

冀北辽河源自然保护区森林景观格局与环境的关系

于晓文, 康峰峰, 韩海荣, 宋小帅, 赵金龙, 高晶, 赵伟红

(北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 利用辽河源自然保护区森林资源二类清查数据,在 ArcGIS 软件和 CANOCO for Windows 4.5 软件的支持下,采用网格样方的采样方法运用典范对应分析(CCA)法,对冀北辽河源自然保护区的森林景观要素空间分布与环境因子的关系进行了分析研究。结果表明:(1)森林景观总体表现为人工林分布在低海拔地区,天然林分布在高海拔地区,与 CCA 排序图上的分布一致。Monte Carlo 检验结果表明海拔、坡度是影响森林景观格局分异的主要环境因子。(2)在保护区内,坡向、郁闭度和土壤厚度对森林景观类型的空间分布的影响力极为有限,海拔是控制景观要素空间分布格局的主要因素,其次是坡度,二者间接控制水、热条件,影响林分树种的分布,进而影响森林景观格局。

关键词: 辽河源自然保护区; 森林景观; 植被格局; 典范对应分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)03-0290-05

中图分类号: X17, P94

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.057

Relationship Between Forest Landscape Patterns and Environmental Factors in Liaoheyuan Nature Reserve of North Hebei Province

YU Xiao-wen, KANG Feng-feng, HAN Hai-rong,

SONG Xiao-shuai, ZHAO Jin-long, GAO Jing, ZHAO Wei-hong

(Key Laboratory of Forest Cultivation and Conservation of the Province and the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the data from the second class investigation of forest resources in the Liaoheyuan River Natural Reserve, grid quadrats sampling and CCA (canonical correspondence analysis) were used to analyze the relationship between the spatial distribution of forest landscapes in the Liaohe yuan River Natural Reserve and its environmental factors. (1) Overall performance of the forest landscapes is that the plantations are located in low-lying areas and natural forests, in high altitudes, which is the same as the distribution of the CCA ordination diagram. Monte Carlo test results show that elevation and slope are the main environmental factors affecting the differentiation of forest landscape patterns. (2) In the Natural Reserve, aspect, canopy density and soil thickness have very limited influence on the spatial distribution of forest landscape elements, and elevation is found to be the main factor to control the spatial distribution of forest landscape elements, followed by slope. Both indirectly control water, hot conditions affecting the distribution of stand species, thereby affecting the forest landscape pattern.

Keywords: Liaoheyuan Natural Reserve; forest landscape; vegetation pattern; CCA

景观格局时空分异与环境因素密切相关,森林景观格局的形成及其变化是环境变迁、生态过程以及人类长期干扰作用的结果^[1],在植被生态学和地植物学的经典理论中,地形作为生境条件的综合指标包括坡度、海拔、坡向等,决定光、热和降水的时空再分配,影响着区域森林景观格局的组成、结构和动态变化,直接影响植被垂直带谱、群落分布以及种群格局^[2-4],随

着中国景观生态学理论与应用研究的发展,关于景观格局—环境关系的定量关系研究进展很快^[5],利用地形分维的差异性来揭示植被空间分布规律以及了解自然因素对植被分布的影响已经在景观和群落尺度的植被格局分析中引起关注,逐渐成为植被生态学研究的一个重点领域^[6]。很多学者对植被和环境关系的研究主要围绕环境对群落整体的影响及生态意义,

收稿日期:2013-06-19

修回日期:2013-08-08

资助项目:林业公益性行业科研专项“森林生态服务功能分布式定位观测与模型模拟”(201204101)

作者简介:于晓文(1987—),女(汉族),山东省威海市人,硕士研究生,研究方向为森林生态学。E-mail:yuxiaowen1021@163.com。

通信作者:韩海荣(1963—),男(回族),青海省西宁市人,博士,教授,博士生导师,主要从事森林生态学研究。E-mail:hanhr@bjfu.edu.cn。

而对不同地类、起源的森林景观类型植物对环境异质性影响程度的不同以及环境因子在植物群落分布格局的相对贡献差异研究较少,目前,分类和排序成为研究植物与环境关系中最常用的数量分析方法,梯度分析不仅在排序空间中定量地表达样方和物种信息,而且可以把影响植被动态的各种因子进行定量地分析,从而更加深入地诠释植被与环境因子的关系,其中典范对应分析可结合多个环境因子对森林景观进行深入有效的认识和管理,包含的信息量大,结果明确、直观、效果好^[7],能够较为客观地反映植被与环境的关系,已经得到了广泛的应用^[8-9]。本研究进一步将典范对应分析法(canonical correspondence analysis, CCA)排序定量方法引入景观格局与环境关系的研究中,探究不同地形因子对辽河源自然保护区森林景观格局的影响,从立地条件和林分类型空间结构角度,为保护区森林生态系统的健康经营提供重要的科学依据。

1 研究区概况

研究区冀北辽河源自然保护区地理坐标为东经 $118^{\circ}22'39''$ — $118^{\circ}37'21''$,北纬 $41^{\circ}01'30''$ — $41^{\circ}21'15''$,位于河北省平泉县境内,总面积 $33\,554.3\text{ hm}^2$,海拔 $625\sim 1\,738\text{ m}$,周边与河北省承德县、内蒙古自治区宁城县接壤;全境为七老图山东南段,地处内蒙古高原和冀北山地的过渡地带。

冀北辽河源自然保护区地处暖温带向寒温带过

渡地带,属于半湿润半干旱大陆性季风型山地气候,特点为:四季分明,雨热同季,光照充足,雨量充沛,风沙较小,昼夜温差大,全年平均气温 7.3°C ,1月平均气温 -10.8°C ,7月平均气温 22.9°C ,极端最高气温 39.4°C ,极端最低温度 -27.9°C ,无霜期 $110\sim 125\text{ d}$,全年日照 $2\,000\sim 2\,900\text{ h}$,年平均降水量 $500\sim 700\text{ mm}$,主要集中在7—9月,年平均蒸发量为 $1\,800\text{ mm}$,湿润度为 0.4 ,历年平均晴天日数为 170 d 左右,境内土壤分为草甸土、棕壤土、褐土、草甸土4个土类,以山地棕壤土和淋溶褐土为主,土层较厚,一般为 $50\sim 100\text{ cm}$,该区共有7个植被型29个群系,低山落叶阔叶灌丛带主要分布有山杏灌丛、胡枝子灌丛、绣线菊灌丛等,中山地带分布有天然油松林、华北落叶松林、山杨林及白桦林及其他阔叶混交林等,植被类型复杂多样。

2 研究方法

以 ArcGIS 为技术平台,基于 DEM 高程图建立研究区数字化地形属性数据库并基于 $1:50\,000$ 森林资源 II 类调查的林相图景观图层属性数据库,采用网格取样法,提取海拔、坡度、坡向、土壤类型、土壤厚度等环境因子和 17 个森林景观分布图。利用 CANOCO for Windows 4.5 软件将环境因子分别与景观多度进行典范对应分析(CCA 排序),研究环境因子对森林景观格局重要性的贡献程度(图 1)。

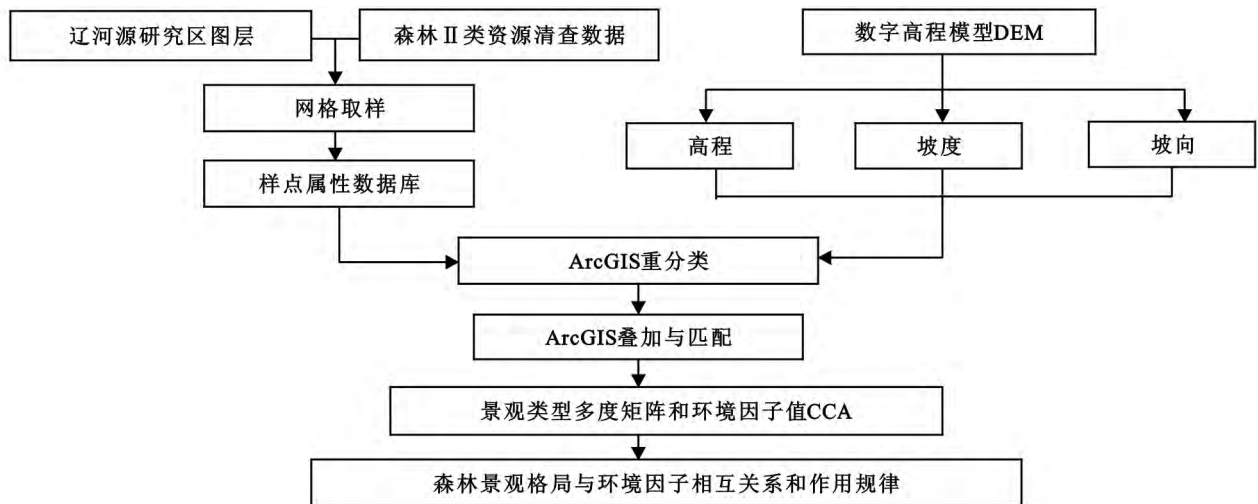


图1 辽河源自然保护区森林景观格局与环境的关系研究的技术路线

2.1 数据来源及处理

(1) 数据来源。以 ArcGIS 为技术平台,利用等高线数字化资料生成数字高程模型(digital elevation model, DEM),通过扩充功能模块“3D Analyst”,“Spatial Analyst”和“Patch Analyst”生成高程、坡度

和坡向分布图。

(2) 环境因子赋值。①土壤类型分为:草甸土、褐土、棕壤土和亚高山草甸土,分别用1—4代表;②郁闭度按1—6共分6级。赋值方法为:1表示某种植物的盖度为0,或数量极少、单株者;2表示某种植物

的盖度在 5% 以下,或数量尚多者;3 表示某种植物的盖度在 5%~25%;4 表示某种植物的盖度在 25%~50%;5 表示某种植物的盖度在 50%~75%;6 表示某种植物的盖度在 75% 以上,皆为实测值^[10];③土壤类型和土壤厚度均取自森林 II 类清查数据。

2.2 森林景观类型划分

森林景观是以各类异质森林生态系统为主体成分,在一定地域范围内复合构成的 I 类景观^[11],也是研究地区的森林在景观尺度上可分辨的相对同质单位,是研究森林景观空间格局的基础^[12]。根据辽河源自然保护区土地利用区划结果、森林 II 类清查数据和研究需求,以森林景观基质层特征为主,考虑优势树种,并结合地类、起源对森林景观类型作了更详细的划分,将森林景观划分为 17 种类型,具体分类结果见表 1。

表 1 辽河源自然保护区森林景观区划结果

森林类型	优势树种	小班数/ 个	面积/ hm ²	面积 比例/%
针叶 纯林	天然 油松 P_1	736	2 335.06	9.13
	油松 P_2	1 072	3 152.03	12.32
	人工 华北落叶松 P_3	111	361.55	1.41
阔 叶 纯 林	桦树 P_4	368	1 877.56	7.34
	山杨 P_5	223	1 172.91	4.58
	天然 椴树 P_6	1	1.79	0.01
	核桃楸 P_7	10	27.84	0.11
	柞树 P_8	1 107	4 722.37	18.46
	其他阔叶树种 P_9	405	1 480	5.78
	栽培杨 P_{10}	124	192.75	0.75
	人工 刺槐 P_{11}	90	306.81	1.20
	经济林树种 P_{12}	13	26.47	0.10
	其他阔叶树种 P_{13}	71	203.93	0.80
混 交 林	天然 针叶树种 P_{14}	220	760.36	2.97
	阔叶树种 P_{15}	1 859	8 261.34	32.29
	人工 针叶树种 P_{16}	189	571.99	2.24
	阔叶树种 P_{17}	47	128.84	0.50

2.3 网格取样

利用 ArcGIS 的 Data Management Tools 模块, Great Fishnet 功能绘制网格,网格单元大小为:20×20 栅格,实际面积为 500 m×500 m,得到研究区网格土层,并用辽河源自然保护区边界图层进行切割 (clip),删除边界线外的样点,对切割后的样点进行统一编号,形成研究区样点属性数据库,生成 1 196 个样方。景观格局分布特征值用每个样方内不同景观类型所占面积比例表示,环境因子分布特征值用网格中心点环境因子值表示。对环境因子进行分级加权平均,得到网格样方的环境因子值。以网格样方内森林景观类型的组成数量作为该样方的多度。

在 Excel 表中,形成景观类型多度矩阵和环境因子值矩阵。通过前向选择法 (forward selection) 选出贡献率较大的环境因子,采用蒙特卡罗置换检验 (Monte Carlo permutation test) 来评估 CCA 的分析是否可靠,利用 CANOCO for Windows 4.5 软件中的 WCanImp 模块,将景观类型多度矩阵和环境因子值矩阵转换为软件规定的格式,输入 CANOCO for Windows 4.5 软件中进行 CCA 排序分析。

为了估计各个环境因子对森林景观类型的影响,每个环境因子的总效应和净效应被测定。总效应的测定以所有环境因子为自变量进行 CCA 排序;净效应的测定是以某一个环境因子为自变量,其他 5 个环境因子为协变量进行偏 CCA (partial CCA) 排序,显著性由 499 次置换检验来确定。分别以每个环境因子的典范特征值与总特征值的比值来表示环境因子对森林景观格局的影响程度^[13]。

2.4 典型对应分析 CCA

典范对应分析是由对应分析 (correspondence analysis, CA) 或叫相互平均 (reciprocal averaging, RA) 修改而成的,结合了对应分析和多元回归分析,当变量数据较多时,直线相关等分析受到了限制,如植被分布沿着环境梯度更多的是呈单峰型分布^[14-15];而且对于山区,由于地形地貌变化幅度大,利用地统计学研究植被的空间变异将产生较大的误差。数量生态学中的典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA) 方法,要求变量的非直线分布很好地解决了这个问题^[1,16]。CCA 排序法最大优点可以将结果简单明了地表示在同一排序图上,能够较为客观地反映景观格局分布与环境因子的关系,已在植物群落和环境关系的研究中得到广泛应用^[17]。应用国际通用的 CANOCO for windows 4.5 分析软件和与此相关的 CANODRAW 作图软件对研究区景观数据进行分析。

CCA 排序轴同时结合了森林景观类型与环境因子,因此,森林景观类型和环境因子的关系很清楚。这可以从 CCA 二维排序出来,环境变量用带箭头的线段表示,箭头所指的方向是环境因子变化最大的方向,箭头连线的长度表示该环境因子与物种分布相关程度的大小,连线越长,相关性越大,能解释森林物种多度分布分布变化的比例也越大。箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高。景观类型点之间的距离代表不同景观类型的空间分布差异,从景观类型点到环境因子箭头的投影点的位置次序可以代表这些景观类型在该环境因子最适值的排序^[18-21]。

3 结果与分析

3.1 森林景观总体特征

辽河源自然保护区总面积 33 554.3 hm²,其中森林面积 25 583.6 hm²,占保护区总面积的 76%,森林覆盖率较高,有林地占绝对优势,是整个景观的基质,控制着整个景观的物质循环和能量流动。森林景观类型中混交林中天然阔叶林最多,共 8 261.34 hm²,占森林总面积 32.29%,针叶纯林中人工油松林最多,共 3 152.03 hm²,阔叶纯林中天然柞树林最多,共 4 722.37 hm²。各森林类型总面积分布极不平衡,面积大小依次为:天然阔叶混交林>天然柞树纯林>人工油松纯林>天然油松纯林>天然桦树纯林>天然其他阔叶纯林>天然山杨纯林>天然针叶混交林>人工针叶混交林>人工落叶松纯林>人工刺槐纯林>人工其他阔叶纯林>人工栽培杨纯林>人工阔叶混交林>天然核桃楸纯林>人工经济林纯林>天然椴树纯林,各森林类型面积差异明显,从一定意义上看出各森林景观类型对整个森林景观中的相对贡献率,反映一定的破碎化状态,其中天然阔叶混交林面积 8 261.34 hm²,共占森林总面积的 32.29%,接近

整个森林景观面积的 1/3,说明天然阔叶混交林是辽河源自然保护区的地带性植被,分布最为广泛,对森林景观贡献最大;油松面积 6 247.45 hm²,占保护区森林面积的 24.42%,接近 1/5,说明其也是保护区 I 类重要的森林景观资源,经济林与天然核桃楸、椴树面积最小,仅占森林景观面积 0.22,对保护区景观格局及其与环境因子之间的关系进行分析,为揭示植被格局和生态过程的耦合关系奠定基础,为森林经营决策提供重要的实践参考。

3.2 CCA 计算结果对研究目标的展示度

排序轴特征值及其与景观因子的相关性分析特征值是衡量排序轴重要性的指标,根据各排序轴的特征值可计算出其对景观类型数据方差以及景观—环境关系的解释。

由表 2 可见,CCA 前 4 个轴的的累积景观—环境解释量为 97.9%,表明前 4 个排序轴集中了全部排序轴所反映的森林景观格局—环境关系的绝大部分信息。第 1 排序轴与环境因子相关性 *F* 检验值为 63.177,为极显著相关($p=0.002$)。环境因子第 1 排序轴与景观格局指数特征第一排序轴的相关系数为 0.578,相关性较好。

表 2 特征值、景观—环境相关系数以及对景观—环境关系解释的累积百分比

特征值					景观与环境相关系数				累积景观—环境解释量/%			
1	2	3	4	合计	1	2	3	4	1	2	3	4
0.303	0.166	0.083	0.014	6.005	0.681	0.522	0.390	0.166	52.4	81.1	95.4	97.9

注:1,2,3,4 表示 CCA 排序中前 4 个排序轴。

3.3 森林景观格局与环境因子关系

在森林景观格局与环境因子的 CCA 排序研究中(表 3),CCA 第 1 轴基本反映了海拔、坡向、土壤类型和土壤厚度的变化,其中海拔与森林景观类型正相关,相关系数最大 0.651 2,其次是坡向、土壤类型和土壤厚度,相关系数分别为 0.155 4,0.388 1 和 -0.601 1,排序轴第 2 轴主要反映坡度和郁闭度的变化,相关系数分别为 0.362 2 和 -0.067 4。土壤类型和厚度在蒙特卡罗置换检验中与景观森林景观类型分布没有显著性,研究区郁闭度变化相对不是很明显,对森林景观格局影响较小。该研究区域最低海拔在 580 m,最高海拔为 1 723.3 m。人工经济林主要分布在海拔 600 m 以下,占该类林地总面积的 82%。天然油松林纯林、人工栽培杨、人工柞树纯林、人工刺槐林、人工阔叶林混交林、人工其他阔叶纯林、人工油松纯林和人工针叶混交林都主要分布在海拔 600~800 m,它们占该类林地总面积的比重分别为:62.42%,54.35%,60.01%,51.225%,49.44%,42.84%,

41.38%,45.43%和 38.45%;而人工华北落叶松林、天然其他阔叶林、天然柞树林、天然核桃秋林、天然椴树林、天然山杨林、天然针叶混交林、天然阔叶混交林主要分布在海拔 800~1 400 m,它们占该类林地总面积的比重分别为:85.93%,52.10%,47.61%,46.02%,45.56%和 38.71%。

表 3 环境因子与 CCA 前 4 个排序轴的相关系数及蒙特卡罗检验结果

环境因子	排序轴				<i>p</i> 值
	1	2	3	4	
海拔	0.651 2	-0.047 6	0.045 7	0.018 0	0.013*
坡度	0.280 9	0.362 2	-0.229 6	-0.003 8	0.034*
坡向	0.155 4	-0.037 4	-0.014 8	-0.098 6	0.243
土壤类型	0.388 1	-0.324 9	-0.195 9	0.029 3	0.455
土壤厚度	-0.601 1	-0.023 2	-0.106 3	-0.048 3	0.431
郁闭度	0.024 9	-0.067 4	-0.027 3	-0.111 0	0.234

注*表示 $p<0.05$ 时差异性显著; **表示 $p<0.01$ 时差异性非常显著。

天然桦树纯林主要分布在 1 200~1 400 m, 占该类林地总面积的 53.32%。这与森林景观类型点在 CCA 排序图上沿海拔箭头方向分布趋势基本吻合。第 2 排序轴则反映的是坡度对森林景观类型分布的变化情况, 而其他的环境因子不是影响森林景观类型格局的主要因子, 在 CCA 排序图中, 大部分森林景观类型集中分布在坡度箭头的起始点附近, 这与实际情况相符合。

3.4 森林景观格局分布的主导因素

以上结果分析表明, 沿第 1 轴 CCA 能很明显地把森林景观类型与环境因子的相关关系大小区分开来, 由此可知, 冀北辽河源保护区森林景观格局分布的主导因素是海拔, 对森林景观格局贡献率最大, 辽河源自然保护区森林景观在总体上表现为人工林分布在低海拔地区, 天然林分布在高海拔地区, 海拔从低到高, 也反映了人类干扰这一因子逐渐减弱的梯度。另一个重要的环境因子是坡度, 且随着坡度的增加, 各森林景观类型数量先增加后减少, 坡度与海拔密切相关, 与人类的干扰有一定的关系。

4 结论

(1) 辽河源自然保护区以有林地为主, 森林覆盖较高, 占保护区总面积的 76%, 森林景观异质性较高, 森林景观类型较丰富。各森林类型总面积分布极不平衡, 面积差异明显, 其中林型中比重最大面积和最小面积相差 8 259.63 hm², 呈现出一定森林的破碎化状态。有林地中以天然阔叶混交林和油松林居多, 是保护区重要的森林景观资源。其中人工林多分布在低海拔地区, 天然林分布在高海拔地区。

(2) 冀北辽河源自然保护区森林景观格局是不同生态适应型树种与环境因子相互作用、相互适应的结果。它不仅与树种的生物学特性和种群间竞争排斥有关, 而且与树种的生境、海拔、坡度等有密切关系。根据林分、起源、现状地类划分的 17 种森林景观类型与 CCA 排序图上的散布格局吻合较好, 揭示出重要的环境梯度。CCA 分析结果表明, 海拔是景观类型分布格局的主要控制因子, 其次是坡度, 原因是坡度的变化决定了土壤持水量的大小, 从而影响了植被生长发育过程中对水分的需求。坡向的变化决定了光照强度的大小, 从而影响植被生长发育过程中对光照的需求, 在研究区域内的变化不如海拔、坡度变化幅度大, 未能构成植被生长发育的限制条件, 对植被分布的影响居于海拔、坡度之下, 土壤类型和土壤厚度在蒙特卡罗置换检验中与景观森林景观类型分布没有显著性, 研究区郁闭度变化相对不是很明显,

对森林景观格局影响较小。

(3) 利用 GIS 技术从遥感图像中生成数字模型提取高程、坡度、坡向进行统计分析的方法是简单有效的, 该方法不仅可以避免传统样方调查法的繁琐性, 同时也保证了地形数据的完整性和全面性, 利用蒙特卡罗置换检验确定森林景观类型的分布是否和地形因素有关联, 从而确认 CCA 研究是否有意义。景观格局具有空间相关性和尺度效应, 在连续尺度序列上对景观格局进行考察有助于把握其内在的演变规律, 本文侧重空间变化研究, 解释不同生态适应型林分树种和立地因子之间关系, 在空间、时间、尺度上对两者的相关性深入探讨与环境因子的关系, 能更好地为保障辽河源自然保护区森林景观格局的高保护价值及合理利用资源提供有力的依据。

[参 考 文 献]

- [1] 周彬. 北京山区森林景观格局与环境关系的 CCA 研究[J]. 水土保持通报, 2010, 20(6): 148-152.
- [2] 张峰, 张金屯. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 421-427.
- [3] 沈泽昊, 张新时, 金义兴. 地形对亚热带山地景观尺度植被格局影响的梯度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 30-435.
- [4] 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.
- [5] 沈泽昊. 山地森林样带植被—环境关系的多尺度研究[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 461-470.
- [6] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [7] 李秋华, 韩博平. 基于 CCA 的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2355-364.
- [8] 张斌, 张金屯, 苏日古嘎, 等. 协方差分析与典范对应分析在植物群落排序中的应用比较[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 824-851.
- [9] 何东进, 何小娟, 洪伟, 等. 天宝岩猴头杜鹃林粗死木质残体数量特征[J]. 福建林学院学报, 2008, 28(4): 293-298.
- [10] 游巍斌, 林巧香, 何东进, 等. 天宝岩自然保护区森林景观格局与环境关系的尺度效应分析[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(5): 638-644.
- [11] 薛建辉. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [12] 李明月. 浙江临安森林景观生物量空间分布趋势[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(6): 70-73.
- [13] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 环境因子对大亚湾人工鱼礁上附着生物分布的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4053-4060.

(下转第 322 页)

空港新城、秦汉新城、沔西新城、沔东新城和渭河生态景观带(西安大都市渭河核心区带),以及五陵塬帝陵大遗址带和周秦汉都城遗址带构成“一河两带五组团”的空间结构。五陵塬囊括了泾河新城、空港新城、秦汉新城 3 个组团,以及渭北帝陵风光带和秦汉历史文化带等功能区。其中秦汉新城占地 302 km²,是西咸新区占地面积最大的板块,居于西咸新区五成之心,蕴含着厚重的秦汉历史文化资源,如秦帝国都城、秦咸阳宫以及汉代帝陵群等。

五陵塬北缘东段的侵蚀沟谷,会对泾河新城西南的物流仓储区形成影响,其西段滑坡、崩塌及侵蚀沟谷势必影响空港新城的发展建设及塬面交通状况(如台塬边坡切沟溯源侵蚀对 208 省道的蚕食)。五陵塬南缘边坡陡坎既是黄土窑洞密集带,也是侵蚀沟谷发育带。该陡坎东西向横贯秦汉新城,其边坡侵蚀沟谷和黄土塌陷等地貌发育的破坏和影响作用不容忽视。就西咸新区、尤其是秦汉新城建设具有世界影响的秦汉历史文化聚集展示区和西安国际化大都市生态田园示范新城的目标,以及发展秦汉历史文化旅游特色产业而言,对五陵塬边坡地质灾害的治理和预防应该引起学术界和相关政府部门的重视。

致谢:承蒙咸阳师范学院梁安和、李虎、雷依群、车自力、郭力宇、封建民、张波等学者参加野外考察和绘制图件,在此表示衷心感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 张宗祜. 我国黄土高原区域地质地貌特征及现代侵蚀作用[J]. 地质学报, 1981, 55(4): 308-320.
- [2] 桑广书. 秦末以来秦都咸阳地貌演变[J]. 地理科学, 2005, 25(6): 710-716.
- [3] 黄玉华, 雷祥义. 模糊信息优化处理方法在陕西泾阳南塬塬边斜坡稳定性区划中的应用[J]. 灾害学, 2005, 20(4): 47-50.
- [4] 许领, 戴福初, 阎弘, 等. 泾阳南塬黄土滑坡类型与发育特征[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2010, 35(1): 155-160.
- [5] 范立民, 岳明, 冉广庆. 泾河南岸崩岸型滑坡发育规律[J]. 中国煤田地质, 2004, 16(5): 33-35.
- [6] 桑广书, 冯利华, 商丽. 泾河下游南岸台塬边坡稳定性与滑坡诱因分析[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 187-191.
- [7] 桑广书. 黄土高原历史时期地貌与土壤侵蚀演变研究[D]. 陕西 西安: 陕西师范大学, 2003.
- [8] 王德耀, 杜忠潮, 张满社. 陕西省泾阳南塬崩塌、滑坡地质灾害及成因分析[J]. 水土保持通报, 2004, 24(4): 34-37.
- [9] 勒泽先, 韩庆宪. 黄土高原滑坡分布的“群体性”[C]// 1987 年全国滑坡学术讨论会滑坡论文选集. 1989: 123-128.
- [10] 秦建明, 梁小青. 黄土滑坡地貌与文物保护[C]// 中国文物保护技术协会第二届学术年会论文集. 2002: 258-261.
- [11] 雷祥义. 陕西泾阳南塬黄土滑坡灾害与引水灌溉的关系[J]. 工程地质学报, 1995, 3(1): 56-64.
- [12] 何小林, 雷鸣, 何刚雁. 边坡防护技术的研究现状与发展趋势[J]. 科技资讯, 2012(13): 57-58.
- [13] 王文胜. 泾阳南塬边坡稳定性理正模拟分析[J]. 地下水, 2012, 34(2): 208-209.
- [14] 王万忠, 焦菊英, 郝小品. 黄土高原暴雨空间分布的不均匀性及点面关系[J]. 水科学进展, 1999, 10(2): 165-169.
- [15] 咸阳市文物事业管理局. 咸阳市文物志[M]. 西安: 三秦出版社, 2008.
- [16] 李崇巍, 刘丽娟, 孙鹏森, 等. 岷江上游植被格局与环境关系的研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(4): 404-409.
- [17] 郭砾, 夏北成, 刘蔚秋. 地形因子对森林景观格局多尺度效应分析[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 900-904.
- [18] 宋萍, 齐伟, 徐柏琪, 等. 胶东山区景观格局与环境因子关系研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 386-392.
- [19] 岳跃明, 王克林, 张伟, 等. 基于典范对应分析的喀斯特峰丛洼地土壤—环境关系研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1400-1405.
- [20] 余敏, 周志勇, 康峰峰, 等. 山西灵空山小蛇沟林下草本层植物群落梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2013, 37(5): 373-383.
- [21] 姜安如. 天山中段山地植被的生态梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 364-372.
- [22] White P S, Jentsch A. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics [J]. Progress in Botany, 2001, 62: 399-450.
- [23] Svenning J C, Harlev D, Srensen M M, et al. Topographic and spatial controls of palm species distributions in a montane rain forest, Southern Ecuador[J]. Biodiversity and Conservation, 2009, 18(1): 219-228.

(上接第 294 页)

- [14] 李崇巍, 刘丽娟, 孙鹏森, 等. 岷江上游植被格局与环境关系的研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(4): 404-409.
- [15] 郭砾, 夏北成, 刘蔚秋. 地形因子对森林景观格局多尺度效应分析[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 900-904.
- [16] 宋萍, 齐伟, 徐柏琪, 等. 胶东山区景观格局与环境因子关系研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 386-392.
- [17] 岳跃明, 王克林, 张伟, 等. 基于典范对应分析的喀斯特峰丛洼地土壤—环境关系研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1400-1405.
- [18] 余敏, 周志勇, 康峰峰, 等. 山西灵空山小蛇沟林下草本层植物群落梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2013, 37(5): 373-383.
- [19] 姜安如. 天山中段山地植被的生态梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 364-372.
- [20] White P S, Jentsch A. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics [J]. Progress in Botany, 2001, 62: 399-450.
- [21] Svenning J C, Harlev D, Srensen M M, et al. Topographic and spatial controls of palm species distributions in a montane rain forest, Southern Ecuador[J]. Biodiversity and Conservation, 2009, 18(1): 219-228.