

DOI: 10.5846/stxb201811122445

邱玲, 朱玲, 王家磊, 高天. 基于生态单元制图的宝鸡市城区生物多样性保护规划研究. 生态学报, 2020, 40(1): 170-180.

Qiu L, Zhu L, Wang J L, Gao T. Urban biodiversity conservation planning based on biotope mapping: a case study of the urban district in Baoji, China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 170-180.

基于生态单元制图的宝鸡市城区生物多样性保护规划研究

邱 玲, 朱 玲, 王家磊, 高 天*

西北农林科技大学风景园林艺术学院, 杨凌 712100

摘要:为探寻适合我国城乡生物多样性保护的有效措施和方法,以宝鸡城区为研究对象,通过实地调研和室内制图相结合的研究方法,创建一套融入植被结构因子(植被水平结构因子、植被优势种的年龄因子、植被垂直结构因子、林木类型因子)的生态单元分类系统,将研究区域内的城市绿地现状以图谱形式表示。通过对不同植被结构的绿地中维管束植物物种丰富度的对比,以检验此分类系统在城乡生物多样性信息采集中的有效性。基于制图信息和检验结果,分析研究区域内绿地空间结构存在的问题并针对宝鸡市城乡生物多样性保护提出相应策略,以期今后我国城乡生物多样性保护提供理论依据和实践方法。

关键词:生物多样性;生态单元制图;植被结构;绿地

Urban biodiversity conservation planning based on biotope mapping: a case study of the urban district in Baoji, China

QIU Ling, ZHU Ling, WANG Jialei, GAO Tian*

College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

Abstract: In order to explore effective measures and methods suitable for biodiversity conservation in urban and rural areas in China, Baoji city was selected as a pilot study area. We created a set of biotope classification that integrated vegetation structure parameters, i.e. horizontal structure, age of dominant species, vertical structure, and forest types through field survey and biotope mapping. The status of urban green spaces was presented as a biotope map. By comparison of species richness of vascular plants in the green spaces with different vegetation structures, the validity of the biotope mapping scheme on the collection of urban and rural biodiversity information was examined. Finally, the existing problems in the spatial structure of green spaces in the study area were analyzed. A set of biodiversity protection strategies for the Baoji city was put forward for the theoretical basis and solutions to urban biodiversity conservation in the future.

Key Words: biodiversity; biotope mapping; vegetation structure; green space

随着人口增加和城市化进程的加速,生物多样性的急剧下降已经成为全球最严峻的生态环境问题之一^[1]。许多国家和地区开始实施关于维持和提高生物多样性的相应举措,特别是联合国环境与发展大会在1992年通过的《生物多样性公约》,在全球范围内揭开了保护生物多样性新的篇章。然而,对于利用城市绿地规划与管理方式来保护生物多样性的研究目前还处在初级阶段,其原因主要是缺乏生物多样性保护措施的实际

基金项目:国家自然科学基金项目(31500582,31600580,31971720,31971722);引进人才科研启动费项目(Z111021501)

收稿日期:2018-11-12; 网络出版日期:2019-10-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tian.gao@nwsuaf.edu.cn

施细则和相关依据,对各部门的职责也没有做出明确界定,导致其不能有效的保护城市生物多样性^[2]。同时,城市现状基础资料(如植被、动物分布现状)和历史资料(如土地利用变化、覆盖记录)的缺失或不完善,也是导致当前城市生物多样性保护失败的根本原因^[3]。

因此,当今城市绿地规划迫切需要一套与时俱进的新方法,基于个体生境以及城市全局生境详尽的生物多样性信息制定相应的规划方案,从而平衡土地保护与土地开发之间的矛盾。生态单元制图作为景观生态学研究的重要方法之一,是依据特定动植物集合识别、划分和记录不同土地使用/覆盖类型的过程^[4]。一套划分详细的土地利用或覆盖类型分类系统是实施生态单元制图工作的基础^[5]。传统城市生态单元制图所用的分类系统都是基于植被地貌学和植物群落学,按照土地利用类型或者生境类别进行划分,很少将植被结构元素融入分类系统中,尤其在研究城市生物多样性方面^[6]。大量研究表明植被结构在时间和空间维度上的变化往往影响着动植物的分布与丰富度^[7-9]。利用植被结构作为衡量生物多样性的标准优势明显,它不仅可以作为调查生物多样性的指示因子^[10-11],还能够揭示绿地生态系统中生物多样性的来源^[12]。在一个生态系统当中,植被结构因子的类型或复杂程度与生物多样性之间存在着紧密的联系^[13]。

因此,本研究以宝鸡地区为研究对象,通过实地调研和室内制图相结合的研究方法,创建一套融入植被结构因子(植被水平结构因子、植被优势种的年龄因子、植被垂直结构因子、林木类型因子)的生态单元分类系统,将研究区域内的城市绿地现状以图谱形式表示。通过对不同植被结构绿地中的维管束植物物种丰富度对比,以检验此分类系统在城乡生物多样性信息采集中的有效性。最后基于制图信息和检验结果,分析研究区域内绿地空间结构存在的问题并针对宝鸡市城乡生物多样性保护提出相应策略,以期今后我国城乡生物多样性保护提供理论依据和实践方法。

1 研究材料与方法

1.1 研究区概况

宝鸡市位于陕西省关中平原西部,106°18'—108°03'E 和 33°35'—35°06'N 之间,是我国首批国家生态园林城市之一。宝鸡地质构造复杂,东、西、南、北、中的地貌差异大,具有南、西、北三面环山,以渭河为中轴向东拓展,呈尖角开口槽形的特点。宝鸡境内植物区系以华北区系成分为主,华中、中国喜马拉雅区系成分也占重要地位^[14]。本研究区域是从宝鸡市 3 个市辖区的建成区范围内,选择沿渭河两岸的一个带状空间,总面积为 35.39 km²,西起宝鸡市植物园,东至宝鸡渭河生态公园,长约 16 km,宽约 2 km,约占总建成区面积的 40%,该区域内含有多种不同的城市生境类型(图 1)。

1.2 研究方法

1.2.1 建立融入植被结构因子的生态单元制图分类系统

本研究通过对宝鸡建成区全彩色亚米级遥感数据(高分二号卫星数据,接收时间为 2015 年 5 月至 2016 年 6 月)进行初步处理并结合宝鸡实地绿地特征,以及 Qiu 等划分城市绿地类型的标准,构建一套融入植被结构因子,包括植被水平结构因子、植被优势种的年龄因子、植被垂直结构因子的 5 级生态单元分类系统^[6](表 1)。

首先,按照土地覆盖类型将研究区域划分为灰色空间、绿色空间及蓝色空间。灰色空间主要基于硬质覆盖面积划分。绿色空间按照植被结构特征划分为 4 个等级。第一级基于植被的水平结构。第二级基于植被的年龄因子,包含草地(包括高度小于 1.2 m 的矮灌)的类型和林地的类型。林地则按照建群种的年龄,借助生长锥(Haglof CO600)取样测量,钻取高度为距离地面 1.5 m 处,同时量取树木胸径(树高 1.5 m),将优势乔木年龄结构划分为 3 个等级,分别为幼龄组(0—25 a)、中龄组(25—60 a)、老龄组(> 60 a)。第三级依照林地垂直结构特征进行划分,其中林地的单层结构是指仅含有乔木层,多双层结构是指双层乔木层(林冠层与亚林冠层)或乔木层与灌木层的组合,草地则分为不修剪草和修剪短草;最后一级主要集中于林木类型的划分。蓝色空间按照水域类别进行划分。

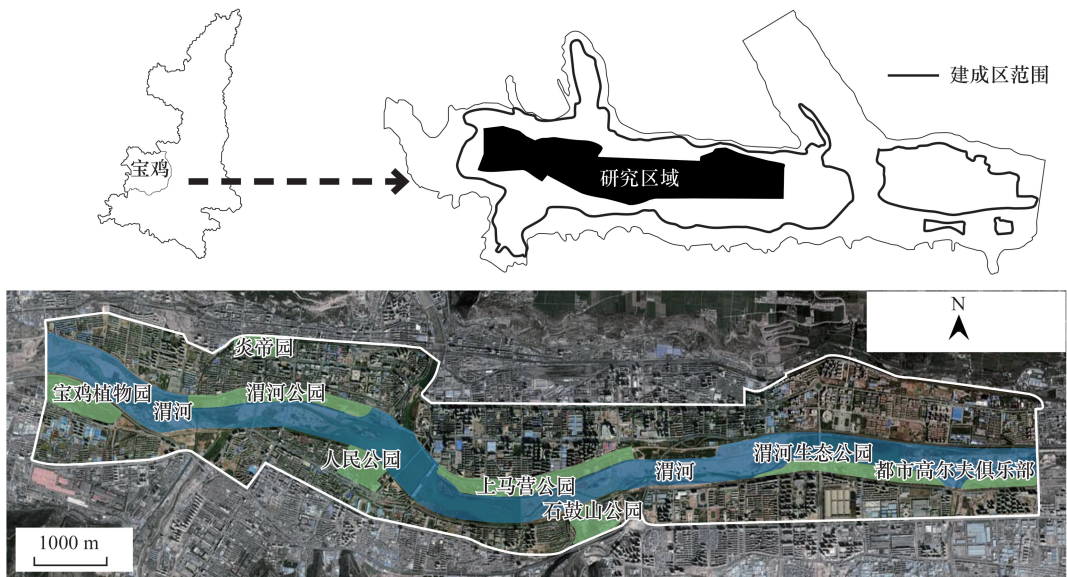


图 1 研究区位分析图

Fig.1 Location of study area

表 1 融入植被结构因子的生态单元制图分类系统

Table 1 Biotope mapping classification integrated with vegetation structures

第一级 Level 1	第二级 Level 2	第三级 Level 3	第四级 Level 4	第五级 Level 5
灰色空间 Grey space	硬质覆盖面积 (60%—75%)	以乔灌木为主	幼龄乔木	阔叶
			中龄乔木	针叶
			老龄乔木	混合
	硬质覆盖面积 (75%—90%)	以草本为主	一或二年生	修剪短草
			多年生	无修剪草
				菜地/花园
	硬质覆盖面积 (90%—100%)	极少或无植被	—	建筑/铺装
				裸露地面/岩石/沙地
绿色空间 Green space	开敞绿地 (乔灌木冠幅<10%)	一或二年生草本为主	修剪短草	—
			无修剪草	
	半开敞绿地 (乔灌木冠幅 10%—30%)	多年生草本为主	修剪矮灌	
	半闭合绿地 (乔灌木冠幅 30%—70%)	多年生矮灌为主		
		优势乔木种		
		(幼龄/中龄/老龄)	单层	阔叶林
			多双层结构	针叶林
	闭合绿地 (乔灌木冠幅>70%)			阔叶针叶混交林
蓝色空间 Blue space	河流/溪流	沉水植物	—	—
	池塘	漂浮植物		
	湖泊			
	湿地开敞水域			

1.2.2 基于分类系统,开展野外调研与室内制图

按照上述构建的生态单元分类系统,对研究区域内的所有生态单元进行野外实地调研,记录每一个生态单元的位置、尺寸、土地利用类型、植被空间结构、优势乔木年龄结构、种类及管理程度等信息。最后,将实地调研所得数据和航片信息结合,对初步划分的生态单元进行修正和完善,利用地理信息系统软件 ArcGIS 10.2

版将数据进行存贮、编辑和分析,进而绘制融入植被结构因子的生态单元图谱。

同时,运用 ArcGIS 10.2 软件对研究区域内的景观格局进行分析,计算斑块面积(NA)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)和生态单元覆盖百分比(PBC)。相关公式如下:

$$PD = N_i/A_i \tag{1}$$

$$PBC = A_i/A \tag{2}$$

式中, N_i 代表第 i 种生态单元类型的斑块数量, A_i 代表第 i 中生态单元类型的斑块面积, A 为各个生态单元类型面积的综合。

1.2.3 融入植被结构因子的生态单元制图模型的检验

由于生物多样性涉及不同层级和比例尺度,本研究将通过定义明确的、可量化的且易监测的维管束植物数量来反映城市生物多样性^[15-16]。因此,对该制图模型在识别城乡生物多样性信息有效性的检验将通过对比不同植被结构绿地之间维管束植物的丰富度而实现。根据实地情况,最终筛选面积相似(均约 0.5hm²)且植被结构不同的 69 个样地,其中包括开敞绿地 16 个,半开敞绿地 9 个,半闭合绿地 32 个,闭合绿地 12 个(表 2)。

表 2 测量样地类型及个数
Table 2 Number and types of the selected sample plots

样地类型 Sample plots type ⁽¹⁾	样地个数 Numbers of Sample plots
开敞绿地 Open green space (G O)	16
以修剪灌木为主 Mainly short-cut shrub (Sh)	4
以多年生无修剪草为主 Mainly successional tall grass (P Ta)	6
以多年生修剪短草为主 Mainly successional short-cut grass (P S)	6
半开敞绿地 Partly open green space (G PO)	9
以多年生无修剪草为主 Mainly successional tall grass (P Ta)	5
以多年生修剪短草为主 Mainly successional short-cut grass (P S)	4
半闭合绿地 Partly closed green space (G PC)	32
幼龄单层阔叶针叶混交林 Young trees one-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (Y D&Co L-1)	5
幼龄多双层阔叶针叶混交林 Young trees two or multi-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (Y D&Co L-2)	3
幼龄单层阔叶林 Young trees one-layered broad-leaved forest (Y D L-1)	5
幼龄多双层阔叶林 Young trees two or multi-layered broad-leaved mixed forest (Y D L-2)	7
幼龄单层针叶林 Young trees one-layered coniferous forest (Y Co L-1)	2
中龄多双层阔叶针叶混交林 Middle-aged trees two or multi-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (M D&Co L-2)	3
中龄单层阔叶林 Middle-aged trees one-layered broad-leaved forest (M D L-1)	4
中龄单层针叶林 Middle-aged trees one-layered coniferous forest (M Co L-1)	3
闭合绿地 Closed space (G C)	12
幼龄单层阔叶林 Young trees one-layered broad-leaved forest (Y D L-1)	5
中龄单层阔叶针叶混交林 Middle-aged trees one-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (M D&Co L-1)	4
中龄多双层阔叶针叶混交林 Middle-aged trees two or multi-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (M D&Co L-2)	3

(1) G, 绿色空间 Green space; O, 开敞绿地 Open green space; PO, 半开敞绿地 Partly open green space; PC, 半闭合绿地 Partly closed green space; C, 闭合绿地 Closed space; P, 多年生草本 Successional grass; S, 修剪短草 Short-cut grass; Ta, 无修剪草 Tall grass; Sh, 修剪灌木 Short-cut shrub; Y, 幼龄 Young trees; M, 中龄 Middle-aged trees; D, 阔叶 Broad-leaved; Co, 针叶 Coniferous; D&Co, 阔叶针叶混交 Mixed broad-leaved and coniferous; L-1, 单层结构 One-layered; L-2, 多双层结构 Two or multi-layered;以下生态单元图谱中出现的不同植被结构绿地类型均以其字母组合替代,如以修剪灌木为主的开敞绿地表示为 G O Sh

其次,通过样带测量法对样地进行维管束植物物种调查,记录出现植物种名、频度、分布和生长状况等信

息^[17]。具体步骤如下:

在每块样地中设置 3 条 60 m 长带有刻度的样带,样带的位置则根据不同意地实地情况确定,一般成“*”形或平行放置,原则是尽可能多的涵盖不同种植物(样带设置在各样方除去 5 m 边缘距离的中心位置);

对每条样带上每间隔 4 m 处的 2 m 距离内接触到样带的、在样带上方和下方垂直投影能够接触到样带的所有维管束植物进行记录;

记录接触到样带的维管束植物种及其在样地中出现的频度,每触碰样带一次,记录频度数值为“1”,种的总频度值为该种在 3 条样带上频度的总和;

对样地进行遗漏补缺,即对于出现在 3 条样带以外的维管束植物种进行补录,并将该种的频度值记录为“1”。

本研究将利用维管束植物物种丰富度 (Species Richness, SR) 以及运用 Shannon-Wiener 多样性指数 (Shannon's Diversity Index, SHDI) 和 Simpson 多样性指数 (Simpson's Diversity Index, SIDI)、Pielou 均匀度指数 (Pielou Evenness Index, E) 计算各样地野生地被植物多样性 (α -diversity)。在 SAS 9.4 软件中,通过广义线性模型 (GLM) 对不同生境类型下的野生地被植物多样性进行差异显著性检验,相关公式如下:

$$SR = \text{样地内出现的维管束植物种数} \quad (3)$$

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m \left(\frac{A_i}{A} \right) \times \ln \left(\frac{A_i}{A} \right) \quad (4)$$

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m \left(\frac{A_i}{A} \right)^2 \quad (5)$$

$$E = SHDI / \ln m \quad (6)$$

式中, A_i 代表第 i 种野生地被植物的频度值, A 代表样方内所有野生地被植物频度值的总和, m 是样方中所有野生地被植物种的总数。

1.2.4 生物多样性评价

基于景观生态学研究理论^[4]和制图检验结果^[18],并结合宝鸡城区绿地特征,选用 4 个国内外常用于大尺度且与城市生物多样性密切相关的指标^[19-20](即维管束植物总数、本地物种数占植物总数百分比、生态单元稀有度和管理强度)来综合评价生物多样性价值(表 3)。其中,对每一类指标分为三等,分别赋予 1 分、2 分和 3 分,形成 4—12 分的生物多样性综合评价体系,并将体系划分为三类。其中,Ⅰ类:生物多样性价值低(4—6)、Ⅱ类:生物多样性价值中(7—9)、Ⅲ类:生物多样性价值高(10—12)。

表 3 生物多样性指数的等级标准

Table 3 Grade criteria for biodiversity index

生物多样性参数 Biodiversity parameters	赋值 Partial score		
	1 分 1 point	2 分 2 point	3 分 3 point
维管束植物总数/种 Total number of vascular plant species	≤35	36—50	>50
本地物种数占植物总数百分比/% Number of native species as a percentage of total plants	≤60	60—65	>65
稀有度(研究区域内出现相似斑块数)/个 Rarity (number of similar patches in the study area)	>20	11—20	≤10
管理强度 Intensity of management	高	中	低

2 结果与分析

2.1 含有植被结构信息的生态单元图谱

研究区域内共有 38 类生态单元类型,其中灰色空间面积最大,为 22.28 km²,占总面积的 63.0%,斑块数

量为 605 块;其次是蓝色空间,面积为 8.64 km²,占总面积的 24.4%,斑块数量为 56 块;绿色空间为 4.35 km²,占总面积的 12.3%,斑块数量为 405 块;农田面积为 0.12 km²,占总面积的 0.3%。绿色空间的斑块密度为 0.93/hm²,明显高于其他类型,表明绿色空间的破碎化程度最高(表 4 与图 2)。

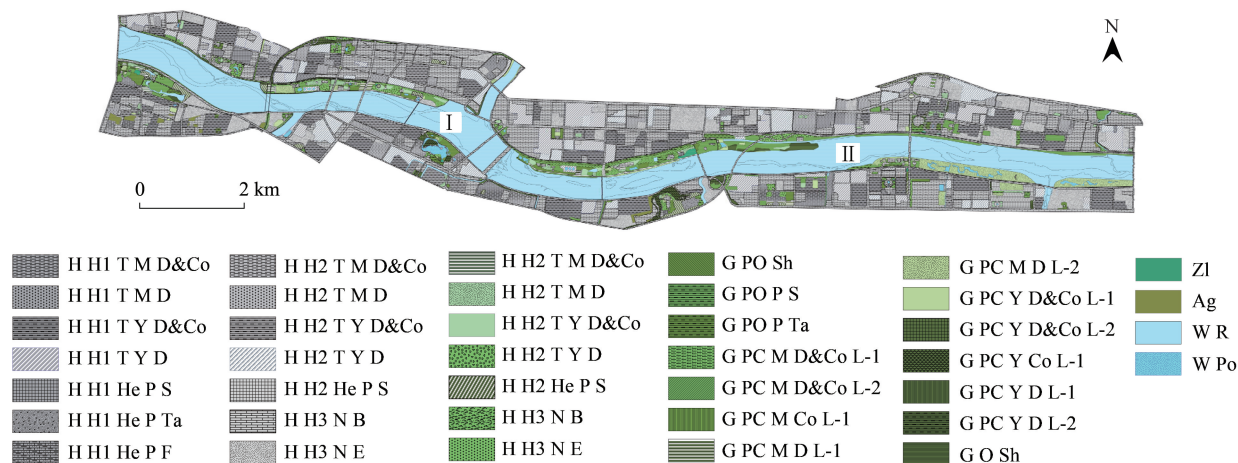


图 2 融入植被结构的宝鸡市城区生态单元图谱

Fig.2 Biotope map integrated with vegetation structures

H, 灰色空间 Grey space; H1, 硬质覆盖面积 60%—75% Abiotic coverage rate 60%—75%; H2, 硬质覆盖面积 75%—90% Abiotic coverage rate 75%—90%; H3, 硬质覆盖面积 90%—100% Abiotic coverage rate 90%—100%; T, 以乔灌木为主 Mainly trees and shrubs; He, 以草本为主 Herbaceous; N, 极少或无植被 Little or no vegetation; Y, 幼龄 Young trees; M, 中龄 Middle trees; Ol, 老龄 Old trees; A, 一或二年生草本 Annual or biennial; P, 多年生草本 Successional grassland; D, 阔叶 Broad leaved; Co, 针叶 Coniferous; D&Co, 阔叶针叶混交 Mixed broad-leaved coniferous; S, 修剪短草 Short-cut grass; Ta, 无修剪草 Tall grass; B, 建筑或铺装 Building or pavement; E, 裸露地面、岩石或沙地 Wasteland; F 花园/菜地 Garden or vegetable field; G, 绿色空间 Green space; O, 开敞绿地 Open space; PO, 半开敞绿地 Partly open space; PC, 半闭合绿地 Partly closed green space; C, 闭合绿地 Closed green space; Sh, 修剪灌木 Short-cut shrub; L-1, 单层结构 One-layered; L-2, 多双层结构 Two or multi-layered; W, 蓝色空间 Blue space; R, 河流/溪流 River; Po; 池塘 Pond; ZI, 竹林 Groves of bamboo; Ag, 农田 Cropland; I, 老城区 Old town; II, 新城区 New town

图 2 可以看出研究区域内的生态单元分布呈现明显的带状分布现象。蓝色空间以渭河为主,而绿色空间主要呈带状分布在渭河两岸。灰色空间中的小型绿地大多是其附属绿地,植物配置均以幼龄乔灌木为主。绿色空间中以半闭合绿地的面积最大(264.5 hm², 60.9%),其次是开敞绿地(89.4 hm², 20.5%),而闭合绿地和半开敞绿地面积都较小(9.1%与 8.7%),竹林作为其他绿地,占总面积的 0.8%。同时,半开敞绿地的斑块密度都在 1.0/hm²以上,高于绿色空间的平均斑块密度,表明半开敞绿地的破碎化程度较高。

在开敞和半开敞草地中,以多年生修剪短草为主的生态单元所占面积比例较大,其次是多年生无修剪草地和修剪灌木绿篱,未发现以一二年生草本为主的草地生态单元。在林地类型中,半闭合绿地以幼龄林为主,而闭合绿地中龄林多于幼龄林,且半闭合绿地和闭合绿地均未发现老年林。在林木类型方面,以阔叶林为主,其次是阔叶针叶混交林,针叶林所占面积最小,仅有 2.5 hm²。在垂直结构方面,单层结构的林地要多于多双层结构,且幼龄单层阔叶林面积最大,占绿色空间总面积的 22.4%,其余类型的林地所占比例均未超过 8%(表 4)。

2.2 制图检验

2.2.1 宝鸡城区绿地维管束植物种类构成

研究区域共调查维管束植物 320 种,包含草本 168 种,藤本 14 种,灌木 62 种,乔木 76 种,且乔灌木以落叶树种为主。其中乡土植物 198 种,占总数的 62%,包括乔木 47 种(14.7%),灌木 35 种(10.9%),草本 109 种(34.0%),藤本 7 种(2.2%)(表 5)。其中外来植物占总物种数比例较高(38%),这与我国南北方城市外来植物调查结果相似,如北京、厦门等^[21-22]。其主要原因由于部分乡土植物生长在深山老林中,其观赏价值和园林应用价

值还不被市民所普遍认知;另一方面,市场上乡土植物受到价格、品种、生产方式等多种因素影响以及人们往往有“喜洋厌土”的心态,过分追求外来种的观赏特性,而轻视乡土植物选育、研究和推广^[23]。因此,今后应根据当地原生植物群落中合理选择乡土植物,进行引种驯化及快繁和栽培技术,丰富我国园林植物多样性。

表 4 研究区域内斑块和生态单元各参数的百分比

Table 4 Count, area and ratio of biotope type in study area

生态单元类型 Biotope type	参数 Parameters			
	NP	NA/hm ²	PD/hm ²	PBC/%
灰色空间 Grey space (H)	605	2228.2	0.27	63.0
绿色空间 Green space (G)	405	435.1	0.93	12.3
开敞绿地 Open green space (G O)				
以多年生修剪灌木为主 Mainly successional short-cut shrub (P Sh)	30	12.5	2.4	2.9
以多年生无修剪草为主 Mainly successional tall grass (P Ta)	16	11.9	1.3	2.7
以多年生修剪短草为主 Mainly successional short-cut grass (P S)	23	65	0.4	14.9
半开敞绿地 Partly open green space (G PO)				
以多年生无修剪草为主 Mainly successional tall grass (P Ta)	21	12.1	1.7	2.8
以多年生修剪短草为主 Mainly successional short-cut grass (P S)	32	18	1.8	4.1
以多年生修剪灌木为主 Mainly successional short-cut shrub (P Sh)	10	7.8	1.3	1.8
半闭合绿地 Partly closed green space (G PC)				
幼龄单层阔叶针叶混交林 Young trees one-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (Y D&Co L-1)	25	32.6	0.8	7.5
幼龄多双层阔叶针叶混交林 Young trees two or multi-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (Y D&Co L-2)	15	11	1.4	2.5
幼龄单层阔叶林 Young trees one-layered broad-leaved forest (Y D L-1)	71	97.3	0.7	22.4
幼龄多双层阔叶林 Young trees two or multi-layered broad-leaved mixed forest (Y D&Co L-2)	17	20.3	0.8	4.7
幼龄单层针叶林 Young trees one-layered coniferous forest (Y Co L-1)	4	0.7	5.7	0.2
中龄单层阔叶针叶混交林 Middle-aged trees one-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (M D&Co L-1)	26	31.7	0.8	7.3
中龄多双层阔叶针叶混交林 Middle-aged trees two or multi-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (M D&Co L-2)	21	23.8	0.9	5.5
中龄单层阔叶林 Middle-aged trees one-layered broad-leaved forest (M D L-1)	39	35	1.1	8
中龄多双层阔叶林 Middle-aged trees two or multi-layered broad-leaved forest (M D L-2)	8	10.2	0.8	2.4
中龄单层针叶林 Middle-aged trees one-layered coniferous forest (M Co L-1)	4	1.8	2.2	0.4
闭合绿地 Closed green space (G C)				
幼龄单层阔叶针叶混交林 Young trees one-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (Y D&Co L-1)	2	0.9	2.2	0.2
幼龄单层阔叶林 Young trees one-layered broad-leaved forest (Y D L-1)	16	16.3	1	3.8
中龄单层阔叶针叶混交林 Middle-aged trees one-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (M D&Co L-1)	10	8.5	1.8	1.9
中龄多双层阔叶针叶混交林 Middle-aged trees two or multi-layered broad-leaved and coniferous mixed forest (M D&Co L-2)	4	12.5	0.3	2.9
中龄单层阔叶林 Young trees one-layered broad-leaved forest (M D L-1)	4	1.2	3.3	0.3
竹林 Groves of bamboo (Zl)	7	3.8	1.8	0.8
蓝色空间 Blue space	56	864.1	0.06	24.4
农田 Cropland (Ag)	13	11.9	1.09	0.3
合计 Sum	1079	3539.3	0.3	100

(2) NP, 斑块数量 Number of patch; NA/hm², 斑块面积 Patch area; PD/hm², 斑块密度 Patch density; PBC/%, 生态单元覆盖百分比 percentage of biotope coverage

表 5 宝鸡城区绿地中维管束植物生活型统计表
Table 5 Life form of vascular plants green space in Baoji City

生活型 Type	总物种数(占比/%) Total number of species (Percentage/%)	乡土(占比/%) Native (Percentage/%)	外来(占比/%) Introduced (Percentage/%)	常见乡土种(出现频度≥10) Common native species (frequency ≥10)
草本 Herbaceous	168(52.5)	109(34.0)	59(18.5)	紫花地丁(<i>Viola yedoensis</i>)、蛇莓(<i>Duchesnea indica</i>)、百脉根(<i>Lotus corniculatus</i>)、旋覆花(<i>Inula japonica</i>)、曼陀罗(<i>Datura stramonium</i>)、苈草(<i>Arthraxon hispidus</i>)、灰绿藜(<i>Chenopodium glaucum</i>)、中华苦苣菜(<i>Ixeris chinensis</i>)、麦冬(<i>Ophiopogon japonicus</i>)
藤本 Vine	14(4.4)	7(2.2)	7(2.2)	常春藤(<i>Hedera nepalensis</i>)、鸡矢藤(<i>Paederia scandens</i>)、茜草(<i>Rubia cordifolia</i>)、野蔷薇(<i>Rosa multiflora</i>)、乌藨莓(<i>Cayratia japonica</i>)
灌木 Shrub	62(19.3)	35(10.9)	27(8.4)	火棘(<i>Pyracantha fortuneana</i>)、金银忍冬(<i>Lonicera maackii</i>)、连翘(<i>Forsythia suspensa</i>)、牡丹(<i>Paeonia suffruticosa</i>)、平枝栒子(<i>Cotoneaster horizontalis</i>)、沙地柏(<i>Sabina vulgaris</i>)、石楠(<i>Photinia serrulata</i>)、紫荆(<i>Cercis chinensis</i>)
乔木 Tree	76(23.8)	47(14.70)	29(9.1)	榆树(<i>Ulmus pumila</i>)、皂荚(<i>Gleditsia sinensis</i>)、国槐(<i>Sophora japonica</i>)、鹅掌楸(<i>Liriodendron chinense</i>)、臭椿(<i>Ailanthus altissima</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)、五角枫(<i>Acer mono</i>)
合计 Sum	320(100)	198(62)	122(32)	

2.2.2 不同植被结构样地之间维管束物种丰富度对比

广义线性模型分析表明,不同植被结构类型的维管束植物物种丰富度(SR)、Shannon-Wiener 多样性指数(SHDI)、Simpson 多样性指数(SIDI)和 Pielou 均匀度指数(E)均有显著性差异,说明植被水平结构因子、优势种的年龄因子、垂直结构因子和林木类型因子的个体和联合效应对维管束植物多样性均有显著性影响。其中,闭合中龄多双层混交林的 SHDI、SIDI、E 和 SR 均较高,表明其含有丰富的维管束植物种类,具有较高的生物多样性。而半闭合中龄单层针叶林作为城市绿地中人为营造的生境类型,数量少且管理程度高,致使植物种类单一,景观结构简单,优势种明显,故其 SR、SHDI、SIDI 以及 E 均较低(图 3)。

2.3 城市生物多样性价值评价及保护措施

2.3.1 生物多样性价值评价

基于生物多样性价值评价体系(表 3),对生态单元中各个绿色空间进行赋值,得到生物多样性价值的综合图谱(图 4)。整体来看,宝鸡城区生物多样性价值最高的Ⅲ类生态单元呈零星分布,数量最少,多为半人工闭合林,且管理程度低,野生植物资源丰富,应在城市规划建设中对其加强保护。其次,研究区域内生物多样性价值一般的Ⅱ类生态单元分布较广,多为最常见的半闭合绿地($n=230$),该类绿地同质性强,稀有度低且管理程度普遍较高。另外,生物多样性价值最低的Ⅰ类区域空间多集中于开敞绿地(图 4)。

2.3.2 宝鸡市生物多样性保护措施

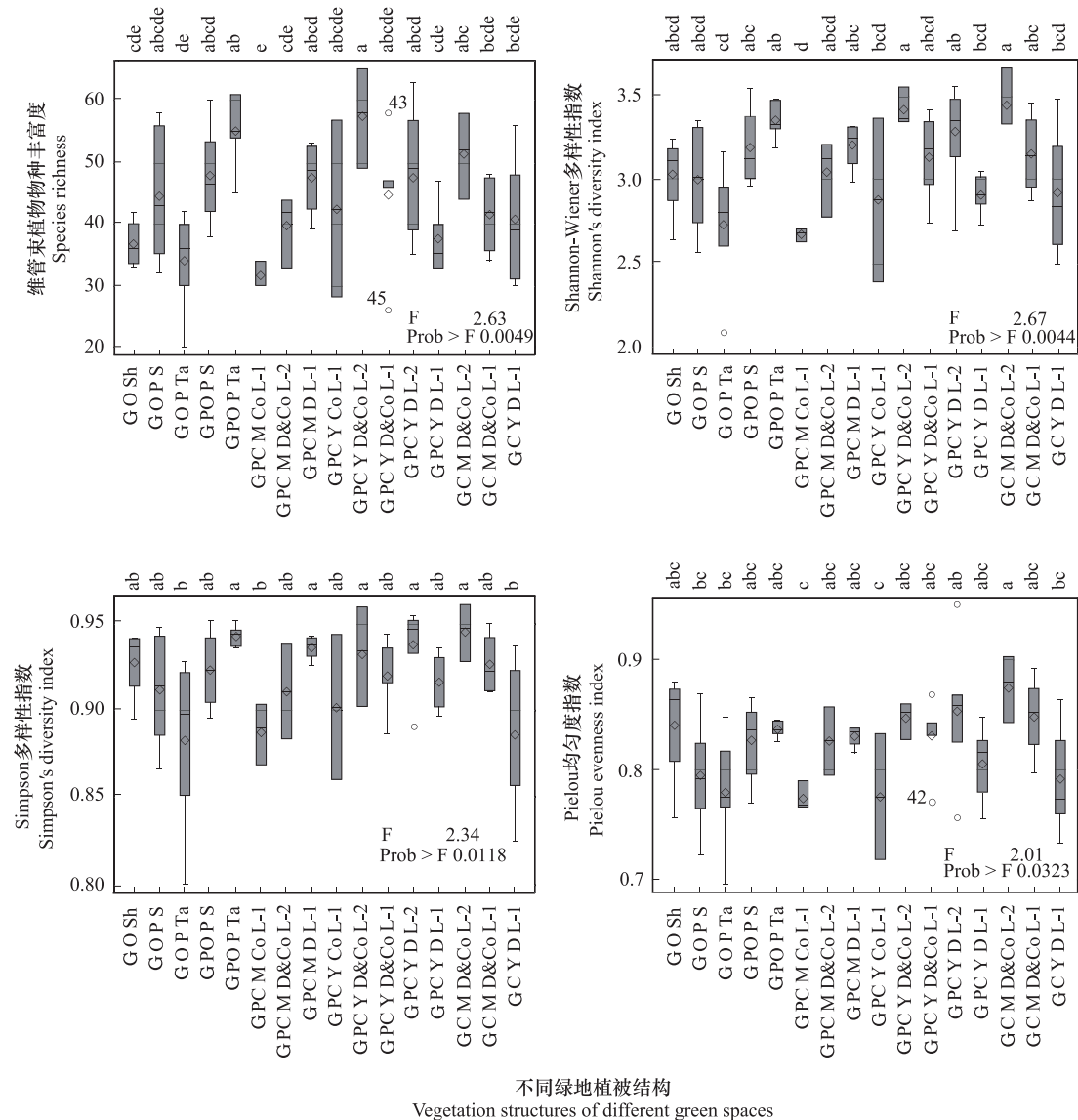
基于上述生物多样性价值评价结果,主要从以下几方面提出适合宝鸡城乡生物多样性保护措施图 4):

(1) 基于生态单元图谱,划定城市绿线

对生物多样性价值较高的Ⅲ类区域划定城市绿线,保持土地使用的连续性。同时,重视居住区绿地、工业绿地等小面积附属绿地的建设,通过见缝插绿、边角植绿等方法增加绿量,提高城市整体绿色空间比例。

(2) 建立大尺度生态廊道,构建绿色网络

由于研究区域内的城市绿地破碎化程度高,连续性较差(表 4),可通过建立生态廊道的方式将各个生境斑块连接,促进相互之间的能量流通和物种繁殖传播。宝鸡城市发展沿渭河两岸展开,因此应加强对于渭河

图3 不同植被结构绿地类型 α 多样性差异Fig.3 α -diversity of different sample plots with vegetation structures

及两侧湿地的保护,提高两岸绿地之间的联接度,同时实施连接渭河的清姜河、金陵河等支流两岸林带和绿地的建设,以及拓宽横穿宝鸡的连霍高速及铁路沿线的防护林带,将各个绿地“孤岛”连接起来,形成以渭河为中心,其他支流及交通两侧防护林和绿地为纽带,建立覆盖整个城区的绿色空间网络。

(3) 降低生境同质性,提高景观丰富度

由于研究区域内生物多样性价值一般和较低的 I 与 II 区域同质化特征明显,景观多样性较低,导致其食物链构成简单,生态系统脆弱。因此,可基于生态单元图谱,通过合理的增植、补植增加现存较少的半开敞绿地和闭合绿地的斑块数量和斑块面积,丰富城市生境类型,平衡各类生态单元的面积和数量,避免“千园一景”现象的发生。

(4) 控制外来种比例,丰富植物种类

此外,由于研究区域内的外来物种比例较高(38%),对于乡土植物的保护和利用不足,应加强乡土植物的保护和引种驯化,尤其针对宝鸡城区丰富的野生地被资源($n=122$)应着重开发与利用,打破传统的单一草

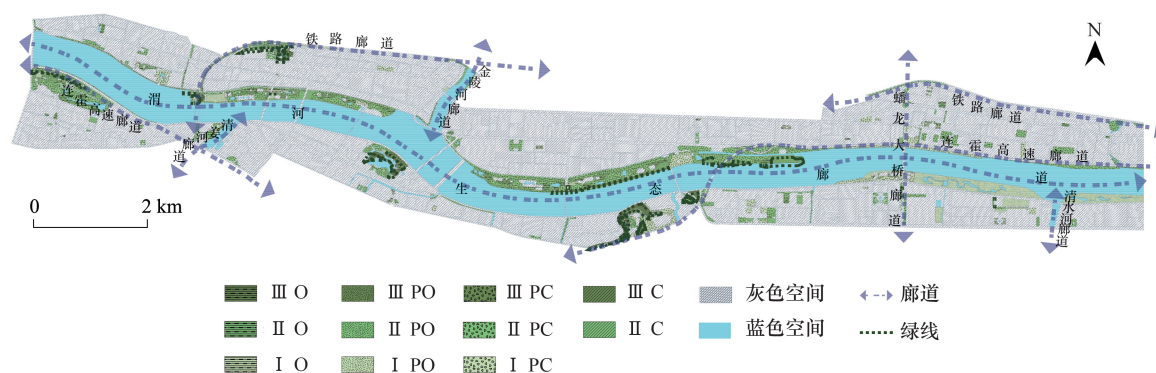


图4 宝鸡市城区绿色空间生物多样性价值综合评价

Fig.4 Comprehensive evaluation of biodiversity value in green space

坪营建模式和城市园林植物千篇一律应用局面,丰富开敞空间物种丰富度,提高生物多样性价值。同时,因地制宜的进行城市绿地管理,根据绿地属性、结构差异,合理平衡管理程度。

3 结论

为了探寻适合我国城乡生物多样性保护的有效措施和方法,本研究基于实地调研和室内制图相结合的研究方法,构建了一套融入植被结构因子的生态单元分类系统,通过检验融入植被结构因子的生态单元制图模型在城乡生物多样性信息采集中的有效性,并结合制图信息和检验结果,针对宝鸡市城乡生物多样性保护提出相应措施及建议,探索城市生物多样性价值评价,以期今后我国以生物多样性保护为定向的城市绿地规划与设计提供理论依据和实践方法。

参考文献 (References):

- [1] 武建勇, 薛达元, 王爱华, 赵富伟. 生物多样性重要区域识别——国外案例、国内研究进展. 生态学报, 2016, 36(10): 3108-3114.
- [2] Gurkan A. Biotope mapping in an urban environment for sustainable urban development-A case study in southern part of Turkey. Applied Ecology and Environmental Research, 2016, 14(4): 493-504.
- [3] 薛达元, 武建勇, 赵富伟. 中国履行《生物多样性公约》二十年: 行动、进展与展望. 生物多样性, 2012, 20(5): 623-632.
- [4] Sukopp H, Weiler S. Biotope mapping and nature conservation strategies in urban areas of the federal republic of Germany. Landscape and Urban Planning, 1988, 15(1/2): 39-58.
- [5] Werner P. Why biotope mapping in populated areas? Deinsea, 1999, 5: 9-26.
- [6] Qiu L, Gao T, Gunnarsson A, Hammer M, von Bothmer R. A methodological study of biotope mapping in nature conservation. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9(2): 161-166.
- [7] McDonald D B, Potts W K, Fitzpatrick J W, Woolfenden G E. Contrasting genetic structures in sister species of North American scrub-jays. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 1999, 266(1424): 1117-1125.
- [8] Segeström U, Bradshaw R, Hörberg G, Bohlin E. Disturbance history of a swamp forest refuge in Northern Sweden. Biological Conservation, 1994, 68(2): 189-196.
- [9] Tarsitano E. Interaction between the environment and animals in urban settings: integrated and participatory planning. Environmental Management, 2006, 38(5): 799-809.
- [10] Lähde E, Laiho O, Norokorpi Y, Saksa T. Stand structure as the basis of diversity index. Forest Ecology and Management, 1999, 115(2/3): 213-220.
- [11] Uuttera J, Tokola T, Maltamo M. Differences in the structure of primary and managed forests in East Kalimantan, Indonesia. Forest Ecology and Management, 2000, 129(1/3): 63-74.

- [12] Kattwinkel M, Strauss B, Biedermann R, Kleyer M. Modelling multi-species response to landscape dynamics: mosaic cycles support urban biodiversity. *Landscape Ecology*, 2009, 24(7): 929-941.
- [13] Nally R M, Parkinson A, Horrocks G, Conole L, Tzaros C. Relationships between terrestrial vertebrate diversity, abundance and availability of coarse woody debris on south-eastern Australian floodplains. *Biological Conservation*, 2001, 99(2): 191-205.
- [14] 张俊辉, 张健, 王瑾, 靳美娟, 夏敦胜. 宝鸡市大气降尘的磁学特征与环境意义. *干旱区地理*, 2015, 38(3): 539-548.
- [15] Hermy M, Cornelis J. Towards a monitoring method and a number of multifaceted and hierarchical biodiversity indicators for urban and suburban parks. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 49(3/4): 149-162.
- [16] Müller N, Abendroth S. Biodiversity in urban areas-Recommendations for integration into the German biodiversity strategy. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 2007, 39(4): 114-118.
- [17] 高天, 邱玲, 陈存根. 融入植被连续性因子的生态单元制图法在城市生物多样性维护中的应用. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 2295-2303.
- [18] 王家磊. 基于生态单元制图的宝鸡市生物多样性保护体系构建[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [19] Millard A. Semi-natural vegetation and its relationship to designated urban green space at the landscape scale in Leeds, UK. *Landscape Ecology*, 2008, 23(10): 1231-1241.
- [20] 毛齐正, 罗上华, 马克明, 邬建国, 唐荣莉, 张育新, 宝乐, 张田. 城市绿地生态评价研究进展. *生态学报*, 2012, 32(17): 5589-5600.
- [21] 李净, 赵娟娟, 陈珊珊, 陈春娣, 张启翔. 厦门市城市外来植物的种类构成. *生态环境学报*, 2017, 26(1): 20-26.
- [22] 赵娟娟, 欧阳志云, 郑华, 徐卫华, 王效科, 倪永明. 北京建成区外来植物的种类构成. *生物多样性*, 2010, 18(1): 19-28.
- [23] 唐红军. 乡土树种在城市绿化中缺少利用的原因. *中国园林*, 2004, 20(6): 73-74.