

降雨产沙资料整理方法对两者关系的影响

李 钢, 梁 音, 曹龙熹

(中国科学院 土壤环境与污染修复重点实验室, 南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要:合理的水土流失资料整理方法是挖掘数据内在规律的基础,通过采集江西省赣县花岗岩次生马尾松林地不同植被恢复类型小区 2010—2011 年 2 a 的降雨产沙资料,研究了 4 种整理方法对降雨产沙关系的影响。结果表明:加大资料整理的时间尺度和降雨间隔时间,可以显著提高降雨产沙之间的相关性,同时整理方法对拟合曲线的性质产生影响,综合考虑拟合优度和曲线性质的一致性,可以采取周晴方法的幂函数来描述不同类型小区降雨产沙之间的内在关系;植被恢复减弱了产沙速率,随着降雨量的增加,纯林小区的产沙速率下降,百喜草恢复小区变化缓慢,低郁闭度胡枝子恢复小区增加迅速,因此侵蚀严重的林地应首先实施草本植被恢复,逐步实现乔灌木生态结构恢复。

关键词:降雨产沙; 数据整理; 植被恢复; 产沙速率

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)01-0030-07

Effect of Mining Methods of Data of Rainfall and Sediment on the Relationship between Rainfall and Sediment Yield

LI Gang, LIANG Yin, CAO Long-xi

(Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation,

Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: The reasonable mining method of soil erosion data is the foundation of exploiting data characteristic. Rainfall and sediment data of different vegetation restoration plots were collected from 2010 to 2011 in the ganxian county of jiangxi province. The relationships between precipitation and sediment were investigated by using four kinds of methods. The results indicated that expanding the time scale and interval of rainfalls could significantly improve the correlation between precipitation and sediment yield. Meanwhile, characteristic parameters of the fitting cures were impacted by different methods. Comprehensively considering the coefficient of determination and consistency of the cures properties, power function could describe the relationships between precipitation and sediment yield for different type plots with the method of interval of rainfalls not less than 7 days (interval between rainfalls less than 7 days as a statistical unit for the data). However, sediment rate in pure forest plot (*Pinus massoniana*) was significantly higher than those in vegetation restoration plots (*Paspalum notatum* and *Lespedeza bicolor*) in *Pinus massoniana* forest. With precipitation increase, sediment rate reduced down for pure forest plot, changed slowly for *Paspalum notatum* plot, increased rapidly for *Lespedeza bicolor* plot with lower canopy density. Therefore, controlling soil and water loss of eroded forestland was regarded as the primary task, and herbal should be grown firstly in the early period of vegetation restoration and progressive realization ecological community restoration of multi-layers structure with tree-shrub-herbal.

Key words: rainfall and sediment; mining data; vegetation restoration; sediment rate

降雨是产生土壤流失的主要自然因素之一,反映降雨最主要的特征参数是降雨量,不少研究指出降雨

量与土壤流失量之间存在密切的关系。在次降雨产沙关系研究中,周璟等^[1]通过每天不同时间测定雨季

收稿日期: 2012-06-29

修回日期: 2012-07-19

资助项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-438); 水利部长江委重点项目“花岗岩地区马尾松林地水土流失规律试验研究”; 青年科学基金项目(41101253)

作者简介: 李钢(1985—), 男, 重庆大足人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: happyglove@126.com

通信作者: 梁音(1963—), 男, 陕西长武人, 博士, 研究员, 主要从事土壤侵蚀监测与因子模型研究。E-mail: yiliang@issas.ac.cn

降雨产沙资料研究得出,次降雨与产沙为线性关系;刘栋等^[2]也得出裸地产沙量与降雨量之间的线性关系显著的结论。漆良华^[3]在武陵山小流域的研究结果为产沙量与次降雨量呈线性或二次函数关系。黄炎和等^[4]研究了不同工程与植被措施下次降雨产沙量的关系为 $Y=aP^b$ 型幂函数关系,但不同的措施下幂值 b 的性质不同($b>1$ 或 $0<b<1$)。何长高^[5]、喻荣岗等^[6]分别在花岗岩马尾松侵蚀林地和第四纪红壤坡地上的研究结果也表明土壤流失量与次降雨量之间呈幂函数关系。虽然次降雨产沙关系的研究较多,但多数研究并没有说明次降雨过程是如何划分的^[7-8],这也是次降雨过程研究所面临的难题。对于降雨过程的划分,有的学者以 6 h 为间隔^[9],得出次降雨与产沙之间为线性关系。同时也有学者采用 2 h 划分来研究次降雨产沙关系^[10]。在降雨较为频繁的时期,采用短时间间隔来划分降雨过程,对产沙量的影响较大。金雁海等^[11]的研究表明:如果雨前土壤含水量为 17.5%,降雨量为 10.5 mm 时,不会发生产流产沙,但当雨前土壤含水量增加到 22.8%时,7.0 mm 的降雨量便开始产流产沙,降雨量增加到 8 mm 时,土壤流失量将增加几十倍。王辉等^[12]在分析不同前期土壤含水量下的坡面产沙后得出,二者呈二次多项式关系,当前期土壤含水量高于 11%~13%时,土壤流失量迅速增加。因此用短时间间隔划分降雨过程时容易受前期降雨的影响,产生小降雨产沙量大于大降雨产沙量的现象^[13],使得次降雨产沙关系混乱。在短时间间隔划分的次降雨尺度上得出的降雨产沙关系可能不稳定,虽然多数方程都能达到显著水平,但方程的决定系数并不高,而长时间尺度的研究表明,年降雨和汛期降雨与年产流具有线性或幂函数关系^[14]。因此如何从资料的整理方法上找出降雨产沙之间的可靠关系值得研究,关于二者关系的影响研究尚未见报道,因此,该方面的研究可为降雨产沙评估提供科学依据。

1 试验设计与数据分析

1.1 小区布设

试验小区设在江西省赣县(东经 115°06',北纬 25°52'),试验地原为次生马尾松纯林地,地表裸露程度高,只有少许铁芒萁生长;土壤为花岗岩发育的红壤,土层浅薄,部分基岩已经裸露。在试验地共布设 12 个标准径流小区,按次生马尾松纯林郁闭度划分为 4 组(0, 0.07, 0.15, 0.24),同时在每组郁闭度下设置马尾松纯林(*Pinus massoniana*)以及百喜草(*Paspalum notatum*)和胡枝子(*Lespedeza bicolor*)两种

林下植被恢复模式,条播百喜草和品字形栽植胡枝子后自然恢复。试验小区宽 5 m(与等高线平行),长 20 m(顺坡面水平投影),在小区下方设有集水槽和一级、二级径流池,一级池建有 5 个“V”型分流堰,其中一个连通二级池。

1.2 数据采集与整理

降雨数据采用 JFZ 型数字雨量计等分钟记录降雨过程(徐州伟思自动化工程有限责任公司生产),并将每场降雨数据记录在数据存储芯片中,每隔一定时间可从仪器中导出存储的降雨数据,同时保存为 Excel 形式,便于统计使用。次降雨过程的划分以降雨停止间隔时间 ≥ 6 h 为标准,由于试验中雨量计出现故障,部分降雨数据由日降雨数据补充。降雨产沙数据的采集亦是在降雨停止 6 h 后采用泥沙测定仪(西安清远测控技术有限公司生产)测定。考虑到降雨后径流池取样的可操作性,试验过程中主要测定了次降雨量 ≥ 10 mm 的降雨产沙过程。

将获得的次降雨量分别按旬、月和周晴间隔(未降雨天数 ≥ 7 d 作为划分依据,将降雨间隔 < 7 d 的降雨过程作为一个整理单元)为整理单元进行统计,以获得不同整理方法的降雨量数据,并同步将次降雨产沙数据进行整理。本次试验共采集了 2010 年、2011 年 2 a 的 73 次降雨产沙数据,经整理得到 42 旬、23 月、29 周晴数据单元。

1.3 拟合关系选择原则

降雨产沙曲线拟合在 SPSS 13.0 中进行,在曲线拟合中常用来衡量方程拟合优度,它是回归平方和占总离均差平方和的比例,用以反映拟合方程能在多大程度上解释应变量的变异, R^2 值越大,拟合关系越好,因此拟合方程选择以决定系数较大为原则。曲线拟合与作图在 Origin 8.0 中进行。

1.4 参数比较

相关系数的比较:著名数学家 Fisher 研究了相关系数 r 的抽样分布,发现 r 的抽样分布表现为负偏斜形状,但将 r 转换为 z 后,便服从正态分布,因此可以用正态离差 c 值进行检验,此法称为转换相关法^[15]。主要计算步骤如下:

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (1)$$

$$\sigma_{(z_i - z_j)} = \sqrt{\frac{1}{n_i - 3} + \frac{1}{n_j - 3}} \quad (2)$$

$$c = \frac{|z_i - z_j|}{\sigma_{(z_i - z_j)}} \quad (3)$$

式中: n_i, n_j ——两个样本组的样本数量; r ——相关系数。对不同的 z 值,其差数($z_i - z_j$)呈正态分布,

平均数为零,标准差为 $\sigma(z_i-z_j)$ 。通过查正态离差 c 值表可以判断两个相关系数差异的显著性,若 $c>c_a$,则表示差异显著,反之则表示差异则不显著。

回归系数的比较:对线性拟合得到的两个回归系数 B_1 和 B_2 ,样本数分别为 n_1 、 n_2 ,可以通过 t 检验来测定其差异的显著性。当样本数量小于30时,假定总体标准差相等,则有如下统计变量:

$$s_c^2 = \frac{\sum (y_1 - \hat{y}_1)^2 + \sum (y_2 - \hat{y}_2)^2}{n_1 + n_2 - 4}$$

(4)

$$s_{(B_1-B_2)} = s_c \sqrt{\frac{1}{\sum (x_1 - \bar{x}_1)^2} + \frac{1}{\sum (x_2 - \bar{x}_2)^2}}$$

(5)

$$t = \frac{|B_1 - B_2|}{s_{(B_1-B_2)}}$$

(6)

式中: y_1, y_2 ——两样本的观测值; \hat{y}_1, \hat{y}_2 ——对应回归直线的预测值; s_c^2 ——两样本回归系数的合并方差; $s_{B_1-B_2}$ ——两样本回归系数之差的标准误。

通过查询自由度为 n_1+n_2-4 的 t_a 临界值,比较 t 与临界值的关系,若 $t>t_a$ 则表示差异显著,反之则差异不显著。

2 结果与分析

2.1 拟合优度变化趋势

4种整理方法分别为按次降雨整理、按旬整理、按月份整理和按周晴间隔整理。在回归模型中,以拟合优度为指标选择了决定系数较高且方程显著的三种类型曲线(线性、二次和幂函数)作为讨论对象。降雨产沙关系决定系数(R^2)的大小与统计方法有关(图1),随着整理时间尺度和降雨停止时间间隔的加大,3种模型的决定系数总体上呈增加趋势,胡枝子类型小区在次与旬整理方法之间出现减小,但月和周晴明显大于次整理方法。

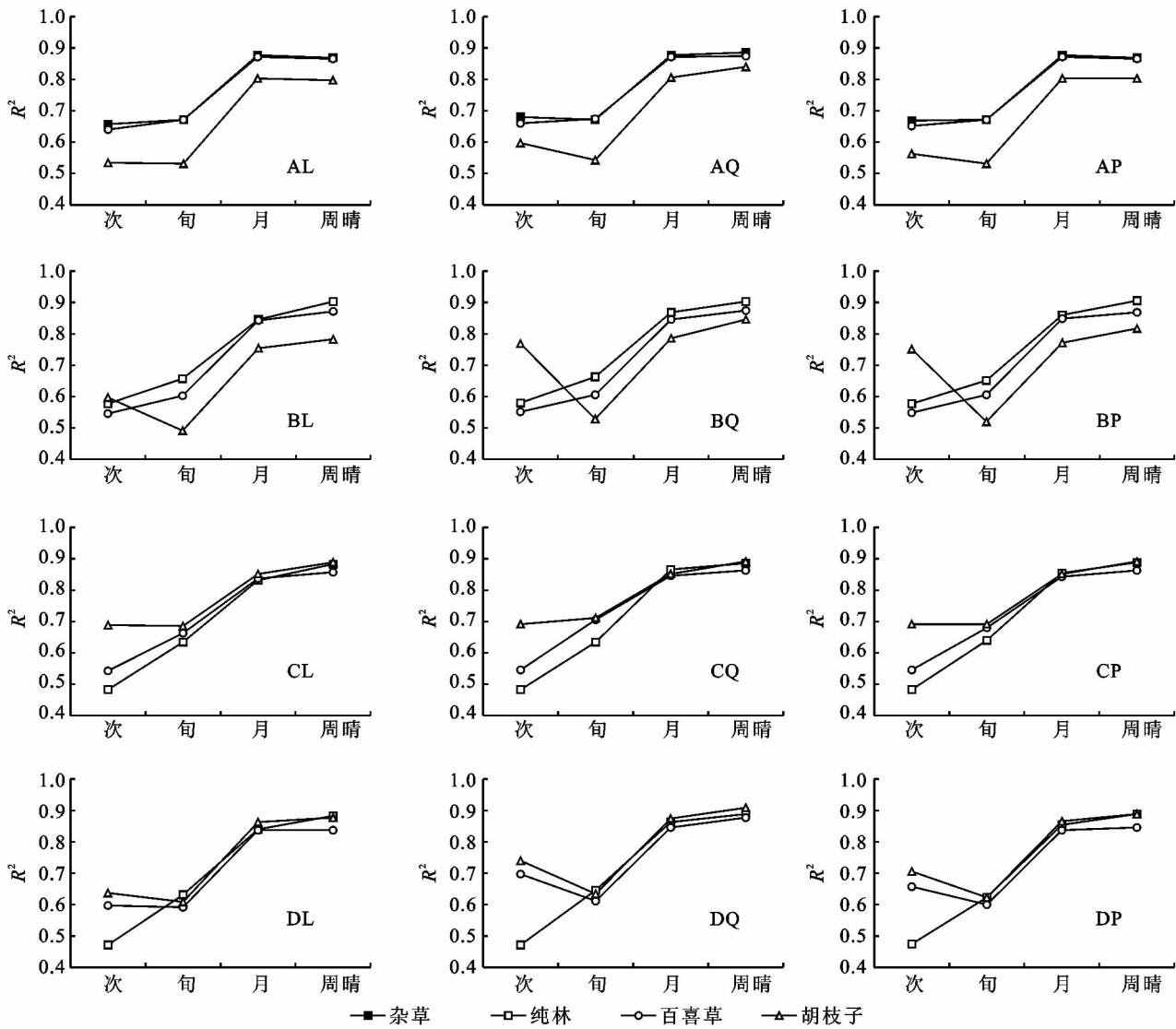


图 1 不同整理方法的决定系数(R^2)

注:图中 A、B、C、D 分别表示次生马尾松郁闭度为 0、0.07、0.15、0.24;L、Q、P 分别表示线性、二次和幂函数。

对线性关系来讲,从次到旬各小区决定系数增加幅度为 0.01~0.09,平均增加 0.04;从次到月增加幅度为 0.24~0.28,平均增加 0.26,而次与周晴之间增加幅度最大,为 0.23~0.31,平均增加 0.28;可见不同整理方法之间, R^2 增加最明显的是旬与月,增幅为 0.18~0.24,平均增加 0.22。在二次关系中,次到旬决定系数虽然平均降低了 0.02,但大多数仍呈增加趋势;从次到月增加趋势明显,增加幅度在 0.02~0.39,平均为 0.23;次周晴之间大部分增加幅度在 0.2 以上,平均增加了 0.26;旬月之间也是增加较为明显,平均为 0.21。

幂函数关系下,不同整理方法对决定系数的变化趋势与二次关系中的趋势较为相似:次旬之间总体呈增加趋势,平均增加了 0.02;从次到月以及次到周晴,增加幅度在 0.18~0.42 之间,平均分别增加了 0.24 和 0.26;旬月之间增加了 0.22。因此加大资料整理的时间尺度和降雨间隔时间,可以提高方程的拟合优度,不同类型小区次降雨产沙关系方程的决定系数在 0.47~0.77 之间,而通过周晴方法整理的方程决定系数在 0.78~0.91 之间。

在线性关系中,通过对相关系数的差异性检验,可以明确不同整理方法是否显著提高了它们之间的关系。对不同整理方法所得的降雨产沙相关系数通过转换相关法计算两两之间的正态离差 c 值(表 1)可知:以旬为分界,次、旬之间以及月、周晴之间的相关系数大小在所有小区中均无显著性差异($c < c_{0.01}$),而次、旬分别与月、周晴之间相关系数存在显著性差异($c > c_{0.01}$)。表明月和周晴整理方法显著提高了降雨产沙之间的相关性。

2.2 函数特征参数差异

为了验证不同整理方法对降雨产沙关系中的回归曲线参数的影响,从回归曲线的特征参数入手进行比较分析。线性函数中其斜率是代表曲线变化速率的特征参数,对二次函数和幂函数来讲,曲线斜率是变化的,不能通过比较斜率的方法来探讨,但这两种曲线的特征参数是二次项系数 $a(a > 0$ 或 $a < 0$)以及幂值 $b(b > 1$ 或 $0 < b < 1$),因此可以利用二次多项式和幂函数这两个特征参数来探讨不同整理方法对降雨产沙关系变化的影响。

2.2.1 线性斜率 降雨产沙线性关系斜率与整理方法有关(图 2),次整理得出的线性斜率最大,随着统计时间尺度的加大,纯林类型小区在月整理方法下的斜率大于旬和周晴,郁闭度 0.15 的百喜草和胡枝子小区也都表现出同样的趋势,而其他条件下则表现为降低趋势。其中最明显的变化发生在次整理方法和旬

整理方法之间;相比较而言,从旬到月再到周晴,斜率呈微弱变化。

表 1 不同整理方法相关系数正态离差 c 值

郁闭度	地表盖度/%	小区类型		次	旬	月
0	30	杂 草	旬	0.271	—	—
			月	4.568	4.015	—
			周 晴	4.795	4.136	0.192
	45	百喜草	旬	0.560	—	—
			月	4.626	3.858	—
			周 晴	4.903	4.005	0.158
	30	胡枝子	旬	0.034	—	—
			月	4.104	3.809	—
			周 晴	4.412	4.029	0.092
0.07	0	纯 林	旬	1.312	—	—
			月	4.658	3.340	—
			周 晴	7.239	5.531	1.619
	30	百喜草	旬	0.881	—	—
			月	4.980	3.951	—
			周 晴	6.426	5.134	0.717
	70	胡枝子	旬	1.587	—	—
			月	2.372	3.340	—
			周 晴	3.229	4.182	0.471
0.15	0	纯 林	旬	2.337	—	—
			月	5.412	3.291	—
			周 晴	7.623	5.071	1.273
	30	百喜草	旬	1.958	—	—
			月	4.836	3.035	—
			周 晴	6.001	3.898	0.511
	35	胡枝子	旬	0.068	—	—
			月	3.337	3.126	—
			周 晴	5.044	4.630	1.051
0.24	0	纯 林	旬	2.440	—	—
			月	5.691	3.474	—
			周 晴	7.818	5.166	1.186
	35	百喜草	旬	0.078	—	—
			月	4.194	3.923	—
			周 晴	4.657	4.286	0.021
	30	胡枝子	旬	0.471	—	—
			月	4.401	4.400	—
			周 晴	5.376	5.249	0.400

注:正态离差临界值 $C_{0.01} = 2.576$,杂草为裸露小区在试验中生长的铁芒萁。

通过对不同整理方法线性斜率差数 t 值的显著性检验(表 2)可知:郁闭度为 0 的胡枝子小区次与旬之间,以及郁闭度 0.07 的胡枝子小区和郁闭度 0.24 的胡枝子与百喜草小区的次整理方法分别与旬、月、周晴之间都存在显著性差异($t > t_{0.01}$);其他条件下的线性斜率均无显著性差异($t < t_{0.01}$)。表明不同整理方法对线性斜率的显著影响主要发生在胡枝子恢复小区。

表 2 不同整理方法线性斜率差数 t 值

郁闭度	小区类型		次	旬	月
0	杂 草	旬	1.662	—	—
		月	1.622	0.146	—
		周 晴	1.791	0.036	0.231
	百喜草	旬	1.745	—	—
		月	1.667	0.187	—
		周 晴	1.923	0.086	0.345
	胡枝子	旬	2.165	—	—
		月	1.505	0.410	—
		周 晴	1.844	0.146	0.316
0.07	纯 林	旬	1.059	—	—
		月	0.523	0.314	—
		周 晴	0.712	0.190	0.160
	百喜草	旬	1.884	—	—
		月	1.212	0.739	—
		周 晴	1.371	0.611	0.188
	胡枝子	旬	3.241	—	—
		月	3.699	0.512	—
		周 晴	3.778	0.629	0.126
0.15	纯 林	旬	0.899	—	—
		月	0.248	0.405	—
		周 晴	0.384	0.335	0.115
	百喜草	旬	0.608	—	—
		月	0.127	0.669	—
		周 晴	0.118	0.468	0.286
	胡枝子	旬	1.548	—	—
		月	1.036	0.621	—
		周 晴	1.114	0.545	0.112
0.24	纯 林	旬	0.358	—	—
		月	0.093	0.193	—
		周 晴	0.256	0.049	0.168
	百喜草	旬	2.268	—	—
		月	2.514	0.164	—
		周 晴	2.762	0.428	0.316
	胡枝子	旬	2.344	—	—
		月	2.690	0.280	—
		周 晴	2.882	0.494	0.251

注：临界值 $t_{0.01,48}=2.010$, $t_{0.01,61}=2.000$, $t_{0.01,67}=1.996$, $t_{0.01,92}=1.985$, $t_{0.01,98}=1.983$, $t_{0.01,111}=1.981$ 。

2.2.2 二次多项式和幂函数 在二次和幂函数中，不同的统计方法得出的同一类型曲线参数性质不同（表 3）。对二次函数关系而言，郁闭度 0.15 的胡枝子小区旬整理得出的参数、郁闭度 0 的百喜草小区月整理得出的参数以及郁闭度 0 的百喜草小区周晴整理得出的参数与其他方法得出的曲线参数性质不同。郁闭度 0.07 的纯林和郁闭度 0.15 的胡枝子小区各有两种统计方法得出的参数性质相同。幂函数类型中，郁闭度 0 的百喜草小区月整理得出的参数、郁闭

度 0.07 的纯林和百喜草小区次整理得出的参数、郁闭度 0.15 的胡枝子小区旬整理得出的参数与其他方法得出的参数性质不同，郁闭度 0 的杂草小区旬、月整理得出的参数与次、周晴不同。

通过比较两种函数在 4 种整理方法中的曲线变化趋势（速率增加 $a>0$ 或 $b>1$ ；速率减小 $a<0$ 或 $0<b<1$ ），并参考多数曲线的变化趋势得出：郁闭度 0 的小区均为速率增加的曲线；郁闭度 0.07 和 0.15 的纯林、百喜草小区为速率减小的曲线，胡枝子小区为速率增大的曲线；郁闭度 0.24 的纯林小区为速率减小的曲线，百喜草和胡枝子小区为速率增大的曲线。综合考虑决定系数以及同一函数类型在不同方法下曲线性质的一致性，在非线性曲线中可以采用周晴方法的幂函数来描述不同类型小区降雨产沙之间的内在关系。

2.3 不同植被类型产沙速率比较

植被在防治土壤侵蚀中起着十分重要的作用，不同的植被防治土壤侵蚀的效果不同，在降雨产沙回归方程中，曲线的斜率代表了产沙随降雨量变化的速率。基于整理方法对曲线性质的影响，这里选择了周晴方法下的线性和幂函数来讨论不同植被类型产沙速率的差异。由图 2 中可见，不同类型小区产沙速率的关系中郁闭度 0 下：胡枝子>百喜草>杂草；郁闭度 0.07 和 0.24 下：纯林>胡枝子>百喜草；郁闭度 0.15 下：纯林>百喜草>胡枝子。结合表 4 中不同类型小区产沙速率的检验结果可知：郁闭度 0 的胡枝子小区显著大于百喜草和杂草小区，郁闭度 0.07 的纯林小区显著大于百喜草小区，郁闭度 0.15 的纯林小区显著大于胡枝子小区，郁闭度 0.24 的纯林小区显著大于百喜草和胡枝子小区（ $t>t_{0.01,54}$ ）。由此可见不同类型小区产沙速率与林冠郁闭度和地表覆盖度密切相关，对于郁闭度为 0.24 的纯林地，播种百喜草和栽植胡枝子并让其自然生长，地表盖度在 30%~35% 时，便可以显著降低产沙速率；而对于郁闭度极低的纯林地，应采取一定的培肥措施促进恢复植被的生长，增加地表覆盖度和覆盖层次，从而起到减小林地产沙速率的作用。

幂函数斜率反映了产沙速率随降雨量的变化趋势（图 3）。随着降雨量的增加，低矮植被小区产沙速率变化十分缓慢，而纯林小区产沙速率逐渐下降。赣县花岗岩次生马尾松纯林地，长期遭受严重的土壤侵蚀，土层浅薄，在大降雨量下可供侵蚀的土壤有限，因此产沙速率下降，若林地不进行植被恢复，防治土壤侵蚀，土壤终究会流失殆尽。郁闭度 0.07 的胡枝子小区，地表盖度高，产沙速率在小雨量时较小，但随着

降雨量的增加速率变化快,甚至超过纯林;而百喜草在各种条件下产沙速率均可维持在较小范围,因此侵

蚀严重的林地应该首先实施草本植被恢复,然后逐步实现乔灌木生态结构的恢复。

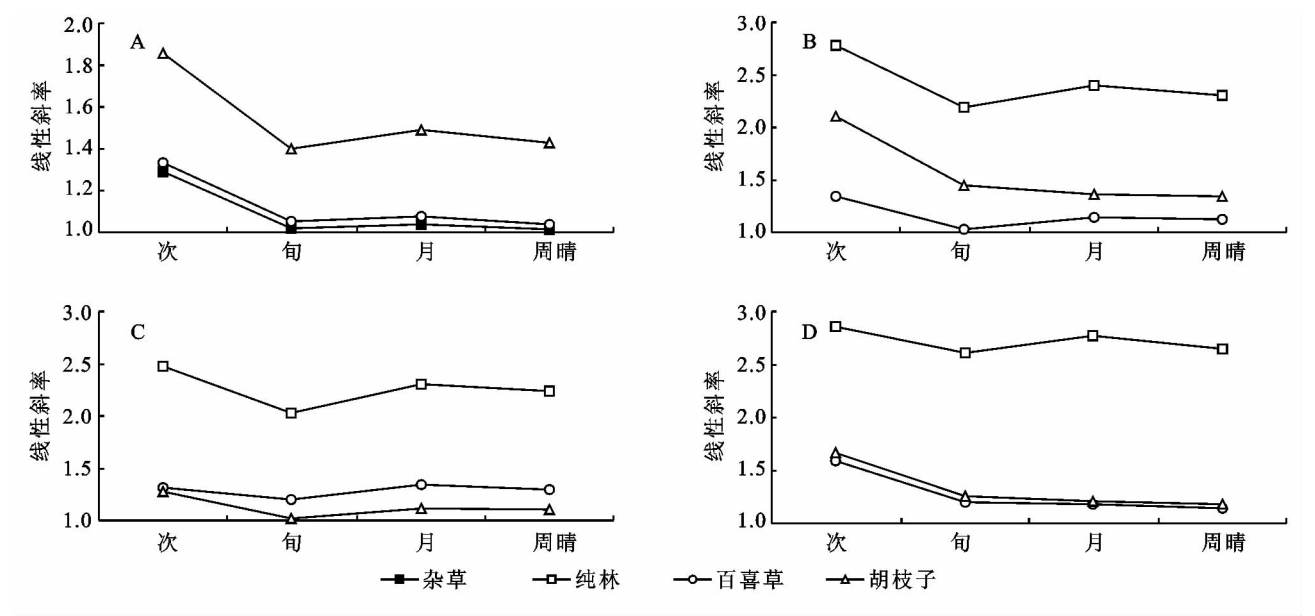


图 2 不同整理方法的线性斜率

表 3 二次和幂函数特征参数

郁闭度	小区类型	二次函数				幂函数			
		次	旬	月	周晴	次	旬	月	周晴
0	杂草	0.00582	0.00041	0.00017	0.00117	1.2344	0.9824	0.9750	1.0286
	百喜草	0.00548	0.00073	-0.00019	0.00090	1.2430	1.0041	0.9807	1.0264
	胡枝子	0.01499	0.00320	0.00092	0.00281	1.3931	1.0340	1.0341	1.1438
0.07	纯林	0.00362	0.00351	-0.00353	-0.0091	1.0054	0.8048	0.8267	0.8839
	百喜草	0.00303	-0.00094	-0.00058	0.00055	1.0814	0.8224	0.8977	0.9359
	胡枝子	0.02649	0.00654	0.00264	0.00318	2.4841	1.5119	1.3540	1.5680
0.15	纯林	-0.00283	-0.00026	-0.00406	-0.00113	0.8681	0.6989	0.7691	0.7841
	百喜草	-0.00232	-0.00501	-0.00116	0.00071	0.9020	0.7890	0.8741	0.9195
	胡枝子	0.00215	-0.00314	-0.00012	0.00052	1.1466	0.8896	1.0427	1.0354
0.24	纯林	-0.00362	0.00594	-0.00425	-0.00140	0.8741	0.8171	0.8077	0.8122
	百喜草	0.01524	0.00356	0.00095	0.00209	1.5941	1.1794	1.0707	1.1588
	胡枝子	0.01568	0.00427	0.00121	0.00187	1.6847	1.2875	1.1514	1.2103

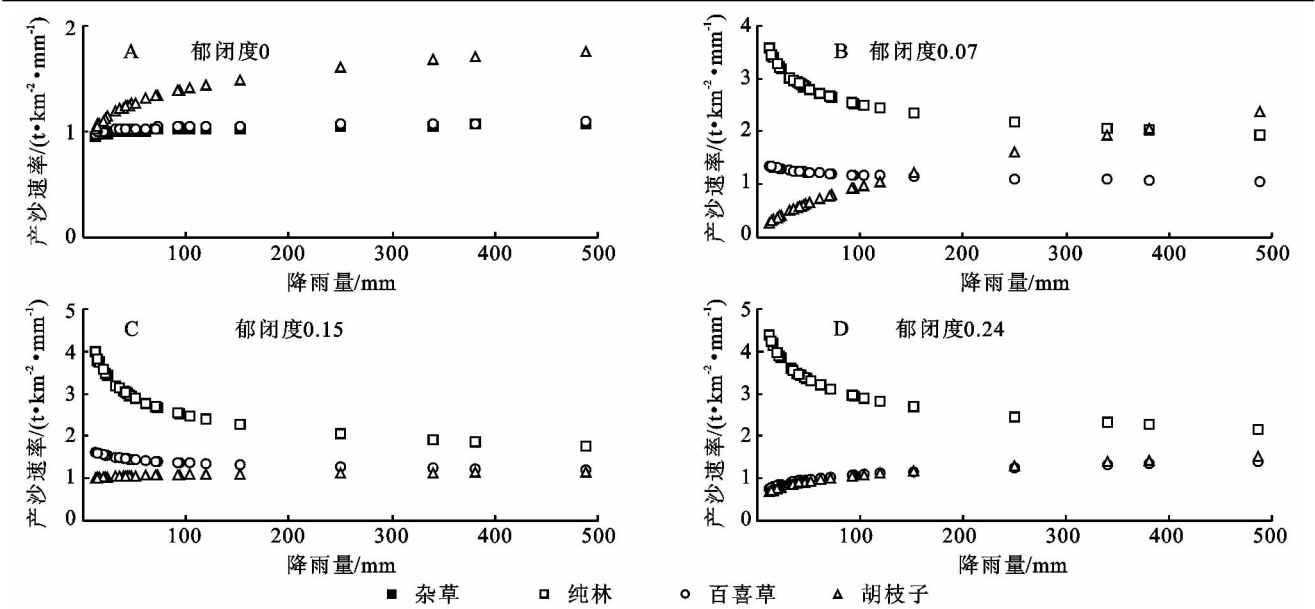


图 3 产沙速率随降雨量的变化

表 4 不同植被类型线性斜率差数 t 值

类 型	郁闭度 0		郁闭度 0.07		郁闭度 0.15		郁闭度 0.24	
	杂 草	百喜草	纯 林	百喜草	纯 林	百喜草	纯 林	百喜草
百喜草	0.239	—	3.095	—	2.394	—	3.115	—
胡枝子	2.832	2.656	2.494	1.712	2.937	1.412	3.023	0.376

注:表中纵栏的百喜草和胡枝子代表与其比较郁闭度下的相应小区; $t_{0.01,54}=2.671$ 。

3 结 论

(1) 加大降雨产沙资料的整理时间尺度和降雨停止时间间隔,可以显著提高降雨产沙之间的相关性。次、旬之间以及月、周晴之间的相关系数不存在显著性差异,次、旬分别与月、周晴之间存在显著性差异。在旬、月和周晴整理方法下拟合的降雨产沙 3 种类型曲线与次整理方法相比,方程的决定系数平均分别增加了 0.02,0.24 和 0.26。

(2) 不同的整理方法对降雨产沙关系的曲线性质产生影响。从次到旬、月和周晴整理方法拟合的线性斜率呈减小趋势,其差异大小与小区类型有关;在非线性的两种类型曲线中,综合考虑决定系数以及同一函数类型在不同方法下曲线性质的一致性,可以采取周晴方法的幂函数来描述不同类型小区降雨产沙之间的内在关系。

(3) 不同植被类型产沙速率不同。纯林小区大于百喜草和胡枝子小区,但产沙速率之间的差异与林冠层和地表层密切相关,对郁闭度为 0.24 的纯林地,地表盖度为 0.30~0.35,便可以显著降低产沙速率,而郁闭度极低的纯林地应增加地表覆盖度和覆盖层次。随着降雨量的增加,纯林小区产沙速率下降,百喜草小区变化缓慢,而胡枝子小区在郁闭度为 0.15~0.24 时变化缓慢,在郁闭度 0.07 时产沙速率快速增加,甚至超过纯林,因此侵蚀严重的林地应该首先实现草本植被恢复,然后逐步实现乔灌草生态结构的恢复。

参考文献:

[1] 周璟,张旭东,何丹,等. 武陵山区女儿寨小流域次降雨径流与产沙特征[J]. 中国水土保持科学,2011,9(1):33-38.

[2] 刘栋,刘普灵,邓瑞芬,等. 不同下垫面径流小区次降雨侵蚀特征相关分析[J]. 水土保持通报,2011,31(2):99-102.

[3] 漆良华. 武陵山区小流域典型植被恢复模式产流产沙特征[J]. 资源科学,2008,30(5):709-716.

[4] 黄炎和,卢程隆. 闽南次降雨量与土壤侵蚀量的关系研究[J]. 水土保持学报,2002,16(3):76-78.

[5] 何长高. 花岗岩侵蚀区坡面产流产沙规律的研究[J]. 南昌水专学报,1997,16(1):12-16.

[6] 喻荣岗,胡建民,左长青,等. 赣北第四纪红壤坡地土壤侵蚀规律研究[J]. 江西农业学报,2007,19(12):31-34.

[7] 李瑞,李勇,刘云芳. 贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):7-11.

[8] 王海斌. 不同水土保持措施下径流小区降雨与产流产沙关系研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):63-66.

[9] 黄志刚,曹云,欧阳志云,等. 南方红壤丘陵区杜仲人工林产流产沙与降雨特征关系[J]. 生态学杂志,2008,27(3):311-316.

[10] 郑海金,方少文,杨洁,等. 赣北第四纪红壤坡地降雨侵蚀力的计算与分析[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):36-40.

[11] 金雁海,柴建华,朱智红. 内蒙古黄土丘陵区次降雨条件下坡面土壤侵蚀影响因子研究[J]. 水土保持研究,2006,13(6):192-194.

[12] 王辉,王全久,邵明安. 前期土壤含水量对坡面产流产沙特性影响的模拟实验[J]. 农业工程学报,2008,24(5):65-68.

[13] 程冬兵,左长青,蔡崇法. 不同下垫面每次降雨水土流失特征及影响因素分析[J]. 林草学报,2007,16(5):84-89.

[14] 胡续礼,杨三平,张春平. 淮河上游山区迎河小流域年降雨与径流特征分析[J]. 水土保持研究,2007,14(4):20-23.

[15] 马育华. 试验统计[M]. 北京:农业出版社,1982.