要集中在 0.50~1.50 mm。

研究区观测期的短阵型降雨雨强为 0.42~18.07 mm/h,雨滴直径为 0.10~2.50 mm。雨滴数量随雨强的变化动态如图 6 所示,其分布曲线较陡峭,雨滴数量的峰值出现在 0.10~0.60 mm,直径>0.60 mm 的雨滴数量随直径的增大而迅速减少。雨强<5.00 mm/h 的降雨,其雨滴直径和雨滴数量随雨强的增大同步增加;当雨强>5.00 mm/h 时,小雨滴数量(直径<0.60 mm)较多,直径>0.60 mm 的雨滴数量较少。由此看来,短阵型降雨雨强的增大主要是通过小雨滴数量的大幅度增加来实现,这与大雨滴下落过程中破裂为更多的小雨滴有关。



较陡。最大雨滴终点速度 5.2 m/s,雨滴终点速度主要集中在 1.5~3.5 m/s。雨滴终点速度随雨强的变化不大,类似于普通型降雨,最大雨滴终点速度 5.2 m/s 对应的雨强为 10.96 mm/h,雨强大于此临界值后雨滴终点速度的最大值不再变化。

2.6 雨强与中数直径、动能的关系

雨滴谱中雨滴累计体积的 50%对应的雨滴中数直径能较好的代表该份雨滴谱的平均直径。一定地区的雨滴中数直径与雨强的关系随雨型的不同而不同。由图 8 可知,普通型降雨和短阵型降雨雨滴中数直径随雨强变化的趋势拟合公式为:

普通型降雨: $D_{50}=0.80I^{0.18}\quad R^2=0.71\quad(11)$

短阵型降雨: $D_{50}=0.98I^{0.12}\quad R^2=0.69\quad(12)$

显然,2 种雨型的雨强 I 和 D_{50} 均有密切的关系,雨型影响系数 a 和 b 的值,雨滴中数直径均随雨强的增大而增大,特别是雨强<5.00 mm/h 的降雨更加显著;雨强>5.00 mm/h 后雨滴中数直径随雨强变化缓慢,这与雨强增大后不稳定雨滴增多有一定的关系。由于大气的扰动,直径大于 5.50 mm 的雨滴失

去稳定性,易发生破碎。相对而言,中、小雨强下短阵型降雨雨滴中数直径随雨强增大的更快,但短阵型降

雨 D_{50} 和 I 相关性决定系数较小,说明短阵型降雨的雨滴受大气扰动后更不稳定。

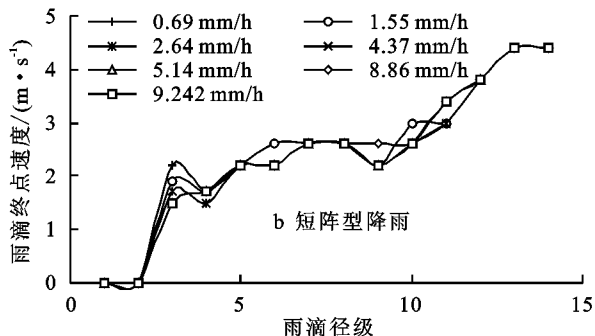
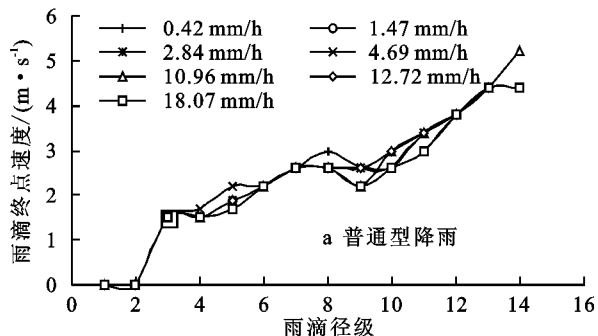


图 7 雨滴终点速度随直径的变化特征

不同雨型的雨滴中数直径与雨强的关系不同,而降雨动能又和雨滴直径有关,因此降雨动能和降雨强度关系值得研究。雨强(I)和降雨动能(E)的拟合曲线如图 8 所示,拟合公式为:

$$\text{普通型降雨: } E = 0.36I + 2.81 \quad R^2 = 0.61 \quad (13)$$

$$\text{短阵型降雨: } E = 4.03I^{0.17} \quad R^2 = 0.70 \quad (14)$$

显然,2 种雨型的雨强与降雨动能关系存在差异,普通雨型的降雨动能与雨强呈线性相关,而短阵型降雨二者呈幂函数关系。降雨动能均随雨强的增

大而增大,但短阵型降雨动能增大的更快,因此短阵型降雨的侵蚀力更大,土壤侵蚀更严重。与吴光艳等[8]、尚佰晓等[15]学者的传统研究相比,本研究雨滴直径和雨滴终点速度测量精确度较高,保证了基础数据的可靠性。另外本研究获取的雨滴谱样本多且连续,序列较长,雨滴中数直径和降雨动能等指标的计算方法与拟合方程更精确。此外,本研究分 2 种雨型分析降雨特性各要素间的关系,相比传统的单种雨型研究更加科学合理。

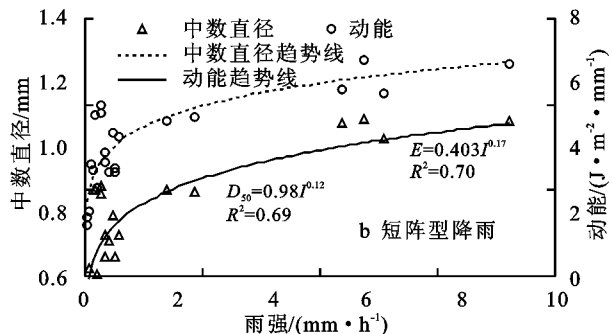
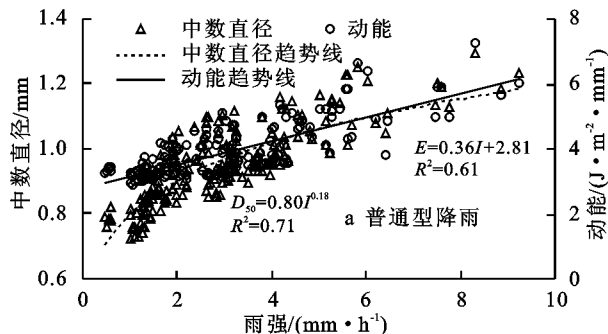


图 8 雨滴中数直径和降雨动能与雨强的关系

3 结论

(1)南小河沟流域的雨滴直径为 0.20~2.10 mm,其中以 0.30~1.50 mm 分布最为集中,与黄土高原利用传统的滤纸色斑法测定结果基本一致,但该地区雨滴直径略小于东北和闽南地区。当雨强<10 mm/h 时,雨滴中数直径随雨强的增大而增大;当雨强 ≥ 10 mm/h 时,雨滴中数直径骤然下降,但较小直径的雨滴数量骤然上升,这种现象在一定程度上和雨强增大后大雨滴破裂为小雨滴有关。该地区雨谱随雨强的变化符合 Best 分布。

(2)研究区普通型降雨雨滴数量随直径的分布曲线较平缓,其峰值为 0.50~1.00 mm,大雨滴的数量较少;雨滴终点速度随雨滴直径的分布具有连续性,且随雨滴直径的增大呈波动上升趋势,最大雨滴终点速度 4.5 m/s,绝大多数雨滴终点速度集中在 1.5~3.5 m/s,雨滴终点速度的最大值随雨强的增大而增大。短阵型降雨雨滴

数量随直径的分布曲线较陡峭,峰值为 0.10~0.60 mm;雨滴终点速度随直径增大的速率比普通型降雨快,最大雨滴终点速度为 5.2 m/s。短阵型降雨雨强的增大主要归结于小雨滴数量的大幅度增加。

(3)两种雨型的降雨雨强与降雨动能关系存在差异,普通雨型的降雨动能与雨强呈线性相关,而短阵型降雨二者呈幂函数关系。降雨动能均随雨强的增大而增大,但短阵型降雨动能增大的更快,因此短阵型降雨的侵蚀力更大,土壤侵蚀更严重。

参考文献:

- [1] 朱亚乔,刘元波.地面雨滴谱观测技术及特征研究进展[J].地球科学进展,2013,28(6):685-694.
- [2] 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,2004,1(2):22-26.
- [3] 韩文霆,曹培,刘文帅.人工模拟降雨系统喷头喷洒雨滴特性测试[J].农业机械学报,2014,45(12):56-61.