

文章编号: 1001-1498(2009)04-0470-05

常用景观指数的因子分析和筛选方法研究

何 鹏, 张会儒*

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:本文以 42 幅云南省一平浪林场卫星遥感图为数据源, 采用相关分析、因子分析和敏感性分析等方法, 对 13 个常用的景观指数进行了分类和筛选方法的研究。研究结果显示大多数指数间呈现极高的相关性, 通过因子分析提取出了累积贡献率达 82.03% 的 3 个公因子, 遂将 13 个景观指数分为了 3 大类, 并利用敏感性系数筛选出了 4 个具有良好灵敏度、能充分反映生态学意义的代表性景观指数, 即斑块个数、平均最近距离、面积加权的平均形状指数和散布与并列指数。本方法有效地解决了景观分类和评价中指数繁多冗余的问题。

关键词:景观指数; 因子分析; 敏感性分析

中图分类号: Q149 文献标识码: A

Study on Factor Analysis and Selection of Common Landscape Metrics

HE Peng, ZHANG Hui-nu

(Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Based on data from 42 remote sensing images of Yipinglang Forest Farm in Yunnan Province, 13 common landscape metrics were classified and selected by using the methods of correlation coefficient analysis, multivariate factor analysis and sensitivity analysis. The results indicated that most of them had significant relationship, and three factors were identified, which can explain about 82.03% of the variation in the 13 metrics. And the 13 landscape metrics were classified into three groups. Four representative landscape metrics which can perform highly sensitive and reflect eco-system well were selected by sensitivity index, which are number of patches (NP), euclidean nearest neighbor distance (MNN), area-weighted mean shape index (MSI), interspersion & juxtaposition index (JI). This method can solve the problem of metrics redundancy efficiently in landscape classification and evaluation.

Key words: landscape metrics; factor analysis; sensitivity analysis

景观指数是描述景观格局及变化, 用来建立格局与景观过程之间的联系的定量化研究指标。在国内外的研究中, 众多学者用一些景观指数对景观结构及动态变化进行了分析, 但是事实上很多景观指数之间不满足相互独立的统计性质, 所以在指数的取舍和对景观格局描述的说服力上稍显孱弱^[1]。同时, 部分指数的生态学意义并不明显, 尤其针对林学层面的实践意义更是模糊不清。面对繁多的景观指数, 按照其描述的意义对其进行功能的划分也没有形成一致的结论。

在景观指数分类的研究中, 肖笃宁^[2]按照景观生态学的基本原理将景观指数分为了 2 大类 6 小类两级, 郭晋平^[3]在研究森林景观的过程中把景观指数按其表述的意义分为了 3 类: 斑块特征、景观异质性和相互关系。也有很多学者按照指标描述的对象和尺度将其分为斑块水平、景观要素水平、整体景观水平 3 类。在指数统计性质研究方面, Riitters 等^[4]用 85 张土地利用图为基本数据对 55 个景观指数用因子分析的方法进行了两次维数压缩, 将 55 个景观指标压缩成具有代表性的 5 维。Samuel A. Cush-

收稿日期: 2008-07-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑课题 (2006BAD03A08) 和专题 (2006BAD23B0202)

作者简介: 何鹏 (1984—), 男, 四川广元人, 在读硕士生, 研究方向: 森林可持续经营。

* 通讯作者: 张会儒, 男, 博士, 研究员, 主要从事森林可持续经营、森林资源监测研究。

man^[5]用主成分分析、聚类分析方法对 49 个景观要素水平指数和 54 个整体景观水平的指数进行了筛选,定义出 24 个景观要素水平指数和 17 个整体景观水平指数,提出了筛选指数的要点:优势性、普遍性和相容性。在国内,王新明^[6]也用类似的方法对大尺度下 13 个陆地景观结构指数进行了统计学分析。其余更多的研究集中在指数间的相关性上^[7-8]。对于景观指数敏感性的问题,部分学者使用真实或模拟的景观格局进行了定性分析,如李秀珍等^[9]通过对比 8 个景观指数对由中性随机模型产生的不同格局系列(类型数量、图区范围、分辨率、类型相对面积、聚集程度)在景观总体水平和不同类型水平上的反应,定性地描述了部分景观指数对不同格局的变化和灵敏程度,提出了慎用景观指数的建议。此外,杨丽^[10]、Saura Santiago^[11]、Evelyn Uuemaa^[12]、游丽平^[13]、Huang C^[14]等人也分别就景观粒度、空间尺度、景观类型数量等某一方面对景观指数的影响分别展开了探讨。纵观这些研究,大多数学者使用了上面某一种方法对景观指数进行了统计学或其他定性的研究,缺少整体考虑筛选的通用方法、筛选结果的生态学意义以及指数的灵敏程度。

本文利用景观指数计算软件包 Fragstats 对云南省楚雄州禄丰县一平浪林场 42 幅景观分类图的计算结果,使用相关分析、因子分析和敏感性分析等方

法对常用的 13 个景观指数的相关性进行分析,在此基础上对指数进行分类和代表性指数的提取,筛选出几个较为灵敏、能够客观反应生态学意义的指数,为解决景观指数繁冗的问题和简化景观格局的描述提供了便利。

1 数据和方法

1.1 数据来源及处理

本文数据来源为云南省楚雄州禄丰县一平浪林场 6 个营林区 1987 年、1989 年、1991 年、1995 年、1998 年、2001 年的 TM 影像和 2004 年 SPOT5 等 7 期共计 42 幅卫星遥感图像,地域面积从 1 362.8 hm² 到 3 533.1 hm² 不等。对遥感图像进行专家分类,将林场的景观划分为林地、灌木林地、村镇、荒山、农田、水体、其他等 7 种类型,然后把遥感专家样地与该地块的分类结果比较,可以得到分类方法的精度估计。结果显示,除村镇和灌木林地的分类精度稍低外,通常林地、水体等类型的分类精度达 100%。受数据源和地块面积的制约,采用 20 m 边长的正方形作为最小斑块的单位,在消除基于象元分类产生的孤立斑块后,使用 Fragstats 软件类型计算出了林地景观的 13 种常用的景观指数。13 个指数的计算公式和说明^[15]见表 1。数据情况见表 2。

表 1 本文应用的 13 个景观指数

景观指标	计算公式	说明
斑块比例 (LAND%)	$LAND\% = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times 100/A$	$0 < LAND < 100$, 等于某一斑块类型的总面积占景观整体面积的百分比。其值越大,说明此种斑块覆盖丰富。
斑块个数 (NP)	$NP = n_i$	$NP > 1$, 等于某一类型斑块的总个数。
斑块密度 (PD)	$PD = \sum_{j=1}^m N_j/A$	$PD > 0$, 等于单位面积上某种类型斑块的个数。能够反映斑块的密集程度。
最大斑块指数 (LPI)	$LPI = \max(a_{ij}) \times 100/A$	$0 < LPI < 100$, 等于某一类型的最大斑块占总体面积的比例,能够反映斑块的集中程度和景观的优势类型。
斑块平均大小 (MPS)	$MPS = \sum_{j=1}^n a_{ij}/n_i$	$MPS > 0$, 等于某一类型斑块的平均大小,可以反映景观的破碎程度。
面积加权的平均形状指数 (MSI)	$MSI = \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \left[\sum_{j=1}^n \left(0.25 p_{ij} / \sqrt{a_{ij}} \right) \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right) \right]$	$MSI > 1$, 反映斑块形状的复杂程度。
面积加权的平均分形指数 (MPFD)	$MPFD = \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \left[\sum_{j=1}^n \left(2 \ln 0.25 p_{ij} / \ln a_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right) \right]$	$1 < MPFD < 2$, 用分维理论量测斑块空间形状复杂性的指标。
平均最近距离 (MNN)	$MNN = \sum_{j=1}^n h_{ij}/n_i$	$MNN > 0$, 能够反映同类型斑块的离散或团聚的分布状况。
平均临近指数 (MPI)	$MPI = \left(\sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{h_{ij}^2} \right) / n_i$	$MPI > 0$, 能够量度同类斑块间的邻近程度和景观的破碎度。
香农多样性指数 (SHDI)	$SHDI = - \sum_{i=1}^m \left(P_i \ln P_i \right)$	$SHDI > 0$, 是一种基于信息理论的测量指数,能反映景观的多样性。
香农均匀度指数 (SHEI)	$SHEI = - \sum_{i=1}^m \left(P_i \ln P_i \right) / \ln m$	$0 < SHEI < 1$, 能反映景观组成的均匀度和优势度,是多样性指标的一个重要方面。
散布与并列指数 (UI)	$UI = - \sum_{k=1}^{m'} \left[\left(\frac{e_{ik}}{e_{ik}'} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{e_{ik}'} \right) \right] \times 100 / \ln(m-1)$	$0 < UI < 100$, 代表各个斑块类型间的总体散布与并列状况,能够量度斑块间的连接性和分布格局。
蔓延度指数 (CONTAG)	$CONTAG = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{P_i \cdot g_{ik}}{g_{ik}'} \right) \ln \left(\frac{P_i \cdot g_{ik}}{g_{ik}'} \right) \right] / 2 \ln m \right\} \times 100$	$0 < CONTAG < 100$, 描述景观中不同斑块类型的团聚程度和蔓延趋势。

表 2 数据概况

景观指数	样本数	最小值	最大值	平均值	标准方差	变动系数
斑块比例 (LAND%)	42	44.500	96.100	75.057	14.077	0.188
斑块个数 (NP)	42	15.000	389.000	147.550	104.516	0.708
斑块密度 (PD)	42	0.007	0.221	0.070	0.051	0.719
最大斑块指数 (LPI)	42	24.700	99.900	75.648	26.208	0.346
斑块平均大小 (MPS)	42	2.010	147.700	25.058	30.838	1.231
面积加权的平均形状指数 (MSI)	42	3.734	18.355	10.617	4.299	0.405
面积加权的平均分形指数 (MPFI)	42	1.281	1.541	1.431	0.071	0.050
平均最近距离 (MNN)	42	103.500	565.500	191.469	95.571	0.499
平均临近指数 (MPI)	42	0.365	15.597	1.783	2.503	1.404
香农多样性指数 (SHDI)	42	0.010	2.674	0.848	0.855	1.008
香农均匀度指数 (SHEI)	42	0.000	0.017	0.005	0.005	1.005
散布与并列指数 (II)	42	27.780	49.330	35.804	4.889	0.137
蔓延度指数 (CONTAG)	42	85.960	97.910	91.180	3.466	0.038

1.2 相关分析原理

本研究使用 Spearman 相关系数作为相关分析的指标。然后采用双尾 t 检验 (显著性水平为 0.05 和 0.01) 进行相关系数的显著性检验。秩相关系数计算公式如下:

$$r_i = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

其中, n 是 x 、 y 两变量的等级对子数, 即样本含量。 d_i 为同对等级之差 ($i = 1, 2, \dots, n$)。

利用秩相关系数检验各个指标间是否独立, 查看其相互关联的状况, 并可利用 t 检验结果对景观指数做初步分类。

1.3 因子分析原理

因子分析 (Factor Analysis) 的基本目的就是少数几个因子去描述许多指标或因素之间的联系, 即将相关比较密切的几个变量归在同一类中, 每一类变量就成为一个因子, 以较少的几个因子反映原始资料的大部分信息。数学形式为:

$$|X| = |A| \times |F| + |E|$$

其中 $|X|$ 为原变量向量, $|A|$ 为公因子荷载矩阵, $|F|$ 为公因子向量, $|E|$ 公因子对数据的方差的影响, 可忽略不计。同时对 $|F|$ 进行因子得分估计, 用来阐述变量对于公因子的贡献大小。数学形式为:

$$|F| = |S| \times |X| + |E|$$

其中 $|S|$ 为因子得分矩阵^[16]。

本研究中, 主要是利用因子分析得到因子荷载矩阵 $|A|$ 和因子得分矩阵 $|S|$, 用来探索景观指数的类别, 并分析指数对每类公因子的贡献程度。

1.4 敏感性分析原理

敏感性分析 (Sensitivity Analysis), 就是假设模型表示为 $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (x_i 为模型的第 i 个

属性值), 令每个属性在可能的取值范围内变动, 研究和预测这些属性的变动对模型输出值的影响程度。影响程度的大小称为该属性的敏感性系数。敏感性系数绝对值越大, 说明该属性对模型输出的影响越大^[17]。本研究中敏感性系数 SRC 采用基于非参数估计的计算方法, 公式如下:

$$SRC(x_i) = \frac{b_i}{s_y}$$

式中 s_x 和 s_y 分别表示 x_i 和 y 的标准方差, b_i 则表示 y 关于 x_i 的回归系数。从式中可以发现, 此系数既兼顾到了各变量对模型的贡献度大小, 又要求变量具有较大方差。

将因子分析得出的因子得分矩阵写成各个变量的线性组合的形式 $|F| = |S| \times |X| + |E|$, 探讨各个景观指数对其所反映的公因子意义的灵敏度。

2 结果与分析

2.1 相关分析结果

13 个景观指数两两间的 Spearman 相关系数的计算结果见表 3。从表中可以看出, 除 MSIMPFI、MPI II 这 4 个指数与其余指数呈现出显著相关的比例稍低外, 其余各个指数间的相关关系极为显著。其中均匀度指数 SHEI 与其余指数呈现显著相关的比例高达 83.3%。说明大部分指数间有着广泛而复杂的联系, 所表达的数理意义呈现出极大的重复和冗余, 证明了同时使用众多指数描述景观格局的不科学性。同时, II 指数与其它指数均没有关联, 说明其有着较好的独立性。

通过相关性分析, 从数据的数字特征上, 大体上可以把具有较高显著相关比例的指数 LAND%、NP、PD、LPI、MPS、MNN、SHDI、SHEI、CONTAG 视为一类。

表 3 13个景观指数的 Spearman秩相关系数矩阵

景观指数	LAND%	NP	PD	LPI	MPS	MSI	MPFD	MNN	MPI	SHDI	SHEI	II	CONTAG
LAND%	1.000												
NP	-0.861**	1.000											
PD	-0.938**	0.871**	1.000										
LPI	0.764**	-0.798**	-0.814**	1.000									
MPS	0.964**	-0.865**	-0.992**	0.815**	1.000								
MSI	0.051	0.105	-0.112	0.275	0.138	1.000							
MPFD	-0.025	0.115	-0.034	0.180	0.056	0.962**	1.000						
MNN	0.852**	-0.849**	-0.869**	0.661**	0.867**	-0.080	-0.119	1.000					
MPI	-0.125	0.260	0.073	-0.230	-0.077	0.332*	0.321*	-0.108	1.000				
SHDI	-0.845**	0.789**	0.890**	-0.958**	-0.899**	-0.338*	-0.245	-0.723**	0.160	1.000			
SHEI	-0.686**	0.619**	0.728**	-0.888**	-0.746**	-0.530**	-0.430**	-0.567**	0.097	0.921**	1.000		
II	-0.175	0.186	0.067	-0.049	-0.091	0.104	0.039	-0.235	0.003	0.067	0.024	1.000	
CONTAG	0.990**	-0.885**	-0.954**	0.781**	0.974**	0.051	-0.022	0.857**	-0.147	-0.855**	-0.693**	-0.118	1.000
呈显著相关的比例/%	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	33.3	25.0	66.7	16.7	75.0	83.3	0	66.7

注: *表示在 0.05 显著性下, **表示在 0.01 显著性下。

2.2 因子分析结果

标准化原始数据后,使用主成分法将特征根大于 1 的成分作为公因子提取出来,计算出因子载荷矩阵。为了突出各个主因子的典型代表性,使用相等最大值法对矩阵正交旋转,得到比较满意的主因子。同时计算出因子得分矩阵,结果见表 4。

因子载荷矩阵 |A| 反映了公因子对景观指数的解释程度,因子得分矩阵 |S| 可以评价每个景观指数在公因子中的地位。前 3 个公因子的特征根均达了 1 以上,且累计贡献率达到了 82%,说明这 3 个公因子能够阐释原始数据的大部分内容,并大大地压缩了数据量,简洁而高效。通过分析因子载荷和得分的大小,不难看出第一公因子在 LAND、NP、PD、LPI、MPS、MNN、CONTAG 上具有较大的载荷,且 MPS、MNN、CONTAG 贡献最大;第二公因子在 MSI、MPFD 上具有较大的载荷;第三公因子在 II 上具有较大的载荷。因此,可以把景观指数做如下划分(表 5)。

同时,其结果也进一步印证了相关分析的结论。

表 4 13种景观结构指数因子分析结果

项目	旋转后的因子载荷矩阵 A			因子得分矩阵 S		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
特征根	6.610	3.015	1.038			
贡献率/%	50.844	23.194	7.988			
累计贡献率/%	50.844	74.038	82.026			
LAND%	0.892	0.103	-0.244	0.133	0.007	-0.202
NP	-0.854	0.016	0.209	-0.134	0.033	0.162
PD	-0.883	-0.225	0.124	-0.130	-0.039	0.097
LPI	0.720	0.573	0.160	0.098	0.140	0.141
MPS	0.897	-0.229	0.118	0.165	-0.129	0.167
MSI	-0.010	0.960	0.049	-0.047	0.312	-0.024
MPFD	-0.116	0.952	0.004	-0.067	0.318	-0.071
MNN	0.873	-0.257	0.078	0.161	-0.134	0.130
MPI	-0.136	0.360	-0.217	-0.050	0.141	-0.238
SHDI	-0.799	-0.575	-0.068	-0.107	-0.144	-0.056
SHEI	-0.573	-0.658	-0.251	-0.073	-0.169	-0.215
II	-0.172	0.041	0.889	0.007	-0.043	0.835
CONTAG	0.967	-0.002	-0.072	0.158	-0.044	-0.027

注: F1, F2, F3 分别为前 3 个公因子。

表 5 景观指数类别划分

公因子	含义	包含的指数
F1	表示斑块异质性及格局。能够阐述斑块的规模、分布状况和异质性、多样性程度。	LAND%、NP、PD、LPI、MPS、MNN、CONTAG、SHDI、SHEI
F2	表示斑块形状特征。能够阐述斑块的外观和边缘特征。	MSI、MPFD
F3	表示斑块连接性。能够阐述斑块间相互干扰和能量、物质流状况。	II

2.3 敏感性分析结果

敏感性系数反映了各个景观指数变化对各自所属公因子影响的灵敏程度,结果见表 6。

从表 6 可以看出,在表示斑块异质性和格局的因子 F1 中,斑块个数 NP、平均最近距离 MNN 的敏感性系数的绝对值最高,说明他们对 F1 表

现得最为灵敏;在斑块形状特征因子 F2 中,面积加权的平均形状指数 MSI 表现相对优秀;在表示斑块连接性因子 F3 中,散布与并列指数 II 也有较高的灵敏度。因此用这 4 个指数取代原始 13 个指数,就可较为全面和可靠地描述景观格局及过程。

表 6 敏感性分析结果

景观指数	敏感性系数		
	F1	F2	F3
LAND%	0.053 5		
NP	-0.400 4		
PD	-0.000 2		
LPI	0.073 4		
MPS	0.145 5		
MNN	0.439 9		
MPI	-0.003 6		
SHDI	-0.002 6		
SHEI	0.000 0		
CONTAG	0.015 7		
MSI		0.075 3	
MPFD		0.001 3	
II			0.264 9

3 结论与讨论

本文通过统计学的方法,把经常使用的 13 种景观指数划分为 3 类,即斑块异质性和格局指标、斑块形状指标、斑块连接性指标,分析出各景观指数对各类指标的贡献大小,并构建出简单的线性回归模型。同时针对各类指数进行了敏感性分析,提取出了 4 个具有代表性的,能客观、灵敏反映指标生态学意义的景观指数,他们分别是斑块个数 NP、平均最近距离 MNN、面积加权的平均形状指数 MSI 和散布与并列指数 II。使用本方法可以有效地解决景观分类和评价中指数繁多冗余的问题。

随着新的景观指数的不断诞生,目前最紧要的问题不是急于计算大量景观格局的指数,而是应该根据自己研究对象的特征,有针对性地选择部分指数作为分析依据,并充分考虑到指数所蕴含的生态学含义和对具体工作的指导意义。本文给出了较为实用的景观指数筛选方法。

受篇幅的限制,本文仅讨论了在实际研究中应用较多的 13 个景观指数,若增加新的研究对象,可能会对本研究结果产生一定的影响。此外,由于本研究是以森林景观作为研究对象,林地类型占景观的主体地位,且景观格局和演替有着自身的特点,所

以对于研究结论的广泛适用性有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (1): 121 - 125
- [2] 肖笃宁,李秀珍,高 竣,等. 景观生态学 [M]. 北京:科学出版社, 2003
- [3] 郭晋平. 森林景观生态研究 [M]. 北京:北京大学出版社, 2001
- [4] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsaker C T, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics [J]. Landscape Ecology, 1995, 10 (1): 23 - 39
- [5] Samuel A C, Kevin M, Maile C N. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency [J]. Ecological Indicators, 2008, 8 (5): 691 - 703
- [6] 王新明,王长耀,占玉林,等. 大尺度景观结构指数的因子分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22 (1): 17 - 21
- [7] 布仁仓,胡远满,常 禹. 景观指数之间的相关分析 [J]. 生态学报, 2005, 25 (10): 2764 - 2775
- [8] 龚建周,夏北成. 景观格局指数间相关关系对植被覆盖度等级分类的响应 [J]. 生态学报, 2007, 27 (10): 4075 - 4085
- [9] 李秀珍,布仁仓,常 禹,等. 景观格局指标对不同景观格局的反应 [J]. 生态学报, 2004, 24 (1): 123 - 134
- [10] 杨 丽,甄 霖,谢高地,等. 泾河流域景观指数的粒度效应分析 [J]. 资源科学, 2007, 29 (2): 183 - 187
- [11] Saura S, Martinez M J. Sensitivity of landscape pattern metrics to map spatial extent [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67 (9): 1027 - 1036
- [12] Evelyn U, J üri R, Ülb M. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments [J]. Ecological Indicators, 2005, 5 (4): 350 - 369
- [13] 游丽平,林广发,杨陈照,等. 景观指数的空间尺度效应分析——以厦门岛土地利用格局为例 [J]. 地球信息科学, 2008, 10 (2): 74 - 79
- [14] Huang C, Geiger E L, Kupfer J A. Sensitivity of landscape metrics to classification scheme [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27: 2927 - 2948
- [15] 张会儒. 天然林资源动态时空分析评价技术 [M]. 北京:中国林业出版社, 2006: 12
- [16] 于秀林,任雪松. 多元统计分析 [M]. 北京:中国统计出版社, 1999: 8
- [17] 蔡 毅,邢 岩,胡 丹. 敏感性分析综述 [J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2008, 44 (1): 9 - 16