

群落特征和林分空间结构对森林公园景观美学质量贡献率及影响因子

艾婧文^{1,2}, 刘 健^{1,2,3}, 余坤勇^{2,3}, 张今朝^{2,3}, 曾 琪^{2,3}, 郑文英^{2,3}

(1. 福建农林大学 园林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学 福建省资源环境监测与可持续经营利用重点实验室, 福建 福州 350002; 3. 福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

摘要: 植物群落特征和林分空间结构组成及评价是森林公园景观的关键, 对森林公园景观优化与提升具有重要意义。以福建金丝湾省级森林公园为对象, 基于 40 个调查样方, 从群落特征和林分空间结构 2 个层面选择 24 个景观影响因子, 运用美景度评价法(SBE)得出各个样方景观得分值, 进而构建美景度和各个影响因子类目之间的景观评价与预测的多元回归线性模型, 并分析群落特征和林分空间结构对森林公园景观美学质量的贡献作用。结果表明: 森林公园景观中, 主要影响美景度的景观因子有凋落物、林下层统一度、乔木丰富度、郁闭度、胸径变异系数、竞争指数、枝下高和角尺度, 其贡献率分别为 20.809%, 20.424%, 14.547%, 14.162%, 10.790%, 8.189%, 6.455%和 4.624%; 群落特征和林分空间结构 2 个层面的贡献率分别为 87.187%和 12.813%。植物群落特征和林分空间结构相互作用在森林公园美景度评价中占据着重要地位。图 2 表 6 参 30

关键词: 森林公园; 群落特征; 林分空间结构; 美景度评价

中图分类号: S718.59 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2017)06-1087-08

Research on contribution rate of plant community characteristics and stand spatial structure to landscape aesthetics quality of forest parks and its influencing factors

AI Jingwen^{1,2}, LIU Jian^{1,2,3}, YU Kunyong^{2,3}, ZHANG Jinzhao^{2,3}, ZENG Qi^{2,3}, ZHENG Wenyong^{2,3}

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Resources and Environment Monitoring & Sustainable Management and Utilization, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 3. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: The composition and evaluation of the plant community characteristics and stand spatial structure are the keys to the forest park landscape, and are of great significance to the optimization and promotion of forest park landscape. The research took Jinsiwan Forest Park in Fujian Province as the research object, and selected 40 typical samples and 24 factors to reflect the community characteristics and stand spatial structure. The scenic beauty estimation value of each sample was calculated by using scenic beauty estimation (SBE) method to construct a multiple regression linear model and landscape evaluation and prediction between SBE and various influencing factors categories, and analyze contributions of plant community characteristics and stand spatial structure to landscape aesthetics quality of forest parks. The findings indicated that the main factors affecting SBE included litter, uniformity of ground plants, abundance of conifer, crown density, variation coefficient

收稿日期: 2016-11-17; 修回日期: 2017-05-24

基金项目: 福建省高校产学研合作项目(2015N5010); 国家自然科学基金资助项目(41401385); 福建省教育厅科技计划项目(JA14126)

作者简介: 艾婧文, 从事风景园林规划设计等研究。E-mail: 472112830@qq.com。通信作者: 刘健, 教授, 博士, 从事“3S”技术应用、风景园林规划设计等研究。E-mail: fjliujian@126.com

of diameter at breast height (DBH), competition index, under branch height and uniform angle index, accounting for 20.809 per cent, 20.424 per cent, 14.547 per cent, 14.162 per cent, 10.790 per cent, 8.189 per cent, 6.455 per cent and 4.624 per cent respectively. The contribution rates of community characteristics and stand special structure were 87.187 per cent and 12.813 per cent. The research further explained the important roles of plant community characteristics and stand spatial structure in the scenic beauty estimation of forest parks. [Ch, 2 fig. 6 tab. 30 ref.]

Key words: forest park; community characteristics; stand spatial structure; scenic beauty estimation (SBE)

森林公园在满足都市人群游憩和审美方面发挥重要作用。对森林公园美学质量进行评价,一方面能够了解当前森林景观美学质量,合理地分析森林公园景观构成与人的审美评判间的关系;另一方面能够预测在当前森林资源管理下的景观美学趋势,为进一步开展森林风景资源管理提供合理建议。在当前的研究中,森林美学质量评价较多考虑群落和单木特征对景观的影响,如将乔木胸径、林分密度、林下植被覆盖度等与景观质量评价方法进行研究^[1-4];但把空间尺度上林分特征与景观美学模型结合起来^[5],从植物群落特征和林分空间结构2个层面探索森林景观美学质量影响的内在规律的研究相对较少。为此,本研究以福建三明金丝湾森林公园为例,采用心理物理学派中实用性最强最广的美景度法(SBE)与线性模型法统一,将审美态度测量同景观的构景因子结合起来,构建景观模型来评价和预测景观质量^[6],探索在森林景观美学质量综合性评价过程中,群落结构特征和林分空间结构各影响因子的贡献率及重要程度,并从景观美学角度提出森林公园抚育采伐和林分改造的建议,以期为森林景观美学质量提升、森林景观可持续经营管理提供科学依据。

1 研究区概况

金丝湾森林公园位于福建省三明市北部(26°18'32"~26°20'44"N, 117°33'9"~117°37'19"E),属于闽西武夷山脉中部的低山丘陵区,地势由西北向东南倾斜,海拔大多为200~500 m,最高海拔约为690 m。该地区属于中亚热带季风气候,夏季炎热多雨,冬季相对低温少雨。年平均气温为19.7℃,年平均日照时数为1 812.0 h,年均降水量为1 586.0 mm,平均相对湿度为79%。该地区土壤表现为典型地带性分布,类型主要是酸性岩红壤、黄壤、棕黄壤等,成土母质以花岗岩、流纹岩、火山岩山体为主。该地区植物资源丰富,植被多由天然次生阔叶林、针阔混交林、经济林等组成,其中阔叶树林为535 hm²。植物种类丰富,已鉴定的木本植物计96科320属500余种,大科为松科 Pinaceae,杉科 Taxodiaceae,柏科 Cupressaceae,壳斗科 Fagaceae 和红豆杉科 Taxaceae。

2 资料收集与研究方法

2.1 资料收集

2.1.1 群落结构特征因子和林分空间结构因子的获取 设置40个面积为10 m × 10 m的样方,采用全站仪测4个角点的坐标,对样方内胸径≥3 cm的林木进行坐标定位及编号并统计乔木类型、丰富度,测量乔木树高、胸径、冠幅等,同时测定样方内群落的郁闭度、通透程度及林下层统一度、通透距离、生活型组成等^[7]。运用 Arc GIS 10.1 及 Winkelmass 软件^[8]得到林分空间结构指标:大小比、角尺度、混角度、开敞度及竞争指数。在各个样方的四角和中心设置5个1 m × 1 m的小样格,调查灌木和草本的种名、高度及盖度等。

2.1.2 样地照片的获取 样方照片的选取尽量避开与植物群落无关的其他景观因子,如溪涧、道路、房屋等。以样方中心点为基点向样方的西北、东北、东南、西南4个角点进行拍照,同时在4个角点向样地中心拍照^[9](图1)。照片拍摄要求在同一天内光线充足的情况下进行^[10];所有照片均由一人拍摄,并且始终使用同一台设备,采用相同大小的焦距;确定好拍摄方向后,镜头位置与拍摄者双眼平齐,镜头方向与坡面平行,统一采用横向拍摄(图2)。剔除无关景观的照片,从各个角度拍摄的照片中选取1张最能代表该样地特征的照片。

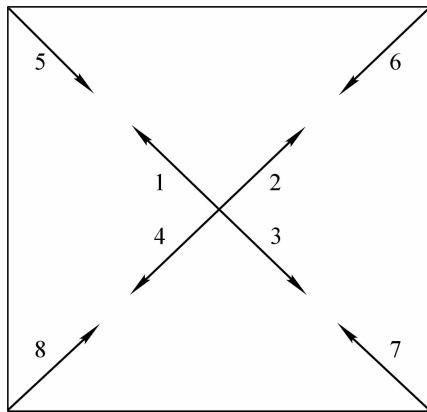


图 1 森林公园森林景观取样示意图

Figure 1 Schematic of landscape sampling in Jinsiwan Forest Park



图 2 照片拍摄角度要求

Figure 2 Angle requirements of photograph

2.2 森林公园景观美学影响因子确定

由于植物群落特征与林分空间结构在构成因子、数据获取及照片获取标准等方面不尽相同，所以对反映植物群落和林分空间结构进行各自的景观影响因子确定。

2.2.1 植物群落特征因子 筛选 19 个群落结构特征因子指标作为景观美学评价指标，分别为乔木数量 (x_1)，树种组成林分密度 (株· hm^{-2} , x_2)，郁闭度 (x_3)，乔木丰富度 (x_4)，乔木平均胸径 (x_5)，胸径变异系数 (x_6)，乔木平均树高 (x_7)，枝下高 (x_8)，冠幅 (x_9)，树干枝视率 (x_{10})，灌木高度 (x_{11})，灌木盖度 (x_{12})，草本高度 (x_{13})，草本盖度 (x_{14})，通透程度 (x_{20})，枯倒木 (x_{21})，凋落物 (x_{22})，林下层统一度 (x_{23})，生活型构成 (x_{24})。其中通透程度、枯倒木、凋落物、林下层统一度、生活型构成等为定性因子并对它进行分解及量化(表 1)，其余的为定量因子。

表 1 金丝湾森林公园森林群落特征定性因子分解

Table 1 Qualitative factors analysis of the plant community structure in Jinsiwan Forest Park

编号	项目	类目			
		1	2	3	4
1	通透程度	<10 m	10~<20 m	20~<30 m	≥30 m
2	枯倒木	明显	不明显		
3	凋落物	明显	局部可见	几乎没有	
4	林下层统一度	统一	较统一	不统一	
5	生活型构成	乔灌草	乔草	乔灌	乔木

2.2.2 林分空间结构特征因子 林分空间结构特征因子主要反映群落林木在水平和垂直方向上的空间属性及其排列的空间关系^[11]。为了探讨林分空间结构对美景度的影响，选取开阔比 (x_{15})，混交度 (x_{16})，大小比数 (x_{17})，角尺度 (x_{18})，竞争指数 (x_{19})等 5 个空间结构参数作为影响因子^[12]。开阔比反映林木生长空间的大小^[13]；混交度可以用来表示树种空间的隔离程度^[14]；大小比数表示林木大小分化的程度^[15]；角尺度主要描述参照树周围相邻木的均匀性，反映林木分布状态情况^[16]；林分竞争指数反映群落树种间的竞争情况^[17]。

2.3 景观美学评价方法

美景度评价法是景观评价中一种“视觉刺激-心理感知”的表现，其精准性、实用性和准确性在景观评价中已经得到广泛认可^[18]。本研究通过照片(幻灯片)为评价媒介，使用李克特 7 分制的评价尺度(表 2)对金丝湾森林公园进行景观美学评价^[19]。

由于评判者的审美标准存在个体差异，如果直接使用原始得分进行平均值分析会突出评分标准较低的数据量对综合分析的影响，削弱评分标准较高的数据量对综合分析的影响。因此，为了保证数据的可靠性，需要对原始得分数据进行标准化处理。本研究采取 z-score 标准化方法，其公式为： $z_{ij}=(x_{ij}-x_i)/s_i$ 。 z_{ij} 为第 i 个评判者对第 j 张照片的标准化得分， x_{ij} 为第 i 个评判者对第 j 张照片的原始评分， x_i 为第 i 个

评判者对所有照片评分的平均值, s_i 为第 i 个评判者对所有照片评分的标准差^[20]。

3 结果分析

3.1 金丝湾森林公园景观美景度

研究选择福建农林大学不同专业的学生进行评判, 包括森林经理学、自然地理学、果树学、茶学、机械电子工程、区域经济学、风景园林学等专业的硕士研究生。采用幻灯片评判方式进行室内评判^[21], 将拍摄好的 64 张照片进行随机编号, 设置 $8\text{ s}\cdot\text{张}^{-1}$ 的放映时间, 在 Microsoft Power Point 演示文稿中自动播放。调查共发放 98 张纸质版问卷, 回收 96 份, 其中有效问卷 92 份, 并对每份问卷的评价值进行得分标准化(表 3)^[19]。

表 2 美景度(SBE)评价得分表

Table 2 Rating scale of the scenic beauty estimation(SBE)

喜欢程度	得分值	喜欢程度	得分值
很喜欢	3	不太喜欢	-1
喜欢	2	不喜欢	-2
较喜欢	1	很不喜欢	-3
一般	0		

表 3 金丝湾森林公园美景度值

Table 3 SBE values in Jinsiwan Forest Park

分值特点	样本数量/个	美景度值		
		最大值	最小值	平均值 \pm 标准差
原始得分数据	64	1.100	-0.100	0.492 \pm 0.280
标准化后数据	64	0.595	-0.562	0.012 \pm 0.232

3.2 金丝湾森林公园景观美学评价因子的确定

群落特征因子和林分空间结构相互作用、相互影响使森林形成一个错综复杂的综合体。各个影响因子之间形成了一定的相关性(表 4)。郁闭度与乔木数量、林分密度、胸径变异系数等高度相关; 乔木平均树高与林分密度、乔木平均胸径、胸径变异系数等相关度较高; 混交度与胸径变异系数、乔木平均树高、枝下高等具有较高的相关性。由于群落特征与林分空间结构相互制约性较强, 影响因子间可以相互关联地反映景观质量。因此, 在讨论测度群落特征和林分空间结构对其美景度值的贡献率时, 需要进一

表 4 相关性系数

Table 4 Pearson coefficients

变量	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	
x_1	1.000																			
x_2	0.720	1.000																		
x_3	0.762	0.748	1.000																	
x_4	0.463	0.415	0.588	1.000																
x_5	-0.365	-0.477	-0.288	-0.367	1.000															
x_6	0.611	0.626	0.640	0.591	-0.504	1.000														
x_7	-0.508	-0.526	-0.455	-0.591	0.744	-0.694	1.000													
x_8	-0.267	-0.243	-0.037	-0.355	0.653	-0.396	0.689	1.000												
x_9	0.203	0.042	0.305	0.241	0.315	0.261	-0.290	0.071	1.000											
x_{10}	-0.266	-0.072	-0.219	-0.335	0.295	-0.296	0.299	0.418	0.027	1.000										
x_{11}	-0.232	0.104	-0.034	0.078	-0.173	-0.137	-0.046	-0.084	-0.074	-0.032	1.000									
x_{12}	0.101	0.149	0.063	0.156	-0.099	0.036	-0.161	0.016	0.113	-0.071	0.443	1.000								
x_{13}	-0.095	0.112	0.046	0.052	0.093	-0.027	-0.014	-0.047	0.172	0.335	0.325	-0.101	1.000							
x_{14}	-0.293	0.041	-0.159	-0.184	0.065	-0.273	0.153	0.082	-0.235	0.251	0.396	-0.120	0.509	1.000						
x_{15}	-0.170	0.010	-0.036	-0.114	-0.071	0.191	0.006	0.034	-0.050	0.024	-0.236	0.026	-0.217	-0.400	1.000					
x_{16}	0.362	0.285	0.400	0.731	-0.464	0.438	-0.545	-0.469	-0.047	-0.348	0.001	0.133	-0.067	-0.231	0.006	1.000				
x_{17}	-0.322	-0.330	-0.397	-0.300	0.277	-0.209	0.282	0.207	-0.103	0.177	-0.042	-0.079	-0.169	0.004	0.219	-0.259	1.000			
x_{18}	-0.144	-0.191	-0.312	-0.063	0.157	0.020	0.196	-0.084	-0.153	-0.020	0.117	0.062	-0.116	-0.060	0.072	-0.138	0.242	1.000		
x_{19}	0.124	0.221	0.154	-0.061	-0.391	0.032	-0.193	-0.226	-0.218	-0.059	0.163	0.174	0.115	0.081	-0.006	0.164	-0.139	-0.431	1.000	

步确定影响因子。

同时在景观评价模型运算过程中(表 5)，采用 t 值进行偏相关关系检验，群落特征因子和林分空间结构为极显著与显著，可以确定为对美景度值贡献较大的景观。剔除乔木数量(x_1)，树种组成林分密度(株· hm^{-2} ， x_2)，乔木平均胸径(x_5)，乔木平均树高(x_7)等 16 个贡献率较低的景观影响因子，分别提取郁闭度(x_3)，乔木丰富度(x_4)，胸径变异系数(x_6)，枝下高(x_8)，凋落物(x_{22})，林下层统一度(x_{23})等 6 个植物群落特征因子和角尺度(x_{18})和竞争指数(x_{19})2 个主要林分空间结构因子对景观美学进行评价，贡献率分别为 87.187%和 12.813%(表 5)。

表 5 金丝湾森林公园景观评价建模运算过程

Table 5 Modeling process of evaluation on Jinsiwan Forest Park

类别	变量编号	项目	得分值	得分范围	贡献率/%	偏相关系数	t 值
植物群落特征	x_3	郁闭度	0.147		14.162		
	x_4	乔木丰富度	-0.151		14.547		
	x_6	胸径变异系数	-0.112		10.790		
	x_8	枝下高	0.067		6.455		
	x_{22-3}	几乎无凋落物	0.216		20.809		
	x_{23-1}	林下层统一	0.212		20.424		
				0.905	87.187	0.631	4.697**
林分空间结构	x_{18}	角尺度	-0.048		4.624		
	x_{19}	竞争指数	-0.085		8.189		
				0.133	12.813	0.313	2.736*

说明：* 表示 $P < 0.05$ ，差异显著；** 表示 $P < 0.01$ ，差异极显著。

3.3 金丝湾森林公园景观美学评价模型建立与分析

将森林公园景观的标准化美景度值(s_{SBE})作为因变量，提取的景观美学评价的群落特征因子和林分空间结构因子作为自变量，运用 IBM SPSS Statistics 21 建立多元线性回归模型(表 6)。 $s_{\text{SBE}} = 0.147x_3 - 0.151x_4 - 0.112x_6 + 0.067x_8 + 0.216x_{22-3} + 0.212x_{23-1} - 0.048x_{18} - 0.085x_{19} - 0.159$ 。由模型得知：各影响因子对美景度贡献顺序依次为凋落物(20.809%) > 林下层统一度(20.424%) > 乔木丰富度(14.547%) > 郁闭度(14.162%) > 胸径变异系数(10.790%) > 竞争指数(8.189%) > 枝下高(6.455%) > 角尺度(4.624%)。群落特征因子指标排名靠前，说明群落特征对美景度的贡献较林分空间结构特征大，同时创新地发现林分空间结构对美景度值的贡献作用。

人们对森林公园景观的具体喜好规律如下：①群落特征因子的影响。随着群落的郁闭度增加，美景度值也在增加，乔木的郁闭度大小影响群落的光照，适当的光强能使林内景观色彩更加艳丽，给人舒适的享受；随着乔木丰富度的增加，美景度值逐渐递减，可见树种组成纯粹的群落景观，群落结构简单，层次分明，疏朗有致，有利于提高美景度值；随着胸径变异系数的增加，美景度值逐渐递减，说明胸径大小较统一的群落结构更受观赏者的偏爱；随着乔木枝下高的增加，美景度值总体呈递增趋势，可见人们比较喜欢视野开阔的植物群落；从凋落物的情况来看，凋落物越少其景观效果越好，人们更倾向于生机勃勃的森林景观；从林下层统一度来看，林下层越混乱，美景度越低，统一的林下环境更能得到大众接受。②林分空间结构因子的影响。随着角尺度的增加，美景度值总体呈递减趋势；随着竞争指数的增加，美景度值总体呈递减趋势。可见随机或聚集分布、竞争偏低的林分植株能够得到自然的生长，此时美景度值处于较高状态。

表 6 模型整体拟合效果

Table 6 An overview of model's fitting effect

R	R^2	调整 R^2	标准估计的误差	Durbin-Watson 检验
0.904	0.816	0.813	0.121	2.245

4 结论与讨论

当前,针对森林公园景观美学评价大多侧重于将景观品质^[22]、生态质量^[23]、森林群落特征因子^[6]与美景度结合,很少探寻林分空间结构对森林景观美学质量的影响。本研究通过结合群落特征因子与林分空间结构探索森林景观美学质量影响的内在规律,进而采取定量的整改措施提高金丝湾森林公园的视觉美学价值。研究表明:美景度值与群落特征结构和林分空间结构有显著的线性关系,其中植物群落特征对整个模型的贡献率为87.187%,林分空间结构的贡献率为12.813%。郁闭度高、树种组成纯粹、胸径变异系数较小、林下层统一、凋落物较少、林分随机分布且群落竞争较小的森林景观具有更高美学价值。

4.1 群落特征对森林公园景观美学质量的影响

群落特征因子对森林景观的主要影响因子为林下层情况(凋落物和林下层统一性)、乔木丰富度和郁闭度。研究认为:林下层干净整洁的林分,景观效果好,因为游客不愿意看到杂乱的景象。但是生态学家强调,森林中的枯枝落叶具有较好的生态效益,能够为微生物的生长提供场所及养分,有助于森林再生。因此,在管理防护方面,可以考虑保留部分凋落物,不仅可以提高林下层统一度提升景观价值,而且还能增加土壤肥力和调节水效能。同时,郁闭度的增大有利于提升森林美景度,这与以往的杨鑫霞等^[24]的研究结果具有一致性。

陈鑫峰等^[18]认为:胸径变异系数与景观美学评价的关联不大,包战雄^[25]则认为:胸径变异较大的林分更能得到大众的偏爱。本研究表明:胸径变异系数较小的林分对林内景观美景度的贡献更大,这可能是因为金丝湾森林公园为生态公益林,以近熟林及过熟林为主,并且同期进行过适当的林分调整,所以胸径变异系数较小,其整齐划一的林分更能得到大众的喜爱。

4.2 林分空间结构对森林公园景观美学质量的影响

林分空间结构是基于林木空间信息特征的基础研究,与位置有关的空间信息特征弥补了单一的群落特征结构研究所忽略的树种大小、空间分布等的不足^[26]。出于研究目的,在建立景观模型时采用了较多的定量因子。本研究成功地将林分空间结构参数(角尺度与竞争指数)引入到景观评价模型中,可以看出林分空间结构对森林公园景观美学模型有一定的贡献。其中在分析角尺度单因子对美景度值的影响中发现,角尺度取值在 $[0.475, 0.517]$ 范围的随机林分美景度值较高^[16],这与李波^[27]关于北京风景林美学评价中认为随机分布和均匀分布的斑块美学价值更高的研究结果是一致的。同样地,竞争指数低的林分景观价值高,存在这样的原因可能是因为竞争指数与胸径服从幂函数关系,竞争指数随胸径增大而减小^[28],相应的美景度值较高。这与赵珮^[29]认为胸径较大的林分结构景观价值高的研究结果相似。RIBE^[30]也有类似的结论,认为直径大的树木的林分显得漂亮。景观模型中角尺度与竞争指数的影响远高于林分密度和胸径,可能是因为林分空间结构特征因子对群落特征因子影响的削弱。

4.3 金丝湾森林公园景观优化的策略

通过对金丝湾森林公园景观美学价值的评价和分析,联系当地实际情况,提出优化的对策和建议:在植物群落方面,宜以营造乔木丰富度适当且郁闭好的复层群落结构模式为主,适时进行枯落木及凋落物的适当清理,保留适量的灌木和枯枝落叶进行土壤养护,提高林下层统一度,从而提升群落美景度。在林分空间方面:择伐过熟衰老林木、受害木等;在林分密集阴暗、密度过大竞争激烈的林带应进行适当的疏伐,增加林分的通透程度;补栽适应性强、生长旺盛、花色明度高的树种。

本研究以金丝湾森林公园内的天然次生林为研究对象,选取的评价因子适用于天然次生林,而对于其他地区不同林分的适应性还有待进一步研究。研究基于夏季的调查数据,夏季公园观叶、观花植被较少,在一定程度上降低了森林公园的美景度,因此,在以后的研究中需要进一步考虑其他3个季节森林公园的景观状况,做更全面的探讨。

5 参考文献

- [1] 李俊英, 闫红伟, 唐强, 等. 沈阳森林植物群落结构与其林内景观美学质量关系研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(2): 212 - 219.
LI Junying, YAN Hongwei, TANG Qiang, *et al.* Relationship between in-forest scenic beauty and the plant community

- structure in Shengyang [J]. *J Northwest For Univ*, 2011, **26**(2): 212 – 219.
- [2] 邓送求, 闫家锋, 王宇, 等. 间伐强度对不同林分类型美景度的影响[J]. 东北林业大学学报, 2010, **38**(3): 4 – 7.
DENG Songqiu, YAN Jiafeng, WANG Yu, *et al.* Effects of thinning intensity on scenic beauty values of different types of stands [J]. *J Northeast For Univ*, 2010, **38**(3): 4 – 7.
- [3] 谷晓萍, 谷丽萍, 周永斌, 等. 棋盘山风景区森林林内景观质量评价研究[J]. 西部林业科学, 2008, **37**(4): 49 – 55.
GU Xiaoping, GU Liping, ZHOU Yongbin, *et al.* Quality evaluation of in-forest landscape resources in Qipanshan Scenic Area in Shenyang City [J]. *J West China For Sci*, 2008, **37**(4): 49 – 55.
- [4] 梁爽, 张洁, 戚继忠, 等. 次生林为主的自然风景林内景观质量评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, **39**(6): 119 – 124.
LIANG Shuang, ZHANG Jie, QI Jizhong, *et al.* The forest landscape quality evaluation of the natural scenic beauty mainly made of secondary forest [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2015, **39**(6): 119 – 124.
- [5] 俞晓凌, 廖邦洪, 王道模, 等. 龙门山国家地质公园天台山风景游憩林空间结构分析与美景度评价[J]. 林业科学, 2011, **47**(7): 50 – 56.
YU Xiaoling, LIAO Banghong, WANG Daomo, *et al.* Spatial structure and scenic beauty estimation of scenic-recreational forests of the Tiantai Mountain in Longmenshan National Geopark, Sichuan [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47**(7): 50 – 56.
- [6] 黄广远. 北京市城区城市森林结构及景观美学评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012: 8 – 14.
HUNG Guangyuan. *Studies on Species Composition and Landscape Aesthetics Evaluation of Urban Forest in Beijing* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012: 8 – 14.
- [7] 韦新良, 何莹. 森林景观效果生成因子的相关性[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28**(5): 701 – 705.
WEI Xinliang, HE Ying. A correlation study of generation factors for forest landscape effects [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28**(5): 701 – 705.
- [8] 赵中华, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 角尺度判断林木水平分布格局的新方法[J]. 林业科学, 2016, **52**(2): 10 – 16.
ZHAO Zhonghua, HUI Gangying, HU Yanbo, *et al.* The new method judged horizontal distribution pattern by uniform angle index [J]. *Sci Silv Sin*, 2016, **52**(2): 10 – 16.
- [9] 张凯旋, 凌焕然, 达良俊. 上海环城林带景观美学评价及优化策略[J]. 生态学报, 2012, **32**(17): 5521 – 5531.
ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun. Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(17): 5521 – 5531.
- [10] 陈勇, 孙冰, 廖绍波, 等. 深圳市城市森林林内景观的美景度评价[J]. 林业科学, 2014, **50**(8): 39 – 44.
CHEN Yong, SUN Bing, LIAO Shaobo, *et al.* Scenic beauty estimation of in-forest landscapes in Shenzhen urban forests [J]. *Sci Silv Sin*, 2014, **50**(8): 39 – 44.
- [11] 王群, 张金池, 田月亮, 等. 浙江凤阳山天然混交林林分空间结构分析[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(6): 875 – 882.
WANG Qun, ZHANG Jinchi, TIAN Yueliang, *et al.* Stand spatial structure of a natural mixed forest in the Fengyang Mountains of Zhejiang [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(6): 875 – 882.
- [12] 惠刚盈. 基于相邻木关系的林分空间结构参数应用研究[J]. 北京林业大学学报, 2013, **35**(4): 1 – 8.
HUI Gangying. Studies on the application of stand spatial structure parameters based on the relationship of neighborhood trees [J]. *J Beijing For Univ*, 2013, **35**(4): 1 – 8.
- [13] 罗耀华, 陈庆诚, 张鹏云. 兴隆山阴暗针叶林空间格局及其利用光能的对策[J]. 生态学报, 1984, **4**(1): 10 – 20.
LUO Yaohua, CHEN Qingcheng, ZHANG Pengyun. The spatial pattern of coniferous forest in Xinglong Shan Mountain and its strategies in using sun light energy [J]. *Acta Ecol Sin*, 1984, **4**(1): 10 – 20.
- [14] 汤孟平, 娄明华, 陈永刚, 等. 不同混交度指数的比较分析[J]. 林业科学, 2012, **48**(8): 46 – 53.
TANG Mengping, LOU Minghua, CHEN Yonggang, *et al.* Comparative analyses on different mingling indices [J]. *Sci Silv Sin*, 2012, **48**(8): 46 – 53.

- [15] 赵中华, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 基于大小比数的林分空间优势度表达方法及其应用[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(1): 78 – 82.
ZHAO Zhonghua, HUI Gangying, HU Yanbo, *et al.* Method and application of stand spatial advantage degree based on the neighborhood comparison [J]. *J Beijing For Univ*, 2014, 36(1): 78 – 82.
- [16] 赵中华, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 角尺度判断林木水平分布格局的新方法[J]. 林业科学, 2016, 52(2): 10 – 16.
ZHAO Zhonghua, HUI Gangying, HU Yanbo, *et al.* The new method judged horizontal distribution pattern by uniform angle index [J]. *Sci Silv Sin*, 2016, 52(2): 10 – 16.
- [17] 惠刚盈, 胡艳波, 赵中华, 等. 基于交角的林木竞争指数[J]. 林业科学, 2013, 49(6): 68 – 73.
HUI Gangying, HU Yanbo, ZHAO Zhonghua, *et al.* A forest competition index based on intersection angle [J]. *Sci Silv Sin*, 2013, 49(6): 68 – 73.
- [18] 陈鑫峰, 贾黎明. 京西山区森林林内景观评价研究[J]. 林业科学, 2003, 39(4): 59 – 66.
CHEN Xinfeng, JIA Liming. Research on evaluation of in-forest landscapes in West Beijing Mountain Area [J]. *Sci Silv Sin*, 2003, 39(4): 59 – 66.
- [19] 王雁, 陈鑫峰. 心理物理学方法在国外森林景观评价中的应用[J]. 林业科学, 1999, 35(5): 110 – 117.
WANG Yan, CHEN Xinfeng. Application of psychophysical method in evaluation of foreign forest landscapes [J]. *Sci Silv Sin*, 1999, 35(5): 110 – 117.
- [20] 董文泉, 周光亚, 夏立显. 数量化理论及其应用[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1979: 4 – 9.
- [21] SHUTTLEWORTH S. The use of photographs as an environment presentation medium in landscape studies [J]. *J Environ Manage*, 1980, 11(1): 61 – 76.
- [22] 王美婷, 孙冰, 陈雷, 等. 广州城市公园植物景观美景度研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(13): 18 – 23.
WANG Meiting, SUN Bing, CHEN Lei, *et al.* Scenic beauty of forest plants in urban park of Guangzhou [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2016, 32(13): 18 – 23.
- [23] 张燕如, 梁丽壮, 牛树奎, 等. 山西省太岳山景观生态质量评价[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(4): 599 – 604.
ZHANG Yanru, LIANG Lizhuang, NIU Shukui, *et al.* Ecological landscape quality of Taiyue Mountain in Shanxi [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2016, 33(4): 599 – 604.
- [24] 杨鑫霞, 亢新刚, 杜志, 等. 基于SBE法的长白山森林景观美学评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 86 – 90, 98.
YANG Xinxia, KANG Xingang, DU Zhi, *et al.* SBE method-based forest landscape aesthetic quality evaluation of Changbai Mountain [J]. *J Northwest A & F Univ*, 2012, 40(6): 86 – 90, 98.
- [25] 包战雄. 风景林景观质量评价与经营研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2002: 28 – 30.
BAO Zhanxiong. *Study on Quality Evaluation and Management of Landscape Forest* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2002: 28 – 30.
- [26] KINT V, MVAN M, NACHTERGALE L, *et al.* Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis [J]. *For Sci*, 2003, 49(1): 36 – 49.
- [27] 李波. 北京西山风景林中、远景景观质量评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011: 38 – 39.
LI Bo. *Assessment on Scenic Forest Quality in West Mountain in Beijing on Middle-and Far-Distance Landscape* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011: 38 – 39.
- [28] 李际平, 房晓娜, 封尧, 等. 基于加权Voronoi图的林木竞争指数[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(3): 61 – 68.
LI Jiping, FANG Xiaona, FENG Yao, *et al.* Tree competition indexes based on weighted Voronoi diagram [J]. *J Beijing For Univ*, 2015, 37(3): 61 – 68.
- [29] 赵珮. 山东省森林公园风景林景观质量评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013: 36 – 41.
ZHAO Pei. *Assessment on Landscape Quality for Forest Parks in Shandong Province* [D]. Taian: Shandong Agriculture University, 2013: 36 – 41.
- [30] RIBE R G. In-stand scenic beauty of variable retention harvests and mature forests in the U.S. Pacific Northwest: the effects of basal area, density, retention pattern and down wood [J]. *J Environ Manage*, 2009, 91(1): 245 – 260.