西北林学院学报 2020,35(3):224-230
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2020.03.36

结构与季相特征对运河森林公园景观质量的影响

——基于2种评价方法的探讨

张 昶[1,2,3],王 涵[1,2,3],王 成[1,2,3*]

(1.中国林业科学研究院 林业研究所,北京 100091;2.国家林业和草原局 林木培育重点实验室,北京 100091;
3.国家林业和草原局 城市森林研究中心,北京 100091)

摘 要:采用固定样点全年拍摄的方式,对通州运河森林公园典型景观样点进行全年图像采集作为分析样本。从景观结构特征与季相特征2个层面梳理出14个景观特征要素,利用SBE(scenery-beauty estimation)方法及基于美景度与眼动指标逐步回归构建的SVE(scenery visual estimation)方法进行景观质量评价,并分析景观特征要素对景观质量的影响。结果表明:1)71.3%的SBE与67.8%的SVE样本为中高等级,全园总体景观质量良好,二者的评价均值都为0.137,但SBE(±0.501)比SVE(±0.224)具有更大的标准差,数据波动性更大,且SBE(R^2=0.587)比SVE(R^2=0.483)具有更高与景观特征要素逐步回归的线性模型拟合度,能够反映出更多的彩色、常绿、枯落等季相特征细节;2)乔灌草种植植物、常水面面积比例等结构特征要素,对景观质量具有显著影响,林水结合比单纯的林景景观质量高;3)常绿灌木、彩色乔木、落叶灌木、枯落草本、可见季相总面积比例等季相特征要素对景观质量具有显著影响,增加常绿灌木、彩色乔木在种植植物群落中的面积比例,减少落叶灌木、枯落草本在种植植物群落中的面积比例有利于提升景观质量。

关键词:通州运河森林公园;美景度;眼动;景观质量;结构特征;季相特征

中图分类号:S757.2 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-7461(2020)03-0224-07

Effects of Plant Structure and Seasonal Aspect on the Landscape Quality of Canal Forest Park:Based on Two Evaluation Methods

ZHANG Chang[1,2,3],**WANG Han**[1,2,3],**WANG Cheng**[1,2,3*]

(1. *Research Institute of Forestry*,*Chinese Academy of Forestry*,*Beijing* 100091,*China*;
2. *Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation*,*National Administration of Forestry and Grassland*,*Beijing* 100091,*China*;
3. *Urban Forest Research Center*,*National Administration of Forestry and Grassland*,*Beijing* 100091,*China*)

Abstract:Photos were taken from fixed points of typical sceneries in Tongzhou Canal Forest Park every month throughout a year,which were collected as analysis samples to evaluate the effects of plant structure and seasonal aspect on the landscape quality of the park. Fourteen landscape features were screened out from the two aspects:landscape structure characteristics and seasonal aspect characteristics. Scenery beauty estimation (SBE) and scenery visual estimation (SVE) that was derived from stepwise regression model of SBE and eye movement index were adopted to evaluate landscape quality of the park. The effects of landscape features on landscape quality were analyzed. The results showed that 1) 71.3% of SBE and 67.8% of SVE samples were in the middle grade and high grade,and the overall landscape quality of the park was good. The averages of the two evaluations were the same as 0.137,but the standard deviation of SBE (±0.501) was larger than that of SVE (±0.224). The SBE method had larger data volatility,and SBE

收稿日期:2019-07-03 **修回日期**:2019-07-31

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项"北京平原森林景观功能提升与古树繁育技术研究"(CAFYBB2017ZA007-1)。

作者简介:张 昶,博士。研究方向:城市森林景观美学与生态文化、城市河流生态景观。E-mail:394193609@qq.com

* **通信作者**:王 成,博士,研究员,博士生导师。研究方向:城市林业。E-mail:wch8361@163.com

($R^2=0.587$) had a higher linear fit degree in stepwise regression with landscape feature elements than SVE ($R^2=0.483$), which could reflect more details of seasonal aspect, such as color, evergreen and withering. 2) The proportions of vegetation and normal water surface area had significant effects on landscape quality. The quality of forest landscape could be improved by the addition of waterscape. 3) Features of seasonal aspect exhibited significant effects on landscape quality, such as evergreen shrubs, colored trees, deciduous shrubs, withered herbs, and the area of visible seasonal aspect. To increase the area proportion of evergreen shrubs and colored trees, and to reduce the proportions of deciduous shrub and herb were conducive to improve the landscape quality.

Key words: Tongzhou Canal Forest Park; scenery beauty estimation; scenery visual estimation; landscape quality; structural characteristics; seasonal aspect

河流湿地是北京湿地的主要构成之一[1],随着城市化进程推进与城市建设扩张,河流湿地空间逐年减少[2],面临生态功能和景观功能衰减的威胁[3],同时,河流沿线人口密度又逐年增长,产生更多的生态休闲与户外游憩需求。近年来,出于保护与恢复河流湿地生态功能与自然风貌,以及为公众提供滨河生态游憩场所的目的,诸多大尺度滨河森林公园依托河流湿地建立[4]。这些滨河森林公园现状景观质量如何,又具有何种全年变化,是需要回答又具有现实意义的问题。目前对于景观视觉质量评价方法,大部分学者仍采用心理物理学派方法,包括 SBE(美景度评价法)[5]、SD(语义解析法)[6]、LCJ(比较评价法)[7],其中以 SBE 评价法使用最为广泛,也有诸多的学者使用或结合眼动途径[8],测评客观的眼动数据,通过眼动数据对观测者内心活动的反映情况,来评价景观质量[9-13],这些研究很好地对山地风景林[14-15]、森林公园与城市公园[16]、植物群落[17]等景观作出了评价,并且也有研究结合评价结果进一步解析了景观视觉质量的影响因素[18-19]。目前的相关研究从研究时间来说还未见以全年为时间范畴的景观质量变化分析,并且也没有对结构和季相景观特征要素与全年景观质量的影响关系做出过系统分析;从研究方法来说虽对于 SBE 与眼动方法拟合模型的构建等有涉及[20],对于二者同时运用于相同对象展开评价及评价结果对比的分析还相对较少。因此,该研究在通州运河森林公园,以全年为研究时间长度,通过 SBE 方法及 SBE 拟合眼动指标的 SVE 方法评价其景观质量,并结合景观结构特征与景观季相特征的解构与分析,探讨景观质量与景观结构和季相特征间影响关系,以期为针对性的滨河景观提升建设提供参考及支撑。

1　材料与方法

1.1　研究地概况

通州运河森林公园位于北京东部平原,总面积约 7.13 km^2(图 1),依托大运河河道建立,具有提升河流生态廊道联通度,促进北京城市森林格局优化的生态功能。同时,它也是易于城市居民参与体验的大型滨河森林公园和平原城市森林建设工程的重点实施地块,全园植物种类共计 116 种[21],以杨柳科、豆科、松科为主,毛白杨(*Populus tomentosa*)、国槐(*Sophora japonica*)、旱柳(*Salix matsudana*)、油松(*Pinus tabuliformis*)是其优势乔木种类[21-22],这些树种也是北京平原森林使用最多的乔木种类(油松、国槐、旱柳使用量均在 100 万株以上),能够体现北京城市森林的景观风貌[23]。综合而言,通州运河森林公园具备了滨水与森林等环境和资源游憩需求的典型性及北京滨河森林公园的较好代表性。

图 1　公园现状示意

Fig. 1　Plan sketch of Tongzhou Canal Forest Park

1.2　研究方法

1.2.1　样点设置与样本采集　通州运河森林公园的景观类型主要可分为混交林景观、纯林景观、河岸远景景观、河滩景观(图 1),以主要景观类型为对象展开全园景观质量的研究与分析,结合公园游憩路径可达性设置样点,每种类型设置 2 个重复,依次为 P1 到 P8 共计 8 个样点,样点主要植物构成均为全

园的优势乔、灌、草植物种类。每月利用同一款相机，在每个样点固定位置与角度，以 1.5 m 人体普遍视觉高度横向拍摄，连续拍摄 12 个月，每个样点选取质量最好的 1 张作为分析样本，共计拍摄并选取 96 个样本图像，为避免样本的背景干扰，对所有样本的天空进行了同质色彩处理。

1.2.2 样本植物 本次调查每个月在拍摄图像的同时进行样点植物调查，结合卫星影像图，分析并记录每月每个样点的种植植物种类、物候阶段等基本信息(表 1)。

表 1 通州运河森林公园植物名录

Table 1 Species list of plants in Tongzhou Canal Forest Park

序号	名称	物候景观							生活型
		春		夏	秋		冬		
		花景	芽景	花景	叶景	果景	叶景	枝景	
1	圆柏(*Juniperus chinensis*)						●		乔木
2	油松						●		乔木
3	银杏(*Ginkgo biloba*)				●				乔木
4	水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)				●				乔木
5	棣棠(*Kerria japonica*)	●		●				●	灌木
6	紫叶李(*Prunus cerasifera* f. *atropurpurea*)	●			●				乔木
7	碧桃(*Amygdalus persica* var. *persica* f. *duplex*)	●							乔木
8	连翘(*Forsythia suspensa*)	●							灌木
9	迎春(*Jasminum nudiflorum*)	●							灌木
10	黑心金光菊(*Rudbeckia hirta*)	●		●					草本
11	百日菊(*Zinnia elegans*)			●					草本
12	旱柳		●						乔木
13	垂柳(*S. babylonica*)		●						乔木
14	钻天杨(*Populus nigra* var. *italica*)								乔木
15	毛白杨								乔木
16	栾树(*Koelreuteriapaniculata*)				●	●			乔木
17	紫薇(*Lagerstroemia indica*)			●					灌木
18	千屈菜(*Lythrumsalicaria*)			●					草本
19	木槿(*Hibiscus syriacus*)			●					灌木
20	莲(*Nelumbo nucifera*)			●					草本
21	红王子锦带(*Weigela florida* cv. *Red Prince*)	●		●					灌木
22	芦苇(*Phragmites australis*)								草本
23	菖蒲(*Acorus calamus*)			●					草本

1.2.3 结构和季相特征解析 立足植物调查的基本信息，将样本图像作为分析对象，以结构和季相为切入点，基于 Matlab 平台，结合目视分辨对样本景观特征要素进行解析。其中结构特征要素包括种植植物面积比例、常水面面积特征比例，表征了除天空面积外，样本图像内样本固定的栽植乔木面积-栽植灌木面积-栽植草本面积-水面面积构成情况；季相特征要素样本图像内视觉可见植物总面积比例、枯落植物面积比例(枯落植物是指能够辨识的处于完全落叶与未展叶，或未完全落叶与未展叶的植物，其面积包括叶、枝等所有可见植物器官面积)、常绿植物面积比例、彩色植物面积比例特征，这些特征要素表征了样本植物展叶、落叶、叶色变化等物候产生的视觉变化(表 2)。

1.2.4 美景度评价与 SBE 值 依据美景度评价方法，采用 7 分制评分，逐月对当月 12 个样本进行测评(有效数量 30 人·月$^{-1}$)，利用标准化公式进行计算

$$Z_{ij}=(R_{ij}-{}'R_j)/S_j;Z_i=Z_{ij}/N_i \quad (1)$$

式中，Z_{ij} 表示第 j 个评判者对第 i 个景观的评判标准化值；R_{ij} 表示第 j 个评判者对第 i 个景观的评判等级值；$'R_j$ 表示第 j 个评判者所有评判值的平均值；S_j 表示第 j 评判者的评判值的标准差；Z_i 为第 i 景观的标准化得分值；N_i 为第 i 景观的有效评判者数量，得出全部样本的 SBE 值。

1.2.5 眼动试验与数据收集 依据相关视觉追踪的研究成果，体现人视觉特征的眼动行为主要有注视、眼跳、追随 3 种基本形式，本研究不涉及动态追随的眼动测试方式，选择注视与眼跳 2 种形式的眼动指标。利用 Eyeso Ec80 遥测式眼动仪(采集频率 80 fps)、电脑(21 寸液晶显示屏，分辨率为 1 920 * 1 080)，逐月对 SBE 评测的 30 人同步进行眼动测试，通过 Eyeso 分析软件收集眼动指标的试验数据。

表 2　景观特征要素

Table 2　Scenery characteristic elements

要素		计算
景观结构特征要素	T_1 种植乔木面积比例、T_2 种植灌木面积比例、T_3 种植草本面积比例	实际种植乔木（灌木、草本）面积/样本面积
	T_4 常水面面积比例	常水面面积/样本面积
景观季相特征要素	T_5 可见季相总面积比例	可见（枯落＋绿色＋彩色）季相面积/总种植植物面积
	T_6 枯落乔木面积比例、T_7 枯落灌木面积比例、T_8 枯落草本面积比例	乔木（灌、草）落叶部分与未展叶部分面积/样本面积
	T_9 常绿乔木面积比例、T_{10} 常绿灌木面积比例	乔木（灌、草）常绿部分面积/样本面积
	T_{11} 彩色面积比例、T_{12} 彩色灌木面积比例、T_{13} 彩色草本面积比例	乔木（灌、草）非绿色的其它彩色部分面积/样本面积

2　结果与分析

2.1　景观质量的总体情况

2.1.1　基于 SBE 的评价结果　依据前述 SBE 值的计算方法，计算得出所有样本的美景度值均值为 0.137±0.501，其中最大值为 1.04，最小值为 −1.03。采用 K-均值聚类划分等级，高（聚类中心 0.61）、中（聚类中心 0.12）、低（聚类中心 −0.53）等级的景观质量依次降低，结果表明，分布在 SBE 值高等级、中等级、低等级的样本数量分别为 39、30、27 个，各占总样本 40.6%、31.3%、28.1%，高等级和中等级的样本数量累计达到 71.3%，通州运河森林公园美景度较好。

2.1.2　基于 SVE 的评价结果　依据眼动试验方法完成对所有样本视觉行为的测试，从 Eyeso 分析软件导出每个样本 E_1 刺激持续时间、E_2 注视点个数、E_3 注视点个数、E_4 平均扫视长度、E_5 平均扫视速度数据，结合前述样本 SBE 值，采用线性回归的方法对 SBE 值（因变量）与眼动指标（自变量）进行模型拟合，构建景观质量的视觉评价（scenery visual estimation，SVE）模型：$SVE=0.137+0.349\times E_1-0.458\times E_3+0.144\times E_4-0.162\times E_5$，$R^2=0.199$，$P<0.001$（表 3），从该模型可以看出，刺激持续时间与平均扫视长度这 2 种视觉行为对景观质量存在正向影响，当景观能够吸引更长的总观赏时间，并且更具有鲜明特点时，景观视觉评价值越高，景观质量越高。

通过上述公式计算得出所有样本 SVE 值，均值为 0.137±0.224，其中最大值为 0.92，最小值为 −0.4。利用 K-均值聚类将其分为高（聚类中心 0.45）、中（聚类中心 0.14）、低（聚类中心 −0.09）3 个等级，景观质量依次降低，处于高等级的样本数量为 23 个，占总样本的 24.0%；处于中等级的样本数量为 42 个，占总样本 43.8%；处于低等级的样本数量为 31 个，占总样本 22.2%。高和中等级景观质量的样本数量累计达到 67.8%，与 SBE 评价结果基本一致，通州运河森林公园景观的景观质量处于中等略偏上的水平，滨河森林公园景观的视觉吸引力较良好，景观视觉特点也比较鲜明，公众对其的美景感受较为良好。但从 SBE 与 SVE 均值来看，SBE 均值为 0.137±0.501、SVE 均值为 0.137±0.224，前者比后者具有更大的标准差，波动性更大，也能够反映更多的景观信息。

2.2　景观特征要素对景观质量的影响

2.2.1　基于 SBE 的分析　ANOVA 分析可知，种植乔木面积比例（$P=0.000$）、种植灌木面积比例（$P=0.000$）、常绿灌木面积比例（$P=0.000$），无叶灌木面积比例（$P=0.007$）、枯落草木面积比例（$P=0.000$）、彩色乔木面积比例（$P=0.027$）、常水面面积比例（$P=0.000$）在不同等级 SBE 间存在显著差异，对 SBE 存在显著的影响，重点对存在显著影响的特征要素展开分析。

表 3　景观视觉评价模型系数

Table 3　Coefficients of scenery visual evaluation model

模型	未标准化系数		标准化系数	t	$Sig.$
	B	Std. Error	Beta		
常量	0.137	0.047		2.931	0.004
E_1	0.349	0.174	0.696	2.009	0.047
E_3	−0.458	0.194	−0.914	−2.358	0.021
E_5	−0.162	0.049	−0.323	−3.300	0.001
E_4	0.144	0.073	0.288	1.989	0.050

2.2.1.1　结构特征与景观质量　多元比较可知（表 4），T_1 的 SBE 中等级＞高等级/低等级，T_2 的 SBE 中

等级＞中高等级/低等级，种植乔木和灌木面积比例适中时，景观质量的等级最高；T_4 的 SBE 高等级＞中等级＞低等级，低等级时该值为 0 不含常水面为森林或植物群落景观，说明单纯的林景不如林水结合景观质量高。同时，常水面面积与种植植物面积共同表征了除天空之外的景观空间面积，常水面面积比例与种植植物面积比例之和≤1，二者均不能无限增长，林水结合且具有乔灌种植面积才能获得高景观质量。

表 4 景观特征要素多元分析结果

Table 4 Multiple comparison of scenery characteristics

		SVE grade			SBE grade		
		高	中	低	高	中	低
T_1	种植乔木面积比例	0.34a	0.41b	0.22a	0.39a	0.41b	0.23a
T_2	种植灌木面积比例	0.08ab	0.30b	0.01a	0.05a	0.17a	0.03a
T_3	种植草本面积比例	0.24b	0.24b	0.13a	0.19	0.26	0.21
T_4	常水面面积比例	0.30b	0.12a	0.05a	0.25c	0.13b	0.00a
T_5	可见季相总面积比例	0.99b	0.73a	0.78a	0.21	0.20	0.21
T_8	枯落乔木面积比例	0.47	0.12	0.10	0.07	0.09	0.14
T_7	枯落灌木面积比例	0.00	0.01	0.01	0.00a	0.00ab	0.03b
T_6	枯落草本面积比例	0.05a	0.12ab	0.19b	0.07a	0.13a	0.21b
T_9	常绿乔木面积	0.26	0.32	0.39	0.26	0.40	0.34
T_{10}	常绿灌木面积比例	0.02	0.04	0.04	0.08b	0.01a	0.01a
T_{11}	彩色乔木面积比例	0.00	0.02	0.02	0.00a	0.02ab	0.04b
T_{12}	彩色灌木面积	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T_{13}	彩色草本面积	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

注：不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。

2.2.1.2 季相特征与景观质量　多元比较可知（表 3），T_9 的 SBE 低等级＜高等级/中等级，T_7 的 SBE 低等级＞中等级，说明景观中增加常绿灌木配置面积，并控制落叶灌木配置面积，有利于景观质量提升；T_6 的 SBE 低等级＞中等级/高等级，说明枯落草本面积比例越小，景观质量越好；T_{11} 的 SBE 低等级＞高等级，说明适当的彩色乔木面积能够提升景观质量，过多的彩色乔木反而会降低景观质量。

2.2.1.3 逐步回归的影响模型　进一步比较上述显著影响要素对景观质量影响的程度大小，利用逐步回归进行模型拟合（$R^2=0.587$），T_2（$P=0.005$）、T_4（$P=0.015$）、T_{10}（$P=0.003$）、T_6（$P=0.000$）、T_{11}（$P=0.039$）达到显著水平，更能够解释与影响景观质量的变化。拟合模型 SBE-y＝0.350＋0.798＊常水面＋2.098＊常绿灌木面积比例－1.316＊种植灌木面积比例－0.992＊枯落草本面积比例－1.352＊彩色乔木面积比例，由模型因子系数可知，常水面面积对于提升景观质量具有重要的正向作用。依据该模型计算样本的 SBE-y 值，其范围为－0.67～0.68，按照前述同样的聚类方法，得出在该模型下，高、中、低等级（景观质量递减）的样本数量为 32、45、19 个，全园 80％的样本处于中高等级。

2.2.2 基于 SVE 的分析　通过 ANOVA 分析可知，种植乔木面积比例（$P=0.002$）、种植灌木面积比例（$P=0.038$）、种植草本面积比例（$P=0.003$）、常水面面积比例（$P=0.000$）、可见季相总面积比例（$P=0.014$）、枯落灌木面积比例（$P=0.001$）在不同等级的 SVE 间存在显著差异，对 SVE 存在显著影响。

2.2.2.1 结构特征与景观质量　多元比较可知（表 4），T_1 在 SVE 低等级＜中等级/高等级、T_2 在 SVE 低等级＜中等级、T_3 在 SVE 低等级＜中等级/高等级，即中等种植乔木、灌木、草本面积比例值能够具有最高的景观质量等级；T_4 在 SVE 高等级＞中等级/低等级，即常水面面积比例值越大，景观质量越好，该结果与 SBE 的分析结果一致，林水结合且保证一定的乔木与灌木配置面积时，景观质量最高。

2.2.2.2 季相特征景观质量　多元比较可知（表 3），T_5 在 SVE 高等级＞中等级/低等级，说明在样本特定的植物种植空间内，能够识别落叶、常绿、彩色等季相特征的植物群落面积比例，其值对于 SVE 具有显著的正向影响作用，而 T_6 表现出相反的变化，SVE 高等级＜低等级，草本植物和草本花卉全覆盖无裸地面积，景观质量最好，草本逐渐枯萎或未生长完全时存在的裸地面积，对于 SVE 具有显著的负向影响作用。

2.2.2.3 逐步回归的影响模型　进一步利用逐步回归拟合分析比较上述显著影响要素对景观质量影响的贡献大小，拟合模型（$R^2=0.483$）表明 T_5（$P=0.000$）与 T_4（$P=0.000$）达到显著水平，即可见季相总面积比例与常水面面积更能够解释与影响景观质量的变化：SVE-y＝－0.163＋0.863＊常水面面积比例＋0.219＊可视季相面积比例，从模型因子系数值来看，可见季相总面积比例的系数为 0.219，常水面面积比例的系数为 0.863，二者均对景观质量

产生了极为显著的正面影响,且常水面面积比例贡献更大,增加水体元素是高等级景观质量的有效途径。依据该模型计算样本的 SVE-y 值,其范围为 −0.04~0.53,按照前述聚类方法,得出在该模型下高、中、低等级(景观质量递减)的样本数量为 11、27、58 个,全园 40%的样本处于中高等级。

3　结论与讨论

3.1　景观质量评价方法及结果

通过 SBE、SVE 对通州运河森林公园的景观质量进行了评价,结果表明 71.3%的样本为 SBE 中高等级、67.8%的样本为 SVE 中高等级,通州运河森林公园景观质量总体较为良好,林水结合的环境本底本身具有较强视觉吸引与景观水平。SBE、SVE 评价均值均为 0.137,评价得分结果基本一致,从方法上来说,SBE 方法已经得到广泛运用,SVE 方法也有诸多研究已验证,通过客观的眼动分析方法对景观质量的主观评价值是可行的,得到眼动数据可以估测主观景观评价值[24]。但 SBE、SVE 评价值的标准差存在差异,SBE 评价标准差为 0.501,大于 SVE 的标准差 0.224,SBE 的评价结果更具波动性,反映更多景观信息。

通过基于 SBE、SVE 与景观要素拟合构建模型,分析对景观质量存在显著影响的特征要素间的贡献。SBE-y 与景观特征要素的拟合度 $R^2=0.587$ 高于 SVE-y 的拟合度 $R^2=0.587$,二者反映的结构特征要素基本一致,而对季相特征 SBE-y 能够反映出更多的常绿、枯落、变色等细节的物候变化要素。SBE-y 的评价结果 80%的样本处于高等级景观质量,与 SBE、SVE 的评价结果相似,SVE-y 的评价结果仅 40%的样本处于高等级景观质量,与总体景观质量等级情况差异较大。从方法上来说,SBE-y 通过美景度值拟合景观特征元素,分析景观质量在因子水平差异及各因子对景观质量的影响,已有较多学者对该方法进行过探讨和运用,其在对森林结构因子、季节色彩因子等方面取得了较好的研究成果;但 SVE-y 由美景度拟合眼动指标,再拟合景观要素的研究方法,目前暂未见其他类似研究,与其他方法评价结果的偏差,是否说明该方法需要在修正还要进一步探讨。

3.2　景观特征要素及影响

通州运河森林公园属于城市自然滨河地区,其生态本底是按照近自然的模式在滨河构建的城市森林斑块,生态和景观属性不完全同于自然山地风景游憩林,因此对其进行景观特征要素分解,并分析各要素对景观质量的影响作用时,没有完全采用枝下高、郁闭度等其他学者对自然的山地风景游憩林的景观特征要素解构方式[25],而是立足通州运河公园的环境和植物配置特点出发,选用了反映林水景观结构和季相特征的因子进行分析,结合 SBE-y 的分析结果如下。

从结构特征要素方面来说,参考在河岸带的综合评价中用于描述空间结构的常水面、植物群落面积比例 2 个核心因子[26-27],具体分析了本研究样本常水面面积比例与种植乔木、灌木、草本面积比例对景观质量的影响,分析表明,无常水面面积的景观质量显著低于具有常水面面积的景观,林水结合比纯森林景观具有更好的景观质量,同时,常水面面积比例与种植植物(乔灌草)面积比例对景观质量均存在正影响,但二者之间也存在常水面面积+种植植物面积比例≤1 的限制,因此林水结合且保证一定的乔木与灌木配置面积时,景观质量最高。从季相特征要素方面来说,常绿特征、色彩特征、(未展叶与落叶等)枯落特征[28]均是对植物群落景观具有显著影响的因子,分析表明,植物群落中存在季相特征的植物面积占比越高,景观质量越高;常绿树种,特别是常绿灌木面积;彩色植物,包括除绿色之外的其他彩叶、花卉等彩色植物,特别是彩色乔木面积占比越高,景观质量越好;落叶灌木、无覆盖的草本面积占比越低,景观质量越好。

3.3　要素阈值与提升对策

依据 SBE-y 模型计算结果分析阈值,以实现景观总体质量等级最高为目标,以 SBE-y 模型计算结果达到高等级的样本景观特征要素的值为最佳取值参考。结果表明,从景观结构特征角度,种植乔木面积比例 32%、种植灌木面积比例 4%、种植草本面积比例 23%、常水面面积比例 18%,若按照如上面积比例,则天空面积比例(景观中除种植植物面积与常水面面积外)为 23%,而已有研究表明当景观中天空面积比例为 20%~40%时的美景度最高[25],故此结构能够形成质量较高的景观;从季相特征要素角度,景观提升主要调控最能解释景观质量的特征要素,包括常绿灌木面积比例 1%、枯落草本面积比例 12%、彩色乔木面积比例 4%。也即提升对策包括:增加常绿灌木面积比例,使常绿灌木面积占种植灌木的 1/4 以上,可选用的常绿灌木包括铺地柏(*J. procumbens*)、大叶黄杨(*Buxus sinica*)、锦熟黄杨(*B. sempervirens*)等[28];控制枯落草本面积在种植草本面积的1/2以内,除选择观赏期较长的种类外,注重枯落期交错搭配,并加强管护手段;适当增加彩色乔木植物的面积,对通州运河公园建群乔木种类进行有效补充,增加栾树、白蜡(*Fraxinus chinen-*

sis)[25,28]等季节性彩色乔木种类，使彩色乔木植物面积达到并不超过乔木种植面积的1/8，彩色乔木面积比例不宜过多，几乎所有关于森林景观色彩的文献均指出色彩变化可以提高视觉景观质量，但过于繁杂的色彩或破碎的色彩斑块会降低景观质量[14,19]。

参考文献：

[1] 顾丽，王新杰，龚直文，等. 北京湿地景观监测与动态演变[J]. 地理科学进展，2010，29(7)：789-796.

[2] 张树苗，白加德，李夷平，等. 城市化进程下北京市湿地面积变化研究[J]. 湿地科学，2018，16(1)：30-32.

ZHANG S M，BAI J D，LI Y P，*et al*. Change of wetlands' area in Beijing under urbanization process[J]. Wetland Science，2018，16(1)：30-32. (in Chinese)

[3] 宫兆宁，张翼然，宫辉力，等. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析[J]. 地理学报，2011，66(1)：77-88.

[4] 包路林，张晓妍，王建宙. 北京新城滨河森林公园建设及其对生态环境的影响[J]. 北京规划建设，2011(2)：132-135.

[5] DANIEL T C. Mapping the scenic beauty of forest landscape [J]. Leisure Science，1977，1(1)：35-53.

[6] 于苏建，袁书琪. 基于SD法的公园景观综合感知研究——以福州市为例[J]. 旅游科学，2012，26(5)：85-94.

[7] HULL R B，BUHYOFF G J，DANIEL T C. Measurement of scenic beauty：the law of comparative judgment and scenic beauty estimation procedures[J]. Forest Science，1984，30(4)：1084-1096.

[8] 闫国利，田宏杰. 眼动记录技术与方法综述[J]. 应用心理学，2004，10(2)：55-58.

[9] 王明. 眼动分析用于景观视觉质量评价之初探——以甘肃省肃南丹霞地貌景观为例[D]. 南京：南京大学，2011.

[10] 李学芹，赵宁曦，王春钊，等. 眼动仪应用于校园旅游标志性景观初探——以南京大学北大楼为例[J]. 江西农业学报，2011，23(6)：148-151.

[11] 张卫东，梁倩，方海兰，等. 城市绿化景观观赏性的眼动研究[J]. 心理科学，2009，32(4)：801-803.

[12] 宋婉璐，王奎元，谭婷，等. 干路绿化带特性对驾驶人视觉影响评价研究[J]. 交通运输研究，2019，5(1)：57-64.

[13] 周阳超，王瑞辉，周璞，等. 基于SBE法的湖南大围山白檀林春季景观质量评价[J]. 西北林学院学报，2019，34(2)：257-262.

ZHOU Y C，WANG R H，ZHOU P，*et al*. Evaluation on landscape quality of symplocospaniculata in spring in hunan dawei mountain by sbe method[J]. Journal of Northwest Forestry University，2019，34(2)：257-262. (in Chinese)

[14] 马冰倩，徐程扬，崔义. 八达岭秋季景观整体色彩组成对美景度的影响[J]. 西北林学院学报，2018，33(6)：264-270.

MA B Q，XU C Y，CUI Y. Effects of color composition in Badaling forests on autumn landscape quality[J]. Journal of Northwest Forestry University，2018，33(6)：258-264. (in Chinese)

[15] 吴榛，王浩，范榕. 紫金山国家森林公园景观视觉评价[J]. 西北林学院学报，2017，32(3)：277-283.

WU Z，WANG H，FAN R. Landscape visual evaluation of Zijin Mountain national forest park[J]. Journal of Northwest Forestry University，2017，32(3)：277-283. (in Chinese)

[16] 王美婷，孙冰，陈雷，等. 广州市典型性城市公园植物景观美景度研究[J]. 浙江农林大学学报，2017，34(3)：501-510.

[17] 冼丽铧，翁殊斐，林熙迪，等. 广州市公园棚架式植物景观评价[J]. 西北林学院学报，2019，34(1)：267-272.

XI L H，WONG S F，LIN X D，*et al*. Evaluation of scaffolding plantscape in Guangzhou park[J]. Journal of Northwest Forestry University，2019，34(1)：261-266. (in Chinese)

[18] 徐珍珍，史久西，格日乐图. 森林景观模拟与构景因素控制试验[J]. 林业科学研究，2017，30(2)：276-284.

[19] 赵秋月，刘健，余坤勇，等. 基于SBE法和植物组合色彩量化分析的公园植物配置研究[J]. 西北林学院学报，2018，33(5)：245-251.

ZHAO Q Y，LIU J，YU K Y，*et al*. Park plant configuration based on sbe method and quantitative analysis of color combination[J]. Journal of Northwest Forestry University，2018，33(5)：245-251. (in Chinese)

[20] LIANG S，HUA S，SHUYANG L，*et al*. Integrated application of eye movement analysis and beauty estimation in the visual landscape quality estimation of urban waterfront park [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence，2018，32(9)：1-19.

[21] 王涵. 通州运河森林公园森林景观及其美景度研究[D]. 北京：中国林业科学研究院，2018.

[22] 王阔，张楠，晏海，等. 新城滨河森林公园植物景观营造研究—以北京通州大运河森林公园为例[J]. 西北林学院学报，2015，30(1)：269-274.

WANG K，ZHANG N，YAN H，*et al*. Plant landscape of the riverfront forest park：a case study of grand canal forest park in Tongzhou[J]. Journal of Northwest Forestry University，2015，30(1)：269-274. (in Chinese)

[23] 王成，贾宝全，郄光发，等. 北京平原造林的成效与发展对策研究[J]. 中国城市林业，2017，15(6)：6-11.

[24] 郭素玲，赵宁曦，张建新，等. 基于眼动的景观视觉质量评价—以大学生对宏村旅游景观图片的眼动实验为例[J]. 资源科学，2017，39(6)：1137-1147.

[25] 陈鑫峰，贾黎明，王雁，等. 京西山区风景游憩林季相景观评价及经营技术原则[J]. 北京林业大学学报，2008，30(4)：39-45.

CHENE XF，JIA LM，WANG Y，*et al*. Landscape estimation and management technique principles of different seasonal scenic and recreational forests in west mountain，Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University，2008，30(4)：39-45. (in Chinese)

[26] 夏继红. 生态河岸带综合评价理论与应用研究[D]. 南京：河海大学，2005.

[27] 张昶，王成，孙睿霖，等. 基于生态-景观视角的城镇河岸带风貌特征评价——以晋江市河溪为例[J]. 生态学报，2018，38(23)：263-272.

[28] 李逸伦，郝培尧，董丽. 北京市公园绿地植物群落季相景观评价及其影响因子研究[C]. 北京：中国风景园林学会，2018：608-612.