

基于生态适宜性分析框架的丽水植物园生态景观林空间规划研究*

Spatial Planning of Ecological Landscape Forest of Lishui Botanical Garden based on a Ecological Suitability Analysis Framework

吕超鹏 胡绍庆 胡广
LÜ Chao-peng, HU Shao-qing, HU Guang

摘要: 传统景观林规划方法已不能满足大众对生态景观林功能多元化的要求。基于丽水植物园山地环境的多项参数,采用GIS空间分析、聚类分析等方法对场地生态适宜性,即生态敏感性和生境质量进行分类评价,根据分析结果进行生态景观林空间初步规划。结果显示:丽水植物园按照生态风险等级可分为5类敏感性区域,按生境差异则划分为7种生境类型。结合生态适宜性分析结果,对基于突出植物保护、公众教育及森林康养3个不同的功能指向性规划目标,按照不同的要求进行空间叠加、重分类和整理,分别进行生态景观林空间规划,并针对性推荐部分造林树种。

关键词: 生态景观林;生态适宜性;GIS;聚类分析;空间规划

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641(2021)05-0058-08

收稿日期: 2021-01-25

修回日期: 2021-04-22

Abstract: The traditional planning method of landscape forest cannot satisfy the public's requirement for diverse ecological functions. Based on the quantitative environmental parameters of Lishui Botanical Garden, GIS spatial analysis, cluster analysis and other methods were used to classify and evaluate the ecological suitability analysis, involving ecological sensitivity and habitat quality of the site, which were applied to guide the spatial planning of ecological landscape forest. The results showed that according to the ecological risk level, Lishui Botanical Garden was divided into five types of sensitive areas, and according to the habitat differences, it was divided into seven types. Combined with the results of ecological suitability analysis and spatial superposition according to different requirements, the spatial planning and afforestation tree species selection of ecological landscape forest can be carried out respectively based on three different functional scenarios of highlighting plant protection, public education and forest health rehabilitation and recreation.

Key words: Ecological landscape forest; Ecological suitability; GIS; Clustering analysis; Spatial planning

生态景观林是指依据生态学和美学理论进行营造,集生态保护和环境美化功能于一体的一种森林类型^[1-2]。近年来,林业及生态学领域的学者对于生态景观林的研究不断深入,目前的研究方向集中在生态景观林的生态功能效益、景观体系、质量评价、色彩量化与配置及营造技术等方面^[3-9]。现有的生态景观林规划设计延续传统林业的造林方法,相关空间规划和树种配置一般基于造林地的整体地貌特征以及造林树种本身的生理学和生物学特性,而对造林地的具体地形指标、土壤养分等环境和生态条件,以及造林地的地质和生态风险缺乏必要的调查和量化分析,无法对造林地的空间

差异有一个全面和细致的认知,导致部分生态景观造林工程缺乏必要的客观数据和科学依据,无法较好地发挥其生态功能。同时,随着城市居民对于生态旅游和自然教育热度的不断提升,生态景观林也逐渐从单纯的生态保护功能林地,向具备教育、科研、休憩、康养和环境保护等多功能的综合性林地发展。如何在保持基本生态功能的基础上融合多种功能,也是传统林业规划面临的一大挑战。

为弥补传统景观林规划方法的不足,满足大众对生态景观林功能多元化的要求,本研究以丽水植物园生态景观林规划为例,引入国土规划和土地整治等大尺度空间规划中广泛

应用的生态敏感性评价方法^[10-11],来勾画小尺度造林地上的生态安全格局。考虑到生态敏感性评价在生境质量分析上的相对不足,而生态景观林规划中的植被配置却受到场地生境质量的限制,本研究在常规的生态敏感性评价基础上,增加了群落与景观生态学中的生境类型分类方法^[12-13],来描述造林地生境条件的空间分布差异,最后将上述两种独立分析方法整合形成生态适宜性分析框架,来指导生态景观林的空间规划,并利用分析结果,对不同规划目标下的生态景观林进行差异性的空间初步规划与植物配置设计,以期今后的多功能生态景观林建设提供参考。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(31611130181),浙江省土木工程一流学科(B)建设经费资助

1 研究区概况

丽水植物园 (119°53'39.95"E, 28°28'13.40"N) 占地面积约 16 hm², 位于浙江省丽水市区的西北部, 白云山森林公园的南山麓。其东临教工路及五里亭水库, 南接城北路, 西面为山麓, 北靠北环路及联花路 (图 1)。园区内植被由于长期处于科学实验和经营活动中, 原生植物群落已完全消失, 次生植被主要有马尾松林、湿地松 *Pinus elliottii* 林、竹林、人工针阔叶混交林和经济林等。园区内地形复杂, 环境多样, 森林植被优劣不齐, 土层瘠薄处的树木普遍生长不良、矮化及衰老, 同时经济林弃荒形成了荒山等。

2 研究方法

通过生态敏感性评价和生境类型数量分类两种独立分析过程, 分别对目标地域进行空间制图, 最终整合成生态适宜性综合分析, 来指导生态景观林规划 (图 2)。

2.1 数据采集

基于管理单位提供的研究区测绘信息获得地形数据, 在对研究区植被全面踏查的基础上记录不同植被类型的分布情况。采用 100 m×100 m 的经纬线将丽水植物园地形图进行网格化处理, 利用 ArcGIS 计算各网格地形特征数据。在每个网格中心点半径 5 m 范围内采集土壤样品, 同步进行 GPS 坐标定位, 在实验室中测定土壤样本中的有机质、pH 值、速效磷、速效氮及速效钾等指标^[14]。有机质测定采用重铬酸钾容量法; pH 值采用便携式 pH 计测定; 速效磷采用 Olsen-P 法测定; 速效氮采用碱解扩散法测定; 速效钾采用 NH₄OAC 浸提-火焰光度法测定。为了解整个研究区土壤因子空间分布情况, 通过 ArcGIS 软件克里金插值法计算生成各土壤理化因子的空间连续分布情况。

2.2 数据分析

2.2.1 生态敏感性评价

1) 评价因子选择

景观尺度的生态敏感性相关评价因子一般涉及自然、人文等多方因素^[15-16]。考虑到小尺度空间环境数据的代表性和测量便利性, 本研究选取高程、坡度、坡向、地形位指数、水体及植被类型 6 个与林地地质和生态风险联系密切的环境因子, 进行生态敏感性评价, 并依据《生态功能区划暂行规程》中的划分标准^[17], 将各环境因子的生态敏感性划分为不敏感、低敏感、中敏感、高敏感及极度敏感 5 个等级 (表 1)。

2) 因子权重确定

运用层次分析法确定不同环境因子在生态敏感性分析中的权重^[18]:



图 1 丽水植物园区位图

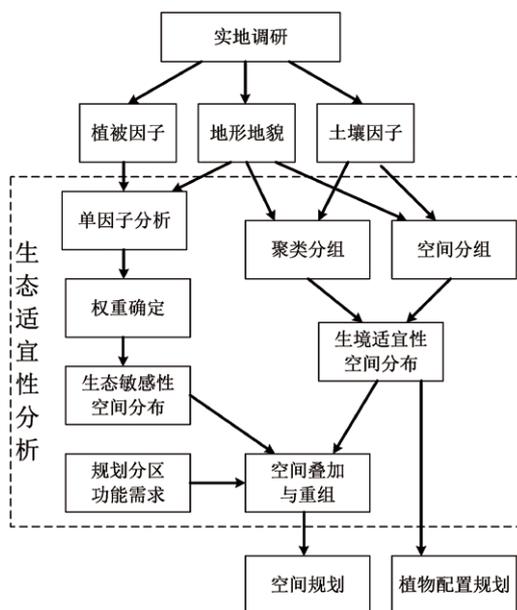


图 2 基于生态适宜性的空间规划流程

$$\omega_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

其中, ω_i 表示第 i 个评价因子权重, 即第 i 行指标因子的特征向量; W_i 表示第 i 行的几何平均值; n 表示指标因子数。

3) 生态敏感性综合评价

根据各评价因子实测数据及权重, 在 ArcGIS 中运用空间叠加功能对所有评价因子栅格数据集进行加权叠加, 并结合自然断点法进行分级, 最终生成研究区生态敏感性综合评价^[19-20]。

2.2.2 生境类型分类

为了规避不同分析方法的缺陷，选择数量聚类和空间聚类两种独立的空间分组方式，对场地的生境质量差异进行分析，并在考虑场地的实际条件基础上，整合两种分析方法得到的结果，得到更为合理可靠的生境类型空间分布格局。

1) 生境因子选择

选取地形地貌、土壤养分条件等与植物生长相关的生境因子，根据各生境因子的实际情况进行等级划分（表2）。为保持各生境因子量纲的统一，运用SPSS软件Z-score标准化方法进行标准化处理^[21]。

表1 评价因子生态敏感性分级

评价因子	生态敏感性分级				
	不敏感 (1分)	低敏感 (2分)	中敏感 (3分)	高敏感 (4分)	极度敏感 (5分)
高程	70~100 m	100~126 m	126~146 m	146~168 m	168~210 m
坡度	< 5°	5 ~ 15°	15 ~ 25°	25 ~ 35°	> 35°
坡向	平坡、 南向	西南向、 东南向	东向、 西向	西北向、 东北向	北向
地形位 指数	0.18~0.36	0.36~0.50	0.50~0.61	0.61~0.69	0.69~0.92
距水体 距离	> 100 m	50~100 m	20~50 m	10~20 m	0~10 m
植被 类型	无(裸露)	竹林、灌丛	针叶林	混交林	阔叶林

表2 生境因子划分标准

生境因子	等级名称	划分标准
高程	低海拔	< 150 m
	高海拔	≥150 m
坡度	缓坡	< 15°
	陡坡	15~35°
	险坡	> 35°
sin 坡向	东坡	≥0
	西坡	< 0
cos 坡向	北坡	≥0
	南坡	< 0
地形曲率	山谷	< 0
	平坡 山脊	0 > 0
土壤厚度	薄土	< 40 cm
	中厚土	≥40 cm
有机质含量	低有机质	< 10 g·kg ⁻¹
	中有机质	10~20 g·kg ⁻¹
	高有机质	> 20 g·kg ⁻¹
速效氮	低氮	< 60 mg·kg ⁻¹
	中氮	60~120 mg·kg ⁻¹
	高氮	> 120 mg·kg ⁻¹
速效磷	低磷	< 5 mg·kg ⁻¹
	中磷	5~20 mg·kg ⁻¹
	高磷	> 20 mg·kg ⁻¹
速效钾	低钾	< 50 mg·kg ⁻¹
	中钾	50~150 mg·kg ⁻¹
	高钾	> 150 mg·kg ⁻¹

2) 数量聚类分组

数量聚类按照目标数量特征将研究对象进行分类，使同一集合内的元素具有较高的同质性，而不同集合之间则尽可能保持高的异质性。选择数量聚类中的K-均值聚类方法对研究区进行生境类型初步划分，并根据各生境因子分级标准对聚类分析数据进行解译，明晰各组别生境质量特征。

3) 空间聚类分组

空间聚类选择ArcGIS 10.5软件中的空间分组分析功能，利用非监督机器学习方法，根据造林地的环境属性和空间约束对生境因子进行聚类分组，识别出生境特征差异明显的空间分区。

2.2.3 生态景观林规划

1) 初步空间规划

基于目前生态景观林常见的功能类型，设定了分别以植物保护、自然教育和森林康养为主要发展方向的3种独立的规划目标，并分别按照各目标的功能性需求，结合生态敏感性评价与生境类型分类结果，对丽水植物园场地进行指向性的空间叠加、融合和重组，设计满足规划目标需求的空间规划初步方案。

2) 植物配置

遵循“适地适树”原则，结合生境类型分类结果，针对不同空间规划分区推荐适宜的生态和景观树种。

3 结果与分析

3.1 生态敏感性分析

3.1.1 单因子评价

1) 高程

研究区地形整体为低山丘陵地貌，整个地块高程为70~210 m（图3-a）。高程因子的生态敏感性以中敏感和高敏感（126~168 m）为主，面积占比达57.64%。极度敏感区（>168 m）占比为11.35%，主要分布在研究区中部。高程在敏感性分析中的权重仅占8.15%，对生态敏感性的空间分布格局影响较小。

2) 坡度

研究区坡度总体以陡坡为主（图3-b）。坡度>25°的区域面积占比为58.3%，是植被生长的限制区，人工造林难度较大。坡度<15°的区域面积占比20.64%，是景区开发建设的主要区域。坡度在生态敏感性分析中的权重占21.00%，是进行空间规划时需要特别关注的地形指标。

3) 坡向

研究区坡向以东南和西南为主（图3-c），两坡向面积共占比58.16%，其他坡向面积相差不大。坡向权重仅占5.23%，对该区域的空间规划影响较小。

4) 地形位指数

尽管规划区域高程落差较小，但是地形起伏较为明

显(图3-d)。地形位指数分布在0.5~0.69的区域面积占比58%,空间分布比较分散;地形指数在0.69~0.9的区域面积占比为19.52%,主要分布在中部地势相对较高的区域。地形位指数在敏感性分析中的权重占34.00%,说明地形起伏程度是影响该区域生态敏感性的最重要指标。

5) 距水体距离

研究区内水体面积不大,主要集中在西部区域(图3-e)。研究区大部分区域离水体较远,距离>100m的区域面积占比达到了84.93%;离水体距离<20m的区域面积占比仅为2.14%。尽管区域内水源较少,但距水体距离的权重占20.39%,说明水体分布是该区域进行空间规划时需

要考虑的重要指标。

6) 植被类型

研究区内植被类型较单一(图3-f),主要为无林地和针叶林,故生态敏感性以不敏感和中敏感为主,两者面积相差不大,共同占比68.75%。阔叶林主要为经济林木良种及珍稀树种种质资源,分布在研究区西部,为极度敏感区,面积占比15.31%。植被类型权重占11.23%,对区域生态敏感性具有一定影响,但是区域内林地质量总体较差,敏感性低,在保护高敏感植被的基础上,需要进行一定程度林地质量的改造和提升。

3.1.2 生态敏感性综合评价

研究区用地以高敏感区为主,面积占比达到了34.52%,中敏感区和

极度敏感区面积相差不大,不敏感和低敏感区面积占比为19.61%(图4)。极度敏感区主要分布在研究区中部,属于地质风险和生态脆弱性高的区域,较易受到人类活动的影响,应进行严格的保护和管理,侧重对现有植被与乡土特色植被的恢复与保护。中度敏感区和高度敏感区在研究区中分布最广,主要分布于山体中下坡,是整个植物园在垂直视线上的主要观赏面。该区域生态较脆弱,需加强生态保护,进行有限开发。不敏感和低敏感区主要分布在研究区西北和东南部,地势相对平坦,主要为无林地,分布在山体下坡位和沟谷区域,生态环境保护压力小,可以进行多用途开发利用。

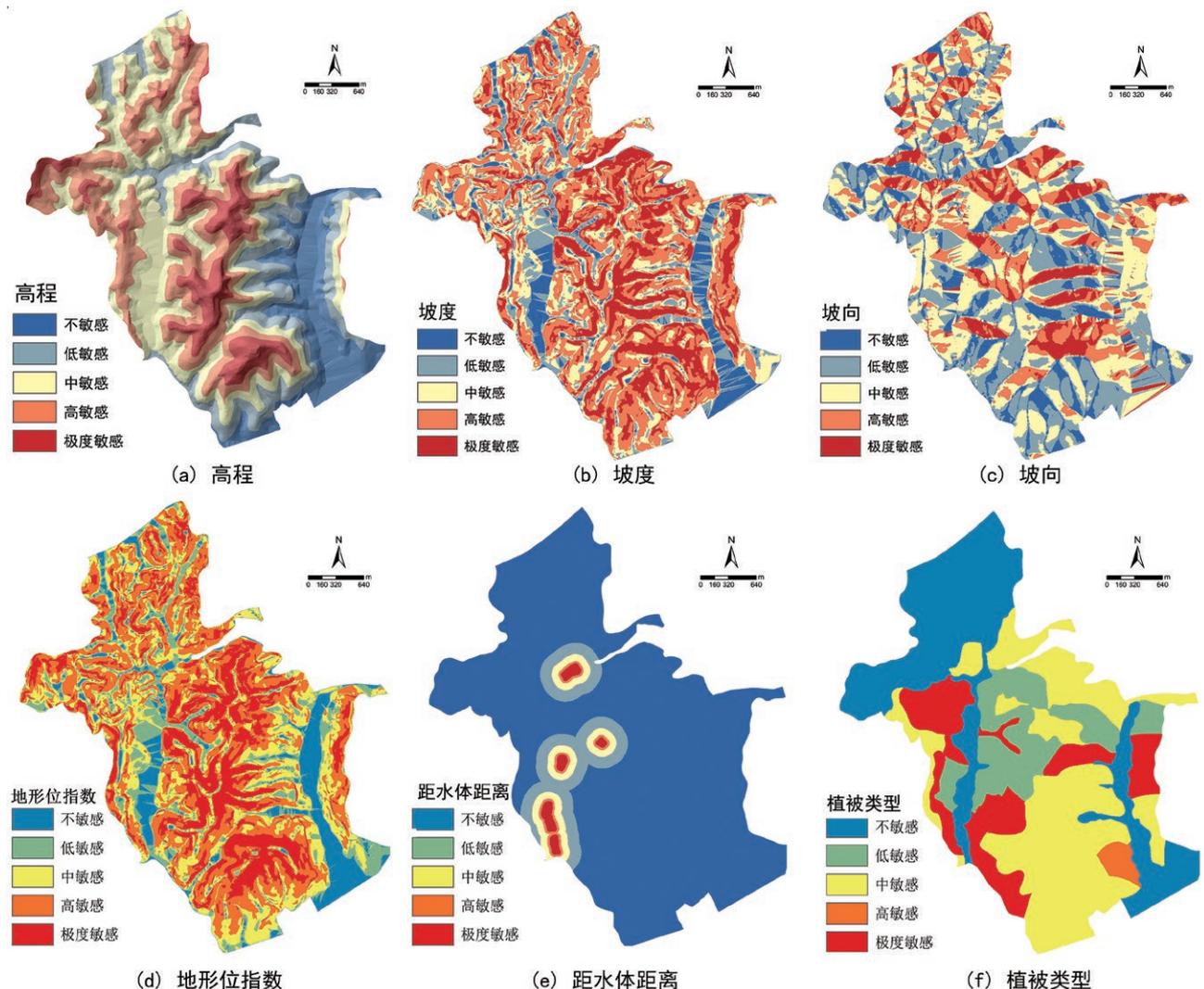


图3 单因子生态敏感性评价

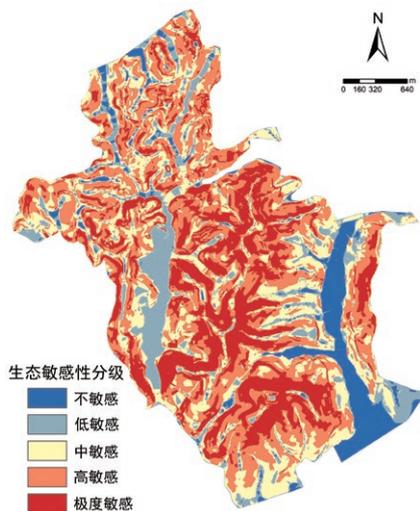


图4 研究区生态敏感性综合评价

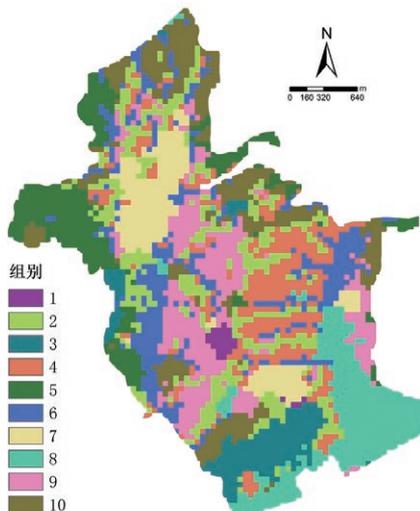


图5 生境类型数量聚类分区

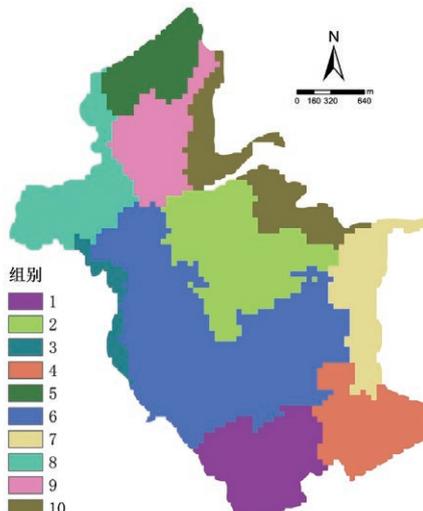


图6 生境类型空间聚类分区

3.2 生境类型的空间分布格局

3.2.1 生境类型数量与空间分组

基于地貌和土壤条件因子，通过数量聚类分组和空间分组两种途径，对丽水植物园场地进行初步分组。通过 K-均值聚类分析生成生境类型数量聚类分区图（图 5），将场地分成 10 组。选择与聚类分析相同的生境因子，利用 ArcGIS 的空间分组功能，生成生境类型空间聚类分区图（图 6）。数量聚类体现了场地各区域理化环境条件的差异，但是各种自然和人为干扰造成的分组结果在空间上的表现过于破碎化，不利于场地的空间规划。而空间聚类则强调了空间约束性，各分区相对集中，但是一些特异的生境类型信息往往在空间聚类过程丢失。同时进行数量和空间分类，并根据场地实际情况进行分类结果的融合，可以综合两种聚类方法的优点，减少误差。

3.2.2 生境类型空间分布格局

叠加数量和空间聚类分析图，并依据场地的具体条件进行合并或调整，生成最终的 7 组生境类型（图 7，表 3），代表该地区生境质量的空间差异分布。

3.3 生态适宜性分析框架对空间规划的指导

生态适宜性分析框架综合了体现

表 3 研究区生境类型

生境类型	对应数量聚类组别	对应空间聚类组别
山顶	1	2
缓坡山脊	3	1
低养分山谷	4	2、6
低养分陡坡山脊	5	3、8
低养分陡坡山谷	6	6
陡坡山谷	7、8	4、9
陡坡山脊	9、10	5、7、10

注：数量聚类组别 2 碎片化分布在整个场地，且面积较小，故与相邻组别合并。

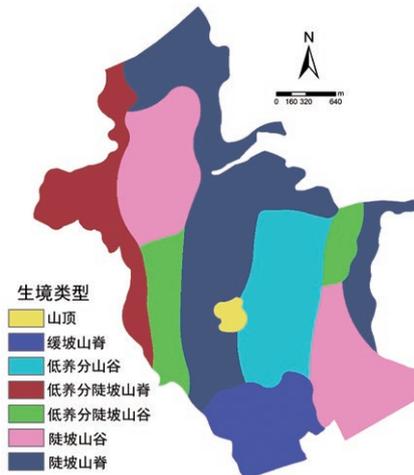


图7 生境类型空间分布格局

场地生态风险和环境脆弱性等级的生态敏感性评价，以及体现生境质量差异性分布的生境类型空间分布格局分析。生态敏感性评价提供了场地的基本生态安全格局，可以据此来判断不同空间的保护策略和开发建设程度；而生境类型则对场地生境质量的空间差异分布进行了基本描述，可以用来指导功能性植被的空间规划。

基于上述预设的 3 种独立规划目标，按照目标的基础功能要求对生态适宜性框架中的两种分析结果分别进行初步的重分组（表 4），然后进行空间叠加，之后根据场地实际情况进行空间整理（即在叠加过程中产生的小面积破碎化斑块与周边大斑块进行

融合），最终获得更为科学、合理的生境景观林空间规划（图 8）。

3.3.1 突出植物保护的生态景观林空间规划

结合自然保护区和植物园的空间需求，将丽水植物园划分为 4 个区域。其中，核心保护区主要用于珍稀濒危植物和当地特色生态系统的保护，因此将其配置于植物园的中部和北部生态极度敏感区及相邻的同类型生境，占地面积约 8 hm²，主要为山顶和山脊。该区域在原则上尽量避免进行人为干扰和开发，仅设置一些管理道路、监测设备和防火设备。科研实验区主要用于保障特殊种质资源以及科研实验，对具有重要科研价值的优良种质

资源进行收集保存和异地保护，需要较平缓的场地进行保护性苗圃建设，同时采取一定的保护措施。因此将其配置于南部的生态高敏感区及相邻的同类型生境，占地面积约 1.4 hm²，主要为缓坡山脊，现状保存有药用植物、珍稀植物等种质资源。该区域可建设一些必要的实验设施和种质资源苗圃，限制其他旅游开发和建设行为。分类展示区主要规划用于展示丽水、浙南以及华东其他地区特色植物，将其配置于西北部和东部的生态中敏感区及相邻的同类型生境，占地面积约 4.9 hm²，主要为山谷。该区域可规划岩生园、湿生园、温室等多种景观，充分利用山坡，构建多层次且物种丰富的植物群落。服务区主要用于旅游基础设施建设，因此将其配置于西部和东部生态低敏感区及相邻的同类型生境，占地面积约 1.7 hm²，主要为山谷。该区域生态环境保护压力小，地势平坦，可以进行多用途开发利用。

3.3.2 突出公众教育的生态景观林空间规划

基于突出公众教育的规划目标，将丽水植物园划分为 4 个区域。除与上述基本相同的服务区外，森林体验区主要用于游客沉浸式体验的森林漫步及亲水空间，对原生植被和地貌干扰较少，因此将其配置于植物园的西部生态中、高敏感区及相邻的同类型生境，占地面积约 8.3 hm²，主要为山脊。该区域可着重打造季相分明的植物景观，建设最低限度的服务设施，且可充分利用区块内水资源，打造亲水空间。自然教育区主要用于植物专类园建设，展示植物文化，因此将其配置于植物园的北部和东部生态中敏感区及其相邻的同类型生境，占地面积约 2 hm²，主要为山谷地貌。该区域可结合宣传标识牌、云讲解、植物文化体验等多种形式进行自然科普教育。观景区主要规划用于保护当地特色植被，同时在地视线制高点处适当建设生态观测兼观景平台，监测森林火灾等自然灾害的情况，以及展示植物园整体景观风貌，因此将其配置于植物园中部生态极度敏感区及其相邻的同

类型生境，占地面积约 4 hm²，主要为山顶及海拔较高的山脊。该区域生态脆弱性高，可补植部分色叶树种，同时要注重原生植被的恢复与保护，排除各种人为干扰。

3.3.3 突出森林康养的生态景观林空间规划

基于突出森林康养的规划目标，将丽水植物园划分为 4 个区域。除基本相同的服务区外，森林保护区以实现就地保护与生态恢复现有植被为主要目的，因此将其配置于植物园的西北部和东部生态极度敏感区及相邻的同类型生境，占地面积约 7.8 hm²，主要为山顶和山脊。该区域作为整个区域的自然生态基底和洁净水源的来源，严格限制旅游开发和建设行为。森林疗养区主要用于开展森林疗养活动，因此将其配置于植物园的中部和南部

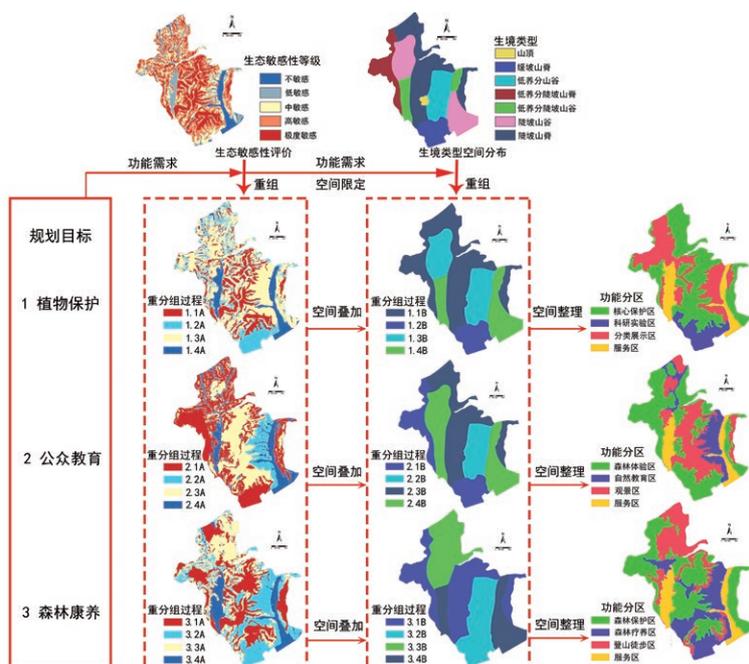


图 8 不同规划目标背景下的生态景观林空间初步规划（图例编号解释见表 4）

表 4 基于不同规划目标的空间重组过程

规划目标	基础功能分区	生态敏感性的重组过程	生境类别的重组过程
1 植物保护	1.1 核心保护区	1.1A 保留极度敏感区	1.1B 合并相邻的山顶、陡坡山脊、低养分陡坡山脊
	1.2 科研实验区	1.2A 合并相邻高、中敏感区	1.2B 保留缓坡山脊
	1.3 分类展示区	1.3A 合并相邻低、中敏感区	1.3B 合并相邻的低养分山谷、陡坡山谷
	1.4 服务区	1.4A 合并相邻低敏感区和不敏感区	1.4B 合并相邻的陡坡山谷、低养分陡坡山谷
2 公众教育	2.1 森林体验区	2.1A 合并相邻高、中、低敏感区	2.1B 合并相邻的缓坡山脊、低养分陡坡山脊
	2.2 自然教育区	2.2A 合并相邻中、低敏感区	2.2B 保留低养分山谷
	2.3 观景区	2.3A 合并相邻极度敏感区和高敏感区	2.3B 合并相邻的山顶、陡坡山脊
	2.4 服务区	2.4A 合并相邻低敏感区和不敏感区	2.4B 合并相邻的陡坡山谷、低养分陡坡山谷
3 森林康养	3.1 森林保护区	3.1A 合并相邻极度敏感区和高敏感区	3.1B 合并相邻的山顶、陡坡山脊、低养分陡坡山脊
	3.2 森林疗养区	3.2A 合并相邻低、中敏感区	3.2B 合并相邻的缓坡山脊、低养分山谷
	3.3 登山徒步区	3.3A 合并相邻高、中敏感区	3.3B 合并相邻的陡坡山脊、陡坡山谷
	3.4 服务区	3.4A 合并相邻低敏感区和不敏感区	3.4B 合并相邻的陡坡山谷、低养分陡坡山谷

生态中敏感区及相邻的同类型生境, 占地面积约 4.2 hm², 主要为山脊和山谷。该区域水体贯穿其中, 环境幽静, 可配置具有保健功能的树种。登山徒步区主要规划设置登山步道, 可满足登山爱好者的需求, 因此将其配置于植物园的北部和南部地貌丰富的生态高敏感区及相邻的同类型生境, 占地面积约 2.3 hm², 以山脊和山谷为主。该区域在建设过程中需尽量减少对环境的干扰, 注意植被的保护和恢复。

3.3.4 对植被配置的指导建议

基于不同规划目标及不同空间分区, 遵循“适地适树”原则, 分别推荐部分适合当地气候和生境条件的生态景观林树种(表 5)。

4 总结

生态适宜性分析框架综合了体现场地生态安全格局的生态敏感性评

价, 以及体现生境条件空间差异性分布的生境类型空间制图。通过严格设计的标准化数据采集方法和地理空间统计分析, 突出场地局部空间的最大差异, 可以更科学合理地指导生态保育和景观空间规划。本研究从丽水植物园的生态安全格局和生境条件差异入手, 在生态敏感性评价结果和生境类别空间制图的基础上, 通过空间重分组及空间叠加进行生态适宜性分析, 并基于突出植物保护、公众教育及森林康养 3 个不同规划目标的基本功能需求, 展示生态适宜性框架在生态景观林空间规划分区中的具体应用, 且有针对性地推荐部分适宜树种, 为多功能生态景观林的功能空间规划和植物配置设计提供一定的技术借鉴。

传统的景观林规划方法, 往往通过局部获取的数据对整体场地进行估计, 在细节设计上具有优势, 但是在整体规划方面缺乏实证, 容易造成一

定偏差。而本规划方法最突出的优点即克服了这一问题, 提供了一个对场地理化环境和生态条件进行整体可视化展示, 同时突出空间异质性分布的技术框架, 可以帮助林业规划设计师和生态学家全面充分了解场地的情况。其次, 通过空间分析和数量统计方法对场地情况进行分析, 可以避免不同林业规划设计师由于学术背景和个人喜好的差异带来的主观误差, 为景观林的规划提供更加科学、客观的基础空间格局数据。同时, 随着数据采集技术的快速发展, 进行场地前期调查时往往可以获得大量的经济、社会和环境大数据, 在此类涉及大量参数的场地信息分析时, 引入空间统计方法进行数据分析, 可以快速发现场地空间上的最大差异, 提高规划效率。分析过程中场地信息的空间数据化, 也为后期具体设计和建模提供了基础信息。最后, 该分析方法的数据可视化基于 ArcGIS 的主题图层, 根据不

表 5 丽水植物园生态景观林植物配置建议

场景	功能分区	推荐植被
植物保护	核心保护区	考虑山顶、山脊光照强、相对湿度低、风速高的气候条件, 同时注重原生植被与特有植被的恢复与保护, 可以配置适合山顶生境的马尾松 <i>Pinus massoniana</i> 、木荷 <i>Schima superba</i> , 以及当地典型的、适合山脊环境的甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> 、褐叶青冈 <i>Cyclobalanopsis stewardiana</i> 等乡土植被
	科研实验区	按照水土保持、极小种群保育、森林演替监测等科研需求, 配置对应的功能植被和珍稀植物群落
	分类展示区	按照地形和养分条件设置不同植物类群, 如山脊的裸子植物区、草甸区; 沟谷的阴生植物区、水生植物区等
森林体验区	服务区	该区域为山谷, 地势平缓、阳光充足, 为营造优美的季相景观, 可以配置本土色叶树种, 如垂丝海棠 <i>Malus halliana</i> 、杏 <i>Armeniaca vulgaris</i> 、青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> 、樱花 <i>Cerasus spp.</i> 、无患子 <i>Sapindus saponaria</i>
	自然教育区	考虑山脊生境的强光和干旱条件, 选择喜阳、耐旱树种, 可配置具有一定观赏性的近自然植被与观赏植物, 如檫木 <i>Sassafras tzumu</i> 、深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> 、鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i> 、木荷、樟 <i>Cinnamomum camphora</i>
	公众教育	山谷区域相对湿度高、光照弱, 为增强科普教育功能, 可配置适合山谷生境的生态和经济树种, 如栗 <i>Castanea mollissima</i> 、榿 <i>Torreya grandis</i> 、杨梅 <i>Morella rubra</i> 、美国山核桃 <i>Carya illinoensis</i> 、伯乐树 <i>Breitschneidera sinensis</i>
森林康养	观景区	山顶、山脊区域需注重对原有植被的恢复和保护。为增强景观效果, 可在部分受损植被中适当配置适宜生境条件的、具有季相变化的植物, 如黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i> 、枫香树 <i>Liquidambar formosana</i> 、黄连木 <i>Pistacia chinensis</i> 、黄山玉兰 <i>Yulania cylindrica</i> 、马银花 <i>Rhododendron ovatum</i> 等
	服务区	该区域为山谷, 地势平缓、阳光充足, 为增强观赏效果, 可选择色彩鲜艳的观果观花树种, 如冬青 <i>Ilex chinensis</i> 、杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i> 、珍珠 <i>Callicarpa bodinieri</i> 、荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>
	森林保护区	山顶区域注重现有植被的保护, 山脊区域可配置具有食药价值的珍稀植物, 如厚朴 <i>Houpoa officinalis</i> 、小果冬青 <i>Ilex micrococca</i> 、杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i> 、木通 <i>Akebia quinata</i> 、喜树 <i>Camptotheca acuminata</i>
登山徒步区	森林疗养区	该区域地形复杂, 可选择适宜山谷生境的南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana var. mairei</i> 、枫香树, 以及适合山脊环境的马尾松、樟、桂花 <i>Osmanthus fragrans</i> 、荷花木兰 <i>Magnolia grandiflora</i> 等具有康养保健的树种
	登山徒步区	该区域坡度较陡, 山脊区域光照强、风速高, 可选择适合山脊区域的木荷、苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> ; 山谷区域光照弱、相对湿度高, 可选择适合山谷区域的野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i> 、构骨 <i>Ilex cornuta</i> 、榿木 <i>Aralia elata</i> 等乡土树种
	服务区	该区域为山谷, 地势平缓、阳光充足, 可配置特色观赏植物, 如白兰 <i>Michelia × alba</i> 、南方红豆杉、榿、银杏 <i>Ginkgo biloba</i> 、乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>

同的规划要求和目的, 可以进行模块化的组合叠加, 适用于多种场景, 具有一定的应用性和普适性。通过生态适宜性分析框架得到的空间规划是一个仅考虑了生态条件的初步规划, 仍需要根据场地的社会、经济、文化、交通条件和规划目标的功能需求进行深入的细化。但是本分析框架为场地的最终规划提供了一个生态空间格局的模板, 对于以生态功能为主导的生态景观林, 乃至其他类似场地, 均具有较好的规划辅助功能。

随着“花园城市”建设理念的推进, 以及城市居民对于人居环境要求的不断提高, 具有多种复合功能的生态景观林建设需求, 对传统的林业规划提出了挑战。在传统规划方法基础上, 结合场地环境风险评估和生境质量分析的生态适宜性技术框架, 既可以识别生态高敏感区域, 又可以为不同植物的生境需求提供空间定位, 在满足生态景观林的多功能要求基础上, 将功能开发约束在环境承载范围内, 实现生态景观林的可持续发展。

注: 本文图片均为作者自绘。

参考文献:

- [1] 韦新良, 何莹. 生态景观林景观效果构成特性定量分析[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6): 181-185.
- [2] 王良和, 祝超波, 凌忠良, 等. 白云森林公园生态景观林改造技术[J]. 现代农业科技, 2018(17): 162-164.
- [3] 张小晶, 陈娟, 李巧玉, 等. 基于视觉特性的川西亚高山秋季景观林色彩量化及景观美学质量评价[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 45-54.
- [4] 马俊, 韦新良, 尤建林, 等. 生态景观林树种选择定量研究[J]. 浙江林学院学报, 2008(5): 578-583.
- [5] 王翔, 金祖达. 生态景观林建设指导理论与技术方法体系研究—以武义县生态景观林工程总体设计为例[J]. 浙江林业科技, 2011, 31(3): 63-67.
- [6] KNIGHT J. From Timber to Tourism: Re-commoditizing the Japanese forest[J]. Development and Change, 2000, 31(1): 341-360.
- [7] EGGERMONT H, VERSCHUREN D, AUDENAERT L, et al. Limnological and Ecological Sensitivity of Rwenzori Mountain Lakes to Climate Warming[J]. Hydrobiologia, 2010, 648(1): 123-142.
- [8] 温志高, 陈洪峰, 肖尤青, 等. 试论生态景观林工程施工项目管理[J]. 广东园林, 2014, 36(5): 21-23.
- [9] 陈征东, 谢发霞. 景观生态林在山野公园的应用—以彩色梅林林相设计为例[J]. 广东园林, 2010, 32(4): 51-54.
- [10] 林永发, 邱美新, 付晖. 基于生态敏感性评价的儋州市云月湖景区生态规划研究[J]. 广东园林, 2020, 42(1): 80-85.
- [11] 战明松, 朱京海. 基于生态敏感性评价的本溪青山山景区空间规划[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2352-2360.
- [12] 尤龙辉, 乐通潮, 聂森, 等. 基于GIS的山美水库水源涵养林区立地类型分类制图[J]. 防护林科技, 2019(1): 31-33+57.
- [13] 龙晓晨. 基于GIS的大通县林地立地类型划分及应用[D]. 西宁: 青海大学, 2017.
- [14] 中华人民共和国林业行业标准. 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 1-108.
- [15] 曹建军, 刘永娟. GIS支持下上海城市生态敏感性分析[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1805-1812.
- [16] 王国玉, 白伟岚. 风景名胜区生态敏感性评价研究与实践进展[J]. 中国园林, 2019, 35(2): 87-91.
- [17] 中华人民共和国生态环境部. 生态功能区划技术暂行规程[EB/OL]. (2003-08-15)[2019-10-30]. <https://wenku.baidu.com/view/b8ea8072a8956bec0975e341.html>.
- [18] 刘小伟, 熊金泉. 基于模糊层次分析法的信息化项目评估模型[J]. 南昌大学学报(理科版), 2015, 39(5): 420-422.
- [19] 张诗逸, 冯长春, 刘雪萍, 等. 基于生态敏感性分析的建设用地适宜性评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(4): 631-638.
- [20] 张蜜, 陈存友, 胡希军. 苍南县玉苍山风景区生态敏感性评价[J]. 林业资源管理, 2019(4): 92-100+150.
- [21] 钟慧琪, 鲍姗姗, 韩宇, 等. 福建罗源湾海湾生态系统脆弱性评价[J]. 应用海洋学报, 2017, 36(1): 16-23.

作者简介:

吕超鹏/1994年生/男/安徽安庆人/硕士研究生/浙江理工大学(杭州310018)/专业方向为城市景观植物

胡绍庆/1960年生/男/浙江兰溪人/硕士/杭州园林绿化股份有限公司(杭州310018)/教授级高级工程师/研究方向为园林植物资源与观赏植物育种

胡广/1983年生/男/浙江温州人/博士/浙江理工大学(杭州310018)/副教授/研究方向为景观生态学