

# 不同植被类型对地表径流影响的灰色关联度分析

李香云, 王玉杰

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:** 影响地表径流的因素有气候、地质、植被等诸多因子, 植被因素的影响甚为突出。以重庆缙云山 4 个不同植被类型小区为研究对象, 采用灰色关联度的方法, 对影响因子进行了对比分析。分析了降雨状况参数和植被状况参数对地表径流的影响, 结果发现降雨量与径流的关联度最大, 影响参数中影响程度顺序为: 乔木覆盖度 > 林分高度 > 枯落物的厚度 > 坡度 > 林下木的覆盖度 > 土壤厚度; 在对小区植被类型之间的灰色关联度差异分析中, 发现混交林与径流的关联度最大, 其次为阔叶林、楠竹林, 最小为农地。

**关键词:** 灰色关联度; 植被类型; 地表径流

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)02—0083—04

中图分类号: S334<sup>+</sup>.91

## Grey Rational Degree Analyses for Effects of Different Vegetation Types on Overland Flow

LI Xiang-yun, WANG Yur-jie

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** There are many different factors affecting overland flow, such as climate, geology and vegetation, among which vegetation type is a key factor. In this study, four different vegetation types in Jinyun Mountain, Chongqing City, were investigated using the grey rational degree. The analyses of precipitation and vegetation effects on overland flow indicate the highest rational degree of precipitation with surface runoff. The parameters contribute to overland flow in the descending order of canopy density, standing forest height, litter thickness, slope degree, coverage and soil thickness. The rational degrees of different vegetation types descend in the order of mixed wood, broadleaved forestry, bamboo forestry and cropland.

**Keywords:** grey rational degree; vegetation type; overland flow

植被状况影响地表径流系数是实现森林生态水文功能的关键环节。在不同的地区, 由于气候、地质条件、土壤和地形等因素的综合影响, 森林的存在和变化将呈现出不同的水文功能<sup>[1]</sup>。我国进行了大量的森林砍伐对森林径流的影响和对比流域不同森林覆盖度及森林植被变化对水文过程的影响, 试图提供森林变化对森林水分循环过程中林冠截留、林内雨的再分配、蒸发和径流影响一般规律的认识, 分析森林植被变化对水的调节和分配作用以及由此产生的空间格局和过程。

石培礼在有关统计研究中发现, 在相似茂密的森林覆盖度下, 林冠截留率一般的规律是: 针叶林 > 阔叶林; 阔叶林 > 常绿林; 复层异龄林 > 单层林<sup>[1]</sup>。闫俊华, 周国逸曾在南亚热带的鹤山丘陵实验站, 采用灰色关联法进行 4 种森林生态系统植被状况影响

地表径流系数的研究<sup>[2]</sup>。张一平、张克映在西双版纳勐伦地区, 采取在不同植被类型地域设置径流集水区, 用日记水位计观测水位的变化, 多数并列流域法, 通过根系降雨特征与径流特征得出植被类型与径流的关系<sup>[3]</sup>。高智慧在浙江宁海县设置不同类型植被的径流小区, 通过多元回归等方法研究水土保持效应等等不同方面的径流研究<sup>[4]</sup>。

本文以重庆市缙云山的 4 个不同植被类型径流小区为研究对象, 选择灰色关联度方法, 通过分析降雨状况参数和植被状况参数与径流之间的灰色关联关系, 说明不同径流影响因子对径流的影响程度, 以及不同植被类型之间径流影响效应的对比差异。研究旨在为不同地区的森林变化对区域水分循环的调节作用提供重要信息, 并为有效分析研究三峡地区的森林水文功能提供一定的科学参考和方法实践。

### 1 研究地区自然概况

缙云山试验地位于重庆市北碚区境内,嘉陵江温塘峡西岸,东经 106°22',北纬 29°49',海拔 350~951.5 m。年平均气温 13.6℃,年平均降水量 1 611.8 mm,年平均相对湿度 87%,年雾日数 89.8 d,年均日照 1 293.9 h。岩石主要为三叠纪须家河组厚层砂岩组成,土壤为酸性黄壤和水稻土,山麓地区为中性或微碱性黄壤化紫色土。地带性植被为常绿阔叶林,主要是天然的亚热带常绿阔叶林。

### 2 研究方法

#### 2.1 灰色关联系数和关联度的计算方法

设  $x_1, x_2, \dots, x_N$  为  $N$  个因素,反映各因素变化特性的数据列分别为  $\{x_1(t)\}, \{x_2(t)\}, \dots, \{x_N(t)\}, t = 1, 2, \dots, M$ 。

因素  $x_j$  对  $x_i$  的关联系数为:

$$r_{ij}(t) = \frac{\min_i \min_j r_{ij}(t) + \max_i \max_j r_{ij}(t)}{\min_j r_{ij}(t) + \max_j r_{ij}(t)}$$

式中:  $r_{ij}(t)$  ——关联系数;  $d_{ij}(t)$  ——比较数列与参考数列各对应点的绝对差值;  $\lambda$  ——称为分辨系数,越小,分辨率越大,一般取  $\lambda = 0.5^{(4-5)}$ 。在本研究中  $N = 1, 2, 3, \dots, 7, t = 1, 2, 3, 4^{[5]}$ 。

灰色关联度  $r_{ij}$  用平权法求得,计算式为:

$$r_{ij} = 1/n \sum_{k=1}^n r_{ij}(t)$$

#### 2.2 研究小区的情况

研究小区的面积为 5 m × 20 m, 4 个不同植被类型的小区分别是马尾松和四川大头茶的混交林,四川大头茶的阔叶林,楠竹林纯林;农地。观测仪器采用新型低功耗单片计算机、大容量半导体存储器及精确的实时时钟构成低功耗的数据采集存储系统。可以在无人职守的情况下长期自动连续观测记录。

### 3 结果分析

#### 3.1 参数的选择与组成

选择的降雨为研究区降雨季节的 9 场典型降雨,最大值为 58.4 mm,最小值为 3.4 mm。降雨参数是典型降雨的平均值。各小区的径流量为降雨后各小区径流的平均值。

把对径流相关性比较大的因子都罗列于表 1,设置为  $X_1, X_2, \dots, X_7$ 。对照参数为径流量,设置为  $X_0$ 。其中(1),(2),(3)和(4)分别是混交林、阔叶林、楠竹林和农地,小区(4)没有植被状况因子,相关数值即为 0。

#### 3.2 小区综合因子参数的灰色关联度分析

3.2.1 关联系数计算 为了消除各参数间量纲的不同,首先对各参数数列进行生成处理。本文采用

$$x_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_{ij} / s_{ij}$$

式中:  $x_{ij}$  ——新生成的参数;  $\bar{x}_{ij}$  ——某一参数的平均值;  $s_{ij}$  ——某一参数的标准差。所产生的新数据见表 2。

表 1 径流、降雨和小区中其它影响参数

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
$X_0$ 径流量/mm	2.502 4	5.137 3	10.324	1.128 2
$X_1$ 降雨量/mm	25.766 7	25.766 7	25.766 7	25.766 7
$X_2$ 林分高度/m	22	13	13	0
$X_3$ 林下木的覆盖度/%	5	10	10	0
$X_4$ 枯落物的厚度/cm	3.2	2.5	1.5	0
$X_5$ 土壤厚度/cm	45	35	30	50
$X_6$ 乔木覆盖度	0.8	0.7	0.5	0
$X_7$ 坡度/(°)	25	30	10	5

注:表中的林下木指的是小区内主要植被冠层以下的植物,多为灌木。下表同。

表 2 标准化后的各个参数

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
$X_0$ 径流量	- 0.323 096	0.051 842 4	0.789 894 4	- 0.518 641 0
$X_1$ 降雨量	0	0	0	0
$X_2$ 林分高度	0.637 576 6	0.063 757 7	0.063 757 7	- 0.765 092 0
$X_3$ 林下木的覆盖度	0.452 267 1	- 0.150 756 0	- 0.753 778 0	- 0.753 778 0
$X_4$ 枯落物的厚度	0.582 323 2	0.291 161 6	- 0.124 784 0	- 0.748 701 0
$X_5$ 土壤厚度	0.128 036 9	- 0.128 037 0	- 0.256 074 0	0.256 073 7
$X_6$ 乔木覆盖度	0.172 935 1	0.043 233 8	- 0.216 169 0	- 0.864 676 0
$X_7$ 坡度	0.363 795 0	0.606 325 2	- 0.363 795 1	- 0.606 325 1

选择地表径流量为参考数列,其余的各项为比较数列,求得各比较数列与参考数列各对应点的绝对值,则得出表 3,其中两级最小差为 0.008 609,最大差为 1.350 880 7。

表 3 对比参数与径流参数的绝对值

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
$X_1$ 降雨量	0.323 096 0	0.051 842 0	0.789 894	0.518 641
$X_2$ 乔木的高度	0.960 672 6	0.011 915 3	0.726 137	0.246 451
$X_3$ 林下木的覆盖度	0.775 363 1	0.202 598 0	1.543 673	0.235 137
$X_4$ 枯落物的厚度	0.905 419 2	0.239 319 2	0.914 678	0.230 060
$X_5$ 土壤厚度	0.451 132 9	0.179 879 0	1.045 968	0.774 715
$X_6$ 乔木覆盖度	0.496 031 1	0.008 609 0	1.006 063	0.346 035
$X_7$ 坡度	0.686 891 0	0.554 482 8	1.153 690	0.087 684

表 4 植被因子与径流量的关联系数

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
1 降雨量	0.712 779 6	0.947 512 3	0.499 731 228	0.604 772 7
2 乔木的高度	0.450 471 2	0.995 781 4	0.521 000 872	0.766 429 4
3 林下木的覆盖度	0.504 424 6	0.800 921 5	0.337 051 306	0.775 040 8
4 枯落物的厚度	0.465 311 0	0.771 835 1	0.462 756 472	0.778 968 2
5 土壤厚度	0.638 156 2	0.820 040 8	0.429 334 123	0.504 636 0
6 乔木覆盖度	0.615 557 6	1.000 000 0	0.438 970 538	0.698 153 1
7 坡度	0.535 018 0	0.588 429 6	0.405 315 377	0.908 001 0

表 5 利用关联度计算公式计算关联度

降雨量 <sub>1</sub>	林分高度 <sub>2</sub>	林下木的覆盖度 <sub>3</sub>	枯落物的厚度 <sub>4</sub>	土壤厚度 <sub>5</sub>	乔木覆盖度 <sub>6</sub>	坡度 <sub>7</sub>
0.691 198 9	0.683 420 7	0.604 359 5	0.619 717 7	0.598 041 8	0.688 170 3	0.609 191

灰色关联度越大,说明比较数列与参数数列的发展趋势越接近,或者说比较参数对参考数列的影响就越大。从上面结果中的灰色关联度看出,所选择的参数对径流量的影响均较大,最小为 0.598 0,最大为 0.691 198 9。

降雨是产生径流的原因,因此降雨与径流的灰色关联度最大,为 0.691 198 9;植被状况参数中对径流影响最大的是乔木的覆盖度以及林分的高度,分别为 0.683 420 7,0.688 170 3。因为林分高度是整个植被对降雨作用在空间上的一个标志,在承认植被对降雨径流过程产生作用的条件下,林分高度大,降雨在下落地面被植被改变的程度就大一些;乔木的覆盖度是影响整个植被对拦截降雨,削弱降雨动能的重要影响参数,覆盖度大,林冠吸附的降雨量就多,而且树木的枝叶能更多地削弱降雨动能;其次对径流影响大的植被参数为枯落物的厚度,枯落物在减少地表径流和缓解洪峰方面有着积极的作用,由于有枯落物的存在,降雨的雨滴不能直接对地表造成侵蚀,而且由于

3.2.2 关联系数与关联度 根据灰色关联系数的计算公式,可以求得各参数对应点与地表径流系数间的灰色关联系数(表 4),用关联度计算公式,可求得其关联度(表 5)。

枯落物保护了地表的结构,使得土壤更容易下渗,在一定程度上大大减少了地表径流量。枯落物增加了地表的粗糙度,对减少地表径流的速度和延缓洪峰都有积极的作用。

3.2.3 对径流小区植被类型之间差异的灰色关联度分析 由于在研究过程中发现,在相同的降雨条件下,不同植被类型小区的径流情况差异比较明显,故减少地表径流量、缓解径流洪峰等效应的作用程度也不同。本文利用灰色关联度可以分析不同植被类型系统之间的差异,从而对 4 种植被类型系统进行定量的评价。

具体方法为选取植被状况参数标准化后各个参数的标准化作为参考点,组成参考数列  $X_0 = \{0.637 576 6, 0.606 325 2, 0.789 894 4, 0.256 073 7\}$ ,仍选取其它因子作为比较数列,按照上述的方法求得各个对应点的关系系数,利用平权法求得灰色关联度。结果所求得的平权关联度为:  $(1) = 0.712 181 6$ ,  $(2) = 0.629 338 7$ ,  $(3) = 0.507 503 2$ ,  $(4) = 0.553 522 3$ 。

从关联度看,也就是混交林对地表径流的灰色关联度最大,其次为阔叶林和楠竹林,对照区的最小。在一定的程度可以认为在降雨到径流的过程中,植被类型对径流效应的作用程度表现为混交林最大,其次为阔叶林,再次为楠竹林。

从林分的空间结构进行分析解释不同植被类型之间关联度的差异。混交林上层的空间有阔叶和针叶相交,构成了该植被的第一层拦截;在乔木下有集中小乔木和灌木的存在,填补了林冠下的空间,使得降雨后雨滴落下,形成了层层缓冲动能的作用;林下的枯落物中有四川大头茶和马尾松的叶子混合,马尾松本身结构粗,富有树脂,四川大头茶的木纤维长,所以在林下形成较厚的枯落物层;土壤是空间层次中最下的一层,四川大头茶里的油脂与油松里的树脂对改造土壤结构有很好的作用,混交林的土壤有很好的下渗能力和保水能力。

阔叶林在上层为四川大头茶的树冠,其特点上一段已经说明,林冠下和混交林差不多,只是在品种和数量上都要少一些。在阔叶林的第二层截流,即使枯落物里主要为四川大头茶,有关试验证明其持水能力没有混交林强。

楠竹林的空间结构是林冠一层拦截,而且楠竹叶面积小,郁闭度小,枯落物层的功能也没有混交林与楠竹林小区的好,所以楠竹林地的降雨与径流的相对联系比较微弱。

农地由于不存在植被,因此它与地表径流的关联度最小。

## 4 结论

(1) 降雨状况参数和植被状况参数对地表径流的影响大小顺序为:林木的郁闭度 > 林下木的覆盖度 > 降雨量 > 土壤厚度 > 枯落物的厚度。(2) 有植被存在的小区对径流的影响要比没有植被的农地大。通过小区植被类型之间的灰色关联度分析,植被类型与径流的关联程度大小为:混交林 > 阔叶林 > 楠竹林 > 农地;从结构分析可以理解为这个顺序也就是对径流的影响程度大小的顺序。(3) 缙云山植被小区的研究,小范围地尝试了用灰色关联度表示植被参数对径流的影响,对以后的相关研究工作具有积极的促进作用与参考价值。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 石培礼,李文华. 森林植被变化对水文过程和径流的影响效应[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 481—487.
- [2] 闫俊华,周国逸. 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3): 197—200.
- [3] 张一平,张克映,马友鑫,等. 西双版纳热带地区不同植被覆盖地域径流特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(4): 25—30.
- [4] 高智慧,陈顺伟,蒋妙定,等. 亚热带岩质海岸不同类型植被的水土保持效益[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(4): 380—386.
- [5] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2002.
- [6] (上接第 74 页)
- [7] 樊引琴,蔡焕杰. 单作物系数法和双作物系数法计算作物需水量的比较研究[J]. 水利学报, 2002(3): 50—54.
- [8] 慕彩芸,马富裕,郑序荣,等. 北疆春小麦蒸散规律及蒸散量估算研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 53—57.
- [9] 彭世彰,索丽生. 节水灌溉条件下作物系数和土壤水分修正系数试验研究[J]. 水利学报, 2004(1): 17—21.
- [10] 刘钰, Pereira L S, Teixeira J L, 等. 参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997(6): 27—33.
- [11] 龚元石. Penman-Monteith 公式与 Penman-Monteith 修正式计算参考作物蒸散量的比较[J]. 北京农业大学学报, 1995, 21(1): 68—75.
- [12] 张喜英,陈素英,裴冬,等. 秸秆覆盖下的夏玉米蒸散、水分利用效率和作物系数的变化[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 583—591.
- [13] 雷志栋,罗毅,杨诗秀,等. 利用常规气象资料模拟计算作物系数的探讨[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 119—122.
- [14] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社, 1988. 204—205.
- [15] 罗毅,雷志栋,杨诗秀. 根系层储水量对随机腾发相应特性的初步分析[J]. 水利学报, 1998(5): 44—48.
- [16] 毛晓敏,尚松浩,雷志栋,等. 利用 SPAC 模型对冬小麦蒸散发的研究[J]. 水利学报, 2001(8): 7—11.
- [17] 欧阳竹,罗毅,盖广明,等. 一个预测冬小麦根系储水量的概念性模型[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 593—599.
- [18] 李远华,张明炷,苑文昌,等. 非充分灌溉条件旱作物需水量分析计算研究[J]. 武汉水利水电大学学报, 1994, 27(5): 506—512.
- [19] 康绍忠,邵明安. 作物蒸发蒸腾量的计算方法研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1991(13): 66—74.
- [20] 康绍忠. 计算与预报农田蒸散量的数学模型研究[J]. 西北农业大学学报, 1986, 14(1): 90—101.
- [21] 王玲玲,周纪芾. 常用统计方法[M]. 上海:华东师范大学出版社, 1994. 344.