

火地塘林区主要景观类型地形格局及其解释^{*}

张硕新, 王 斌, 雷瑞德, 刘 华

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 运用典范对应分析(CCA)方法分析了地形对火地塘林区主要森林景观类型分布格局的影响; 同时引入每个样本的空间坐标, 定量分离了地形、空间及其交互作用等因素对景观格局总体变异的影响。研究结果表明, 地形、空间及其交互作用解释的植被结构变异分别为4.465%, 15.659%和3.78%, 总共解释了全部植被结构变异的23.906%, 尚有76.094%的变异不能得到解释。

[关键词] 火地塘; 景观格局; 地形解释; 典范对应分析; 排序

[中图分类号] S718.51

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)08-0093-05

任何森林景观格局的形成、分布、变化均与环境密切相关, 是在一定的气候、地形和土壤基质以及人类、自然干扰的综合作用下, 在生存和竞争及适应过程中长期发展的结果^[1]。在众多的环境因子中, 地形因子尤为重要, 因为它不仅影响光、热、水、土的分布状况, 而且也在不同程度上影响着各种自然或人为的干扰, 使得森林景观的分布规律与地形因子具有空间上的相对一致性, 这种一致性是了解森林景观格局与其形成过程关系的根本途径^[2]。目前, 这一领域的研究已引起了人们的关注。沈泽昊等^[2-3]为探讨地形对景观尺度植被格局的影响, 在对三峡大老岭山地森林进行大量群落学调查的基础上, 采用7个指标刻画群落生境的地形特征; 利用去势典范对应分析(DCCA)排序方法分析了不同群落类型的地形分布格局; 并定量分离了地形、空间及其交互作用等因素对植被格局总体变异的影响。孔繁花等^[4]以遥感和地理信息系统为技术手段, 对地形因子进行了梯度划分, 并运用分布指数和偏相关分析方法探讨了大兴安岭在1987年大火后森林景观在地形梯度上的变化情况。

秦岭火地塘森林生态站是中国森林生态系统定位研究网络所属台站之一, 也是国家野外科学观测试验站(试点站)。对于火地塘的研究工作, 主要集中在森林生态系统结构、功能、稳定性机理和调控, 森林对水文环境的影响, 森林碳平衡, 森林可持续经营技术和退化生态系统恢复途径等方面。而运用定量

的数学分析手段对植被分布格局与环境之间的耦合关系进行深入研究尚未见报道。因此, 本文采用CCA研究火地塘森林群落的分布格局及其与环境之间的相互关系, 以期对火地塘植被的分布特性及其与环境之间的生态关系有更加深入的认识。在植被调查中发现, 山地复杂多变的地形在各个尺度上控制着生境的小气候条件和土壤发育状况, 所以本研究探讨的环境梯度着重于地形方面。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区域概况

秦岭森林生态站地处秦岭南坡中山地带, 面积20.37 km², 海拔800~2500 m, 地形地貌复杂, 坡面破碎, 山势陡峭, 坡度为30°~50°; 且多表现为东坡陡峻, 西坡稍缓。该站所处的秦岭横贯我国中部, 南坡属北亚热带气候, 北坡属暖温带气候, 是我国南北气候区的天然分界线, 是长江、黄河两大水系的自然分界, 也是古北界和东洋界生物的交汇区。秦岭的森林植被不仅在水平地带上具有独特的过渡性特征, 同时在海拔梯度上也有明晰的垂直带谱。

1.2 数据来源

以2004年火地塘林区森林资源二类调查资料为主要数据源, 每个小班调查资料包括: (1) 乔木种的盖度、高度、胸径和株数; (2) 灌木种的盖度和高度; (3) 草本植物的盖度和高度; (4) 群落综合特征和生境特征, 包括乔、灌、草总盖度, 及海拔、坡度和

^{*} [收稿日期] 2006-01-05

[基金项目] 国家林业局“十五”重点项目“陕西秦岭火地塘林区景观特征及其生态功能研究”(2001-4)

[作者简介] 王 斌(1978-), 男, 湖北石首人, 在读博士, 主要从事景观生态及GIS技术应用研究。

[通讯作者] 张硕新(1959-), 男, 陕西户县人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物生理生态与森林生态研究。

坡向。共计调查小班160个,主要乔木树种15种,得到 160×15 的原始物种数据矩阵。结合2003年火地塘林区分辨率为5 m的SPOT影像和比例尺为1 10 000的地形图,生成该地区的数字高程模型(DEM),从中判读每个小班的坡形和坡位,得到地形因子数据,包括海拔(EL EV)、坡度(SLOP)、坡向(EXPO)、坡面(A SPE)、坡位(PO SI)、坡形(SHA P)和地形指数(TO PO)7个地形指标,组成 160×7 的地形因子数据矩阵。其中地形指数综合了坡形和坡位2方面的特征,赋值方法参见文献[2];海拔、坡度数据以实际观测记录值表示;坡向数据以朝东为起点(即为0°),按顺时针每隔45°划分为一个等级,以数字表示各等级:1表示北坡($247.5^{\circ} \sim 292.5^{\circ}$),2表示东北坡($292.5^{\circ} \sim 337.5^{\circ}$),3表示西北坡($202.5^{\circ} \sim 247.5^{\circ}$),4表示东坡($337.5^{\circ} \sim 22.5^{\circ}$),5表示西坡($167.5^{\circ} \sim 202.5^{\circ}$),6表示东南坡($22.5^{\circ} \sim 67.5^{\circ}$),7表示西南坡($112.5^{\circ} \sim 167.5^{\circ}$),8表示南坡($67.5^{\circ} \sim 112.5^{\circ}$)。数字越大,表示越向阳,越干热。

1.3 数量分析方法

采用典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)方法进行植被格局的排序。CCA在种类和环境因子较少的情况下,可以将样方排序、种类排序及环境因子排列表示在一个图上,从而可以直观地看出它们之间的关系。CCA要求有2个数据矩阵,一个是植被数据矩阵,一个是环境数据矩阵,

也可以结合多个环境因子一起分析,从而更好地反映群落与环境的关系。除趋势典范对应分析(DCCA)方法是CCA与除趋势对应分析(DCA)的结合,可以克服样方数据排序的弓形效应。DCCA和CCA均为分析植被与环境关系的方法,在植物群落与环境分析中无疑具有优越性^[5]。植被格局的地形空间因子分离及解释采用Borcard设计的方法^[6],包括4个步骤:(1)以环境因子为约束进行排序,得到植被格局的总体变异 T 和环境解释的部分 T_e ;(2)以空间因子为约束进行排序,得到植被格局的总体变异 T 和空间解释的部分 T_s ;(3)剔除空间协变量后的环境约束排序,得到单纯环境解释 T_e' ;(4)剔除环境协变量后的空间约束排序,得到单纯空间解释 T_s' 。这样,环境因子对植被格局的解释能力为 T_e/T ,空间因子的解释能力为 T_s'/T ,环境因子与空间因子交互作用解释的部分为 $T_e/T - T_e'/T$ 或 $T_s/T - T_s'/T$;无法解释的部分为 $1 - (T_e/T + T_s'/T)$ 或 $1 - (T_s/T + T_e'/T)$ 。上述分析方法采用Braak编制的排序软件CANOCO实现。

2 结果与分析

2.1 火地塘林区植被的CCA法与DCCA法排序结果比较

2.1.1 排序轴与环境因子的相关性分析 各排序轴与地形因子间的相关系数见表1。

表1 4个排序轴的特征值及其与地形因子间的相关系数

Table 1 Eigen value of the 4 DCCA axis and their canonical coefficients with topographical factors

类型 Type	排序轴 Axis	特征值 Eigen value	百分率 Percentage	累计率/% Cumulated	海拔 Elevation	坡度 Slope gradient
CCA	Ax1	0.347	59.3	59.3	-0.9815	0.2181
	Ax2	0.192	32.7	92.0	0.0398	-0.8936
	Ax3	0.026	4.5	96.5	-0.0631	-0.1066
	Ax4	0.010	1.8	98.3	0.0044	0.1563
DCCA	Ax1	0.347	59.3	59.3	0.9780	-0.2176
	Ax2	0.158	27.0	86.3	0.1894	-0.8984
	Ax3	0.027	4.6	90.9	0.0216	-0.9105
	Ax4	0.017	2.9	93.8	0.2807	0.7259
类型 Type	排序轴 Axis	坡向 Slope direction	坡面 Aspect	坡位 Position	坡形 Slope shape	地形指数 Topographic index
CCA	Ax1	0.2501	0.2558	0.1159	0.1331	0.1543
	Ax2	0.2261	0.2968	-0.5936	0.0231	-0.3669
	Ax3	-0.1294	-0.0024	0.2840	-0.6569	-0.2126
	Ax4	0.4543	0.2818	-0.2712	-0.5610	-0.5112
DCCA	Ax1	-0.2654	-0.2693	-0.1228	-0.1432	-0.1648
	Ax2	0.1733	0.2204	-0.6360	0.1216	-0.3349
	Ax3	0.1292	0.2491	-0.3908	-0.0290	-0.2681
	Ax4	-0.1017	-0.2533	0.2103	0.1637	0.2333

由表1可知,CCA 与DCCA 排序的第1轴与海拔显著相关,主要反映热量的变化;第2轴与坡度和坡位相关,主要影响生境水分条件;CCA 的第3轴与坡形相关,第4轴与坡向和坡形相关,但其相关显著性明显低于CCA 排序的前3轴;DCCA 第3轴与第4轴均与坡度有关,可能是物种和环境因子选得比较少,经除趋势方法处理之后,虽然消除了数据排序的弓形效应,但同时也使得数据之间的差异不显著,因此植被的排序图分析均按CCA 方法进行。

2.1.2 样方的CCA 排序结果 CCA 排序图称为双序图,环境因子一般用箭头表示,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴间的正负相关性,箭头连线的长度代表某个环境因子与群落分布和种类分布间相关程度的大小,连线越长,相关性越大,反之越小。箭头连线和排序轴的夹角代表某个环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高,反之越低^[5]。

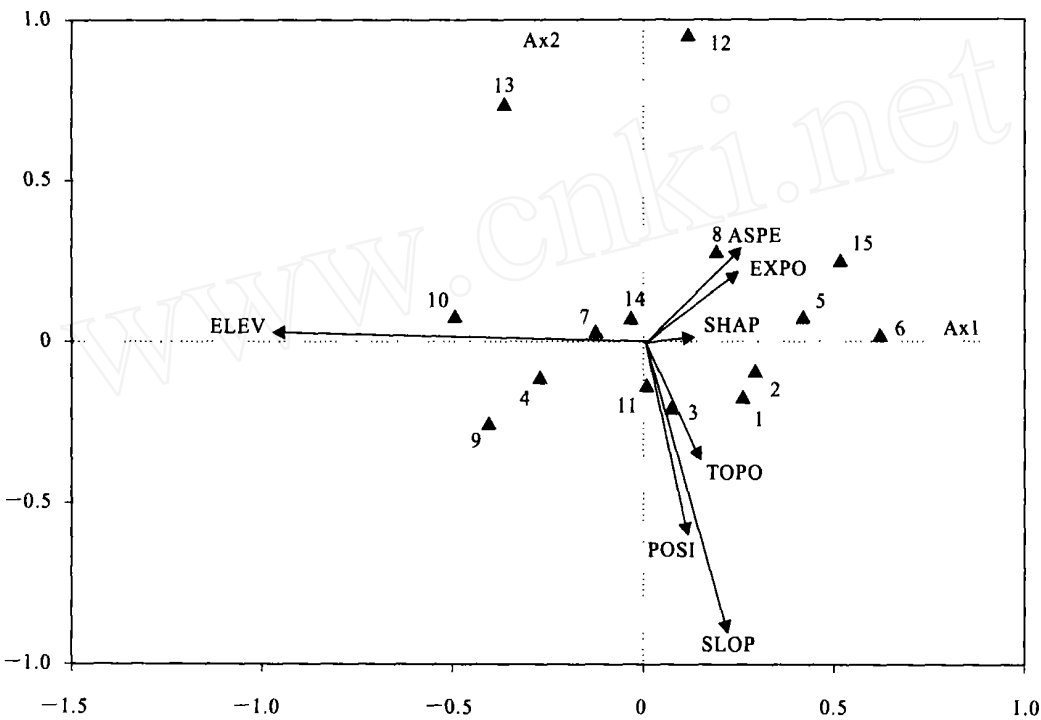


图1 火地塘林区主要景观类型的CCA 排序

1 硬阔; 2 软阔; 3 铁杉; 4 红桦; 5 漆树; 6 锐齿栎; 7 华山松; 8 油松; 9 卜氏杨; 10 云杉; 11 巴山冷杉; 12 落叶松; 13 青杆; 14 山杨; 15 水杉

Fig 1 Ordination diagram of the CCA about the main forest types at Huoditang forest region

1 Hardwood broad-leaved forest; 2 Softwood broad-leaved forest; 3 *Tsuga chinensis* (Franch.) Pritz; 4 *B. albosinensis* Burk; 5 *Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkl; 6 *Q. aliena* var *acuteserrata* Maxim.; 7 *P. amandii* Franch; 8 *P. tabulaeformis* Carr; 9 *Populus purdumii* Rehd; 10 *Picea asperata* Mast; 11 *Abies fargesii* Van Tiegh; 12 *L. principis rupperti* Mayr; 13 *Picea wilsonii* Mast; 14 *Populus davidiana* Dode; 15 *Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng

从物种分布的海拔梯度上看,云杉占据了山体的最高位置,主要分布在海拔2 500 m 的地区,混交种有华山松、巴山冷杉、卜氏杨和少量的红桦。向下是卜氏杨和青杆,这几个物种主要分布于海拔2 200~ 2 500 m 的高中山地带。红桦、华山松、山杨、巴山冷杉、铁杉和油松分布在山体的中部,海拔1 800~ 2 200 m,属典型中山地带。其中,华山松林主要分布在海拔2 100 m 以上,以天然更新的华山松占绝对优势,分布均匀,并伴生有2 成以下的锐齿

栎、山杨、红桦、云杉,林分平均年龄为35 年,平均高度18 m,平均胸径13 cm,幼树主要为生长良好的华山松,但更新不良;油松林分布在海拔2 150 m 的地段,面积小,林内有少量云杉和红桦零星分布;桦木林分布于海拔2 000 m 以上,红桦为优势树种,平均林龄在55 年,平均直径24 cm,与云杉、华山松、卜氏杨等构成混交林景观;铁杉林以铁杉为建群种,主要分布于海拔1 800 m 以上,共建种为华山松和桦木,但整体是以针叶树占优势的天然更新林分。再向下

则是低山落叶阔叶林带,包括硬阔、软阔、漆树、锐齿栎和水杉,分布于海拔1 400~1 800 m的低中山地带。硬阔叶混交林分布于海拔1 600~1 800 m,由于该类型的树种组成复杂,无明显的优势树种,主要形成刺槐、槭树、千金榆、樟、漆树等的混交林景观,该林分生长良好,且占地面积也较大。软阔叶混交林分布海拔高度在1 500~1 600 m,树种组成复杂,无明显的优势树种,主要由栎、枫杨、椴树等组成,伴生有硬阔叶树、锐齿栎、华山松和零星的漆树。锐齿栎处于这一地带分布的最低海拔。落叶松倾向性不明显,对海拔的适应性很广。

从物种分布的坡度和坡位看,落叶松、青杆多分布于山顶、山脊且水分条件一般的地带。华山松、油松、云杉、山杨和水杉则主要分布在较平缓的中下坡位,所在坡度40°以上。硬阔、软阔和铁杉分布于山体的中部,坡度30°左右。锐齿栎、卜氏杨和巴山冷杉主要分布于沟谷地带两侧,坡度在20°以下。

从物种分布的坡向与坡面看,光热条件越好,越适宜油松的生长,水杉、漆树和锐齿栎也表现出了相同的趋势,硬阔和软阔则对光照要求较低。铁杉、巴山冷杉和华山松等针叶林基本分布在半阳坡,云杉

红桦和卜氏杨则基本分布在阴坡、半阴坡,落叶松和青杆没有表现出对光照的依赖性。

自然植被的分布与植被所处的自然环境和立地条件具有极大的关联性。因海拔高度带的水热条件及其组合状况不同,分布有不同的植被类型,这与植被生长发育的生理及其生态学特点相符合。火地塘现有森林是原生植被主伐后恢复起来的天然次生林,林相虽然杂乱,但仍能体现出垂直地带性分布特征,海拔高度不同,景观特征亦不同。结合调查资料,可将林区大体上划分为3个亚带,由低到高依次是松栎林亚带、松桦林亚带和云、冷杉针阔混交林亚带。

2.2 植被格局影响因子的分离

植被格局可以认为是环境因子(环境因子的异质性、规律性和自相关性)、空间因子(主要是距离)、干扰及植物间相互作用的结果^[7]。为了定量解释林区环境因子主要是地形因子与空间因子对景观格局的影响,用坡度、坡向、坡形、坡位、坡面和地形指数组成地形因子矩阵,用每个小班的平面坐标和海拔组成空间因子矩阵,进行4次排序分析,结果见表2。

表2 植被结构变异的环境和空间解释

Table 2 Environmental and spatial interpretation of the structural variance of vegetation		%
项 目 Items	数值 Value	
总体变异 T Sum of unconstrained eigenvalues T	3 359	
环境解释的部分 T_e Sum of canonical eigenvalues of environmental constrain T_e	0 277	
空间解释的部分 T_s Sum of canonical eigenvalues of spatial constrain T_s	0 653	
单纯环境解释 T_e' Sum of canonical eigenvalues of environmental constrain T_e'	0 15	
单纯空间解释 T_s' Sum of canonical eigenvalues of spatial constrain T_s'	0 526	
环境因子对植被格局的解释能力 T_e'/T Fraction of vegetation variation explained by pure environmental factors (involved)	4 465	
空间因子对植被格局的解释能力 T_s'/T Fraction of vegetation variation explained by pure spatial factors	15 659	
环境因子与空间因子交互作用解释的部分 $T_e/T - T_e'/T$ Vegetation variation explained by the interaction between spatial and environmental factors	3 78	
无法解释的部分 $1 - (T_e/T + T_s/T)$ Unexplained vegetation variation (maybe caused by disturbance, biological interaction etc.)	76 094	

由表2可知,环境因子、空间因子及两者的交互作用所解释的植被变异分别为4 465%, 15 659%和3 78%,总共解释了全部植被结构变异的23 906%,尚有76 094%的结构变异还不能得到解释,说明秦岭林区森林植被结构复杂。沈泽昊等^[2]曾运用相同的方法,对三峡大老岭地区森林植被空间格局的地形解释进行过研究,地形因子、空间因子和两者的交互作用所解释的植被变异分别为9 50%, 5 94%和6 81%,总共解释了全部植被结构变异的22 25%,与本文的研究结论基本一致,即地形对山地森林植被格局异质性的解释能力大概在23%左右。但是火

地塘林区空间因子对景观格局变异的解释明显高于沈泽昊的研究结论,说明在秦岭火地塘林区,海拔是各地形因子中最重要的,同时也对CCA排序图中各物种沿海拔顺序分布给出了有力的证明。

3 结 语

本研究是对火地塘林区植被格局数量分析的一个有意义的尝试,由于试验条件的限制,只分析了地形对植被格局的影响,并没有考虑其他环境因子(如土壤、气候以及人为干扰等)对植被格局的影响。同时,从植被演替的角度来看,同一地形可能存在着植



被的不同演替阶段^[2, 8-9], 或者说植被不同的演替阶段表现出不同的景观格局, 这一点在数量分析过程中没有考虑。是否可以在物种和环境因子的基础上增加一个时间维来解决这一问题, 需要进一步研究。但是, 通过对火地塘林区地形对植被格局影响的分析可以看出, 地形通过影响热量、光照和水分而影响植被格局, 其中海拔是最重要的一个地形影响因子,

直接影响热量的分布; 其次是坡度和坡位, 这2个因子决定小尺度地形的水分状况; 最后是坡向与坡面, 其决定植被的光照条件。海拔从景观尺度影响植被的格局, 其他因子从斑块水平影响植被的分布。将所有因子综合起来看, 地形对山地森林植被格局异质性的解释能力大概在23%左右。

[参考文献]

- [1] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 沈泽昊, 张新时. 三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释[J]. 植物学报, 2000, 42(10): 1089-1095.
- [3] 沈泽昊, 张新时, 金义兴. 三峡大老岭地区主要木本植物分布的地形格局[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 581-589.
- [4] 孔繁花, 李秀珍, 尹海伟. 地形对大兴安岭北坡林火迹地森林景观格局影响的梯度分析[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1863-1872.
- [5] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] Borcard D, Legendre P, Drapeau P. Partialling out the spatial component of ecological variation[J]. Ecology, 1992, 73: 1045-1055.
- [7] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis[J]. Vegetatio, 1989, 80: 107-138.
- [8] Swenson F J, Kratz T K, Caine N. Landform effects on ecosystem pattern and processes[J]. Bio Science, 1988, 38: 92-98.
- [9] Edward A. Fire and vegetation dynamics studies from the North American boreal forest[M]. British: Cambridge University Press, 1992.

Landscape pattern and topographic interpretation of the main forest types in Huoditang Forest Region

ZHANG Shuo-xin, WANG Bin, LEI Rui-de, LIU Hua

(College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The influence of terrain on the forest landscape pattern in Huoditang forest region was studied by the method of canonical correspondence analysis ordination. At the same time, the influence of topographical factors, spatial factors and their interaction on the total variance of landscape pattern were quantitatively partitioned. The results suggested that the contribution of the 3 aspects was 4.465%, 15.659% and 3.78% respectively. The total variance explained were 23.906% by the topography and 76.094% of the variance were not interpreted yet.

Key words: Huoditang forest region; landscape pattern; topographic interpretation; canonical correspondence analysis; ordination