

武夷山风景名胜区景观格局与环境因子的多尺度响应研究

游巍斌¹, 何东进^{1*}, 黄德华², 巫丽芸¹, 洪伟¹, 詹仕华¹, 林巧香¹,
覃德华³, 游惠明¹

(1. 福建农林大学, 福州 350002; 2. 福建省地质遥感与地理信息中心, 福州 350001; 3. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 在 3S 技术平台支撑下, 用典范对应分析排序方法对武夷山风景区景观格局与环境因子的关系及其尺度效应进行了分析。结果表明, 在 6 个取样尺度上(粒度分别为 30 m、90 m、150 m、210 m、300 m 和 450 m), 排序轴总特征值呈递减趋势, 依次为 9.626、7.814、5.708、4.019、3.386、2.310; 前 4 轴累积景观环境解释量变化程度小(97.3%~98.8%), 前 2 轴各尺度平均累积解释量为 89.4%, 景观-环境的相关系数呈先减后增趋势。6 个尺度中环境因子与景观格局的平均相关系数依次为郁闭度(0.7989**) > 腐殖质层厚度(0.7248**) > 海拔(0.6083**) > 坡度(0.6132**) > 经度(-0.4064**) > 土层厚度(0.3696**) > 纬度(0.0614) > 坡向(0.0295)。风景区景观类型可划分为 3 类, 即与海拔因子密切相关的裸地、河流、建设用地、农田景观, 与土壤因子密切相关的杉木林、马尾松林、阔叶林景观, 以及受人类活动密切相关的茶园、经济林、竹林、灌草丛景观。因此, 风景区景观格局与环境因子间的关系具有尺度效应, 各环境因子对排序轴相关系数的影响规律在 6 个取样尺度内可尺度推绎。

关键词: 武夷山; 景观格局; 环境因子; 典范对应分析; 尺度

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.02.013

Multi-scale Effect between Landscape Pattern and Environmental Factors in the Wuyishan Scenery District

YOU Wei-bin¹, HE Dong-jin^{1*}, HUANG De-hua², WU Li-yun¹, HONG Wei¹, ZHAN Shi-hua¹,
LIN Qiao-xiang¹, QIN De-hua³, YOU Hui-ming¹

(1. *Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China*; 2. *Fujian Geological Remote Sensing and Geographical Information Center, Fuzhou 350001, China*; 3. *College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China*)

Abstract: Based on 3S technology, relationships and muti-scale effects between environmental factors and landscape pattern in the Wuyishan Scenery District was studied by using CCA (Canonical Correspondence Analysis). The results showed that the total eigenvalue of ordination axes increased with upscaling by 9.626, 7.814, 5.708, 4.019, 3.386 and 2.310 in six scales (30 m × 30 m、90 m × 90 m、150 m × 150 m、210 m × 210 m、300 m × 300 m、450 m × 450 m), respectively. The cumulative variance of landscape-environment relationship ranged from 97.3% to 98.8% in the first four ordination axes, and that of the first two ordination axes had an average of 89.4%. Landscape-environment correlation coefficients decreased at first and then increased. The average correlation coefficients between environment factors and landscape pattern were in order as canopy density (0.7989**) > humus thickness (0.7248**) > elevation (0.6083**) > slope (0.6132**) >

收稿日期: 2011-09-08 接受日期: 2011-11-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(30870435); 福建省科技厅重点项目(2009N0009); 教育部博士学科点专项基金项目(20103515110005); 福建省自然科学基金项目(2008J0116)资助

作者简介: 游巍斌(1984 ~), 男, 汉族, 在读博士生, 研究方向为景观生态学与森林生态学。E-mail: youweibin@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fjhdj1009@126.com

longitude (-0.4064^{**}) > soil thickness (0.3696^{**}) > latitude (0.0614) > aspect (0.0295). Landscape types in Wuyishan Scenery District could be classified into three types, such as elevation related landscape, including bare land, water body, construction land, and farmland, soil related landscape, including *Cunninghamia lanceolata* forest, *Pinus massoniana* forest, broad-leaved forest, and human managed landscape, including *Camellia sinensis* plantation, economic forest, bamboo forest, shrub and grassland. Therefore, multi-scale effect existed between landscape pattern and environment factors, and the response law of environment factors to ordination axes could be scaling within six scales.

Key words: Wuyi Mountain; Landscape pattern; Environmental factor; Canonical correspondence analysis; Scale

尺度是所有生态学研究的基础^[1],尤其景观生态学更是如此,离开研究尺度解释景观现象毫无意义。景观生态学中尺度包括时间尺度和空间尺度,其内容主要涉及尺度概念、尺度分析和尺度推绎等3个方面^[2]。尺度分析分为尺度效应和多尺度空间格局分析,它是跨尺度推绎的前提^[3]。通过尺度推绎(尺度转换)可确定某尺度上的信息或规律在其他尺度中是否同样存在。景观指数法、空间统计学方法、分维分析法等^[4-5]有关尺度推绎研究的方法不断丰富,渐显应用潜力。然而,由于尺度效应的复杂性和尺度转换过程的不确定性,仍未找到理想并能广泛适用的方法^[6]。关于尺度推绎的研究目前主要存在两个误区:一是过分重视空间尺度的转换,忽略了过程尺度的转换;二是过分强调对不同尺度间数量关系的外推与转换,忽略了不同尺度间的生态规律^[6]。

景观中,环境因子通过影响生态过程进而影响景观格局分布。关注景观类型空间尺度的同时,必须重视环境因子等过程尺度,避免陷入尺度推绎的误区。探讨景观格局与环境因子的关系,不仅能反映景观类型的分异特征,而且能反映与环境因子关系密切的生态过程在尺度转化上对景观格局的作用规律。景观格局分析时若尺度过小,可能会因区域空间信息数据量过大而掩盖一些重要信息,而尺度过大则又会造成细节信息缺失^[7]。因此,在揭示环境因子与景观格局的关系及作用规律时,必须关注多尺度效应^[8-9]。典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)是目前植物与环境关系研究中最常用的梯度分析方法,它可综合多环境因子,包含的信息量大,结果直观、效果好,已得到广泛应用^[10-12]。本文以武夷山世界文化与自然遗产地中的风景名胜区为例,引入CCA方法分析景观格局与环境因子的关系,从多个尺度探讨风景区环境因子与景观格局特征的相互关系,进而探讨

景观特征、空间格局在环境梯度上的分布趋势及多尺度效应,为揭示景观类型空间分布特征及确定合理的景观取样尺度提供理论依据。

1 研究区概况

武夷山世界文化与自然遗产地位于我国福建省北部, $117^{\circ}24'12'' \sim 118^{\circ}02'50''\text{E}$, $27^{\circ}32'36'' \sim 27^{\circ}55'15''\text{N}$, 总面积达 99975 hm^2 , 包括东部风景名胜区、中部九曲溪生态、西部生物多样性以及城村闽越王城遗址等四个保护区, 平均海拔 1200 m , 中山地貌, 属典型的亚热带季风气候, 年平均气温在 $8.5^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$, 年降雨量为 $1482 \sim 2150 \text{ mm}$, 局部地区达 3000 mm 以上, 年蒸发量为 1000 mm 左右, 相对湿度 $78\% \sim 84\%$, 无霜期 $253 \sim 272 \text{ d}$ 。它是全球同纬度带最完整、最典型、面积最大的中亚热带原生性森林生态系统, 是世界生物多样性保护的关键地区。1999年12月被列入《世界文化与自然遗产名录》, 是我国继泰山、黄山、峨眉山——乐山大佛之后第四个被列入世界双重遗产名录。研究区其他概况详见课题组前期的研究文献^[13-17]。

2 研究方法

2.1 基础资料

以“十一五”期间武夷山风景名胜区范围内森林资源二类调查小班矢量数据库、中国科学院地理信息数据平台获取的数字高程模型(DEM)、课题组前期研究得到的风景区景观生态分类图(图1)为基础资料。武夷山风景名胜区景观类型分为:裸地、杉木林、马尾松林、阔叶林、竹林、灌草层、经济林、茶园、农田、建设用地、河流等11类。

2.2 数据库的建立

借助ArcGIS技术平台,在DEM的基础上生成经度、纬度、海拔、坡向、坡度等5个地理环境因子

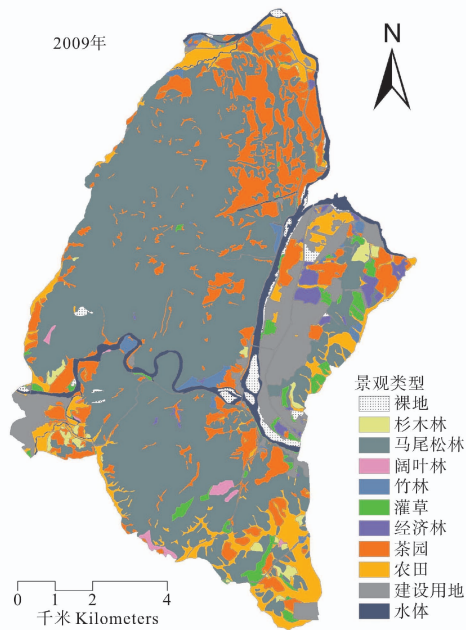


图 1 武夷山风景名胜景区景观类型图
Fig. 1 Landscape classes in Wuyishan Scenery District

栅格图层(精度为 30 m);在森林二类调查矢量数据库基础上,提取郁闭度、腐质层厚度、土层厚度等 3 个环境因子属性数据,并将所得矢量图层转换为精度 30 m 的栅格数据图层。景观类型图层取值以该景观类型在相应取样网格内面积百分比表示。叠加 8 个环境因子图层与 11 类景观类型图层,输出生成用于 CCA 分析的基础数据库。其中,坡向因子按方位角 θ 进行如下赋值:阴坡($0^{\circ} \leq \theta < 67.5^{\circ}$ 或 $337.5^{\circ} < \theta \leq 360^{\circ}$)赋值为 1;半阴坡($67.5^{\circ} \leq \theta < 112.5^{\circ}$ 或 $292.5^{\circ} \leq \theta < 337.5^{\circ}$)赋值为 2;半阳坡($112.5^{\circ} \leq \theta < 157.5^{\circ}$ 或 $247.5^{\circ} \leq \theta < 292.5^{\circ}$)赋值为 3;阳坡($157.5^{\circ} \leq \theta < 247.5^{\circ}$)赋值为 4。对于建设用地、河流、裸地等景观类型郁闭度、腐质层厚度、土层厚度均赋值为 0,其他连续型环境因子变量皆取实际值。

2.3 网格样点取样

运用 ArcGIS 中 Resample 工具根据设定尺度对景观类型图层以最邻近方法进行重采样,环境因子以相应尺度网格样方内加权平均值作为重采样后的因子值。以图层最小精度(30 m)的整数倍进行 6 个尺度粒度的网格取样,依次为 30 m $\times$ 30 m、90 m $\times$ 90 m、150 m $\times$ 150 m、210 m $\times$ 210 m、300 m $\times$ 300 m、450 m $\times$ 450 m。对 6 个尺度下的景观类型与环境因子图层进行叠加,分别建立不同尺度下的基础数据库。最终,采用 Hawth's Tools 工

具,在空间上以每类景观类型栅格数量的 10% 随机取样,提取随机样点对应的景观类型与环境因子数据用于 CCA 分析。

2.4 典范对应分析

典范对应分析是基于对应分析 (Correspondence Analysis, CA) 发展而来的一种排序方法,又称多元直接梯度分析^[18]。CCA 方法研究景观类型与环境因子关系的基本思路是:先用 CA 对景观类型数据进行计算获得排序坐标值,与环境数据线性结合,用样方排序值加权平均求景观类型排序值,使景观类型排序坐标值也间接地与环境因子相联系^[24],这样所得的样方排序值既反映了样方内景观类型组成及生态重要值对景观的作用,又反映了环境因子的影响。本研究应用国际通用的 CANOCO for windows 4.5 软件开展 CCA 分析,用 CANODRAW 作图。CCA 排序图解读如下:图中箭头代表环境因子、三角号代表景观类型;箭头长短表示环境因子对景观重要性的作用强度;箭头连线与排序轴的斜率表示环境因子与排序轴的相关性,斜率越小相关性越高;箭头所在象限表示环境因子与排序轴之间相关性的正负;箭头相互垂直的环境因子间相关性不显著,夹角小于 90° 的因子彼此正相关,大于 90° 的因子彼此负相关^[19-20]。

3 结果和分析

3.1 排序轴特征值及解释量比较

特征值是衡量排序轴重要性的指标,轴上的累积解释量反映排序轴对目标的解释能力^[20]。6 个取样尺度下各排序轴的特征值、累积景观-环境解释量以及景观与环境相关系数见表 1。从小到大 6 个尺度下的特征值总量分别为:9.626、7.814、5.708、4.019、3.386、2.310,其中 30 m 粒度的特征值明显高于其他尺度,这表明在风景区内最小的取样尺度上对样地(景观类型)间关系的描述具有优越性。前 4 个排序轴对景观-环境关系的累积解释量随着尺度的变大呈现较无规律的波动,解释量变化很小(97.3%~98.8%),在 150 m 粒度时达到最大值(98.8%),表明从前 4 个排序轴的解释量上看,150 m 粒度有最优的解释量,但各尺度间解释量差异小。在描述景观与环境的相关关系方面,第 1 排序轴在粒度为 30 m 的景观-环境相关系数高于其他尺度,即它的景观数据排序轴与环境数据排序轴有较高相关性,相关系数随着尺度递增呈先减后增的趋势。

表 1 前 4 个排序轴的特征值、对景观-环境关系解释的累积百分比及景观-环境相关系数

Table 1 Eigen values, landscape-environment correlation coefficients and the cumulative variance of landscape-environment in first four ordination axes

粒度 Grain (m)	特征值 Eigen values					累积景观-环境解释量 (%) Cumulative variance of landscape-environment				景观与环境相关系数 Landscape- environment correlation coefficients			
	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	1	2	3	4
30	0.764	0.569	0.073	0.029	9.626	51.8	90.4	95.3	97.3	0.905**	0.790**	0.272**	0.172*
90	0.663	0.387	0.063	0.030	7.814	56.6	89.7	95.0	97.6	0.890**	0.745**	0.290**	0.187*
150	0.619	0.283	0.042	0.013	5.708	63.8	93.1	97.4	98.8	0.882**	0.686**	0.262**	0.148*
210	0.563	0.197	0.067	0.027	4.019	64.8	87.4	95.2	98.3	0.868**	0.628**	0.360**	0.243*
300	0.538	0.176	0.058	0.025	3.386	66.5	88.3	95.4	98.5	0.873**	0.641**	0.368**	0.259**
450	0.522	0.181	0.074	0.016	2.310	64.8	87.2	96.4	98.4	0.892**	0.707**	0.478**	0.228*

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

3.2 景观格局与环境的关系

前 2 个排序轴对景观-环境关系的累积解释量均达到 85% 以上(表 1),可见,采用前 2 轴可以较好的解释景观类型与 8 个环境因子之间的关系。从表 2 和图 2 可知:以 30 m 粒度为例,CCA 第一轴(图中横轴)主要反映了郁闭度($CD = 0.8211$)、腐质层厚度($HT = 0.7727$)、海拔($ELE = 0.5828$)、坡度($SLO = 0.5023$)、土层厚度($ST = 0.4470$)、经度($X = -0.3321$)、坡向($ASP = 0.0232$)等环境因子的梯度变化,CCA 第二轴(图中竖轴)主要反映了土层厚度($ST = 0.5867$)、郁闭度($CD = -0.2915$)、纬度($Y = 0.1954$)等环境因子的梯度变化。第一轴从左向右,经度逐渐降低,同时郁闭度、腐质层厚度、海拔、坡度、土层厚、纬度等呈不同程度的增加趋势,坡向从阴坡向阳坡转变;沿第二轴从上到下,郁闭度增加,坡向从阴坡向阳坡变化,同时经度、纬度、腐质层厚度、海拔、坡度、土层厚等逐渐减小。第一轴和第二轴基本解释了环境因子对景观格局分布的作用规律,累积解释量为 90.4%,第三轴和第四轴相关系数均未达显著水平。此外,其他 5 个尺度上均存在第三四排序轴相关系数不显著的规律,表明在 6 个取样尺度上,第一二排序轴均能很好地解释环境因子对景观格局的影响。

从景观类型到数量型环境因子箭头投影的位置次序可代表该景观类型在相应环境因子最适值的排序^[21],投影位置离箭头越近,表示与该环境因子的正相关性越大,处于另一端则表示与该类环境因子的负相关性越大。图 2(30 m 粒度)中,各景观类型沿着纬度梯度变化的规律为:随着海拔和坡度的增加而逐渐增加的景观类型有 B(杉木林)、C(马

尾松林)、D(阔叶林),且它们与海拔和坡度的正相关性也逐渐增大;随着海拔与坡度的增加而逐渐减少的景观类型有 E(竹林)、G(经济林)、H(茶园)、F(灌草层)、I(农田)、J(建设用地)、A(裸地)、K(河流),且它们与海拔和坡度的负相关性也逐渐增大,这与风景区景观类型分布的实际情况基本相符。从郁闭度上看,从 B、C、D 郁闭度逐渐增加;各植被景观类型的腐殖质层相差不大,投影位置较为接近。G、F、E、H 的土层厚度较其他景观类型厚。

从环境因子间的夹角看,海拔与坡度关系最为密切,但与纬度最不相关。物种点之间的距离可代表分布差异程度。G、F、E、H 分布差异较小;I、J、A、K 分布差异较小;D 在分布上与 B 和 C 有一定差异。

3.3 景观格局与环境关系的尺度效应

某个研究尺度上的影响因子可能在其他尺度上并不发生作用,即影响因子的尺度效应^[22]。当时空粒度或幅度变化时,格局或过程与相同影响因素之间的相关关系可能发生截然相反的变化^[23]。本研究结果表明武夷山风景名胜区的景观格局与环境因子间的关系具有尺度效应。从环境因子与排序轴的相关系数来看(图 3,表 2),随着取样尺度的增大,经度、海拔、坡度对第一轴的相关系数总体趋势逐渐增加,郁闭度、土层厚度对第一轴的相关系数总体趋势逐渐减少,纬度、坡向、腐质层厚度略有波动。就第二排序轴来看(图 4),海拔、坡向、坡度等因子在 30 m 粒度上与其它 5 个尺度存在相关系数的正负差异,不但第二轴相关系数显著水平较第一轴低,而且第二轴单轴平均解释量(28.0%)较第一轴(61.4%)低得多。虽然环境因子在不同尺度

表2 6个尺度下环境因子与典范对应分析前4排序轴的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of environmental variables with the first four ordination axes in six different scales

尺度 Scale	Axes	X	Y	ELE	ASP	SLO	CD	HT	ST
30 m×30 m	AX1	-0.3321**	0.0641	0.5828**	0.0232*	0.5023**	0.8211**	0.7727**	0.4470**
	AX2	0.1211	0.1954*	0.0089	-0.0142	0.0210	-0.2915**	0.2420*	0.5867**
	AX3	-0.1079	0.1515	0.0486	0.0113	0.1639	-0.0340	-0.0365	-0.0940
	AX4	-0.0584	0.0488	0.0622	-0.0344	-0.0506	0.0057	-0.0427	-0.0029
90 m×90 m	AX1	-0.3893**	0.0484	0.6027**	0.0584	0.6004**	0.8046**	0.7666**	0.4169**
	AX2	0.1297	0.1999*	-0.0385	-0.0147	-0.0418	-0.2634**	0.1863	0.5428**
	AX3	-0.1107	0.1602	0.0253	0.0229	0.1547	-0.0506	-0.0341	-0.1185
	AX4	0.0583	-0.0757	-0.0320	0.0769	0.0452	-0.0129	0.0464	0.0043
150 m×150 m	AX1	-0.3943**	0.0503	0.5894**	-0.0145	0.6051**	0.7825**	0.7780**	0.3889**
	AX2	0.1673	0.2181*	-0.0773	-0.0600	-0.0681	-0.2547**	0.0975	0.4712**
	AX3	-0.0682	0.1341	0.0092	0.0113	0.1456	-0.0521	-0.0273	-0.1233
	AX4	-0.0994	0.0103	0.0235	-0.0480	-0.0132	0.0066	-0.0245	-0.0123
210 m×210 m	AX1	-0.4292**	0.0621	0.6065**	0.0373	0.6271**	0.7954**	0.7403**	0.3197**
	AX2	0.1727	0.2072*	-0.0575	-0.0495	-0.0302	-0.1805	0.1372	0.4381**
	AX3	-0.0624	0.1718	-0.0076	0.0275	0.1788	-0.0804	-0.0061	-0.1830
	AX4	-0.0824	0.1451	0.0139	-0.0904	-0.0619	-0.0027	-0.0531	-0.0478
300 m×300 m	AX1	-0.4420**	0.0713	0.6333**	0.0399	0.6688**	0.7915**	0.7719**	0.3057**
	AX2	0.2027*	0.2111*	-0.0757	-0.0662	-0.0650	-0.1806	0.1145	0.4567**
	AX3	0.0783	-0.1960	-0.0042	0.0504	-0.1640	0.0893	0.0322	0.1964
	AX4	0.0627	-0.1605	-0.0275	0.0542	0.0771	-0.0137	0.0432	0.0298
450 m×450 m	AX1	-0.4516**	0.0722	0.6352**	0.0326	0.6755**	0.7981**	0.5193**	0.3393**
	AX2	0.2220*	0.2781**	-0.1269	-0.0938	-0.1020	-0.2376*	0.1037	0.4424**
	AX3	-0.0471	0.0995	0.0110	0.0621	0.2768**	-0.1068	-0.0372	-0.2110
	AX4	0.0464	-0.1655	-0.0724	0.0526	-0.0216	0.0281	0.1494	0.0891

X:经度;Y:纬度;HT:腐质层厚度;ST:土层厚度;CD:郁闭度;ELE:海拔;SLO:坡度;ASP:坡向;* : $P<0.05$; ** : $P<0.01$ 。下同。
X: Longitude; Y: Latitude; HT: Humus thickness; ST: Soil thickness; CD: Canopy density; ELE: Elevation; SLO: Slope; ASP: Aspect. * : $P<0.05$; ** : $P<0.01$. The same is followed Figures.

下相关系数大小有变化,且各环境因子相关系数的最大值分别出现在不同的取样尺度上,但是总体上对第一排序轴影响规律一致。因此推测武夷山风景区内各环境因子对排序轴相关系数的影响规律在30 m~450 m尺度内可做尺度推绎。

6个尺度上各环境因子第一排序轴的平均相关系数为郁闭度(0.7989**) > 腐殖质层厚度(0.7248**) > 海拔(0.6083**) > 坡度(0.6132**) > 经度(-0.4064**) > 土层厚度(0.3696**) > 纬度(0.0614) > 坡向(0.0295)。不同取样尺度中郁闭度对第一轴的相关系数基本呈先降后升的趋势,并在30 m粒度时达到最大,依次为:0.8211、0.8046、

0.7825、0.7954、0.7915、0.7981;腐质层厚度对第一轴的相关系数呈现上下波动,在150 m粒度时达到最大。这表明风景区内不同景观类型在郁闭度和腐质层厚上的差异很明显,郁闭度与腐质层对景观重要性的影响程度较大,景观类型形成及分布与生态系统特征及土壤养分密切相关。不同取样尺度下经度与排序轴均为负相关关系,平均相关系数为-0.4064。地理空间因素上,海拔、坡度、经度较纬度对景观格局的影响较大;茶园、建设用地、农田等均为人类作用形成的景观,特别是海拔因素影响着人类到达景观的可及度以及对景观改造的难易程度,这与海拔、坡度相关系数高度相关的结果相符。

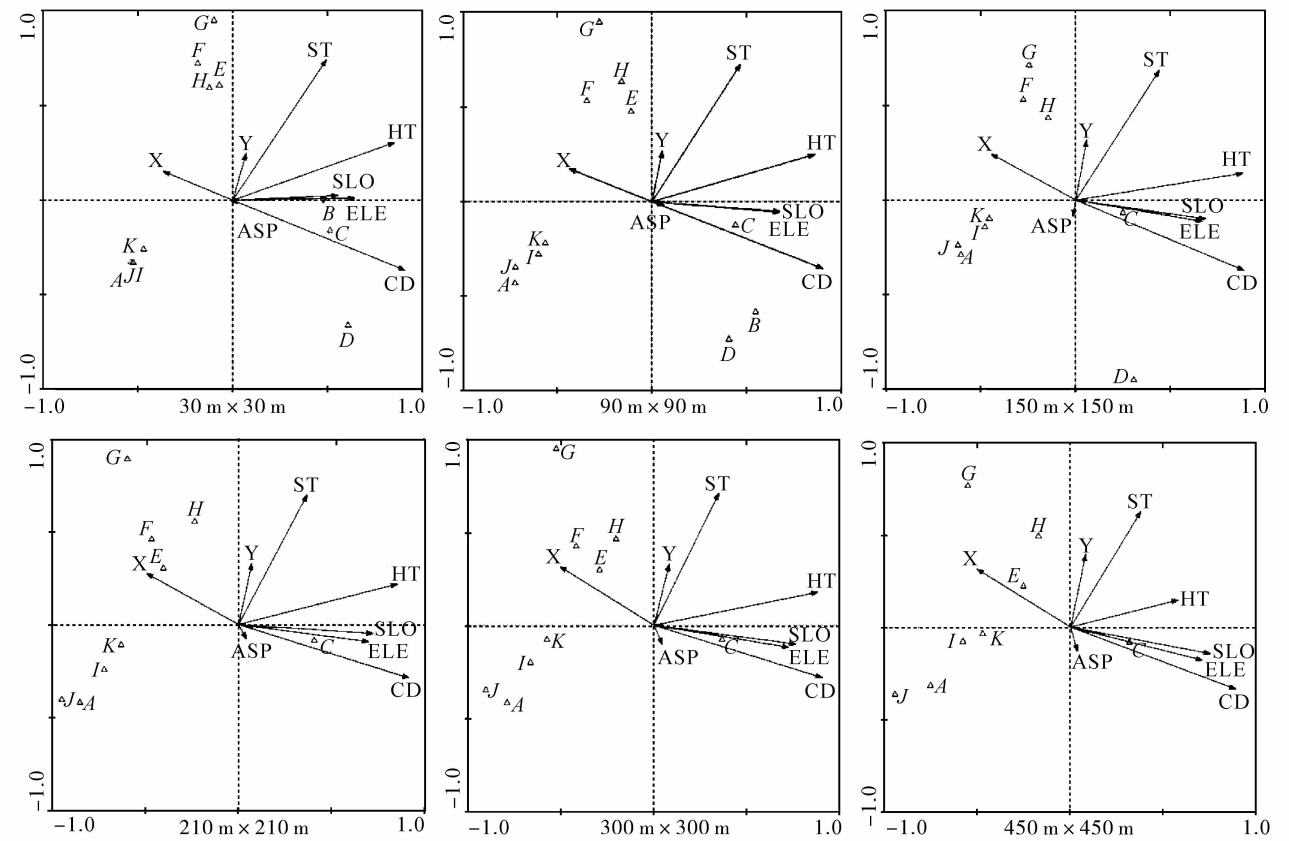


图2 不同取样尺度下环境因子排序图。A:裸地;B:杉木林;C:马尾松林;D:阔叶林;E:竹林;F:灌草层;G:经济林;H:茶园;I:农田;J:建设用地;K:河流。

Fig. 2 CCA ordination diagrams of environmental factors in different sampling scales. A: Bare land; B: *Cunninghamia lanceolata* forest; C: *Pinus massoniana* forest; D: Broad-leaved forest; E: Bamboo forest; F: Shrub and grassland; G: Economic forest; H: *Camellia sinensis* plantation; I: Farmland; J: Construction land; K: River.

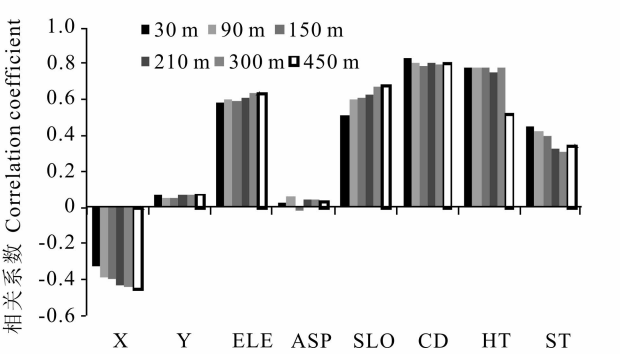


图3 不同尺度中环境因子与第一排序轴的相关系数
Fig. 3 Correlation coefficient of environmental factors with the first axes in different scales

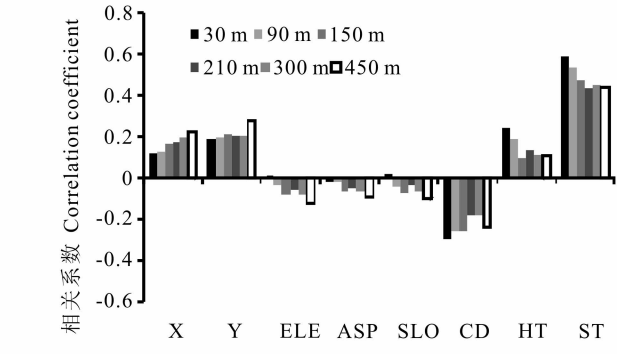


图4 不同尺度中环境因子与第二排序轴的相关系数
Fig. 4 Correlation coefficient of environmental factors with the second axes in different scales

由排序图所反映的景观类型差异性可知,景观类型主要分布在排序轴的第二、三、四象限,第二象限分布 G、F、H、E,第三象限分布 A、K、J、I,第四象限分布 B、C、D。三角符号距离越近表示景观类型分布格局越相似,与环境因子的关系越相近。特别是第三象限的裸地、河流、建设用地、农田距离最为

接近,这与风景区内这类景观均大多分布于低海拔且人类活动密集的溪东旅游服务区、三姑、星村镇区和溪南部分地区的实际情况相符。随着取样尺度的改变,排序图中景观类型分布距离存在一定程度的变化,但与环境因子的投影位置相差不大。这也进一步验证了上文指出的各取样尺度内环境因

子对景观格局作用规律可推绎的结论。另外, 450 m、300 m、210 m、150 m 排序图中景观 B、D 均不存在, 这可能是因为越大尺度的取样越容易造成部分小面积景观信息的丢失所致。当前, 如何减小尺度推绎的信息损失一直是尺度推绎的难点^[24-25]。

4 结论和讨论

本研究引入典范对应分析方法, 对武夷山风景名胜区 6 个网格取样尺度(粒度)的景观格局与环境的关系进行了探讨, 结果表明: 环境因子中郁闭度、腐殖质层厚度、海拔、坡度对景观格局影响较大, 其中, 郁闭度的影响最大, 坡向的最弱。按风景区景观类型与环境因子的关系可把景区景观类型分为 3 类, 即位于低海拔的裸地、河流、建设用地、农田等景观, 与土壤因子密切相关的杉木林、马尾松林、阔叶林等景观, 与人为经营有关的经济林、灌草层、茶园、竹林等景观。风景区景观格局与环境因子关系具有尺度效应, 30 m 粒度在解释景观类型间关系上的效果最优, 随着尺度的递增景观类型间的关系逐渐变小。这与郭涿等^[26]指出的随着样方面积的增大, 数量增多, 景观要素越复杂, 变化因子和随机因素的影响就越大, 森林景观格局的可解释性就越弱的研究结果较为一致。各环境因子在不同尺度下相关系数呈现渐增、渐减、波动等变化, 环境因子相关系数最大值分别出现在不同的取样尺度上, 但对第一排序轴影响规律基本一致。这与有些研究^[27-28]指出的随着样方的增大, 自变量与因变量之间的相关关系和回归关系呈逐渐增强的趋势, 对因变量有显著影响的自变量也逐渐增多的结论不同。鉴于第一、二排序轴高的解释量, 推测武夷山风景区内各环境因子对排序轴相关系数的影响规律在 6 个尺度上可尺度推绎。

已有研究结果表明, 采用不同的聚合方法对植被或土地覆盖的分类和景观格局进行分析可能会产生显著的影响, 并最终影响空间模型评价^[29]。由于栅格聚合方法本身存在的缺陷, 本文运用的重采样方式可能在一定程度上扭曲或掩盖了真实景观的格局^[8]。CCA 分析被引入景观格局与环境因子关系研究中, 丰富了尺度研究方法, 但考虑到不同尺度分析方法各自具有的优势与局限性, 有必要同时使用两种或两种以上方法进行比较和评估, 进而为尺度推绎提供更为可靠依据。另外, 尺度常以

粒度和幅度来表达, 文中只讨论了仅改变粒度的尺度效应, 而仅改变幅度或同时改变幅度和粒度的研究有待于进一步探讨。

尺度问题本身的复杂性决定了多学科交叉研究的必要性。目前, 尺度分析的方法在借鉴物理学、分形几何学和地统计学等方法的同时, 更需要尺度推绎机制和假说理论的支持, 这些还有待于进一步完善。

参考文献

- [1] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology [J]. Ecology, 1992, 73(6): 1743-1767.
- [2] Zhang N(张娜). Scale issues in ecology: Concepts of scale and scale analysis [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2006, 26(7): 2340-2355.(in Chinese)
- [3] Wu J G, Li H B. Concepts of scale and scaling [M]// Wu J G, Jones K B, Li H B, et al. Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications. Dordrecht: Springer, 2006: 3-16.
- [4] Turner M G, Gardner R H, O'Neill R V. Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process [M]. New York: Springer-Verlag, 2001: 25-40.
- [5] Wu J G, Gao W, Tueller P T. Effects of changing spatial scale on the results of statistical analysis with landscape data: A case study [J]. Geog Infor Sci, 1997, 3(1/2): 30-41.
- [6] Chen L D(陈利顶), Lü Y H(吕一河), Fu B J(傅伯杰), et al. A framework on landscape pattern analysis and scale change by using pattern recognition approach [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2006, 26(3): 663-670.(in Chinese)
- [7] Du X M(杜秀敏), Huang Y X(黄义雄), Ye G F(叶功富). A study on spatial scaling effects of landscape pattern in Xiamen City [J]. Sci Sur Map(测绘科学), 2010, 35(4): 71-73.(in Chinese)
- [8] Gao J B(高江波), Cai Y L(蔡运龙). Spatial heterogeneity of landscape ragmentation at multi-scales: A case study in Wujang River Basin, Guizhou Province, China [J]. Sci Geog Sin(地理科学), 2010, 30(5): 742-747.(in Chinese)
- [9] Hao J F(郝敬锋), Liu H Y(刘红玉), Hu J N(胡俊纳), et al. Multi-scale spatial heterogeneity of urban wetland water quality in east suburb of Nanjing City [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2010, 21(7): 1799-1804.(in Chinese)
- [10] Niu L Q(牛莉芹), Cheng Z H(程占红). Canonical correspondence analysis on the perception of the residents engaging in tourism industry toward its impact in Luya Mountains [J]. J Moun Sci(山地学报), 2008, 26(S1): 51-54.(in Chinese)
- [11] Li Q H(李秋华), Han B P(韩博平). Structure and dynamics of phytoplankton community based CCA analysis in a pumped storage reservoir [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2007, 27(6): 2355-2364.(in Chinese)

- [12] Zhang B(张斌), Zhang J T(张金屯), Suriguga(苏日古嘎), et al. A comparison of co-inertia analysis and canonical correspondence analysis in plant community ordination [J]. Chin J Plant Ecol(植物生态学报), 2009, 33(5): 842–851.(in Chinese)
- [13] He D J(何东进), Hong W(洪伟), Hu H Q(胡海清), et al. Ecological evaluation of the landscape in the Wuyishan Scenery District [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 2004, 10(6): 729–734.(in Chinese)
- [14] He D J(何东进), Hong W(洪伟), Hu H Q(胡海清), et al. Study on the spatial pattern of the Wuyishan Scenery District [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2004, 40(1): 174–179.(in Chinese)
- [15] You W B(游巍斌), He D J(何东进), Wu L Y(巫丽芸), et al. Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2011, 31(21): 6317–6327.(in Chinese)
- [16] You W B(游巍斌), He D J(何东进), Huang D H(黄德华), et al. Spatial pattern and driving mechanism in the Wuyishan Scenery District [J]. J Moun Sci(山地学报), 2011, 29(6): 677–687.(in Chinese)
- [17] You W B(游巍斌), He D J(何东进), Wu L Y(巫丽芸), et al. Temporal-spatial dynamics of scenic corridors and their ecological impacts in the Wuyishan Scenery District, Southeastern China [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 2011, 17(6): 782–790.(in Chinese)
- [18] Chen D L(陈端吕), Li J P(李际平). Response of environment to forest landscape pattern in west Dongting Lake Region [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2008, 44(7): 29–35.(in Chinese)
- [19] Wang C H(王翠红), Zhang J T(张金屯), Shangguan T L(上官铁梁). Analysis of relationships between species richness and distribution pattern of spermatophyte in Shanxi Province [J]. Bul Bot Res(植物研究), 2004, 24(2): 248–253.(in Chinese)
- [20] ter Braak C J F, Šmilauer P. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination [M]. New York, USA: Microcomputer Power, Ithaca, 2002: 36–42.
- [21] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO [M]. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2003: 100–112.
- [22] You W B(游巍斌), Lin Q X(林巧香), He D J(何东进), et al. Scale effect of relationship between forest landscape pattern and environmental factors in the Tianbaoyan nature reserve, China [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 2011, 17(5): 638–644.(in Chinese)
- [23] Arita H T, Rodríguez P. Geographic range, turnover rate and the scaling of species diversity [J]. Ecography, 2002, 25(5): 541–550.
- [24] Fu B J(傅伯杰), Xu Y D(徐延达), Lü Y H(吕一河). Scale characteristics and coupled research of landscape pattern and soil and water loss [J]. Adv Earth Sci(地球科学进展), 2010, 25(7): 673–681.(in Chinese)
- [25] Ludwig J A, Wiens J A, Tongway D J. A scaling rule for landscape patches and how it applies to conserving soil resources in savannas [J]. Ecosystems, 2000, 3(1): 84–97.
- [26] Guo L(郭冻), Xia B C(夏北成), Liu W Q(刘蔚秋). Multi-scale effect of topography on forest landscape pattern in Taishan Mountain [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2006, 25(8): 900–904.(in Chinese)
- [27] Bian L, Butler R. Comparing effects of aggregation methods on statistical and spatial properties of simulated spatial data [J]. Phot Eng Rem Sen, 1999, 65(1): 73–84.
- [28] Wu J G, Jelinski D E, Luck M, et al. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale variance and pattern metrics [J]. Geog Infor Sci, 2000, 6(1): 6–19.
- [29] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations [J]. Land Ecol, 2004, 19(2): 125–138.