

# 降雨、径流因子的初步研究

## I—降雨、径流因子的主成分分析

杨艳生 史德明 刘伯根

(中国科学院南京土壤研究所) (江西省宁都县水保站)

随着国民经济的日益发展,人们对水土保持工作重要性的认识逐步提高。目前在水土流失区,各县都有水土保持科学试验站(下称水保站),其中有的站已建多年。在这些水保站中,由于各自的条件不同,工作内容也有差异,收集到的资料有多有少,但土壤侵蚀模数,与降雨和径流有关的资料则几乎是每站都有。这些资料或者是由于缺乏其它资料相配套,或者缺乏资料的处理方法,使得已有的材料只能束之高阁,甚至逐渐散失,使工作造成极大的浪费和损失。为此,从本文开始,试图用三篇文稿来探讨与降雨、径流有关的资料,提出初步处理这些资料的具体方法,使现有资料得以分析整理,以便为生产服务。同时通过分析整理,及时发现工作中存在的问题,便于及时改进,促进工作的深入。

在本组文稿中,利用江西省宁都县水保站的部分降雨、径流的观测资料,作为数值分析数据进行研究。工作的第一部分是通过主成分分析,研究与降雨、径流有关各因子的相互关系,对这些因子进行分组,指出各组因子的实际含义,以便对土壤侵蚀量与这些因子的关系作出理论说明,并为进行第二部分工作创造条件;第二部分工作是采用逐步回归分析方法,研究土壤侵蚀量与降雨、径流因子的关系,建立土壤侵蚀预报方程式;第三部分则是利用模糊数学中模糊数和贴近原则,对土壤侵蚀量的实测和预测值进行效果评价。上述工作中有关数据的处理宜在电子计算机上进行,否则计算工作量是很大的。

### 一、资料来源区简况和降雨、径流因子的讨论

在进行主成分分析研究以前,需要将资料来源区,即江西省宁都县水保站及其附近地区的自然条件、水土流失状况作一简介。

**1、观测区简况。**宁都县位于赣南地区东北部,水保站又在该县县城的东北面,处于东江流域下游、中亚热带低山丘陵区,该县有山丘面积约1,500亩。山丘土壤主要是花岗岩母岩发育的红壤。该区气候温和,年雨量约1,500毫米,水土流失严重,其地形、气候和水土流失状况,在我国南方有一定的代表性。

本文引用的资料是该站第1号小区在1983年2月至11月测得的。该小区为一自然坡面,坡度 $15^\circ$ ,坡长20米,区内有马尾松、茅草等,被覆度约10%。土壤为花岗岩风化物 and 较松散的白沙土层,采用干筛法得到各级土壤粒径如表1。

**2、降雨、径流因子在影响土壤侵蚀的主要因子中所占的地位。**在美国通用土壤流失预报方程中概括的主要侵蚀因子是降雨因子、土壤可蚀性因子、坡度坡长因子、作物管理因子和保土措施因子。对于一定区域的非耕作土壤,除降雨因子外,其余因子如果没有人为的显著干扰都较稳定。地表径流是由降雨产生的,一定地区雨量的年变化也较稳定。但是土壤的侵蚀是由每次的

表1 土壤各级粒径表

采样深度 (厘米)	各 级 粒 径 (毫米)								
	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1—0.5	0.5—0.25	0.25—0.10	<0.10
0—20	1.97	6.40	20.94	13.79	9.11	20.44	11.82	8.37	7.24
20—40	1.86	11.16	25.11	13.95	9.30	16.28	7.91	7.91	6.51
40—60	1.60	9.04	23.40	15.96	9.04	12.77	10.64	9.57	7.98

降雨产生的。在雨量年变化不大的情况下，由于各次降雨很不一样，所产生的土壤侵蚀量会有显著差别；即使一次降雨量相同，由于降雨强度不同，前期降雨情况不同等，出现的侵蚀结果也各异。因此，研究不同区域土壤侵蚀量与降雨、径流因子的关系，对于了解不同地区的侵蚀特点，建立区域性的土壤流失预报方程有特殊的意义。

**3、土壤侵蚀量的时、空变化。**土壤侵蚀量一般是通过水文站或观测小区测得的，在测定这个量的同时，还测得了许多与此有关的降雨、径流因子。由于侵蚀量是各侵蚀因子综合影响的结果，所以除了可以直接将侵蚀量测出外，一定还可以根据各侵蚀因子预测出侵蚀量。由于不可避免的量测误差的存在，不论是实测还是预测，都存在量测效果好坏的问题。如果排除误差的存在，也还需要考虑如下情况：

(1) 不论侵蚀量的实测值或预测值，一般只限在一定范围内测出的，它只能代表本区地形、土壤、植被等条件下出现的侵蚀状况；当条件改变以后，侵蚀量就不会相同，包括大范围的水文站测得的侵蚀量，只反映这一范围内侵蚀量的平均情况。并且随着范围的扩大，该范围内局部水土流失的改变，常常不能在近期的量测数据中得到反映。所以该范围内各部分的侵蚀状况会有悬殊的不同，从而表现出侵蚀量的空间差异。

(2) 侵蚀量的时间差异性表现为：在相同区域不同年份的侵蚀量也会出现差异，但在一般情况下，这种差异不会很大；可是在不同观测时间、观测条件起了变化或者由于观测者的技术水平不同，也会影响到侵蚀量观测值的大小。

由于上述情况存在，就不能把侵蚀量理解为完全确定的数值。为了要对侵蚀量进行研究，还要规定下面几个术语的具体概念：

**侵蚀量真值。**这是指某地区某段时间内被侵蚀土壤的实际数量。这个量值是客观存在的，但由于主客观条件的影 响，无法判断侵蚀量真值的大小，因而只能得到与真值接近的估计值。

**侵蚀量真值估计值。**在这里简称为侵蚀量期望值，它是根据现有资料得到的与真值相差最小的侵蚀量值。

**侵蚀量实测值。**这是指用直接量测或用间接方法通过简单计算得出的侵蚀量值。这一量值不可避免地带有一定的量测误差。

**侵蚀量预测值。**这是根据侵蚀因子资料，通过数值分析，建立侵蚀预报方程，计算得出的预测侵蚀量。当各侵蚀因子取值较为准确，数值处理效果又显著时，由于各因子取值的正负误差可以相互抵消，预测值可以比实测值更接近真值。

为了求得侵蚀量期望值，就要对侵蚀因子进行研究，考虑了和降雨、径流因子有关的如下10个项目：1、当次降雨前5天内降雨总量；2、当次降雨前最近一次的降雨量；3、当次降雨量；4、降雨强度；5、径流深度；6、径流系数；7、悬移质量；8、推移质量；9、悬移质加推移质再除

以径流深（反映侵蚀强度的大小）；10、悬移质加推移质量（反映侵蚀量的大小）。本文的讨论是以这些项目的观测资料为基础的。

## 二、主成分分析的基本思想

在任何试验区的测试中，总要涉及到m个项目的n次观测。人们为了搜集到更多的信息资料，就将测定项目m取得较大，比如10项、几十项乃至上百项。这样做虽然可以避免信息的遗漏，但项目一多，工作量增大。为了使收集的信息尽可能的多，而所花费的力气又尽可能地少，进行主成分分析是很必要的。通过分析可以达到如下目的：

1、了解各观测项目间的相互关系。各观测项目中，并不是每项都是相互独立、互不相关的，有些项目之间有密切的相关关系。

2、归纳出综合指标。一些关系密切的项目组合起来，就构成一项综合指标。这一综合指标也就是原来指标的主成分。各综合指标间是相互独立的，并具有确定的实际含义。

3、删除某些不必要的观测项目。有些观测项目对说明实际问题所起的作用很小，因而可考虑剔除，以减少工作量。

在进行数值分析处理时，观测次数n称作样品，观测项目m称作变量，本文以表2中的观测资料为基础，其中n = 47，m = 10，并在709计算机上实现计算处理。

表 2 观 测 资 料

最近五天内 降雨总量 (毫米)	最近一次 降雨量 (毫米)	当次降 雨量 (毫米)	降雨强度 毫米/小时	径流深度 (毫米)	径流系数	悬移质 公斤/公亩	推移质 公斤/亩	悬移质加 推移质除 以径流深	悬移质加 推移质 公斤/亩
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.28	4.9	24.1	5.57	9.9	0.41	0.496	0.077	0.058	0.573
12.6	2.0	106.6	5.31	29.0	0.27	4.351	0.086	0.153	4.437
57.8	14.4	36.2	3.74	12.3	0.34	0.742	0.064	0.066	0.806
24.4	18.5	22.7	1.56	4.6	0.20	0.694	1.240	0.420	1.934
26.3	26.3	21.0	3.23	7.0	0.34	0.211	0	0.030	0.211
1.7	1.7	14.4	4.98	3.7	0.26	0.370	1.296	0.450	1.666
16.4	0.6	4.9	11.75	2.9	0.58	0.143	1.210	0.467	1.353
23.0	1.7	6.9	9.20	2.6	0.38	0.145	1.830	0.760	1.975
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

## 三、计算结果分析

通过分析得出了各分析项目的相关阵（见表3），表4中列出了前四项特征值、方差贡献和相应的特征向量。

1、表3中列出了相关阵，其中的代号与表1相同。查相关系数检验表可知，在计算条件下，凡相关系数大于0.28者和大于0.36者，这两个分析项目分别在5%和在1%水平上相关显著。所以从表3可见，如果将5天内的降雨称为近期降雨，最近一次降雨称为前次降雨，那么：

(1) 近期降雨量与当次降雨量有较显著的负相关，也就是如果最近5天内曾下有较多的雨，这一次降的雨就较小，反之亦然；

表3

各观测项目的相关阵

代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00	0.20	-0.32	0.02	-0.15	0.22	0.00	0.08	0.19	0.06
2		1.00	-0.11	0.25	0.03	0.23	0.14	0.12	0.19	0.13
3			1.00	-0.17	0.85	-0.05	0.53	0.22	-0.22	0.33
4				1.00	0.07	0.52	0.29	0.34	0.46	0.33
5					1.00	0.38	0.86	0.62	0.04	0.72
6						1.00	0.53	0.57	0.43	0.57
7							1.00	0.90	0.38	0.96
8								1.00	0.61	0.99
9									1.00	0.54
10										1.00

表 4

前四项特征值、方差贡献和相应特征向量

特征值	4.25	2.23	0.96	0.91
	45.2%	67.5%	77.1%	86.2%
特	0.13	-0.39	0.39	0.51
征	0.16	0.41	-0.12	0.71
向	0.19	0.21	0.03	0.10
量	-0.56	0.35	0.35	
	-0.50	0.03	-0.01	-0.01
	-0.39	-0.55	-0.39	0.12
	-0.28	-0.07	-0.04	-0.05
	-0.36	0.27	0.03	-0.00
	-0.05	-0.37	-0.55	0.3
				9

(2) 当次降雨与径流深度、悬移质和侵蚀量有显著相关, 也就是如果降雨量大, 地表径流就多, 以悬移质形式侵蚀的土壤也多;

(3) 降雨强度与径流系数、侵蚀强度、推移质和侵蚀量有显著相关, 也就是降雨强度越大, 径流系数和推移质量就越多, 单位径流量产生的侵蚀物质就越多;

(4) 径流深度与径流系数相关也很显著。

从上可见, 降雨、径流因子中的那些项目大体可分为容量因子和强度因子两类。容量因子包括降雨量的多少、径流量的多少、悬移质、推移质和总侵蚀量, 强度因子包括降雨强度、径流系数和侵蚀强度。而且还可看出, 悬移质与容量因子关系最为密切, 推移质则与强度因子关系更为密切, 即悬移质受径流量或降雨量影响最大, 推移质受降雨强度影响最大, 侵蚀强度也主要与降雨强度有关。作为总的侵蚀量则与强度因子和容量因子都显著相关。

2、从表 4 可见, 前两项特征值的累计方差贡献为 67.5%, 说明若选取第一和第二主成分,

其所集中的信息量，相当于所收集信息总量的2/3以上；对第一主成分贡献较大的是降雨，其量它项目对这一主成分呈负贡献。所以第一主成分所反映的是降雨容量因子。凡是降雨量大，产生的径流量大，侵蚀量也大；反之，侵蚀量就小。降雨容量因子，其方差贡献为45.2%，说明降雨量的大小，在南方对土壤侵蚀起到最重要的作用。第二主成分反映的主要是强度因子，从表4相应特征向量可见，对应于前次降雨量和降雨强度的特征向量值均较大，由于降雨强度与径流系数相关十分显著，因此可以这样说，在径流量大体相同的情况下，降雨量大，降雨强度小，或降雨量小，降雨强度大，可以产生大致相同的侵蚀结果。强度因子说明的方差贡献约为22%。可见在进行土壤侵蚀研究时，抓住了降雨的容量因子和强度因子，就抓住了降雨径流中信息量的60-70%。这里的容量因子主要包括降雨总量、降雨历时、径流总量和径流历时等，这些都是和降雨量、径流量的大小有关的因子；强度因子主要包括降雨强度（或30分钟最大雨强），平均降水率和最大降水率等，这些都是和单位时间有关的因子。

为了进一步证实上述分析，我们借用湖北省罗田县石桥铺公社水保站的部分资料，进行主成分分析，计算选取的变量数为11，样品数为55，分析其结果，得到的结论是与上述完全相同的。

## 四、讨论

1、通过主成分分析可知，和降雨、径流观测有关的那些因子中，主要可综合出容量因子和强度因子两组因子，它们说明了总信息量的2/3。土壤侵蚀量与某些容量因子和强度因子相关都很显著。所以在收集资料时，应注意这些因子的观测。

2、影响土壤侵蚀的容量因子中，除了考虑当次降雨外，还应适当考虑前次和近期的降雨量；对当次降雨来说，如果近期有连续的降雨，而当次降雨强度大而雨量小，就会引起严重的侵蚀；如果当次降雨前久旱未雨，即使下了较大的雨，降雨强度又不很大时，侵蚀也不会很严重。

3、土壤侵蚀量中的悬移质部分主要由径流量的多少所决定，而推移质主要受径流系数所影响，也就是前者主要和容量因子，后者和强度因子有更显著的相关关系。

4、由于土壤侵蚀量和降雨、径流中的容量、强度因子相关显著，因此采用回归分析，建立回归方程，用容量因子和强度因子来预测土壤侵蚀量是可能的。

---

(上接封三)

- A Method on Reorganizing the Curves of  $Q \sim F$  and  $W \sim F$  by Microcomputer in Xingzihe Watershed Shuai Qifu et al ( 52 )
- Relations between the Spring Moisture in the Soil and Meteorological Factors Near the Earth's Surface in Loess Region Huang Guojun et al ( 57 )
- Tetraethyl-lead Do Damage to Human Body in the Air Zhang Shuchun et al ( 59 )
- Introducing to Two Innovated Measure-test Instrument in the Experiment of Simulated Rainfall Zhang Lu ( 60 )