

闽东南天然降雨雨滴特征的研究

黄炎和 卢程隆 郑添发 傅勤 许建金

(福建农学院土化系·福州市·350000)

(福建省水土保持试验站)

提 要

该文在实测滴谱资料的基础上建立了闽东南地区雨滴大小分布函数。

$$F = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{d}{3.58I^{0.28}} \right)^{5.19I^{0.11}} \right\}$$

并导出了雨滴中数直径、动能与雨强的关系为 $D_{50} = 3.34I^{0.29}$ 和 $E = 36.04I^{0.29}$ 。笔者认为两型对雨滴特征是有影响的。

关键词：雨滴特征 雨滴大小分布 雨滴动能 雨强

Study on the Characteristics of Natural Raindrop in Southeast Fujian Province

Huang Yanhe Lu Chenlong

(Department of Soil and Agro-chemistry, Fujian Agricultural College, 350000)

Zheng Tianfa Fu Qin Xu Jianjin

(Experimental station of Soil and Water Conservation of Fujian Province)

Abstract

Based on the raindrop spectrum determined, the distribution function of raindrop size in southeast Fujian was established as follow: $F = 1 - \exp \{ - [d / (3.58I^{0.28})]^{5.19I^{0.11}} \}$. Meanwhile, the authors presented that the relationship between medial raindrop diameter, kinetic energy and rainfall intensity are $D_{50} = 3.34I^{0.29}$ and $E = 36.04I^{0.29}$ respectively. Finally, the authors hold that the type of rainfall has a certain impact on characteristics of raindrop.

Key words characteristics of raindrop distribution of raindrop size
kinetic energy of raindrop rainfall intensity

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雨强的变化规律等。这些资料不仅是设计人工模拟降雨装置的重要依据，也是土壤侵蚀的定量研究和侵蚀预报不可缺少的基本资料。在闽东南地区乃至福建全省，80年代初以来，各水保站积累了大量的径流、泥沙和基本降雨参数等方面的资料。但由于对直接引起溅蚀的雨滴动能以及降雨特性缺乏观测研究，使土壤侵蚀方面的研究工作只停留在定性描述的阶段，科研水平难以提高。

1989年，在省水土保持委员会的资助下，我们在安溪官桥开展了雨滴特征的观测研究。

关于降雨雨滴特征，国内外已有很多研究（Best, 1950; Wischmeier等, 1958年；周佩华等, 1981年；江忠善等, 1983年；贾志军等, 1987年）。并且建立了适应作者研究范围内的雨

滴分布函数和雨滴动能与雨强的关系式等。尤其是雨滴动能与雨强的关系式的确立,使雨滴动能的测定和计算简单化了。这就使人们能对雨滴动能与土壤侵蚀作深入的研究,从而明确了土壤侵蚀与雨滴动能有密切的相关,导出了以降雨动能和30min时段雨强的乘积作为降雨侵蚀力的指标,为侵蚀的定量研究和预报提供了降雨因子值。然而,由于雨型和地理位置等因素的影响,现有的有关经验方程都不可能直接应用于闽东南地区,真正能描述该地区雨滴大小分布,中数直径、雨滴动能随雨强的变化等都尚待观测研究。以便为闽东南地区的土壤侵蚀的定量研究提供基本资料。

一、观测点概况及观测计算方法

(一) 观测点概况 观测点位于安溪官桥径流试验场,东经为 $118^{\circ}05' \sim 118^{\circ}06'$,北纬 $25^{\circ}01' \sim 25^{\circ}02'$ 。属南亚热带季风气候区,年均雨量1700mm左右,降雨多集中3~9月份。

(二) 雨滴的大小及其组成 采用滤纸色斑法测定(窦葆璋,1982年)。

(三) 雨滴动能的计算 色斑法所测定的是滤纸上的每个雨滴产生的色斑直径,还须将其换算成雨滴的直径。本研究采用新华造纸厂出品的直径为150mm的定性滤纸(中速),故可直接使用窦葆璋等人提出的雨滴直径与色斑直径的关系式①求雨滴直径。

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

式中: d 为雨滴直径(mm); D 为雨滴色斑直径(mm)。

有了雨滴直径,便可求得雨滴质量 m 。

雨滴的降落速度按下式计算:

当 $d < 1.9\text{mm}$ 时,用修正的沙玉清公式计算,即:

$$V = 0.496 \text{antilog} (\sqrt{28.32 + 6.524 \log 0.1d - (\log 0.1d)^2} - 3.665) \quad (2)$$

当 $d \geq 1.9\text{mm}$ 时,用修正的牛顿公式计算,即:

$$V = (17.20 - 0.844d) \sqrt{0.1d} \quad (3)$$

式中: V 为雨滴的降落速度(m/s), d 为雨滴的直径(mm)。

根据雨滴的质量和降落速度,即可应用 $E = \frac{1}{2}mv^2$ 计算单个雨滴的动能。根据每次降雨雨滴

组成,即可计算出该次降雨在单位面积上每1mm降雨的能量。

在观测雨滴大小及其组成时,同时记录降雨强度。

二、结果与讨论

(一) 降雨雨滴分布模型 贝斯特(Best, 1950年)认为,雨滴大小分布是遵守如下的函数关系的:

$$F = 1 - \exp[-(d/a)^n] \quad (4)$$

其中:

$$a = AI^p \quad (5)$$

式中: d 为雨滴直径(mm); F 为雨滴中直径小于或等于 d 的雨滴累积体积(%); I 为降雨强度(mm/min); n 、 A 、 p 为常数。

西北水保所(江忠善等,1983年)对黄土地区的资料分析结果认为,贝氏的分布函数式是符合黄土地区的降雨特征的。然而,由于雨滴大小分布受到很多因素的影响,如降雨强

度、雨型、相对湿度等。所以，江忠善等人在将贝氏的雨滴大小分布函数引用到黄土地区的过程中利用实测资料对函数中的参数进行了修改。显然，闽东南的降雨雨型等因素又与黄土地区截然不同，在采纳贝氏的分布函数式时，也应对式中有关参数进行修正，才能更适应闽东南的降雨特征。

根据1989~1990年在安溪官桥取得的58份滴谱资料分析认为，闽东南地区雨滴大小分布函数为：

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d}{3.58I^{0.28}} \right)^{5.19I^{0.11}} \right] \quad (6)$$

为了进一步减少雨型对函数式的影响，可将闽东南降雨型区分为梅雨型和台风雷暴雨型，并分别进行分析得雨滴的大小分布函数为：

梅雨型（以具有典型梅雨特征的4、5月份获得的13份滴谱为资料）

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d}{4.34I^{0.21}} \right)^{5.94I^{0.14}} \right] \quad (7)$$

台风雷暴雨型（以具有典型台风雷暴雨特征的7、8月份获得的18份滴谱为资料）

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d}{3.44I^{0.26}} \right)^{5.40I^{0.16}} \right] \quad (8)$$

从上面的分布函数式可以看出，雨型不同，对函数中几个常数值是有影响。而且n值与贝氏结论不同。闽东南的n值与雨强I是呈显著的幂函数相关关系的。

如(6)式： $n = 5.19I^{0.11}$ $r = 0.565^{**}$ $r_{0.01}(56) = 0.337$

(7)式： $n = 5.94I^{0.14}$ $r = 0.615^{*}$ $r_{0.01}(11) = 0.684$ $r_{0.05}(11) = 0.553$

(8)式： $n = 5.40I^{0.16}$ $r = 0.760^{**}$ $r_{0.01}(16) = 0.590$

这一结果与江忠善等人的结果不同。他们的结果是n与I呈负相关关系。从而看出，雨型等因素对n值的影响是相当大的，各地在引用雨滴大小分布函数时应充分意识到这一点，才有可能正确地应用贝氏的公式来描述研究地区的雨滴大小分布。

(二) 雨滴的中数直径与雨强的关系 雨滴中数直径是说明雨滴大小特征的重要指标。它是F=50%时的雨滴直径。因而我们利用实测的58份滴谱资料，结合⑥式计算每份滴谱的中数直径，并分析它们与雨强之间的关系为：

$$D_{50} = 3.34I^{0.29} \quad (9)$$

$$r = 0.918^{**} \quad r_{0.01}(56) = 0.337$$

这说明雨滴的中数直径与雨强之间是呈幂函数关系的。

再分析不同雨型的 $D_{50} \sim I$ 关系为：梅雨型（以4、5月份滴谱为资料） $D_{50} = 4.08I^{0.32}$ $r = 0.969^{**}$ $r_{0.01}(11) = 0.684$ ；台风雷暴雨型（以7、8月份的滴谱为资料）： $D_{50} = 3.22I^{0.27}$ $r = 0.964^{**}$ $r_{0.01}(16) = 0.590$ 。从不同雨型的 $D_{50} \sim I$ 关系可以看出：雨型并不影响 $D_{50} = aI^b$ 的基本模型。然而对模型中的常数项a、b的取值是有一定影响的。

(三) 雨滴动能与雨强的关系 实测的58份滴谱资料回归分析结果表明：最能描述动能与雨强关系的是幂函数关系。即

$$E = 36.04I^{0.29} \quad (10)$$

$$r = 0.938^{**} \quad r_{0.01}(56) = 0.337$$

式中： E 为雨滴动能（J/m²/mm）； I 为降雨强度（mm/min）。

为了检验雨型对 $E \sim I$ 关系的影响, 将代表梅雨季节的3、4月份13份滴谱资料和代表台风雷暴雨季节的7、8月份18份滴谱资料进行回归分析, 结果为梅雨型:

$$E = 40.90I^{0.31} \quad (11)$$

$$r = 0.989^{**} \quad r_{0.01}(11) = 0.684$$

台风雷暴雨型:

$$E = 35.92I^{0.28} \quad (12)$$

$$r = 0.960^{**} \quad r_{0.01}(16) = 0.590$$

从函数式的常数值来看, 代表台风雷暴雨型的(12)式与(10)式较为接近, 而代表梅雨型 $E \sim I$ 关系的(11)式中常数项与(10)式、(12)式有较大的差异。再对(10)式、(10)式和(12)式三个公式对同一雨强的回报结果进行差异显著性检验。我们以三个公式为A因素, 不同雨强为B因素组成表1的二因素无重复方差分析原始数据表。对表1进行方差分析, 结果见表2。表2表明, 不同式子计算所得的 E 值存在着极显著的差异, 用邓肯检验对各式子计算所得的 E 值进行多重比较, 所用差数标准误差公式为: $SE = \sqrt{Se^2/b} = \sqrt{0.7357/10} = 0.2712(J/m^2/mm)$ (b为B的水平数)。L.S.R.的计算结果如表3。多重比较结果见表4。表4结果表明, 雨型对 $E \sim I$ 关系方程是有显著影响的。即同一雨强下, 用梅雨型 $E \sim I$ 方程和用台风雷暴雨型的 $E \sim I$ 关

表1 依据不同 $E \sim I$ 方程计算的 E 值

A因素①	B因素									
	0.04	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.70	0.96	1.03
I	14.17	17.32	20.79	22.60	25.42	27.63	29.48	32.5	35.62	36.35
II	14.58	17.71	21.12	22.89	25.64	27.79	29.58	32.51	35.51	36.22
III	15.08	18.69	22.71	24.83	28.16	30.79	32.99	36.62	40.38	41.28

$$\text{①I—E} = 36.04I^{0.29}; \text{II—E} = 35.92I^{0.28}; \text{III—E} = 40.90I^{0.31}$$

表2 方差分析结果

Factors	DF	SS	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
A	2	55.681 5	27.840 8	34.85* *	3.55	6.01
B	9	1 698.789 1	188.754 3	256.598 9* *	2.46	3.60
E	18	13.240 1	0.735 6			
T	29	1 767.711 5				

表3 LSR的计算 (f = 18)

P	SSR _{0.05}	SSR _{0.01}	LSR _{0.05}	LSR _{0.01}
2	2.97	4.07	0.81	1.10
3	3.12	4.27	0.85	1.16

系计算所得的雨滴动能有显著的差异。表 4 还表明，利用 1989 年 7 月至 1990 年 9 月间观测所得的 58 份滴谱资料回归分析所得的 $E \sim I$ 方程与台风雷暴雨型的回归方程计算所得的 E 值无显著差异，与梅雨型 $E \sim I$ 方程的计算结果有显著的差异。因而，从理论上讲，若要利用 $E \sim I$ 关系方程精确的计算雨滴动能，那么，不同雨型应该采用不同的 $E \sim I$ 关系方程。但是，在实际应用中能否利用 (10) 式 (即 $E = 36.04I^{0.29}$) 来计算各雨型的雨滴动能呢？从 (10) 式的相关系数来看， E 和 I 之间已经有很高的相关性 ($r = 0.938$) 即曲线对实测资料已具有很好的拟合效果。对方差分析有显著差异的 13 份梅雨型滴谱资料的回报精度也是较高的 (如表 5)，最高的相对偏差仅为 14.3%，效果好的点其相对偏差甚至可以降到 2.3%。所以在实际的应用中，为了方便起见，闽东南地区降雨雨滴动能可采用 $E = 36.04I^{0.29}$ 计算。

表 4 不同式计算的差异显著性测验

A 因素①	\bar{E} 值	差 异	
		$\bar{E} - 26.188$	$\bar{E} - 26.355$
Ⅲ	29.153	2.96* *	2.80**
I	26.355	0.17	
I	26.188		

① I— $E = 36.04I^{0.29}$ ， II— $E = 35.92 I$ ， III— $E = 40.90I^{0.31}$

表 5 E 测定值与计算值 ($E = 36.04I^{0.29}$) 比较

雨强 (mm/min)	E 测定值 ($J/m^2/mm$) (E)	E 计算值 ($J/m^2/mm$) (E_1)	$\frac{E - E_1}{E} \times 100\%$
0.04	15.61	14.17	9.2
0.04	15.36	14.17	9.5
0.05	15.99	15.12	5.4
0.27	28.38	24.65	12.8
0.03	13.98	13.04	6.7
0.40	30.86	27.63	10.5
0.14	19.14	20.38	-6.5
0.16	23.64	21.18	10.4
0.04	14.50	14.17	2.3
0.02	12.06	11.59	3.9
0.96	40.28	35.62	11.6
0.07	19.46	16.67	14.3
0.23	26.71	23.53	11.9

参 考 文 献

[1] 江忠善等. 黄土地区天然降雨雨滴特性研究. 《中国水土保持》，1983年，第3期
 [2] 周佩华等. 降雨能量的试验研究初报. 《水土保持通报》，1981年，第1期
 [3] 贾志军等. 晋西黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力指标R值的研究. 《中国水土保持》，1987年，第6期
 [4] 突葆璋等. 雨滴的观测和计算方法. 《水土保持通报》，1982年，第1期
 [5] Best, 1950. The size Distribution of Raindrops. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 76(16): 16~36
 [6] Wischmeier, Smith, Uhland. 1958. Evaluation of Factors in the Soil—Loss Equation. Agr. Eng. 39: 458~462