

福建省降雨侵蚀力 R 值预测预报方法研究*

张 坤,洪 伟,吴承祯,丁新新

(福建省高校森林生态系统过程与经营重点实验室,福州 350002)

摘 要:降雨侵蚀力反映由降雨引起的土壤侵蚀的潜在能力,是建立通用土壤流失方程 USLE 的最基本因子之一。由于降雨侵蚀力计算过程中所需资料较难收集,给其计算增加了难度。利用福建省 46 个代表性气象站资料,建立了利用经度、纬度、海拔高度以及月降雨量估算降雨侵蚀力的简易算法模型,结果表明该模型预测预报效果较好,能够用于估算平均降雨侵蚀力。

关键词:地理因素;降雨侵蚀力;模型

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0023-03

Studies on Rainfall Erosivity- R and Its Forecast Methods in Fujian Province

ZHANG Kun, HONG Wei, WU Cheng-zhen, DING Xin-xin

(Key Laboratory for Forest Ecological System Process and Management of Fujian Province, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Rainfall erosivity reflects the potential ability of the soil loss caused by rainfall and it is very important for predicting soil loss quantitatively. Two rainfall erosivity models basing on longitude, latitude, height above sea level and monthly rainfall amount to estimate rainfall erosivity directly were established from data of 46 weather stations in Fujian province. The models worked very well and could be used to estimate the average rainfall erosivity.

Key words: geographical factors; rainfall erosivity; model

雨滴击溅、分离土壤颗粒和降雨形成径流产生的搬运作用导致土壤侵蚀,降雨侵蚀力(Rainfall Erosivity)反映了降雨引起土壤侵蚀的这种潜在能力。如何度量降雨侵蚀力,对此很多学者进行了深入研究。Wishe-meier 和 Smith^[1-2]利用美国 35 个水土保持站 8 250 个小区的降雨、侵蚀实测资料,通过对降雨量(P)、降雨动能(E)、最大时段雨强(I)等各种单因子及它们组合的复合因子与土壤流失量的回归分析,发现降雨动能 E 和最大 30 min 雨强 I_{30} 的乘积 EI_{30} 与土壤流失量的相关性最好。因此将其作为度量降雨侵蚀力的指标,并应用于通用土壤流失方程 USLE(Universal Soil Loss Equation)中,从而预报多年平均土壤流失量。该指标也在世界其它国家得到了广泛应用^[3],但由于计算 EI_{30} 时以次降雨过程资料为基础,而在许多国家和地区很难获得该类型资料,且资料的整理计算十分繁琐,因此建立降雨侵蚀力简易算法,即利用气象站常规降雨统计资料估算侵蚀力,具有重要的实践意义。因此,国内外不少学者提出了不同形式的 R 指标及 R 值的简易计算方法^[1-11],世界上已有近 20 多个国家和地区编制了本国或本地区的 R 值等值线图。

福建省是我国土壤侵蚀较严重省份,尤其闽南、闽西等地尤为严重,如长汀、连城、安溪、南安等县市。为此,黄炎和等^[8]对闽东南的资料进行详细研究后提出了选择 R 值计算

组合的原则,并导出了 R 的简便算式;周伏建等^[9]利用福建安溪、南安、龙海、长汀、将乐等站点试验数据建立了福建省年 R 值的估算公式。该文基于前人对福建省各县市降雨侵蚀力 R 值的测定,利用各观测点地理因素及各月平均降雨量等信息建立降雨侵蚀力 R 值的简便计算方法,以期福建省的土壤流失预测预报提供依据。

1 资料和方法

为研究福建省不同地区 R 值的地理分布规律,在全省选择 46 个有代表性的站(表 1),收集各气象站有关站台地理因素及各月平均降雨量资料,利用周伏建等^[9]通过月降雨量 P_i (mm)计算的 $R\{(\text{英制单位}[(\text{Ft} \cdot \text{T} \cdot \text{In}/\text{A} \cdot \text{h})])R = \sum_{i=1}^{12} (-1.5527 + 0.1792 P_i)\}$ 值资料为基础,开展相关研究工作。

空间趋势反映的是空间物体在空间区域上变化的主体特征,它忽略了局部的变异以揭示总体规律。趋势面分析是一种全局的方法,它用多项式方程可近似拟合已知数值点。对空间离散数据规律性分布的求解,常使用趋势面分析的方法。趋势面是一个光滑的数学曲面,它能够集中地反映空间数据在大范围内的变化趋势,它是揭示面状区域上连续分布的现象空间变化规律的理想工具,也是实际当中经常使用的描述空间趋势的主要方法,趋势面分析根据空间的抽样数

* 收稿日期:2007-07-05

基金项目:福建省科技厅重大项目(2001F007)

作者简介:张坤(1981-),男,山西长治人,在读硕士,主要从事水土保持学和森林生态学研究。E-mail:zk0148@163.com

通信作者:洪伟(1947-),男,福建福州人,教授,博士生导师,主要从事森林生态学和水土保持学研究。

表 1 R 值时空变化代表站情况

编号	站名	经度	纬度	海拔高度/ m	降雨 侵蚀力	模拟值 ⁽¹⁾	误差 ⁽¹⁾ / %	模拟值 ⁽²⁾	误差 ⁽²⁾ / %	模拟值 ⁽³⁾	误差 ⁽³⁾ / %
1	南安	118 22	24 58	44.9	249.54	237.40	4.86	234.42	6.06	251.27	0.69
2	闽清	118 51	26 14	40.8	239.36	248.17	3.68	247.41	3.36	232.92	2.69
3	诏安	117 08	23 46	18.1	239.68	236.08	1.50	239.86	0.08	241.41	0.72
4	莆田	119 00	25 26	29.8	215.1	232.64	8.15	231.75	7.74	216.30	0.56
5	龙海	117 49	24 27	3.1	230.08	231.01	0.40	234.22	1.80	235.69	2.44
6	安溪	118 09	25 04	90.1	258.30	249.06	3.58	239.85	7.14	258.23	0.03
7	闽侯	119 09	26 09	57.8	220.49	244.69	10.98	241.57	9.56	215.45	2.29
8	漳浦	117 36	24 08	53.0	243.36	240.78	1.06	238.46	2.01	246.03	1.10
9	云霄	117 22	23 59	280.0	292.69	295.23	0.87	257.61	11.99	295.83	1.07
10	南靖	117 22	24 31	280.0	293.43	295.23	0.61	257.61	12.21	279.45	4.76
11	晋江	118 34	24 49	53.5	187.02	234.56	25.42	230.70	23.36	187.17	0.08
12	长乐	119 30	25 58	4.1	222.73	231.09	3.75	234.41	5.24	214.02	3.91
13	永春	118 16	25 20	170.3	280.85	263.32	6.24	242.65	13.60	284.55	1.32
14	仙游	118 42	25 22	77.7	255.60	242.90	4.97	235.56	7.84	258.26	1.04
15	福清	119 23	25 43	39.2	212.30	232.90	9.70	231.26	8.93	208.87	1.62
16	连江	119 32	26 30	60.5	250.33	245.37	1.98	243.33	2.80	250.16	0.07
17	长泰	117 45	24 37	43.0	245.60	241.35	1.73	238.96	2.70	243.49	0.86
18	同安	118 08	24 43	13.1	240.06	231.93	3.39	233.35	2.80	239.40	0.27
19	拓荣	119 54	27 15	670.4	335.52	313.04	6.70	209.94	37.43	329.43	1.82
20	寿宁	119 25	27 32	829.4	322.39	337.84	4.79	200.88	37.69	317.94	1.38
21	福安	119 39	27 06	50.5	252.23	253.59	0.54	256.11	1.54	250.53	0.67
22	古田	118 44	26 35	361.5	260.87	290.44	11.34	242.72	6.96	263.30	0.93
23	霞浦	120 00	26 53	12.2	214.70	242.31	12.86	248.46	15.72	220.58	2.74
24	宁德	119 32	26 20	32.4	329.28	239.92	27.14	240.83	26.86	342.18	3.92
25	将乐	117 28	26 43	154.7	282.24	289.58	2.60	270.36	4.21	282.39	0.05
26	漳平	117 25	25 18	205.3	249.52	244.00	2.21	254.18	1.87	250.54	0.41
27	建宁	116 51	26 50	342.3	299.29	326.99	9.26	269.86	9.83	298.36	0.31
28	上杭	116 25	25 03	197.9	263.09	276.74	5.19	265.82	1.04	261.51	0.60
29	龙岩	117 02	25 06	342.3	288.86	303.46	5.05	262.66	9.07	284.32	1.57
30	永安	117 02	25 58	206.0	259.25	270.20	4.22	264.01	1.84	255.69	1.37
31	长汀	116 22	25 51	310.0	284.70	312.41	9.73	270.99	4.82	291.12	2.26
32	连城	116 45	25 43	380.0	286.80	337.04	17.52	265.69	7.36	283.45	1.17
33	永定	116 43	24 44	226.9	257.14	268.39	4.38	262.60	2.12	268.45	4.40
34	沙县	117 48	26 24	120.6	277.32	275.27	0.74	261.73	5.62	275.75	0.57
35	大田	117 50	25 42	400.1	262.73	313.18	19.20	251.75	4.18	264.35	0.62
36	宁化	116 38	26 14	358.9	302.39	331.39	9.59	268.22	11.30	294.00	2.77
37	明溪	117 09	26 24	357.4	296.71	314.50	6.00	262.32	11.59	289.73	2.35
38	武平	116 06	25 06	266.5	281.47	301.01	6.94	272.30	3.26	276.07	1.92
39	南平	118 10	26 39	125.6	270.72	271.04	0.12	261.20	3.52	267.39	1.23
40	浦城	118 32	27 55	276.9	278.62	293.30	5.27	268.84	3.51	284.21	2.01
41	建瓯	118 19	27 03	154.9	280.36	273.90	2.30	265.25	5.39	284.66	1.53
42	邵武	117 28	27 20	191.5	300.68	308.67	2.66	279.18	7.15	300.88	0.07
43	政和	118 49	27 22	221.5	210.58	256.52	21.82	259.95	23.44	230.03	9.24
44	顺昌	117 48	26 48	175.2	286.06	274.99	3.87	266.15	6.96	280.61	1.91
45	松溪	118 48	27 31	205.4	280.88	267.23	4.86	264.46	5.85	278.27	0.93
46	光泽	117 18	27 31	205.4	314.75	321.42	2.12	283.85	9.82	316.74	0.63

注:(1),(2),(3)分别为分区模拟、未分区模拟以及回归模拟结果。

据拟合一个数学曲面,用该曲面来反映空间分布的变化情况^[12]。本研究选用二阶趋势面多项式来拟合。

回归分析方法是多元统计分析的各种方法中应用最广泛的一种,它是处理多个变量间相互依赖关系的一种数理统计方法。变量间的相互依赖关系在实际问题中是大量存在的,回归分析是研究这种相互依赖关系的有效数学方法。回归分析方法是在众多相关的变量中,根据实际问题的要求,考查其中一个或几个变量与其余变量的依赖关系,如果只要考查某一个变量(常称为响应变量、因变量或指标)与其余多个变量(称为自变量或因素)的相互依赖关系,称之为多元回归问题^[13]。本研究选降雨侵蚀力 R 为因变量,月降雨量 X_i ($i = 1, 2, \dots, 12$) 为自变量进行分析研究。

2 结果分析

以各站的经度(*E*)、纬度(*N*)和海拔高度(*H*)为自变量,以降雨侵蚀力(*R*)为因变量,同时考虑到福建省地理位置的差异,将其分为闽东南(编号 1 - 24)、闽西北(编号 25 - 46)两大区,分别进行研究。用 SPSS 13.0 软件进行趋势面分析并自动剔除不显著因素,得到趋势面方程如下。

闽东南区:

$$R = 2541.290 - 13.282 E - 73.251 N + 1.462 H - 0.052 N H + 1.748 N^2 + 0.0000716 H^2 \quad (r = 0.746, P < 0.05)$$

闽西北区:

$$R = 7465.993 - 433.458 N + 2.015 H - 0.110 N H + 9.260 N^2 - 0.153 E^2 + 0.002 H^2 \quad (r = 0.858, P < 0.01)$$

福建全区:

$$R = 3604.143 - 12.927 E - 160.461 N + 1.287 H - 0.05 N H + 3.473 N^2 \quad (r = 0.739, P < 0.01)$$

利用所求模拟公式对福建省 46 个代表站降雨侵蚀力 *R* 值进行回检模拟(表 1)。可知,未分区模拟方法复相关系数最低,为 0.739,误差也最大,为 8.68%;而分区模拟方法复相关系数较高,其中闽东南区为 0.746,闽西北区为 0.858,误差与未分区方法相比,降低很多,分别为 6.51%,6.62%。可见,应用趋势面分析的方法对福建省降雨侵蚀力 *R* 值的地理分异规律进行分析是可行的,且分区模拟效果要优于不分区的模拟效果。因此,可以采用趋势面分析方法对福建省各区域降雨侵蚀力进行估算。

以月降雨量 $X_i (i = 1, 2, \dots, 12)$ 为自变量,降雨侵蚀力(*R*)为因变量,进行回归分析,并经回归系数的显著性检验后,得回归方程如下。

$$R = -14.2223 + 0.037 X_5 + 0.012 X_6 + 0.022 X_7 + 0.029 X_8 + 0.214 X_{12} \quad (r = 0.985, P < 0.01)$$

利用公式对福建省 46 个代表站降雨侵蚀力 *R* 值进行回检模拟(表 1),误差为 1.63%。因此,应用回归研究福建省降雨侵蚀力 *R* 值的简单预测预报效果较好,且优于基于地理因素的趋势面分析方法(表 2),可在区域降雨侵蚀力 *R* 值计算中应用。

表 2 2 种模拟方法比较				
	趋势面分析法			回归分析法
	分区	未分区		
平均误差/ %	6.51	6.62	8.68	1.63

由表 2 可知,用回归分析法来研究降雨侵蚀力 *R* 值的分布规律,平均误差仅为 1.63%,其精度远高于用趋势面分析法所作研究。因此,优先选择回归分析法对福建省降雨侵蚀力 *R* 值的分布规律进行分析与研究。

根据由月降雨量建立的降雨侵蚀力 *R* 值预测模型可模拟福建省不同空间点的降雨侵蚀力 *R* 值,据此利用 ARCGIS 9.0 软件可绘制全省降雨侵蚀力 *R* 值等值线图,等值线图分析表明其空间分布有以下几个特征(图 1):(1)全省 *R* 值的大小分布呈明显的东南 - 西北向递增,这与全省多年平均降雨量的变化规律一致。该结果与周伏建等^[9]的研究结果一

致。(2)从等值线分布看,可以把全省的年 *R* 值分为 3 个区:宁化、建宁、光泽几个主要山脉附近较大 *R* 值区,其多年平均降雨侵蚀力都在 300 以上;闽西、闽中河谷盆地区,年降雨侵蚀力在 250 ~ 300;沿海降雨侵蚀力 *R* 值较小区,其值为 200 ~ 250。(3) *R* 值分布趋势不仅与雨量分布有关,还与地理位置有关:在地势较低处偏小,在地势较高处偏大。这与洪伟^[7]、吴素业^[10]、阮伏水^[11]等的研究一致。

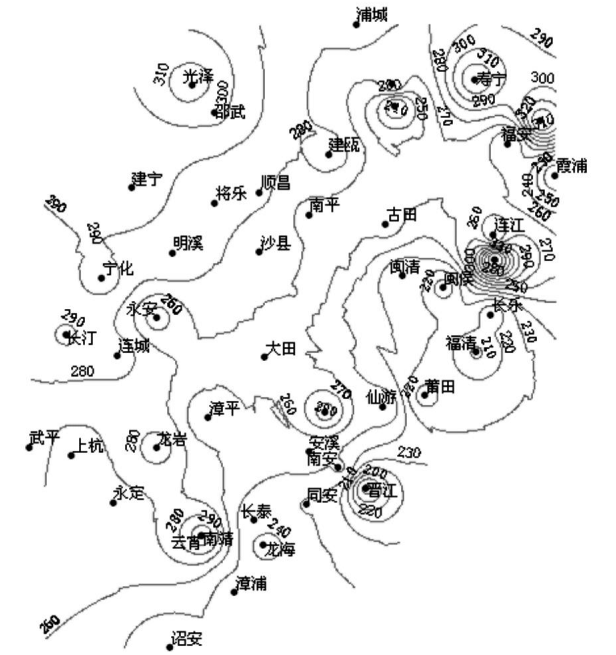


图 1 福建省降雨侵蚀力 *R* 等值线

3 讨论

用 *R* 值与经度、纬度和海拔高度建立的趋势面多项式以及 *R* 值与月降雨量的关系建立的回归方程模拟福建省降雨侵蚀力 *R* 值地理分布规律的结果表明:这两种简易算法反映了降雨侵蚀力 *R* 值地理分布规律及其与月均降雨量之间的关系信息,是一种简单、快速求算降雨侵蚀力 *R* 的方法。因此在无详细雨量资料的情况下,可将其作为一种较好的估算方法使用。同时根据全省 46 个站点绘制出的侵蚀力等值线图,不仅给出了侵蚀力的变化范围,更重要的是,它直观地展示了降雨侵蚀力在福建全省的空间分布与差异,这必将为福建省的水土流失调查和水土保持规划工作提供有价值的参考和依据。

参考文献:

[1] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions American Geophysical Union, 1958, 39: 285-291.

[2] Wischmeier W H, Simth D D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning [M]. US Dep. Agric. Agric. Handb, 1978.

[3] 伍育鹏, 谢云, 章文波. 国内外降雨蚀力简易计算方法的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 31-34.

- subsiding wetland/. A new soil horizon maker method for measuring recent accretion[J]. *Estuaries*, 1989, 12(4): 269-28.
- [26] 张科利, 彭文英, 张竹梅. 日本近 50 年来土壤侵蚀及水土保持研究评述[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 61-68.
- [27] Erskine W D, Mahmoudzadeh A, Myers C. Land use effects on sediment yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney, NSW, Australia[J]. *Catena*, 2002, 49: 271-287.
- [28] Neil D T, Fogarty P. Land use and sediment yield mapping using small dam sedimentation surveys, Southern Tablelands New South Wales[J]. *Catena*, 1993, 4(2): 33-39.
- [29] Erskine W D, Saynor M J. Success of soil conservation works in reducing soil erosion rates and sediment yields in central eastern Australia [J]. *Int Assoc Hydro1 Sci. Publ.*, 1996, 236: 523-530.
- [30] Jones P A, Loughran R J, Elliott G L. Sedimentation in semi-arid zone reservoir in Australia determined by ^{137}Cs [J]. *Acta Geologica Hispanica*, 2000, 35(3/4): 329-338.
- [31] The New Zealand Resource Inventory. Erosion classification[M]. National Water and Soil Conservation Authority, Water and Soil Miscellaneous Publication, 1985: 85.
- [32] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- [33] 张科利, 曹其新, 细山田健三, 等. 神经网络模型在土壤侵蚀预报中应用的探讨[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1995, 1(1): 58-63.
- [34] 张小峰, 许全喜, 裴莹. 流域产流产沙 BP 网络预报模型的初步研究[J]. *水科学进展*, 2001, 12(1): 17-22.
- [35] 邓祥征, 刘纪远, 战金艳, 等. 区域土地利用变化的多情景分析: 以内蒙古自治区太仆寺旗为例[J]. *地球信息科学*, 2004, 6(1): 81-88.
- [36] 赵晶, 徐建华, 梅安新, 等. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析[J]. *地理研究*, 2004, 23(2): 137-146.
- [37] 赵杰, 赵士洞. 利用 PRA 方法研究小尺度区域土地利用变化: 以科尔沁沙地尧勒甸子村为例[J]. *地域研究与开发*, 2004, 23(1): 73-76.
- [38] 于兴修, 杨桂山. 中国土地利用覆被变化研究的现状与问题[J]. *地理科学进展*, 2002, 21(1): 51-57.
- [39] 朱会义, 何书金, 张明. 土地利用变化研究中的 GIS 空间分析方法及其应用[J]. *地理科学进展*, 2001, 20(2): 104-110.
- [40] 郑丙辉, 田自强, 王文杰, 等. 中国西部地区土地利用/土地覆盖近期动态分析[J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 1078-1085.
- [41] 黎夏. 珠江三角洲发展走廊 1988 - 1997 年土地利用变化特征的空间分析[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(3): 307-315.
- [42] 摆万奇, 阎建忠. 大渡河上游地区土地利用/土地覆被变化与驱动力分析[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(1): 71-78.
- [43] 张信宝, 李少龙, 王成华, 等. 黄土高原小流域泥沙来源的 ^{137}Cs 法研究[J]. *科学通报*, 1989, 34(3): 210-213.
- [44] 杨明义, 田均良, 刘普灵. 应用 ^{137}Cs 研究小流域泥沙来源[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(3): 49-53.
- [45] 田均良, 周佩华, 刘普灵, 等. 土壤侵蚀 REE 示踪法研究初报[J]. *水土保持学报*, 1992, 6(4): 23-27.
- [46] 石辉, 刘普灵, 田均良. 土壤侵蚀的中子活化示踪法研究[J]. *水科学进展*, 2000, 11(2): 126-132.
- [47] 李勉, 李占斌, 丁文峰, 等. 黄土坡面细沟侵蚀过程的 REE 示踪[J]. *地理学报*, 2002(2): 218-223.
- [48] 张信宝, Walling D E, 冯明义, 等. $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 在土壤中的深度分布和通过 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 法求算土壤侵蚀速率模型[J]. *科学通报*, 2003, 48(5): 502-506.
- [49] 袁春明, 郎南军, 温绍龙, 等. 云南省水土流失概况及其防治对策[J]. *水土保持通报*, 2003, 23(2): 60-63.

(上接第 25 页)

- [4] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布() [J]. *水土保持学报*, 1995, 9(4): 5-18.
- [5] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布() [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(1): 29-39.
- [6] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力 R 值指标的研究[J]. *中国水土保持*, 1987(12): 34-38.
- [7] 洪伟, 吴承祯. Krige 方法在我国降雨侵蚀力地理分布规律研究中的应用[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(1): 91-96.
- [8] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究[J]. *水土保持学报*, 1993, 6(4): 1-5.
- [9] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. *水土保持学报*, 1995, 9(1): 13-18.
- [10] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律[J]. *中国水土保持*, 1994(4): 12-13.
- [11] 阮伏水. 闽东南地区降雨侵蚀力的初步研究[J]. *热带地理*, 1995, 15(2): 138-146.
- [12] 周启明, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 213-217.
- [13] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 105-171.