

川西丘陵区景观空间格局分析

张世熔, 龚国淑, 邓良基, 李廷轩, 夏建国

(四川农业大学农学院, 四川雅安 625014)

摘要:采用分形维数、平均斑块面积、形状指数和伸张度分析了川西不同丘陵地貌区灌溉水田、一般旱地、果园、有林地和农村居民点斑块的空间格局特征,并用分形维数、平均斑块面积和 Shannon-Weiner 指数 3 种方法研究了浅丘、中丘和高丘的综合景观特征。结果表明,不同景观斑块在同一丘陵区内的格局特征不同,同一景观斑块在 3 种丘陵区的格局也有差异。浅丘、中丘和高丘的综合景观格局特点是随着地势起伏的增加、人类活动和土地利用强度的减弱,分形维数增加,从 1.1865 到 1.3123;斑块平均面积则依次变小,从 2.2204 hm^2 减少到 1.2403 hm^2 。3 种丘陵区的景观多样性指数分别为 1.7199、1.9802 和 2.0898。

关键词:景观;斑块;格局;分形维数;多样性指数

Analysis of landscape spatial patterns in the hill region in the west of Sichuan Basin

ZHANG Shi-Rong, GONG Guo-Shu, DENG Liang-Ji, LI Ting-Xuan, XIA Jian-Guo

(Agricultural College, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan, China, 625014). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 380~386.

Abstract: The spatial pattern characteristics of irrigation terrace, upland field, orchard, forest and residential were studied with fractal dimensions, mean patch area, shape index and elongation in the different hilly regions in the southwest of Mingshan County, Sichuan Province, China. Among the research approaches, the fractal dimensions were calculated by the perimeter-area based on the logarithm relationship between perimeter and area of a landscape patch. From east to west, the relief of low, middle and high hill appears in the research district. Its total area of the regional area was 853.1 hm^2 , in which those of low, middle and high hill were 250.9 hm^2 , 310.7 hm^2 and 291.5 hm^2 , respectively. The landscape patch map was obtained from aerial photography by the X-3 parallax map measurer after field investigation. On the map the patch number for each landscape type was determined according to the total patch number of this one in certain hill region. 5~7 patches for irrigation terrace, upland field, orchard, forest and residential according to the number were sampled randomly, respectively.

The research results of this paper indicated that the patch pattern of one landscape element among the five types was different from that of other one in the same hilly region, and the spatial pattern of the same type varied in the three hilly regions. In low hill, irrigation terrace is absolutely essential factor in this region. Its patches distribute in the bed and sides of the gulches with fine irrigation condition. The patches of residential are centralized relatively at the foot of the hill with fine traffic. Upland field, orchard and

基金项目:四川省教委课题资助项目(01LA02)

收稿日期:2001-02-25; **修订日期:**2001-10-12

作者简介:张世熔(1963~),男,四川泸县人,博士,教授。主要从事农业资源调查及评价方向的研究。ZSR01@263.net

Foundation item: Project Supported by Education Committee of Sichuan(No. 01LA02)

Received date: 2001-02-25; **Accepted date:** 2001-10-12

Biography: ZHANG Shi-Rong, Doctor, Professor. Mainly engaged in the research of survey and evaluation of agricultural resources. Email: ZSR01@263.net

forest scatter the upper part of the hill or the place being irrigated difficultly. The fractal dimensions of irrigation terrace were 1.1024, and the smallest among the five types. Otherwise, the dimensions for residential were the largest among the five types because the patch shapes were more complex than those of the other types. From the patch size, mean patch area of irrigation terrace is 7.2180 in low hill so that the landscape type was regard as the background of this region. The value of shape index for the irrigation terrace was the largest among them but the patch shapes of upland field and orchard were close to circle. The elongation for the residential was the smallest among the landscapes. In middle hill, the distribution of forest and unused land was more than those in low hill and the landscape patches appeared strip. The former distributed in the middle and foot parts of the hill and the later in the upper part of the hill with stripe. The distribution upper boundary of irrigation terrace went down, and centralized on the gulch bed. Its fractal dimensions for the landscape type were from 1.2109 to 1.4072. The patches of Irrigation terrace, upland field and forest were larger than those of the other two types in the region. From the shape index, the shapes for orchard and residential were closer to circle than those of the other three landscapes. The elongations of the landscape patches varied from 0.2208 to 0.5276. In the high hill, the land was developed weakly in the three regions and patterns of the landscapes patches were more complex and diverse. The fractal dimensions of forest patches were the highest among the five landscape elements and those of orchard, residential, and irrigation terrace reduced in order. From the mean patch area, the patch areas of upland field and forest were larger than those of the other three types. The elongation of the five types was obvious but only residential shapes were close to circle.

The comprehensive pattern characteristics in the low hill, middle hill and high hill were that the fractal dimensions increased from 1.1865 to 1.3123, and mean patch area became smaller and smaller, from 2.2204hm² to 1.2403 hm² with the relief increment, and reduction of human activities and landuse. The diversity indices were 1.7199, 1.9802 and 2.0899 in the three hilly regions, respectively. Therefore, human activities and landuse resulted in decrease of landscape diversity indices and fractal dimensions in the research district.

The research results showed that one approach is difficult to describe the landscape spatial patterns in the west of Sichuan Basin because of the diversities of the natural and social condition.

Key words: landscape; patch; pattern; fractal dimensions; diversity

文章编号:1000-0933(2003)02-0380-07 中图分类号:Q149,X171.1 文献标识码:A

景观空间格局(landscape spatial pattern)主要是指不同大小和形状的景观斑块在空间上的排列状况。它是景观异质性(heterogeneity)的重要表现,反映各种生态过程在不同尺度上的作用结果^[1,2]。由于景观格局的形成是在一定地域内各种自然环境条件与社会因素共同作用的产物,研究其特征可了解它的形成原因与作用机制,为人类定向影响生态环境并使之向良性方向演化提供依据。国外从20世纪70年代转向景观要素斑块的定量化研究,近10a来开始较多地采用分形学的方法研究其空间格局特征^[3~7]。国内相关研究报道较少,较有代表性的是马克明等人和常学礼等人分别用周长-面积法研究了北京东灵山林地和科尔沁沙地斑块的分形维数^[8,9]。但国内外不同研究者采用的分形维数测算方法各不相同;即使是同一种方法,往往也存在差异。有的研究采用的计算公式并不完全符合分形学原理,董连科和李后强等曾对几种分形维数的计算公式进行过详细讨论^[10,11]。

国内关于农业生态区内景观斑块特别是人口稠密的南方丘陵区二级土地利用类型斑块的空间格局特征的研究较少,其定量化研究也鲜见报道。川西丘陵区是四川盆地主要的农业生态区,其降水丰沛,热量充足,土地类型与生态类型都复杂多样。而有关该区域内景观格局的定量研究,还未见报道。因此,本文拟采用正规的周长-面积法计算景观斑块的分形维数。同时采用平均斑块面积、形状指数和伸张度3个指标

与之配合,以便更好地反映某类景观斑块空间格局的定量特征;采用平均斑块面积和 Shannon-Weiner 指数同其配合反映不同类型丘陵区的斑块综合特征。

1 研究区概况

研究区位于四川省名山县城西镇西南部,东经 $103^{\circ}02'27''\sim 103^{\circ}06'48''$,北纬 $30^{\circ}02'35''\sim 30^{\circ}06'37''$ 。该区域属中亚热带湿润气候,年均温 15.5°C ,年降水量 1519.9mm ,6~9 月的降水量占全年降水量的 72.6%,年蒸发量 1029.6mm 。区内出露地层以老第三系名山群、白垩系灌口组和夹关组为主,自东向西依次形成浅丘、中丘和高丘。研究区内土壤主要是紫色土和水稻土,并有少量黄壤和潮土分布。

该区现有人口 3902 人,农村劳动力 2247 人,人均年纯收入 1065.0 元。整个研究区幅员面积 853.1hm^2 ,其中浅丘、中丘和高丘的土地面积分别为 250.9hm^2 、 310.7hm^2 和 291.5hm^2 ,其一级土地利用类型面积列于表 1。各丘陵区内耕地、园地、林地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用土地构成比例分别是浅丘区 58.18%、6.43%、4.62%、13.19%、0.88%、3.91%、12.79%;中丘区 39.62%、10.69%、15.29%、12.78%、1.16%、2.70% 和 17.76%;高丘区 34.44%、9.85%、27.48%、8.16%、1.03%、2.09% 和 16.95%。因此,浅丘区是典型的农业利用区,中、高丘区则是农林交错区。

表 1 各土地利用类型面积(hm^2)

Table 1 The areas of landuse types

区域 Region	土地面积 Land area	耕地 Cropland	园地 Garden plot	林地 Forest land	居民点及工矿用地 Residential and industry-mine land	交通用地 Traffic land	水域 Watershed	未利用土地 Unused land
浅丘区 ^①	250.9	146.0	16.1	11.6	33.1	2.2	9.8	32.1
中丘区 ^②	310.7	123.1	33.2	47.5	39.7	3.6	8.4	55.2
高丘区 ^③	291.5	100.4	28.7	80.1	23.8	3.0	6.1	49.4

(1)Low hill; (2)Middle hill; (3)High hill

2 研究方法

2.1 抽样方法 本研究将 1:1.6~1:1.8 万的航空摄影像片经实地野外调绘、室内 X-3 视差测图仪转绘成 1:1 万土地利用图作为抽样底图,根据浅丘、中丘和高丘区内同一土地利用类型斑块的数量,分别随机抽取灌溉水田、一般旱地、果园、有林地和农村居民点 5 种二级土地利用类型斑块 5~7 个,进行量测统计。

2.2 景观格局分析

设图斑的长轴长为 L ,相垂直的短轴长为 W ,周长为 P ,面积为 A 。评价景观格局特征的指标分形维数、平均斑块面积、形状指数和伸张度的计算公式以及景观多样性公式如下分别给出。

$$(1) \text{分形维数}(D)^{[10-12]} \quad \ln(P/S) = D \ln a_0 + D \ln(A^{1/2}/S) \quad (1)$$

式中, S 是码尺; D 为斑块的分形维数; a_0 为表示斑块扁率的形状因子。实际计算时将各次量测时的码尺、周长和面积值代入式(1)进行线性回归相关分析,令所得直线的斜率为 B ,截距为 C ,则:

$$\text{分形维数 } D = B \quad (2)$$

$$\text{形状因子 } a_0 = e^{C/D} \quad (3)$$

为了不产生信息损失,本文在计算同一丘陵地貌区某类景观要素斑块的分形维数时,将该类景观各块的量测数据全部代入进行回归相关分析;在计算某一丘陵地貌区景观格局的分形维数时,则将该区域内各类斑块的量测数据全部参与计算。分形维数特别用于对斑块周界形状的褶皱程度或不规则程度的描述。

$$(2) \text{斑块面积}(PA) \quad PA = \left(\sum_{i=1}^m A_i \right) / m \quad (4)$$

式中, i 为同一景观要素的斑块序号; A_i 为第 i 个斑块的面积; m 是同一景观要素的斑块数。它能较好地表示斑块的大小。

$$(3) \text{形状指数}(SI) \quad SI = P / (2 \sqrt{\pi A}) \quad (5)$$

它是斑块周长与同面积圆的周长之比,越接近于 1.0,斑块圆度越好。

$$(4) \text{伸张度}(E) \quad E=W/L \quad (6)$$

伸张度通过短轴与长轴之比描述斑块的伸长性,其值越接近于 1.0,斑块形状越接近于正方形;反之,其值越接近 0.0,斑块形状越狭长。

$$(5) \text{Shannon-Weiner 指数} \quad H = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (7)$$

式中, H 为景观多样性指数或 Shannon-Weiner 指数; P_i 是斑块类型 i 占景观面积的比例; m 为同一地貌区二级土地利用类型或斑块类型数。其值越大,说明区域景观类型越丰富,反之则表明区域景观类型越单一。

3 结果与分析

3.1 同一丘陵地貌区内不同景观要素的格局分析

由于自然环境与社会经济条件不同,灌溉水田等 5 种景观要素在浅丘、中丘和高丘区的分形维数、平均斑块面积、形状指数及伸张度均有一些差异(表 2),下面分区域进行讨论。

表 2 不同丘陵区景观斑块格局统计结果

Table 2 The statistical results of landscape patches in the different hilly regions

地貌区 Geomorphic region	斑块类型 Patch type	分形维数 Fractal dimensions	斑块面积 Patch area		形状指数 Shape index		伸张度 Elongation	
			Mean	CV(%)	Mean	CV(%)	Mean	CV(%)
浅丘 Low hill	灌溉水田 Irrigation terrace	1.1204	7.2180	50.40	1.4676	13.26	0.6055	14.84
	一般旱地 Upland field	1.1855	0.7916	42.33	1.2895	14.75	0.6209	31.26
	果园 Orchard	1.1454	0.7186	59.84	1.2187	12.02	0.6574	31.23
	有林地 Forest	1.2207	0.6821	79.08	1.2716	19.00	0.5783	37.76
	农村居民点 Residential	1.2443	2.1386	48.30	1.4634	20.12	0.4641	41.07
中丘 Middle hill	灌溉水田 Irrigation terrace	1.3042	4.3083	43.94	1.676	31.65	0.2208	51.61
	一般旱地 Upland field	1.4072	3.8700	56.01	1.7579	24.77	0.5276	29.46
	果园 Orchard	1.2109	0.6067	13.74	1.1943	16.93	0.3972	41.87
	有林地 Forest	1.2805	3.1417	59.80	1.7828	13.28	0.3873	49.11
	农村居民点 Residential	1.2103	1.0700	62.97	1.3348	14.21	0.2913	52.24
高丘 High hill	灌溉水田 Irrigation terrace	1.2552	0.6257	38.97	1.3346	9.41	0.4004	39.98
	一般旱地 Upland field	1.2088	5.6350	53.15	1.6342	17.11	0.5244	34.19
	果园 Orchard	1.3466	1.0567	48.97	1.4032	24.51	0.5350	23.71
	林地 Forest	1.4716	2.9633	41.53	1.8814	15.40	0.3302	61.08
	农村居民点 Residential	1.2617	0.4375	49.01	1.1721	9.25	0.4389	29.10

(1)浅丘区 浅丘区地势起伏多在 20~40m 以内,交通条件方便,人口密度高(584 人/km²),人类对自然生态系统的改变最明显,土地利用程度高。其景观要素以灌溉水田为主,其斑块分布于浅丘冲沟及其两侧灌溉条件较好的部位;农村居民点斑块分布也较为集中,多分布于冲沟两侧交通方便的丘体下部;一般旱地、果园和有林地则零星分布于丘体上部或难于灌溉的地方。①本区灌溉水田的分形维数为 1.1204,是 5 种土地利用类型中最小的,表明它的斑块形状最规整;而农村居民点的分形维数则最大,达 1.2443,其斑块形状稍为复杂一些。②从浅丘区斑块的面积大小看,灌溉水田斑块大而集中,斑块平均面积达到 7.2180hm²,几乎可以看作该区域的本底;其次是农村居民点,达 2.1386 hm²;其余 3 种土地类型的斑块均较小,仅介于 0.6821~0.7916 hm²。③形状指数的统计结果为灌溉水田>农村居民点>一般旱地>有林地>果园,表明在 5 种景观类型中果园斑块的形状较为接近圆形。④5 种景观类型的伸张度值介于 0.4641~0.6574 之间,因此 5 类斑块都有一定的伸长性,只是农村居民点的长宽之比稍大,长条形更为明显。

(2)中丘区 该区地势起伏多在 50~100m 以内,交通条件较浅丘区稍差,人口密度有所降低(504 人/hm²),人类活动对自然生态系统的改变与调控也要比浅丘区稍弱,林地和未利用土地所占比例明显提高。其景观类型斑块多呈长条状分布。灌溉水田分布上限下移,集中分布于中丘下部、冲沟及其支沟沟槽内;一般旱地和有林地明显增多,前者长条型斑块分布于丘陵的中部和下部,后者呈条状分布于丘体上部;

农村居民点斑块明显变窄变小,分布于水源条件和交通条件都较好的丘体下部;果园仍零星分布于丘体各处或农村居民点附近。①5种土地利用类型中除农村居民点外的分形维数均较浅丘区高,介于1.2109~1.4072之间,表明这4种景观类型随着丘体相对高度的增加斑块形状变得更为复杂;但农村居民点的分形维数较浅丘区略有降低(1.2103),其斑块形状比浅丘区稍为规则一些。②从斑块的大小分析,灌溉水田、一般旱地和有林地的斑块面积均较大,斑块平均面积依次为4.3083hm²、3.8700hm²和3.1417hm²;农村居民点斑块明显比浅丘区小,仅1.0700hm²;果园斑块面积也略有减少,为0.6067hm²。③形状指数是有林地>一般旱地>灌溉水田>农村居民点>果园,即果园和农村居民点斑块形状较为接近园形。④5种景观类型伸张度值差异较大,其中一般旱地的伸张度值最大(0.5276),其次是果园和有林地(0.3972和0.3873),较小的是农村居民点(0.2913)和灌溉水田(0.2208)。因此,各土地类型斑块都有明显的伸长性,特别是灌溉水田和农村居民点,分别为长条状或树枝状。

(3)高丘区 该区地势起伏多在100~150m以内,交通条件较差,人口密度大幅降低(299人/hm²),土地利用强度明显减弱,景观斑块格局呈复杂多样性。灌溉水田不仅斑块数量少,而且斑块面积也小,集中分布于冲沟沟槽内;一般旱地斑块面积扩大,分布地形从丘陵的中上部向下部以及冲沟沟槽延伸,成为高丘区内主要的景观要素。有林地在该区域分布比其在中丘区的分布更为集中,其斑块呈长条状或枝状分布于丘体中上部;农村居民点斑块继续变小,零星分布于水源条件和交通条件都较好的丘体中部或下部;果园斑块面积较中丘区有所增加,分布于丘体中部或农村居民点附近。①从5种景观类型斑块的分形维数值看,有林地斑块是该地貌区内分形维数最高的景观要素;果园、农村居民点和灌溉水田斑块的分形维数依次降低;一般旱地斑块相对规则,其分形维数最小。②从高丘区内斑块的平均面积分析,一般旱地和有林地的斑块面积均较大,斑块平均面积分别为5.6350hm²和2.9633hm²;果园斑块面积也较浅丘区和中丘区大,为1.0567hm²;灌溉水田和农村居民点斑块均较小,分别仅为0.6257hm²和0.4375hm²。③形状指数值为有林地>一般旱地>果园>灌溉水田>农村居民点,即仅有农村居民点斑块形状较为接近园形。④5种景观类型的伸张度值差异仍较大,但比其在中丘区的伸张度值差异有所降低。其中,果园的伸张度值最大(0.5350),其次是一般旱地(0.5244),农村居民点和灌溉水田较小(0.4389和0.4004),有林地最小(0.3302)。因此,各类景观斑块的伸长性都明显,特别是有林地的长条状或树枝状最为突出。

综合以上分析,浅丘、中丘和高丘3种丘陵区中5类景观要素格局变化的总体趋势分别为:①灌溉水田随着地势起伏的增加,从接近本底(占区域面积47.54%)变为略占优势的景观斑块(占区域面积15.80%),斑块平均面积依次变小。中丘区的斑块形状最不规则,长条状或树枝状分布最明显,因此其分形维数、形状指数最大,而伸张度值最小。②一般旱地随丘陵地势起伏的增加,斑块平均面积扩大,伸张度值降低,条带状分布越趋明显。斑块形状仍以中丘区最复杂,其分形维数和形状指数皆最高。③果园斑块在3种丘陵区内部都较小,其中尤以中丘区的最小。因其斑块形状仍较复杂,3种形状指标的评价结果不完全一致。④有林地在中、高丘区的斑块大,在浅丘区的斑块小。其斑块形状的复杂性却随地势起伏的增加而增加,从浅丘区较为规则的小斑点状变为高丘区边缘褶皱很多的长条状或树枝状。⑤农村居民点随地势起伏的增加,斑块面积变小。但3种形状指标的评价结果也不大一致;总体上看,该类斑块在中丘区较狭长,高丘区最接近圆形。

3.2 不同丘陵地貌景观格局的综合分析

人类活动的差异和土地利用强度的不同,不会仅仅影响上述5种二级土地利用斑块的空间格局,它们对不同丘陵地貌的综合景观格局也应有一定影响。为了分析研究区内3种丘陵地貌的景观综合格局,本文分别计算了灌溉水田等5种景观类型组合的分形维数(表3)、区域全部景观类型(包括其它未研究的景观类型)的平均斑块面积与Shannon-

表3 不同丘陵区景观格局的综合分析

Table 3 The comprehensive analysis of landscape in the different hilly regions

地貌区 Geomorphie region	分形维数 Fractal dimensions	斑块面积(hm ²) Patches area		Shannon- Weiner 指数 Shannon- Weiner index
		Mean (CV(%)		
浅丘 Low hill	1. 1865	2. 2204	134. 35	1. 7199
中丘 Middle hill	1. 2803	1. 3165	80. 35	2. 0898
高丘 High hill	1. 3123	1. 2403	114. 35	1. 9802

Weiner 指数。

(1)分形维数 3种丘陵区5类景观要素斑块面积与周长之间双对数散点图的线性关系都很好(图1),表明周长-面积法用于计算丘陵区多种景观类型斑块综合的分形维数也是适用的。计算结果表明,3种丘陵区分形维数值依次为浅丘<中丘<高丘。因此,从景观斑块形状总体的复杂程度看,浅丘区相对简单,而高丘区相对复杂,中丘区介于前二者之间。若将3种丘陵区斑块量测数据一起分析,所获得的分形维数(1.2847)更接近于中丘区斑块的分形维数(1.2803)。因此,中丘区斑块的复杂程度较能代表川西丘陵区总体斑块的复杂程度。

(2)平均斑块面积 从区域全部景观要素的平均斑块面积看,浅丘>中丘>高丘。这是因为浅丘因地形起伏较小,土地生态系统受人为因素的作用强,近70%的土地开垦成了以灌溉水田为主的耕地,其斑块面积大。因此,区域斑块的平均面积也大。随着地形起伏的增加,中丘和高丘不同地形部位水热等环境条件的变化加剧,使中丘和高丘的斑块平均面积相继变小。

(3)Shannon-Weiner 指数 该指数反映了区域景观格局中要素的多样性。从表3可知,浅丘区因受人为因素的作用强度最大,其Shannon-Weiner指数最低;而中丘区因水热等自然环境条件的变化加剧以及受较强的人为因素影响的综合作用,其景观要素的多样性程度最高;高丘区情况与中丘区相似,但人为因素作用强度进一步减弱。因此其景观要素的多样性程度高于浅丘区,但又略低于中丘区。

4 结论与讨论

(1)用分形维数、平均斑块面积、形状指数和伸张度分析了四川盆地西部不同丘陵地貌区灌溉水田、一般旱地、果园、有林地和农村居民点斑块的空间格局特征。结果表明:由于人类活动和土地利用影响的差异,不同景观斑块在同一丘陵区内的格局特征不同,同一景观斑块在3种丘陵区的空间格局也有差异。

(2)用分形维数、平均斑块面积和Shannon-Weiner指数3种方法研究了浅丘、中丘和高丘的综合景观特征。结果表明,浅丘、中丘和高丘的综合景观格局特点是随着地势起伏的增加、人口密度依次降低和土地利用强度减弱,分形维数增加,从1.1865、1.2803到1.3123;斑块平均面积则依次变小,依次为2.2204 hm^2 、1.3165 hm^2 和1.2403 hm^2 。3种丘陵区的景观多样性指数都较高,分别是1.7199、1.9802和2.0898。

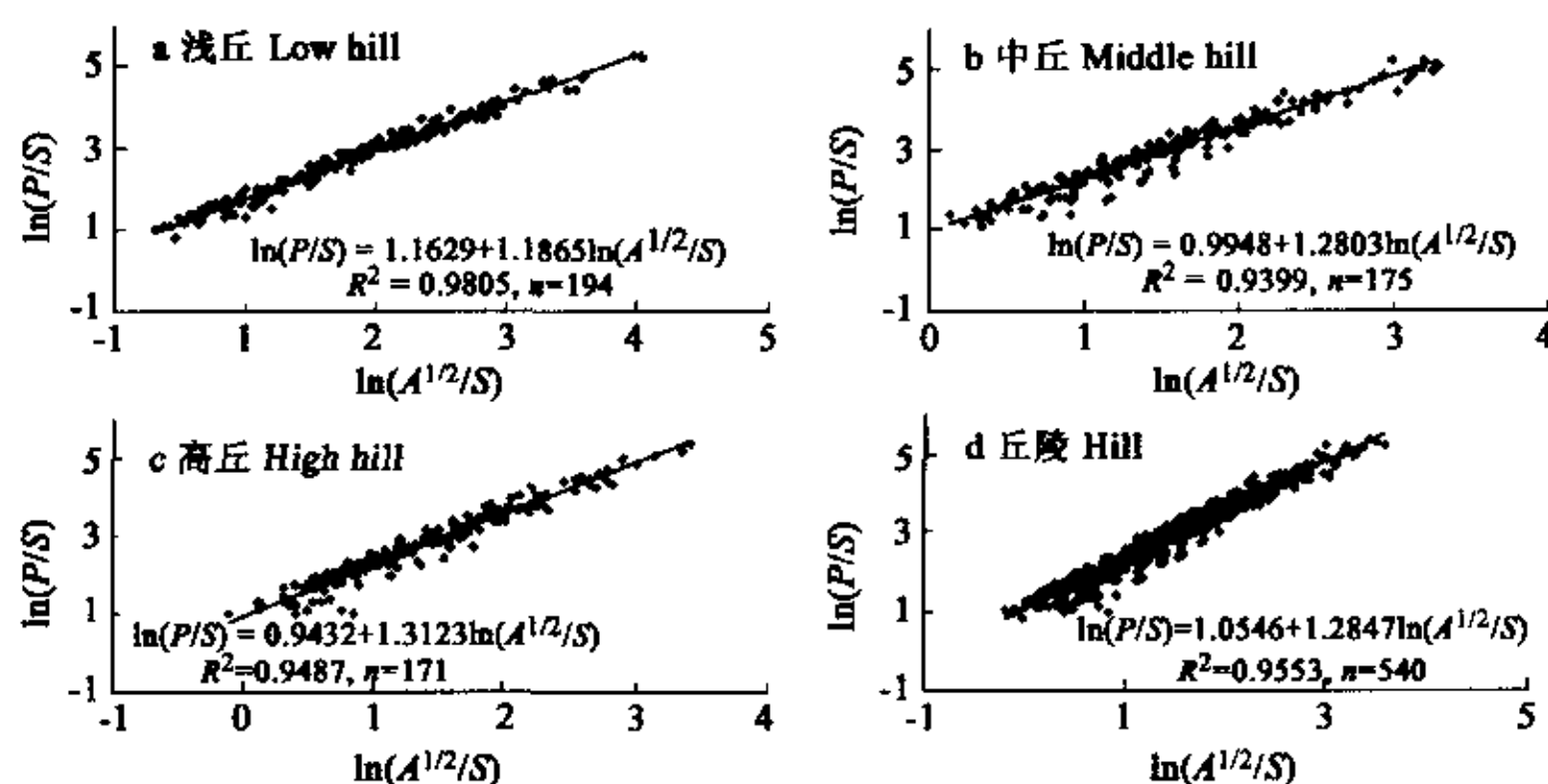


图1 丘陵区景观斑块面积与周长的双对数图

Fig. 1 The log-log plot of the areas and perimeters for landscape patches in the hilly regions

(3)由于复杂多样的自然和社会经济条件的共同作用,四川盆地西部丘陵区景观类型丰富,斑块大小各异且形状复杂,难于用单一指标或方法同时表示其大小及形状特征。例如,分形维数是国内外研究景观格局采用较多的方法,但它主要描述的是斑块周界的褶皱或不规则程度,对斑块大小的描述则很难看出。因此对于四川盆地西部丘陵区这种复杂的自然和社会经济条件下形成的区域景观格局,宜采用多个定量指标共同描述。

References

- [1] Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. Quantitative methods in landscape pattern analysis. *Journal of Mountain Science*, 2000, **18**(4): 346~352.
- [2] Pan D, Domon G, Blois S de. Temporal (1958~1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecology*, 1999, **14**(1): 35~52.
- [3] With K A, Cadaret S J, Davis C. Movement responses to patch structure in experimental fractal landscapes. *Ecology*, 1999, **80**(4): 1340~1353.
- [4] Pearson S M, Turner M G, Drake J B. Landscape change and habitat availability in the Southern Appalachian Highlands and Olympic Peninsula. *Ecological Applications*, 1999, **9**(4): 1288~1304.
- [5] Schumaker N H. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, 1996, **77**(4): 1210~1225.
- [6] Nikora V I, Pearson C P, Shankar U. Scaling properties in landscape patterns: New Zealand experience. *Landscape Ecology*, 1999, **14**(1): 17~33.
- [7] Antrop M, Brandt J. Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe. *Landscape Ecology*, 2000, **15**(3): 257~270.
- [8] Ma K M, Fu B J. Fractal properties of patch perimeters in a disturbed montane landscape, Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 1999, **11**(2): 195~199.
- [9] Chang X L, Wu J G. Spatial analysis of pattern of sandy landscapes in Kerqin, Inner. Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(3): 225~232.
- [10] Dong Lian Ke. *Fractal theory and its application*. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1991. 64~74.
- [11] Li H Q, Wang F Q. *Fractal theory and its application in molecular science*. Beijing: Science Press, 1997. 184~186.
- [12] Wang Q, Wu H H. *Fractal description and automated generalization of cartographic information*. Wuhan: Wuhan Technical University of Survey and Mapping Press, 1998. 53~57.

参考文献

- [1] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. 山地学报, 2000, **18**(4): 346~352.
- [9] 常学礼, 邬建国. 科尔沁沙地景观格局特征分析. 生态学报, 1998, **18**(3): 225~232.
- [10] 董连科. 分形理论及其应用. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1991. 64~74.
- [11] 李后强, 汪富泉. 分形理论及其在分子科学中的应用. 北京: 科学出版社, 1997. 184~186.
- [12] 王桥, 毋河海. 地图信息的分形描述与自动综合研究. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998. 53~57.

