

公路建设期路域生态区植物种群空间分布格局 ——以宝(鸡)天(水)高速公路为例

巨天珍¹, 石 垚^{2,*}, 安黎哲³, 徐世键³, 张宋智⁴

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;
3. 兰州大学生命科学学院, 兰州 730000; 4. 甘肃省小陇山林业科学研究所, 天水 741022)

摘要:分析了宝(鸡)天(水)高速公路建设地区植被生态环境特点,结合道路工程建设标段划分和小陇山各林场分布现状,对沿线路域生态系统进行了三级分区;其中一级路域生态区分别是麦积林场路域生态区、党川林场路域生态区、百花林场路域生态区和东岔林场路域生态区。最后,选择花石山 1#隧道路域生态带(段)作为本次研究的典型案例区,通过对该路域生态带(段)内的植物群落进行细致调查,并应用种群数量统计分析、扩展最近邻体分析和点格局分析 3 种方法,选择该路域生态带自然植被类型的地带性种群锐齿栎(*Quercus aliena*. var)、非地带性种群华山松(*Pinus armandii*)、白桦(*Betula platyphylla*)和人工群落的建群种种群日本落叶松(*Larix kaempferi*)进行了分布格局的对比研究。结果表明:路域生态区内各主要种群的空间分布格局具有一定的尺度变异性,如地带性种群锐齿栎(*Quercus aliena*. var)在 0~10m 尺度上表现为随机分布、10~20m 尺度上表现为聚集分布、大于 20m 尺度上表现为均匀分布,等。通过路域生态区内的植物种群空间分布格局研究,也对公路施工后的植物生态修复和绿地景观设计提供一定思路,为路域环境监测提供了生物因子方面的对比资料,最终为更合理的保护路域生态环境提供科学基础。

关键词:路域生态区;植物种群空间分布格局;种群数量统计分析;种群扩展最近邻体分析;种群点格局分析;宝(鸡)天(水)高速公路

文章编号:1000-0933(2008)07-3365-10 中图分类号:S944 文献标识码:A

Research on plant populations' spatial distribution pattern in the periods of highway-construction on the road-ecology region: take Baoji-Tianshui Highway for example

JU Tian-Zhen¹, SHI Yao^{2,*}, AN Li-Zhe³, XU Shi-Jian³, ZHANG Song-Zhi⁴

1 Geographical and Environmental Department, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 School of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

4 Gansu Xiaolongshan Forestry Science Research Institute, Tianshui 741022, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3365 ~ 3374.

Abstract: This paper analyzed the ecosystem characteristics of the region which Baoji-Tianshui highway bypassed,

基金项目:国家西部交通建设科技资助项目(2004-318-000-57)

收稿日期:2007-07-19; 修订日期:2008-06-06

作者简介:巨天珍(1965~),女,甘肃天水人,硕士,副教授,主要从事植物生态、城市生态及环境生态学研究。E-mail: jujutz@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiyao8541@163.com

致谢:论文修改过程中得到了中国科学院生态环境研究中心阳文锐博士和黄锦楼博士的悉心指导,挪威科技大学 Anders H. Strømman 博士润色英文摘要,特此致谢!

Foundation item: The project was financially supported by the Program of Road Traffic Construction in West of China (No. 2004-318-000-57)

Received date: 2007-07-19; **Accepted date:** 2008-06-06

Biography: JU Tian-Zhen, Associate professor, mainly engaged in plant ecology, urban ecology and environmental ecology. E-mail: jujutz@163.com

combining data on the road construction project bid with knowledge on the situation of each forestry centre distribution in Xiaolongshan. The first grade road-ecosystem region was divided into four parts: Maiji forestry centre ecology region, Dangchuan forestry centre ecology region, Baihua forestry centre ecology region, and Dongcha forestry centre ecology region. In the end, the Dangchuan forestry centre ecology region, which is passed by the Huashishan 1# tunnel, was chosen as the main region of this research. For this region, the plant community was investigated and the methods of “Quantity Statistics Analysis”, “Extended Nearest Neighbor Analysis” (ENNA), and “Point Pattern Analysis” were applied. Furthermore, dominant species were selected and their spatial distribution pattern of the natural and manual (*Larix kaempferi*), zonal (*Quercus aliena* var) and non-zonal (*Pinus armandii*, *Betula platyphylla*) vegetation population type were examined. It is concluded that members of different plant communities in different scales have different spatial distribution patterns. For example, *Quercus alienavar* mainly showed random distribution in the 0—10m-scale performance, aggregated distribution in the 10—20m-scale performance, and uniform distribution in the 20m above-scale performance. In addition, the study will provide information on biological monitoring factors that can be used in comparative studies after the completion of the highway construction, as well as some methods for plant ecological remediation and vegetation landscape designing. It is the author's belief that the scientific basis provided in this study can give valuable insights into finding more reasonable ways to protect the road-environment.

Key Words: road-ecology region; spatial distribution patterns of the plant population; quantity statistics analysis for plant population; point pattern analysis for plant population; extended nearest neighbor analysis (ENNA); Baoji-Tianshui Highway

公路铁路作为特殊的人工廊道,研究主要集中在其经济效应、生态效应和环境效应3个方面。经济地理学往往从经济学和土地利用角度对由道路交通引起的区域“点-轴效应”进行分析评价^[1~3];环境学常关注于道路交通造成的沿线环境污染现象,如大气污染、水污染、土壤污染及噪声污染等^[4~10];生态学则以道路沿线动植物种群、群落、生态系统及景观各方面特征变化为重点,从格局、过程和功能三方面对道路影响下的半自然生态系统进行研究^[11~15];另外,还有些学者也从多角度对道路建设的经济、生态、环境效应等进行综合分析,如欧美国家普遍采取的生态补偿政策等^[16]。“道路生态”和“路域生态系统”概念的提出,标志着道路工程建设在其生态效应影响方面的研究已逐渐走向系统化和科学化。Richard. T. T. Forman 指出,道路生态学 (road ecology) 是研究与道路和车辆相关的有机体与无机环境之间相互作用的科学,或探索自然环境与道路系统的相互关系的科学^[17]。秦志斌,刘朝晖等指出,路域生态系统通常指公路建成以后,随着绿化和生态恢复为主的环保工程的实施而出现了一个新的生态系统,范围一般是公路用地界之内宽约 50~70m,长数十至数百公里的地带,其中生物因素包括中央分隔带的植被、边坡植被、护坡道植被、立交区植被和隔离栅植被等,另外这里栖息了许多小型哺乳和爬行动物、灌丛和枝头的鸟类、农田迁来的害虫等^[18]。宗跃光等指出,路域生态系统则是在公路施工期和建成运营之前,道路工程所经地区沿选线附近宽约 500~1000m,长数十至数百公里的地带,生物因素主要是道路工程建设之前的原始植被和栖息在该森林植被中的各种动物^[19]。

随着传统生态学方法和现代信息技术(尤其是 3S 技术)在道路工程建设环境影响和生态效应评价方面的应用,以及各种边缘学科的介入,使得道路生态学研究的内容、方法、手段渐趋多元化^[20~25]。从国内外的研究现状可以看出,该领域的研究大多集中在路域环境因子(如土壤、地表水、地下水、大气等)和土地利用类型等生态系统结构的变化及其所导致的各种生态风险评价。关于路域范围内动植物群落或关键物种(如濒危珍稀物种)种群的细致研究还很少涉及。

探索道路工程建设对自然生态环境的影响,尤其是对路域景观变化的作用机制一直是“道路生态学”研究的主要领域^[17]。以森林植被为例,种群是构成群落的基本单位,其结构不仅对群落结构具有直接影响,并能客观地体现出群落的发展趋势^[35],尤其是在人为干扰极其强烈的路域生态区范围内,研究其植物群落关键

种群结构及其动态,对阐明路域植物群落的稳定性和更新策略更具有重要意义。因此,本研究在宝天高速公路路域生态区划的基础上,通过选择典型路域生态带并对其各主要种群空间分布格局的多尺度的案例分析,以期道路建设的路线选择方案设计,道路生物监测,道路建成后的植被修复、绿地景观设计和生态保护措施的制定等,提供可靠依据。

1 研究区概况

1.1 道路工程项目及所经区域自然概况

在建道路工程项目“连霍国道主干线宝(鸡)天(水)公路牛背至天水段”,位于东经 $105^{\circ}40'$ ~ $106^{\circ}43'$,北纬 $34^{\circ}16'$ ~ $34^{\circ}35'$ 范围内。起于陕甘两省分界处的牛背,东接陕西省宝鸡市;终点是甘肃省天水市甘泉镇,西接宝(鸡)天(水)公路甘肃境二期工程天水国境段,并与规划中的 G316 天水-渭源高速公路相联。该项目位于秦岭西部,大部分工程穿越甘肃省小陇山林区,跨黄河流域、长江流域两大水系。根据我国自然地理环境特征的地域分异规律,小陇山林区处于我国温带南缘与北亚热带的过渡地带,气候温和湿润,属暖温湿润、中温半湿润的大陆性季风气候类型,适宜林木繁衍、生长,也是甘肃省境内保存有大面积森林资源分布的地区之一(图 1)。

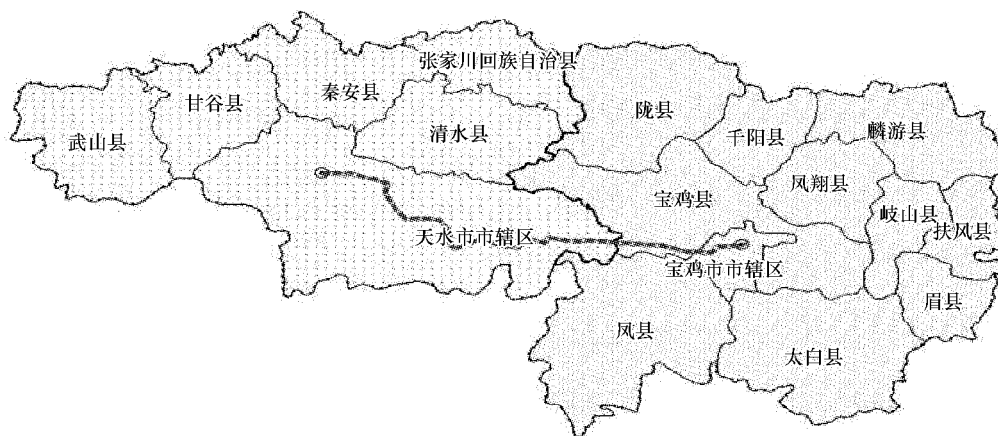


图 1 道路工程项目线路及所在区域背景图

Fig 1 Maps of the study area and location of the road construction project

1.2 植被概况

该路域生态区位于我国四大自然植被区系(华北、华中、喜马拉雅、蒙新)的交汇处,植物种类繁多、茂密,是温带向北亚热带过渡的植物基因库,另有暖温带和亚热带植物侵入。有木本植物 86 科、224 属、800 多种;草本植物 158 科、726 属、1986 种(其中蕨类 21 科、41 属、95 种,苔藓 53 科、98 属、139 种);其中乔木 281 种、灌木 437 种、木质藤本 85 种;珍贵树种 30 多种、药用植物 1004 种。区内植被类型大致分为:寒温性针叶林、温性针叶林、暖温性针叶林、温性阔叶林、暖温性阔叶林、温性针阔混交林、暖温性针阔混交林、温性落叶阔叶林、暖温性落叶阔叶林、落叶常绿阔叶混交林、竹林、常绿革叶灌丛、落叶阔叶灌丛、灌草丛、草原、草甸、沼泽、水生植物等。森林类型有:云杉林(*Picea asperata*)、冷杉林(*Abies fabric*)、油松林(*Pinus tabulaeformis*)、华山松林(*Pinus armandii*)、侧柏林(*Platycladus orientalis*)、栓皮栎林(*Quercus variabilis*)、锐齿栎林(*Quercus aliena* var)、辽东栎林(*Quercus liaotungensis*)、山杨林(*Populus davidiana*)、白桦林(*Betula platyphylla*)、红桦林(*Betula albo-sinensis*)、竹林(*Bambusoideae*)等^[34]。

2 调查与研究方法

2.1 路域生态区划方法

在进行具体的路域植被生态区划时,综合考虑(1)路域生态系统范围内水文、地质、土壤等自然地理环境特征;(2)小陇山林区林业管理及林业发展规划;(3)在建道路工程项目施工进度情况;(4)工程建设项目与

路域植被保护实际要求;(5)以及后期营运道路管理者生态环境保护规划制定等因素。在遵循自然规律、结合工程实际、协调规划管理、促进生态保护四大原则的基础上对整个路域生态范围进行了三级区划。

具体的区划思路是:首先,大致确定路域生态影响范围,即选定道路工程项目两侧 1km 左右区域,结合道路工程所经小陇山四大林场和道路建设各承包标段的布局,大体划分出四个大的路域生态区;其次,在每个路域生态区内,综合各标段工程项目所在区域的地貌单元类型、水文状况、及其他自然要素和总体景观特点,将其分为若干个小的路域生态带;最后,在所划分出的各路域生态带基础上,根据具体的道路工程建设方案划分出不同的路域生态段。

2.2 路域生态区植被生态调查方法

2.2.1 样方设置

结合林业调查手册和甘肃小陇山林科所工作人员多年的调查实践^[34],在在建工程项目典型工程路域生态带(段)—花石山 1[#]隧道路域生态带(段)内均匀设置了 15 个面积为 400m² 的样方,共计 6000m²;再用机械法选取 8 个小样方,调查左下角 4m×4m 小样方内灌木层和 1m×1m 面积内草本层等用于群落类型调查与结构分析。

2.2.2 测量指标

测量与记录的指标包括:乔木层的种名、种数、每种株数、每株树高、胸径、枝下高、冠幅、树龄,样地盖度、每木空间定位值;灌木和草本层的种名、种数、每种株数、平均高度、盖度;同时记录采样样地的生境、土壤特征、林分生长、天然更新及病虫害情况。

野外收集的数据整理后,借助 SPSS 13.0、microsoft excel 2003 数据处理软件计算各关键植物物种的重要值、种群生态位和种群空间分布格局特征值。

2.3 路域生态区植物种群空间分布格局分析方法

2.3.1 路域植物种群空间分布格局数量统计分析方法

用以确定种群分布格局的数理统计指标,通用的有方差/均值比($S^2/\bar{X}$)的 t 检验法、负二项参数 k 检验法、扩散型指数、丛生指数(I)、Cassie 指标(C_A)、平均拥挤度(m^*)和聚块性指标(m^*/m)、Morisita 指数(I_τ)。各指标的具体算法不再叙述^[26]。

2.3.2 路域植物种群空间分布格局扩展最近邻体分析方法

扩展最近邻体分析(extended nearest neighbor analysis, ENNA)是在传统最近邻体分析方法^[27,28]的基础上,增加一个距离尺度参数 $d(m)$,从而实现种群多尺度分布格局的检验。其 Clark-Evans 指数 $CE(d)$ 公式为:

$$CE(d) = r_{dA}/r_{dE} = (1 + N_d \sum r_i)/(0.5 \sqrt{A_d/N_d} + 0.0514P_d/N_d + 0.041P_d/N_d^{3/2})$$

相应地,正态分布检验计算式变为:

$$u(d) = (r_{dA} - r_{dE})/\sigma_d \quad \sigma_d = 0.2136/\sqrt{\rho_d N_d} = 0.2613/\sqrt{N_d^2/A_d}$$

式中,各参数的意义及该方法用于种群空间分布检验的详细说明参阅文献^[29]。

2.3.3 路域植物种群空间分布格局点格局分析方法

根据种群“点格局分析(point pattern analysis)”^[30]原理,其分布形式可以用 $K(t) = \lambda^{-1}$ 表示(即从某一随意点起,距离 t 以内的其余的期望点数)这里 t 可以取 >0 的任何值, λ 为单位面积上的平均点数,可以用 n/A 来估计, A 为样地面积, n 为总点数(植物个体数)。在实践中, $K(t)$ 常用下式估计:

$$\hat{K}(t) = (A/n^2) \sum \sum [I_t(u_{ij}/W_{ij})] \quad (i \neq j)$$

式中, u_{ij} 为两个点 i 和 j 之间的距离;当 $u_{ij} \leq t$ 时, $I_t(u_{ij}) = 1$, 当 $u_{ij} > t$ 时, $I_t(u_{ij}) = 0$; W_{ij} 为以点 i 为圆心, u_{ij} 为半径的圆周长在面积 A 中的比例,其为一个点(植株)可被观察到的概率。

在实际应用中,结合文献中的转换方法^[31,32],用 $\hat{H}(t)$ 来描述种群的空间分布特征,其公式为:

$$\hat{H}(t) = \sqrt{K(t)/\pi} - t$$

随后应用 Monte-Carlo 拟合检验来反映其分布特征的随机性。该方法的详细论述参阅文献^[32]。

3 研究结果

3.1 路域生态区划结果

通过整个道路沿线工程建设和自然生态环境的调查,将其分为 4 个一级路域生态区,分别为:麦积林场路域生态区、党川林场路域生态区、百花林场路域生态区和东岔林场路域生态区;各一级路域生态区内又分别划分出不同的二级路域生态区(带);最后又在二级路域生态区(带)的基础上划分出三级路域生态带(段)。具体路域生态区划结果见表 1 所示。

表 1 道路工程建设项目路域生态区划类型

Table 1 Types of all Road-Ecology Region/Belt to the road construction project

一级路域生态区 The first-order road-ecosystem region	二级路域生态区(带) second-order road-ecosystem region	典型三级路域生态带(段) third-order road-ecosystem belt
麦积林场路域生态区 Maiji forestry centre ecology region	侵蚀堆积黄土丘陵农田区 Erosioning Accumulation Loess Hilly and Farmland Region 侵蚀堆积河谷平原农田区 Erosioning Accumulation Valley Plain and Farmland Region 侵蚀堆积红层丘陵稀树灌木区 Erosioning Accumulation Red Beds Hilly and Shrubs Region	温泉隧道路域生态带(段),东柯河大桥路域生态带(段),等 Whenquan Tunnel Road-Ecosystem Belt,Dongkehe Bridge Road-Ecosystem Belt, et al.
党川林场路域生态区 Dangchuan forestry centre ecology region	构造侵蚀低中山-长江水系隧道群森林区 Tectonic Erosioning Low-Middle Mountain-The Yangtze River System and Tunnel Groups Forestry Region 侵蚀堆积河谷平原-长江水系森林区 Erosioning Accumulation Valley Plain-The Yangtze River System and Forestry Region 构造侵蚀低中山-黄河水系隧道群森林区 Tectonic Erosioning Low-Middle Mountain-The Yellow River System and Tunnel Groups Forestry Region	花石山隧道群路域生态带(段),党川互通立交路域生态带(段),等 Huashishan Tunnel Road-Ecosystem Belt,Dangchuan Overpass Road-Ecosystem Belt, et al.
百花林场路域生态区 Baihua forestry centre ecology region	构造侵蚀低中山-长江水系特长隧道森林区 Tectonic Erosioning Low-Middle Mountain-The Yangtze River System and Super-Long Tunnel Forestry Region 侵蚀堆积河谷平原-长江水系散岔河谷森林区 Erosioning Accumulation Valley Plain-The Yangtze River System Shancha Valley and Forestry Region 侵蚀堆积河谷平原-长江水系百花川平原农田区 Erosioning Accumulation Valley Plain-The Yangtze River System Baihuachuan Plain and Farmland Region	大坪里隧道路域生态带(段),仙坪沟大桥路域生态带(段),等 Dapingli Tunnel Road-Ecosystem Belt,Xianpinggou Bridge Road-Ecosystem Belt, et al.
东岔林场路域生态区 Dongcha forestry centre ecology region	侵蚀堆积河谷平原-黄河水系渭河峡谷森林区 Erosioning Accumulation Valley Plain-The Yellow River System Wei River Canyon and Forestry Region 侵蚀堆积河谷平原-黄河水系东岔河低桥立交密集农田区 Erosioning Accumulation Valley Plain-The Yellow River System Dongcha River Canyon and Densely Low Overpass Farmland Region 构造侵蚀低中山-黄河水系沟谷特大桥梁森林区 Tectonic Erosioning Low-Middle Mountain-The Yellow River System and Super-Large Bridge Forestry Region	大水峪沟隧道、特大桥路域生态带(段),桃花坪立交路域生态带(段),等 Dashuiyugou Tunnel Road-Ecosystem Belt,Dashuiyugou Bridge Road-Ecosystem Belt,Taohuaping Overpass Road-Ecosystem Belt, et al.

各路域生态区(带、段)特征及具体区划细则不再叙述。由于整个路域生态区范围较大,植物群落类型多样,所以本研究只选择花石山 1[#]隧道路域生态带(段)作为本次研究的典型代表区,进行案例研究。

3.2 典型路域生态带(段)植物群落调查结果

典型路域生态带样地植被调查发现,该路域生态带(段)主要分布的植物群落类型是暖温带针阔混交林、

温带暖温带针叶林、温带落叶阔叶林和暖温带常绿落叶阔叶混交林。物种组成主要有白桦 (*Betula platyphylla*)、锐齿栎 (*Quercus aliena*. var)、华山松 (*Pinus armandii*)、漆树 (*Toxicodendron vernicifluum*)、水楸 (*Fraxinus mand-shrica*)、山榆 (*Ulmus macrocarpa*)、青檀 (*Pteroceltis tatarinowii*)、椴树 (*Tilia*)、日本落叶松 (*Larix kaempferi*) 等乔木,毛樱桃 (*Prunus tomentosa*)、甘肃山楂 (*Crataegus kansuensis*)、珍珠梅 (*Sorbaria kirilowii*)、美丽胡枝子 (*Lespedeza formosa*)、蜀五加 (*Acanthopanax setchuenensis*)、卫茅 (*Euonymus altus*)、锈线梅 (*Neillia thrysiflora*)、泡花树 (*Meliosma cuneifolia*)、多花木兰 (*Indigofera amblyatha*)、光叶泡花树 (*Meliosma cuneifolia* var. *glabriuscula*)、桦叶荚蒾 (*Vinurnum betulifoljkium*)、杜氏鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*)、胡颓子 (*Elaeagnus pungens*) 等灌木,草本植物种类丰富,达数千种,另外森林群落类型发育较成熟,乔木、灌木、草本、藤本植物组合完整。

3.3 路域植物种群空间分布分析结果

选择该路域范围内出现的地带性种群-锐齿栎 (*Quercus aliena*. var)、非地带性种群-华山松 (*Pinus armandii*)、白桦 (*Betula platyphylla*) 和人工群落的建群种种群-日本落叶松 (*Larix kaempferi*),应用数量统计分析、扩展最近邻体分析和点格局分析 3 种方法,对其进行了空间分布格局的对比研究。

从图 2 中可以看出,应用数量统计分析:锐齿栎 (*Quercus aliena*. var) 种群在小于 18m 尺度范围内 (300 m^2) 均表现为聚集分布,在大于 18m 尺度范围内 (300 m^2) 则表现为均匀分布;华山松 (*Pinus armandii*) 种群在小于 5m 尺度范围内 (25 m^2) 表现为聚集分布,大于 5m 尺度范围内 (25 m^2) 则表现为均匀分布;白桦 (*Betula platyphylla*) 种群在各尺度范围内均表现为均匀分布;日本落叶松 (*Larix kaempferi*) 种群在小于 16m 尺度范围内 (280 m^2) 均表现为聚集分布,在大于 16m 尺度范围内 (280 m^2) 则又趋向于均匀分布。

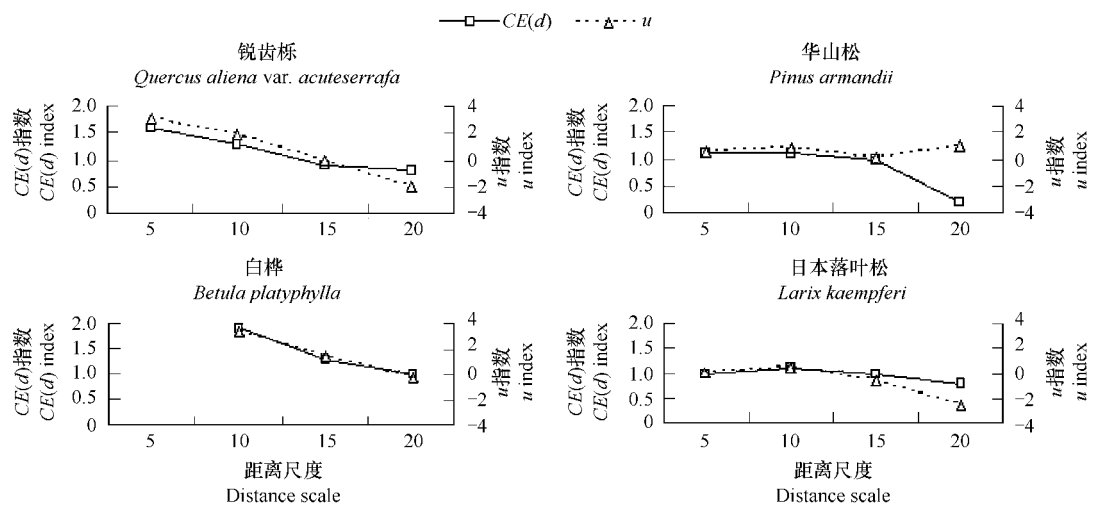


图 2 花石山 1# 隧道路域生态带各种群多尺度空间分布统计指标图

Fig. 2 Statistica characterization index pictures of multi-scale spatial distribution patterns for each plant population in Huashishan1# Tunnel

应用扩展最近邻体分析:锐齿栎 (*Quercus aliena*. var) 种群在小于 15m 尺度范围内表现为均匀分布,大于 15m 范围内则为聚集分布,但在大于 15m 尺度范围内 $CE(d)$ 值接近于 1,趋向于随机分布;华山松 (*Pinus armandii*) 种群在小于 15m 尺度范围内表现为均匀分布,大于 15m 尺度范围内则为聚集分布,但在小于 15m 尺度范围 $CE(d)$ 值接近于 1,即接近于随机分布;白桦 (*Betula platyphylla*) 种群在小于 10m 尺度范围内不存在空间分布,其最小空间分布尺度为 10m,且在 10m 至 20m 范围内表现为均匀分布,大于 20m 尺度范围内则表现为聚集分布;日本落叶松 (*Larix kaempferi*) 种群则在小于 18m 尺度范围内均表现为随机分布,大于 18m 尺度范围内则明显地趋向于聚集分布。结果见图 3 所示。

应用点格局分析:路域植物群落中的各种群点格局分析指标 $H(t)$ 值与距离尺度的确存在着显著的相关性,并且相关系数大多都在 0.99 左右,最低的白桦 (*Betula platyphylla*) 种群其 $H(t)$ 值与距离尺度的相关系数

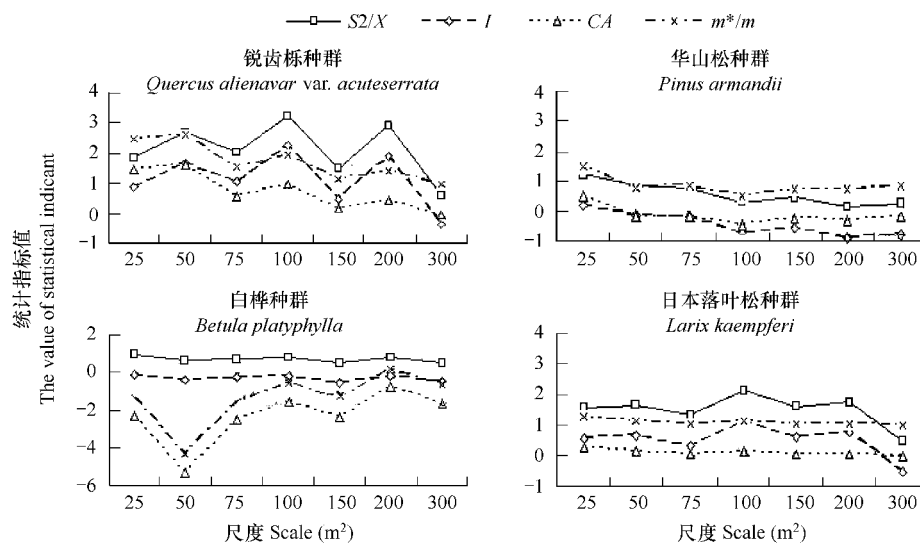


图3 花石山1#隧道路域生态带各植物种群多尺度最近邻体分析下的分布格局

Fig. 3 Characterization pictures of multi-scale spatial distribution patterns analyzed by ENNA for each plant population in Huashishan1# Tunnel

也为0.78。花石山1#隧道路域植物群落中,锐齿栎(*Quercus aliena* var)种群在0m至6m尺度范围内 $H(t)$ 值接近于0,在大于8m尺度范围内 $H(t)$ 值均明显小于0,说明锐齿栎(*Quercus aliena* var)种群空间分布格局随距离尺度的增大,从随机型逐步转为均匀分布型;华山松(*Pinus armandii*)种群在小于5m尺度范围内表现为聚集分布,大于5m尺度范围内趋向于明显的均匀分布;白桦(*Betula platyphylla*)种群在各尺度范围内均表现为均匀分布;日本落叶松(*Larix kaempferi*)种群在0m至6m尺度范围内表现为聚集分布,大于6m尺度范围内明显趋向于均匀分布。结果见图4所示。

综上所述,地带性植被锐齿栎(*Quercus aliena* var)种群在0~10m尺度上主要表现为随机分布,10~20m尺度上表现为聚集分布,大于20m尺度上表现为均匀分布类型;非地带性植被华山松(*Pinus armandii*)种群在0~10m尺度上主要表现为聚集分布,10~20m尺度上表现为均匀分布,大于20m尺度上又表现为聚集分布类型;伴生种白桦(*Betula platyphylla*)种群在0~10m尺度上无明显分布特征,10~20m尺度上主要表现为均匀分布,大于20m尺度上主要表现为聚集分布类型;人工群落日本落叶松(*Larix kaempferi*)种群同样在0~10m尺度上无明显空间分布特征,在10~20m尺度上主要表现为随即分布和均匀分布,大于20m尺度上则表现为聚集分布类型。

不同植物种群的空间分布格局差异与其生态生物学特性和种群间的竞争排斥有关,而且与物种的生境密切相关^[26]。以锐齿栎(*Quercus aliena* var)种群为例,分析结果表明,尽管在10~20m尺度上该种群为聚集分布,但在大于20m尺度上其表现为均匀分布,说明该种群具备稳定性种群的基本特征,且大范围内种间竞争并不激烈,这与王勤花等人^[36]在该路域生态区内锐齿栎种群结构的研究结果相一致。而非地带性种群华山松(*Pinus armandii*)、白桦(*Betula platyphylla*),和人工建群种群日本落叶松(*Larix kaempferi*)则在大于20m尺度范围内表现为不稳定种群,种间竞争较为激烈,在其自然更新过程中更容易受外界环境影响。

4 讨论

路域生态区划是对路域生态系统研究的基础,贯穿整个道路生态环境保护理论研究与实践应用过程。不论针对路域生物因子还是路域环境因子,首先必须在遵循自然规律、结合工程实际、协调规划管理、促进生态保护四大原则基础上对整个路域生态范围进行区划。

(1)路域生态区植物群落调查结果表明,该路域生态带内并未发现珍稀濒危树种群落分布,说明该高速公路选线过程中已考虑到珍惜濒危树种的敏感分布区,选线合理。

(2)而通过道路施工期典型路域生态段内的关键种群空间结构特征分析,发现在建道路两侧路域植物群

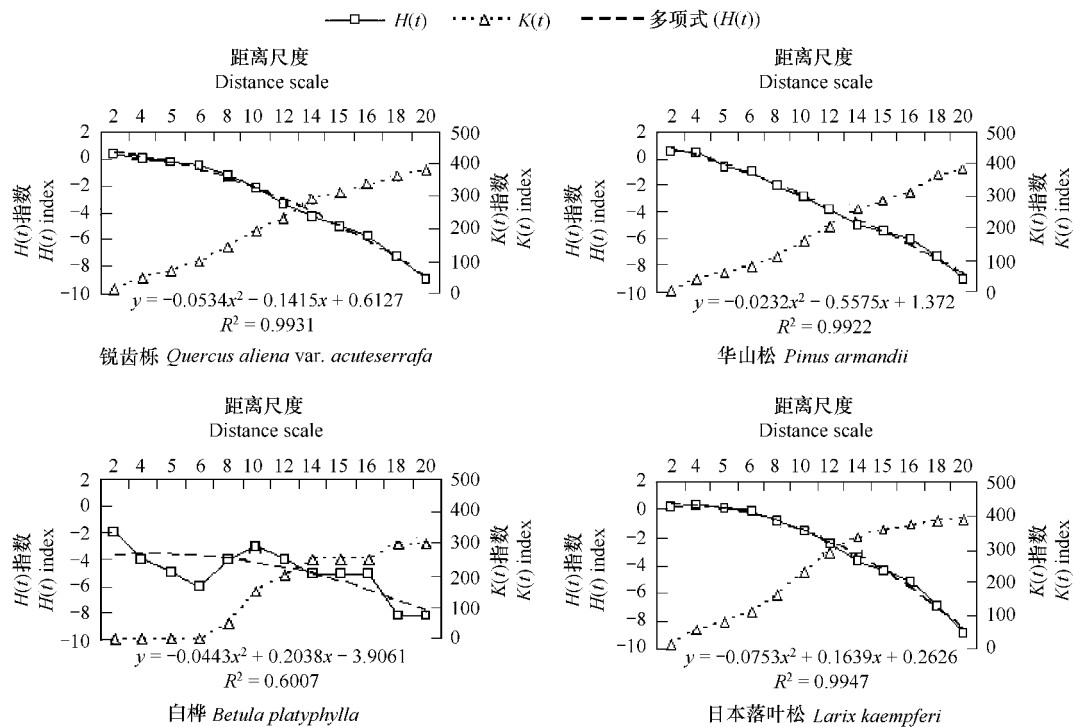


图4 花石山1#隧道路域生态带各植物种群点格局分析下的分布格局图

Fig. 4 Characterization pictures of multi-scale spatial distribution patterns analyzed by Point Pattern Analysis for each plant population in Huashishan1# Tunnel

落不同成员其空间分布格局不同,而且从种群空间分布特征结果看,地带性种群锐齿栎(*Quercus aliena* var)在该典型群落类型中相对稳定对于干扰有一定的缓冲性,其他伴生种华山松(*Pinus armandii*)种群、白桦(*Betula platyphylla*)种群和人工建群种日本落叶松(*Larix kaempferi*)种群在该路域生态区内更新尚不成熟,在受到外界一定干扰后很可能改变其原生活结构及形态,道路工程建设时更应该加强对这些敏感种群的监测研究,道路建成后的植被修复设计也应尽量从不同尺度上符合这些种群原来的种群空间分布格局。

(3)植物种群空间分布格局可以作为生物监测的一种有效指标,在反映道路工程建设及运营期人类活动对路域生态环境的影响方面可以发挥重要作用。但本研究只是在道路建设过程中的某一静态时段,从种群空间结构角度对工程施工干扰下的路域植物群落生态特征和稳定性进行了初步研究。而大型公路工程建设往往历经3~5a建设期,只有结合整个道路施工过程中和项目结束后长期的生态或生物监测,才能保证道路施工不会对周边生态环境造成破坏性影响,同时为路域生态管理提供科学依据。

References:

- [1] Mao J X, Yan X P. Impacts of Urban Transport System on Urban Land Use — Case Study of Guangzhou City. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(03): 353—360.
- [2] Lu D D. Formation and Dynamics of the “Pole-Axis” Spatial System. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(01): 1—6.
- [3] Luo H G, Lei M T. Application and Research on Point-Axle Type Development Pattern in Region Comprehensive transportation Network. *Highway*, 2006(10): 122—127.
- [4] Viskari E L, Rekila R, et al. Airborne pollutants along a roadside: Assessment using snow analyses and moss bags. *Environmental Pollution*, 1997, (1-2): 153—160.
- [5] Li X Z, Zhu H. Study on Distribution and Contamination of Lead in Surface Soils and Vegetables Along Highways. *Environmental Protection*, 2003 (9): 48—52.
- [6] Suo Y R, Huang Y L. The Content and Evaluation of Lead in Soils and Plants in Both Sides of Roads in Xining Region. *Environ. Sci.*, 1996, 17 (2): 74—76.

- [7] Virginia Dale, *et al.* Vehicle impacts on the environment at different spatial scales: observations in west central Georgia, USA. *Journal of Terramechanics*, 2005 (42): 383—402.
- [8] Manfred Kirchner, *et al.* Elevated NH_3 and NO_2 air concentrations and nitrogen deposition rates in the vicinity of a highway in Southern Bavaria. *Atmospheric Environment*, 2005 (39): 4531—4542.
- [9] Ju T Z, *et al.* Simply Discussion of the Way that Solves the Urban Noise Pollution Problem from the Urban Planning Aspect. *Environmental Monitoring in China*, 2006, 22(5): 95—98.
- [10] Shi Y, Ju T Z, *et al.* Based on the FHWA for the establishment of road traffic noise prediction model in Lanzhou City. *Acta Scientia Circumstantia*, 2006, 26(9): 1568—1575.
- [11] Lydia P, Olander, *et al.* Impacts of disturbance initiated by road construction in a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 1998(109): 33—49.
- [12] Bennet A F. Roads, Roadsides and Wildlife Conservation: A Review. *Nature Conservation*, 1991(2): 99—117.
- [13] Daniel Sperling. *Aligning Road Ecology, Professionally and Scientifically*. Road Ecology Seminar, 2001, 7, California USA.
- [14] Kenneth C, Dodd Jr. *et al.* Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation*, 2004 (118): 619—631.
- [15] Li S C, *et al.* Statistical Analysis on the Relationship between Road Network and Ecosystem Fragmentation in China. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 78—85.
- [16] Herman Rosa. *Payments for Environmental Services in Poor Rural Communities: Experiences and Lessons*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [17] Richard T T Forman. *Road Ecology: Our Giant on the Land*. 2002. CTE Condensed Transcription. From: www.itre.nesu.edu/cte.
- [18] Qin Z B, *et al.* Principle for Road-area Ecosystem Construction. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2005, 22(8): 152—154.
- [19] Zong Y G, *et al.* Perspective of Road Ecology Development. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2396—2405.
- [20] Forman R T T, Alexandre L E. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998(29): 207—231.
- [21] Forman R T T, Deblinger R D. The ecological road-effect zone of a Massachusetts(USA) suburban highway. *Conservation Biology*, 1999(14): 36—46.
- [22] Forman R T T, *et al.* Road network and forest spatial patterns in ecological models of diverse logging regimes. *Nature Conservation in Production Environments*, 1998.
- [23] Forman R T T, *et al.* Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscapes. *Environment Management*, 2004, 29(6): 782—800.
- [24] Forman R T T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in United States. *Conservation Biology*, 2000, 14(1): 31—35.
- [25] Richard T T Forman. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [26] Zhou J L, *et al.* *Plant Population Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1992.
- [27] Clark PJ, Evans FC. Distance to nearest neighbour as measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 1954(35): 445—453.
- [28] Kint V, Lust N, *et al.* Quantification of forest stand structure applied to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. In: Mason Bed. *Silviculture and Biodiversity of Scots Pine Forests in Europe*. Proceeding of the Final Meeting of a Concerted Action, June 1999, Valsain, Spain. *Investigation Agraria: Sistemasy Recurs Forestales, Fuera de Serie*, 1, 147—164.
- [29] Wang B Y, Yu S X. Multi-Scale Analyses of Population Distribution Patterns. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(2): 235—241.
- [30] Diggle P J. *Statistical analysis of special point patterns*. New York: Academic Press, 1983.
- [31] Ripley B D. Modelling spatial pattern. *Journal of the Royal statistical Society, Series B*, 1977(39): 17—212.
- [32] Zhang J T. Analysis of Spatial Point Pattern for Plant Species. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1998, 22(4): 344—349.
- [33] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004.
- [34] An D G. *The Advanced Flora of Xiaolongshan in Gansu Province*. Lanzhou: Gansu National Press, 2002.
- [35] Ju T Z. Analysis of age structure of *Quercus aliena* var. *acuteserata* community in Xiaolongshan Mountain. *J Northwest Normal Univ(Nat Sci)*, 1994 (3): 80—82.
- [36] Wang Q H, Ju T Z. Study on the structure of *Quercus aliena* var. *acuteserata* at a population in Xiaolongshan, Gansu. *Guihaia*, 2006, 26(1): 38—42.

参考文献:

- [1] 毛蒋兴, 闫小培. 城市交通系统对土地利用的影响作用研究——以广州为例. *地理科学*, 2005, 25(03): 353—360.

- [2] 陆大道. 关于“点-轴”空间结构系统的形成机理分析. 地理科学, 2002, 22(01): 1 ~ 6.
- [3] 罗红刚, 雷鸣涛. 区域综合交通网点轴型开发模式应用研究. 公路, 2006(10): 122 ~ 127.
- [5] 李湘洲, 祝浩. 长株潭公路系统土壤铅累积分布格局及其植物对铅累积关系的研究. 环境保护, 2003(9): 48 ~ 52.
- [6] 索有瑞, 黄雅丽. 西宁地区公路两侧土壤和植物中铅含量及其评价. 环境科学, 1996, 17(2): 74 ~ 76.
- [9] 巨天珍, 屈鹏举, 等. 从城市规划角度浅议城市道路噪声污染问题解决途径. 中国环境监测, 2006, 22(5): 95 ~ 98.
- [10] 石焱, 巨天珍, 等. 基于 FHWA 的兰州市道路交通噪声预测模型的建立. 环境科学学报, 2006, 26(9): 1568 ~ 1575.
- [15] 李双成, 许月卿, 等. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析. 地理科学进展, 2004, 23(5): 78 ~ 85.
- [18] 秦志斌, 刘朝晖, 等. 路域生态系统建设原则. 公路交通科技, 2005, 22(8): 152 ~ 154.
- [19] 宗跃光, 周尚意, 等. 道路生态学研究进展. 生态学报, 2003, 23(11): 2396 ~ 2405.
- [26] 周纪纶, 郑师章, 杨持. 植物种群生态学. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [29] 王本洋, 余世孝. 种群分布格局的多尺度分析. 植物生态学报, 2005, 29(2): 235 ~ 241.
- [32] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344 ~ 349.
- [33] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [34] 安定国. 甘肃省小陇山高等植物志. 兰州: 甘肃民族出版社, 2002.
- [35] 巨天珍. 天水小陇山锐齿栎群落动态分析. 西北师范大学学报(自然科学版), 1994(3): 80 ~ 82.
- [36] 王勤花, 巨天珍. 甘肃小陇山锐齿栎种群结构分析. 广西植物, 2006, 26(1): 38 ~ 42.