

路南石林形态计量分析

王在高, 杨明德, 梁虹, 彭建, 程星

(贵州师范大学资源与环境科学系, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 从流域地貌结构的角度, 分析了路南石林形态的相似性和差异性, 并根据对石林形态测量的数据, 借助于 SPSS 软件, 运用多元统计学的方法, 对石林形态进行计量分析, 从而揭示了石林形态大小的内在本质规律——石林的高度与宽度的比值符合 P—III 型曲线分布模型。

关键词: 石林形态, 计量分析, P—III 型曲线

中图分类号: P931

文献标识码: A

0 问题的提出

路南石林位于云南省昆明市东南部, 是世界著名的石林喀斯特地貌典型代表, 发育了规模大、类型多样的石林喀斯特景观类型, 倍受国内外喀斯特学者的关注, 同时也由于石林形态的多姿百态, 吸引着众多的国内外游客。

早在 20 世纪 30 年代, 我国学者就对路南石林进行了研究。目前, 国内外学者分别从地质、地貌、溶蚀、洞穴、环境变迁等方面对石林进行了广泛而深入的研究, 出版和发表了论文多篇^[2~9], 但是对石林形态的研究相对较少。石林研究组曾对路南石林的形态发育特征和形态景观类型进行详细的描述, 但仅仅是从定性的角度揭示石林发育的规律。本课题组成员依据科学性、随机性、代表性等原则, 分别对路南地区的大、小石林区、李子园石林、普豆村石林、乃古石林、万年灵芝和火车站等地方的石林进行了大量的形态测量, 并对石林形态大小进行计量分析。石林形态计量的研究一方面可以反映出石林发育在空间上的差异性, 另一方面也可以说明流域内水动力作用的不平衡性, 从而可以揭示出石林喀斯特流域结构的演化规律, 并为解释石林地貌景观的多样性提供一定的依据。

1 路南石林自然地理特征概况

路南石林喀斯特流域位于南盘江支流巴江的上

中游地带, 以路南县城处河流断面控制流域面积约 471 km², 属中亚热带季风气候, 具有冬暖夏凉, 四季如春的特点。年平均气温 15.6℃, 多年平均降水量 946 mm。该流域的地表水网和地下水网交替分布, 水系主体从上游向下游是自东向西和西南方向汇集, 并由于巴江自南向北的溯源侵蚀, 是流域内地表水系开始解体, 向地下水系转化和发育。

路南石林地区地处云南高原滇东喀斯特南部, 处于我国第二阶梯面上。此处高原起伏和缓, 切割轻微。海拔 1 670 m~2 080 m, 大石林地区海拔约 1 750 m 左右, 乃古石林位于流域的上游地区, 海拔在 1 820 m 左右, 境内地势东北高西南低, 东高起伏小, 西低起伏大。境内地貌类型主要有高原丘陵、低山、洼地、盆地、石芽原野、峰丛和溶洞、湖泊、河谷。从大的地貌类型来划分, 可以分为喀斯特峰丛洼地、喀斯特溶丘洼地、喀斯特残丘坡地、侵蚀谷地以及侵蚀低中山(图 1)。在测量的各区域中, 大、小石林、李子园、万年灵芝为喀斯特溶丘洼地, 其余都位于喀斯特残丘坡地, 喀斯特峰丛洼地区无石林发育, 乃古石林处于流域的上游, 并位于河谷附近。

2 石林形态计量分析

石林是研究区的主要地貌类型, 也是该地区景观资源的主要组成部分, 除了变化多样的剑状、塔状、蕈状等石林景观以外, 在发育层位、地形部位、海

收稿日期: 2002-03-25。

基金项目: 国际石林喀斯特研究中心资助项目(编号: 2000-07)

作者简介: 王在高(1969-), 贵州师范大学 99 级研究生, 专业自然地理学。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

区在流域中所处的地貌部位不同, 因而表层水动力差异较显著, 以及它们各自发育区的地质构造和岩性的差异所致。

2.1 影响石林形态大小的因素

2.1.1 地貌部位

从图一我们可以看出所测量的各区域处于流域的不同地貌部位。其中大、小石林, 李子园石林位于石林洼地; 普豆村石林主要位于石林坡地; 火车站石林位于石林盆地; 万年灵芝位于石林洼地中的岭脊; 乃古石林位于石林槽谷。

随着地壳的抬升, 巴江河谷下切, 天生桥为巴江河流溯源侵蚀的裂点, 裂点以下侵蚀基准面下降, 侵蚀、溶蚀作用加强, 因此, 在高原化过程的同时, 由于各地区水动力条件的差异, 逐渐形成了不同的地貌形态类型。另外, 地下水动力条件的演变也会改变着石林形成的水动力条件, 围绕地下水系统的子系统和分区(带)形成不同类型的石林景观及其组合。沿着裂隙和低洼地带, 溶蚀与侵蚀强烈, 致使地下暗河系统与落水洞、漏斗、洼地相互联系, 地下喀斯特与地表喀斯特过程一体化, 这一现象在石林洼地表现最为强烈和急剧。地表大量的土壤随着地下水流失, 土下石林易形成圆桶状溶槽。这样, 该地区石林发育较强, 石林形态高大, 如大、小石林, 李子园石林。但是在石林溶丘洼地中, 也有一些石林处于斜坡地带, 水动力相对较弱, 石林高度要比洼地处矮, 如李子园斜坡地带。石林坡地、石林盆地往往为开阔的平地或较广阔的低洼盆地, 有红土层覆盖, 水动力条件及循环交替也趋于局部强烈, 由此造成喀斯特形态的发育和空间分布的不均一性、差异性, 形成的石柱高度较低, 如普豆村石林、火车站石林。而万年灵芝的石林位于洼地中的岭脊部分, 主要表现为蕈状石林。一方面, 岭脊处水动力条件最弱, 地表水

很快流向坡角, 土下溶蚀较慢, 另一方面, 岭脊部位交错节理发育, 风化强烈, 易倒塌, 形成不了高大的石柱。

从表一中可以看出乃古石林的平均高度最高, 一方面, 乃古石林是位于石林槽谷地带, 溶槽(谷)沿断裂、节理等线性构造发育, 石林形态特征与石林洼地相似; 另一方面, 该地区石林以簇状分布较多, 基座相互连接一起, 而基座以上的石柱高度一般在 5 m ~ 10 m 左右, 在测量过程中, 加上了基座的高度, 从而导致乃古石林的高度最高。

2.1.2 岩性与构造

石林发育地层主要是下二叠统栖霞组和茅口组, 各组段的岩性差异较大, 如发育在茅口组下段(p1m)的厚层与巨厚层灰岩、白云质灰岩中的石柱往往为高大的、典型的剑状石柱和尖棱状石柱, 如大、小石林, 而发育在茅口组上段为薄层、中厚层灰岩互层的岩性段, 则为塔状、簇状, 上部的中薄层灰岩也可形成其它形态(如莲花状等)。

石林形态的发育还与构造有关, 本区在新构造运动的影响下, 断裂及裂隙构造发育强。特别是在构造裂隙密集发育区, 石柱形态相对较小, 如万年灵芝石林区, 小褶曲轴部和转折端, 节理裂隙发育, 岩石破碎, 没有大型石柱。

2.2 石林形态计量统计规律

2.2.1 石林形态大小

石林形态大小主要指石柱的高度和宽度大小(1.5 m 以上), 由上述可知, 造成石柱大小的因素是多种多样的, 其中石林发育的部位和地层岩性是其主要因素。因此造成石柱大小在空间的分布具有一定规律性: 即喀斯特溶丘洼地比喀斯特残丘坡地的石柱高, 如图 2 所示; 同一地貌类型中, 洼地处的石柱比岭脊处高, 如图 3 所示。

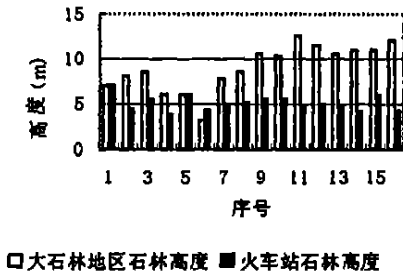


图2 大石林与火车站石林高度比较图

Fig. 2 The height of Shilin between big Shilin and Train station

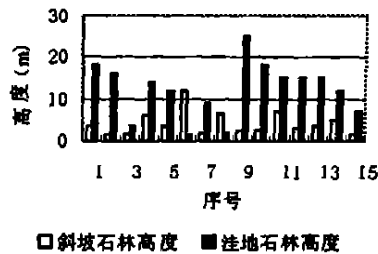


图3 李子园斜坡与洼地石林高度比较图

Fig. 3 The height of Shilin between slope and depression in Liziyuan

从喀斯特流域结构地貌图(图 1)中,可以看出路南石林主要集中在两大片区:喀斯特溶丘洼地和喀斯特残丘坡地。被测量的区域都包括在这两大片区之内,为了从计量的角度来分析石林形态的差异性,本文应用了 SPSS 软件,对石林的高度和宽度进行了方差分析和聚类分析,现以高度为例(宽度分析结果与高度基本相同,在此不重述)。

(1)方差分析

方差分析的目的主要检验被测量区石柱高度大小的差异性是由于抽样测量造成的随机误差,还是由于被测量区因地貌部位和构造岩性等差异所造成的条件误差。运用计算机进行计算,其结果如表 2 所示。

表 2 石林高度方差分析表
Table 2 The analysis of variance about the height of Shilin

方差来源	平方和 S	自由度 f	平均离差平方和 \bar{S}	F 值
组间	$S_A = k \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = 2096.4$	8	$\bar{S}_A = \frac{S_A}{8} = 262$	$F \frac{\bar{S}_A}{\bar{S}_e} = 28.5$
组内	$S_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 1737.18$	189	$\bar{S}_e = \frac{S_e}{189} = 9.19$	
总和	$S_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (x_{ij} - \bar{x})^2 = 3833.32$	197		

按置信度 $\alpha=0.05$, 查表得 $F_{0.05}(8, 189) = 1.99$ 。
所以
 $(F=28.5) > (F_{0.05} = 1.99)$
 $(F=28.5) > (F_{0.05}(8, 189) = 1.99)$
即可以认为各区域石林高度的差异性不是因测量误差而造成的, 而是由于各地区内部因素造成的,

这与前面所叙说的结论是一致的。
(2)聚类分析
为分析各区域石林形态大小的相似性和差异性, 反映出客观事物的内在联系, 对石柱高度进行了聚类分析, 聚类图如下(图 4)。

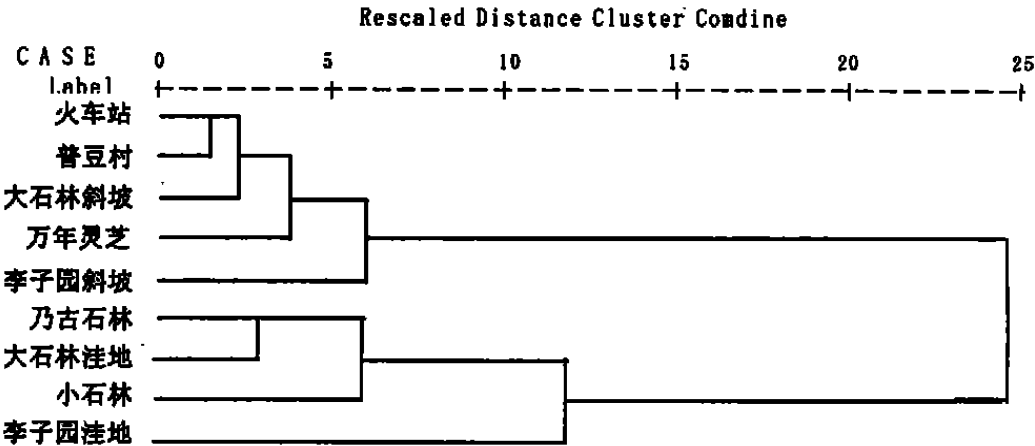


图 4 路南石林测量区聚类分析图
Fig. 4 The analysis of cluster about the measuring region of Lunan Shilin

从图中可以看出乃古石林、大石林洼地、小石林、李子园洼地这几个地方的石林高度很相似, 它们位于石林洼地和槽谷; 而火车站、普豆村、万年灵芝等地方石林的高度又是一组, 处于斜坡与岭脊地带。这两组高度的差异性很大, 相似距离最远。

2.2.2 高宽比

由于石林形态大小受到各种动力因素的影响, 如侵蚀、溶蚀等作用, 在改变石林高度的同时也改石林的宽度。通过对上述各区域进行了 198 个石柱形态的测量数据统计分析来看, 石林高度和宽度大小

除受各种地貌、地质构造、岩性等因数影响以外, 其高度、宽度的数值大小所出现的频率分布没有一定的规律性。但是它们的高度与宽度比值的频率大小却符合P—II型曲线分布。原始数据如表3。

(1)曲线拟合

根据表三中高宽比值数据, 曾分别用正态分布曲线、对数正态分布曲线、耿贝尔分布曲线等进行拟合, 效果很不理想, 而用Γ—分布曲线(P—II型)拟合, 效果很好, 其拟合程度如图5所示。

表3 石林形态测量统计原始数据表
Table 3 The original data of Shilin for ms measure

样号	高度 (m)	宽度 (m)	高宽 (m)	样号	高度 (m)	宽度 (m)	高宽 (m)	样号	高度 (m)	宽度 (m)	高宽 (m)	样号	高度 (m)	宽度 (m)	高宽 (m)
1	3.5	2.7	1.3	51	11	3	3.67	101	12	4	3	151	8	3	2.67
2	1.5	1.45	1.03	52	15	3.5	4.29	102	8	1.8	4.44	152	6	7	0.86
3	1.6	1	1.6	53	11	3	3.67	103	6	3.5	1.43	153	6	7	0.86
4	6	7	0.86	54	16	3.5	4.59	104	7.5	4	1.88	154	6	5	1.2
5	3.5	2.2	1.6	55	12	8	1.5	105	5	4	1.25	155	3.2	2.8	1.14
6	12	10	1.2	56	16	5.5	2.91	106	4	3	1.33	156	7.8	6	1.3
7	1.8	2.5	0.72	57	14	5	2.8	107	4	5	0.8	157	8.5	4.8	1.77
8	6.5	3.5	1.86	58	11	3.5	3.14	108	5	9	0.56	158	8	6.5	1.23
9	2.3	3	0.77	59	11.5	3	3.83	109	5	2.5	2	159	1.9	1.7	1.12
10	2.5	2	1.25	60	12	5	2.4	110	7	4	1.75	160	4	4.2	0.95
11	7	7	1	61	13	4	3.25	111	6	2	3	161	2.2	0.95	2.32
12	3	3	1	62	12	4.5	2.67	112	6.5	2	3.25	162	10	0.25	4
13	3.5	1.7	2.06	63	11	3	3.67	113	6.7	2.8	2.39	163	5.5	1.8	3.06
14	5	5	1	64	11	2.5	4.4	114	7	3.7	1.89	164	8.5	7	1.21
15	1.5	2.3	0.65	65	14	20	0.7	115	8	6.4	1.25	165	4	2.6	1.53
16	2.5	5	0.6	66	10	5	2	116	4	3	1.33	166	10	7	1.43
17	2	1.3	1.54	67	15	4	3.75	117	4	1.6	2.5	167	2	2.8	0.71
18	4	2.8	1.43	68	14	2.5	5.6	118	7.5	12	0.63	168	2	2.2	0.91
19	2.3	3	0.77	69	8	3	2.67	119	7	3	2.33	169	4.5	4.2	1.07
20	2.4	1.5	1.6	70	12	6	2	120	4.2	3	1.4	170	3.5	1.3	2.69
21	3	3	1	71	16	5	3.2	121	8	5	1.6	171	3	1.4	2.214
22	7.5	4	1.88	72	15	4	3.75	122	5	2	2.5	172	1.7	1.65	1.03
23	8	3.5	2.29	73	13	6	2.17	123	5.5	1.5	3.67	173	11	4	2.75
24	1.8	2.4	0.75	74	13	5	2.6	124	8	4	2	174	3.7	1.5	2.47
25	2.5	1.8	1.39	75	10	5	2	125	8.5	6	1.42	175	10.5	6	1.75
26	8.1	2	2.7	76	15	7	2.14	126	9	6	1.5	176	10.3	5.8	1.78
27	8.5	5	1.7	77	14	8	1.75	127	4.5	1.5	3	177	12.5	2.5	5
28	2.7	1.9	1.42	78	13	4	3.25	128	8	2	4	178	11.5	6	1.92
29	10	4.5	2.22	79	13	5	2.6	129	7.5	3	2.5	179	10.5	7	1.5
30	7.5	3	2.5	80	16	6	2.67	130	8	6	1.33	180	11	8	1.38
31	18	13	1.38	81	7	4	1.75	131	12	5	2.4	181	11	4	2.75
32	16	10	1.6	82	6.5	3	2.17	132	11	5.5	2	182	12	6	2
33	3.5	2.5	1.4	83	6.5	1.6	4.06	133	11.5	6	1.92	183	7	6.6	1.06
34	14	10	1.4	84	8	3	2.67	134	13	3	4.33	184	4.5	4	1.13
35	12	4	3	85	7.5	2	3.75	135	14	8	1.75	185	5.5	3.8	1.45
36	1.5	1.76	0.85	86	11	4	2.75	136	13	3	4.33	186	3.8	1.5	2.53
37	9	12	0.75	87	13	6	2.17	137	13	3.5	3.71	187	6	2.8	2.14
38	1.75	1.5	1.4	88	10	2.5	4	138	9	2.5	3.6	188	4.3	4.2	1.02
39	25	20	1.25	89	11	4.5	2.44	139	4.3	2	2.15	189	5	1.1	4.55
40	18	14	1.29	90	5.5	2	2.75	140	12	4.5	2.67	190	5.2	2.1	2.48
41	15	10	1.5	91	5.5	2	2.75	141	11.5	5.5	2.09	191	5.5	5.5	1
42	15	6	2.5	92	6	1.5	4	142	10	4	2.5	192	5.6	3.3	1.7
43	15	17	0.88	93	5	1.8	2.78	143	8.5	5	1.7	193	4.8	2.5	1.92
44	16	4	4	94	6	1.4	4.29	144	11	2.8	3.93	194	5	4	1.25
45	16	4	4	95	6.5	1.2	5.42	145	2.5	2.8	0.89	195	4.9	3.4	1.44
46	15	6	2.5	96	3	1.6	1.88	146	12	5.5	2.18	196	4.2	2	2.1
47	16	6	2.67	97	7.5	3	2.5	147	15	8	1.88	197	6	5.8	1.03
48	11	2	5.5	98	8	2.7	2.96	148	10	3.5	2.86	198	4.3	4	1.08
49	12	4.5	2.67	99	6	2.5	2.4	149	14.7	10	1.47				
50	13	7	1.86	100	6.5	3	2.17	150	7	2.7	2.59				

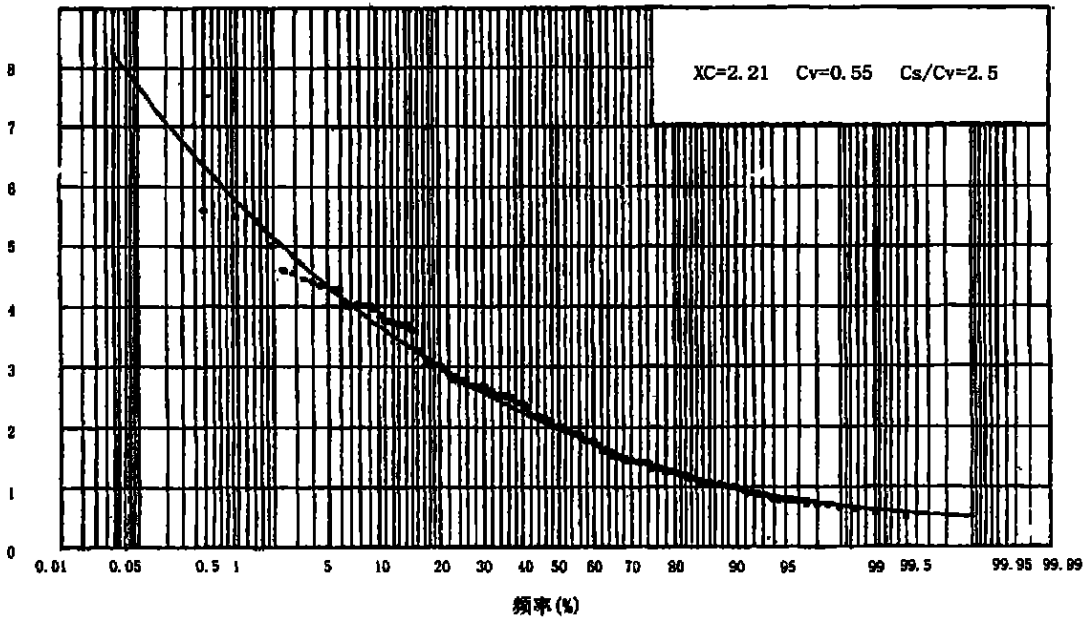


图 5 石林高宽比值与 P— III 型曲线拟合示意图

Fig. 5 the ratio of the stone forest height to its width comparing with P— III curve model.

(2)假设检验

为了从理论上能够证明石林的高宽比值服从于 P— II 型曲线分布, 必须进行假设检验。

设母体遵从的分布函数为 $F(x)$, 取自母体的样本为 x_1, x_2, \dots, x_n , 现在要用此组样本来假设检验

$$H_0: F(x) = F_0(x)$$

这里 $F_0(x)$ 是给定的 P— II 型曲线分布函数。

构造检验统计量

$$X^2 = \sum_{j=1}^k (f_j - F_j) / F_j \quad (1)$$

式中 f_j 为 k 组中第 j 个观察次数, 而 F_j 为同组的理论次数。

当自由度为 $(k-1)$ 时, 其分布近似于 X^2 。如果 $F_0(x)$ 中有 r 个参数, 这时 X^2 分布的自由度为 $(k-r-1)$ 。

对于给定置信度 α , 本文采用 $\alpha=0.05$, 可由 X^2 分布表按自由度为 $k-r-1$ 查出置信限 $X_{\alpha}^2(k-r-1)$, 再由样本值按 (1) 式算出 X^2 值。

当 $X^2 \geq X_{\alpha}^2$ 时, 则拒绝原假设 H_0

当 $X^2 < X_{\alpha}^2$ 时, 则接受原假设 H_0

本文把石林高宽比值以 0.4 为组距, 最小值从 0.5 开始, 到最大值 5.6 可分为 12 组, 最后一组由于次数太少, 规定为 4.9~5.6, 按 (1) 式进行计算 X^2

值, 得

$$(X^2 = 13.69) < (X_{0.05(12-2-1)}^2 = 16.919)$$

所以接受原假设 H_0 , 即认为石林高宽比值符合 P— II 型曲线分布模型。

从以上结论可以看出, 石林高宽比值在空间上的分布具有一定的规律性, 而不是一种纯随机性的分布, 比值较大的, 出现的频率较低, 如乃古石林; 而比值在 0.9~1.7 之间出现的频率最高, 如李子园石林区。

2.2.3 线密度

本次测量采用了线密度的概念来反映各地区石林的疏密程度, 所采用的方法是随机的沿着几组节理方向测量一定距离内的石林个数, 同时被测量的石柱具有一定的代表性。表 1 中数值表示相邻石柱之间的距离 (石柱中心点之间)。从统计结果来看, 各地区的石林线密度大小基本是一致的, 即相邻石柱之间的距离约为 7 m~8 m。但是, 由于各区域石林的宽度大小不一, 宽度大的, 石林景观较稠密, 如大、小石林区; 宽度小的, 石林景观较稀疏, 如普豆村、火车站、万年灵芝等地方的石林。

3 结论

1. 石林形态发育程度与石林所处的地貌部位和地层岩性、节理裂隙等因素有关。因此各地区石林

形态既存在相似性也存在明显的差异性。

2. 方差分析和聚类分析的结果能从定量的角度分析石林形态发育的某些规律。

3. 初步揭示了石林形态发育的内在本质数量规律: 石林的高度与宽度比值符合 P— III 型曲线分布模型。

参考文献:

[1] 云南石林研究组. 中国路南石林喀斯特研究[M] . 昆明: 云南科技出版社. 1997.
[2] 张寿越. 路南石林发育及其演进[J] . 中国岩溶, 1984 (2).
[3] 马希融. 云南石林地形学上初步之观察[J] , 理科论丛, 1936, 1

(1).

[4] 俞锦标, 王雪瑜, 王宗汉. 路南石林形成时代及古地理环境的初步分析[J] , 南京大学学报, 1983, (2).
[5] Song Lin Hua, Wang Fuchang. Lunnan Shilin Landscape in China[C] . Proceedings of 12th International Congress of Speleology, Vol. 1, Symposium8, LaChaux-de-Fonds, 1997.
[6] 张超, 杨秉康. 计量地理学基础[M] , 北京: 高等教育出版社, 1995.
[7] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计[M] , 北京: 高等教育出版社, 2000.
[8] 卢纹岱, 朱一力, 等. SPSS for Windows 从入门到精通[M] , 北京: 电子工业出版社, 1999.

Calculating Analysis of the Lunan Stone Forest Form

WANG Zai-gao, YANG Ming-de, LIANG Hong, PENG Jian and CENG Xing
(Resources and Science Department, Guizhou Normal University Guiyang 55001 China)

Abstract: The author analyzes the similarity and difference of Lunan stone forest forms from the perspective basin geomorphologic structure. The forms of Lunan stone forest are calculatedly analyzed by means of the Multivariate Statistical Analysis with the help of SPSS software on the basis of the datum that are measured from the Lunan stone forest forms. As a result the natural law of the stone forest forms is revealed in this paper i. e. the ratio of the stone forest height to its width is fixed in with P— III curve model.

Key words: stone forest form , calculating analysis , P— III curve.