研究论文

视听交互下城市绿地鸟鸣声景对感知偏好的影响*

聂　玮[1]　黄　旭[1]　李红梅[1]　赵瑾瑜[2]

1　安徽建筑大学建筑与规划学院　合肥　230601

2　安徽建筑大学数理学院　合肥　230601

摘要：自然声景往往被认为是典型的具有健康效益的声景类型，其中鸟鸣声被视为最受欢迎和最具恢复性的声源之一。文章在生态审美理念的基础上，以鸟类生境为原型，对合肥市绿地常见植物景观空间类型进行归纳，并构建虚拟现实场景，通过主观偏好问卷与客观生理实验相结合的方法，利用既有景观偏好模型和熵值法进行数据处理，对如何构建鸟鸣声景场景以增强最佳感知体验进行探讨。结果表明：鸟鸣和视觉场景的结合可以显著影响感知偏好；不同偏好度的鸟鸣与视觉景观环境匹配时会带来不同效果；感知偏好较高的组合为北红尾鸲鸣声与灌丛场景、珠颈斑鸠鸣声与疏林草地或密林场景、红头长尾山雀鸣声与密林场景、灰喜鹊鸣声与疏林草地场景。因此，未来绿地景观营造应注意不同植物群落和鸟类栖息地的有机结合，以提升观赏者的感知偏好程度，获得更好的游赏体验。

关键词：视听交互；鸟鸣声；植物群落；景观偏好

DOI：10.12169/zgcsly.2023.11.16.0003

Effect of Birdsong Soundscape on Perceptual Preference in Urban Green Spaces Under Audiovisual Interaction

Nie Wei[1]　Huang Xu[1]　Li Hongmei[1]　Zhao Jinyu[2]

(1. School of Architecture & Urban Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China;
2. School of Mathematics & Physics, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: Natural soundscapes are often considered to be the quintessential type with health benefits. Among them, birdsong is seen as one of the most popular and restorative sound sources. On the basis of the concept of ecological aesthetics, the paper takes the bird habitat as the prototype to summarize the common plant landscape space in Hefei's green spaces, and construct the virtual reality scene. The existing landscape preference model and entropy method are used for processing the data from the subjective preference questionnaire and the objective physiological experiment, and the ways to construct a birdsong soundscape for the enhancement of the best perceptual experience are also explored. The results indicate that the combination of bird songs and visual scenes can significantly influence perceptual preferences; different degrees of preference for bird songs lead to varying effects when matching with visual landscape environments; and the combinations of high perceptual preference are the song of Daurian Redstart with the shrubland scene, the song of spotted doves with the scenes of savanna or dense forest, the song of red-headed tits with the scene of dense forest, and the song of azure-winged magpie with the scene of savanna. Therefore, the future green space landscape construction should put the attention to the combination of

收稿日期：2023-11-16

*基金项目：安徽省社科创新发展攻关项目（2022CX117）；安徽省高校人文社科研究重点项目（2023AH050160）；江淮文化名家青年英才项目（20240002）

第一作者：聂玮（1986-），男，博士，副教授，研究方向为风景园林与人因工效学。E-mail：archway@qq.com

different plant communities and bird habitats, so as to enhance viewers' perceptual preference and offer them a better viewing experience.

Keywords: audiovisual interaction; birdsong; plant community; landscape preference

城市化的加速使城市噪声呈指数增长，加之生活节奏加快，人们逐渐面临“城市病”的困扰[1]。世界卫生组织指出，噪声使人们患心脑血管疾病的风险大大增加[2]，噪声引发的睡眠障碍导致人们记忆力衰退[3]。此外，城市音质被认为是城市可持续发展的重要组成[4]，声景观为城市景观建设提供了新的评价视角[5]。因此，如何在城市中营造一个高质量的声环境成为城市规划者与管理者探讨的重要课题。

作为城市声环境的主要承载者，城市公共绿地是人们活动与交往的重要公共场所，对改善精神疲劳、促进压力恢复具有积极影响[6]。Ulrich 等[7]与 Kaplan 夫妇[8]提出亲近自然的环境比人工环境更能提高注意力。自然声景是城市绿地重要的组成部分，以其健康益处而闻名[9]。声环境研究重点从噪音弱化逐渐转向有益声音与场地的有机融合[10]，其中鸟鸣被认为是自然声景中最受欢迎和恢复性的声源之一，高感知恢复潜力的鸟鸣可促进人们联想到绿色、庭院与花园等场景[11-12]。鸟鸣恢复性感知除受距离、物理属性与鸟类等声源自身属性影响外[13]，还受到被试自身与环境的影响[14]。Zhu 等[15]发现，在湿地公园路径上添加鸟鸣后恢复效应显著提高，而且当路径树木覆盖率为 30.28%~38.6%、软硬比 5~21 时恢复效益最强。此外，也有采用模型预测游客最佳感知恢复效果鸟鸣的声压级[16]。在研究方法上，主观评价与客观生理指标结合是鸟鸣声景主题研究中的重要方法。有学者使用主观评分和皮肤电导水平结合的方法发现，鸟鸣声的皮肤电导水平显著低于无声、水声、城市交通声与轻音乐声[17]。现有研究倾向将鸟鸣范围囿于群落鸣声评价层面[18]，而作为与水声、风声等一样的自然声景，不同鸟鸣声景对感知偏好的差异仍有待进一步研究。因此，本研究致力于探讨城市绿地常见鸟鸣的最佳视听感知模式，促进人与自然和谐共生，为深化城市绿地自然声景观研究提供新思路。

1　研究区概况

合肥地处中国三大鸟类迁徙走廊之一“东亚-澳大利亚”候鸟迁徙走廊的北部边缘[19]，具有丰富的鸟类资源。截至 2019 年，已记录到合肥地区鸟类共 19 目 68 科 187 属 374 种，远多于省内其他市区[20]。因此，以合肥市鸟类为案例对鸟类及鸟鸣进行研究具有重要意义。

2　研究方法

2.1　试验材料

2.1.1　鸟鸣材料选取与处理

本研究基于相关鸟鸣声感知偏好研究结果[21]，选取以下 6 种鸟鸣素材：北红尾鸲（*Phoenicurus auroreus*）、珠颈斑鸠（*Spilopelia chinensis*）、红头长尾山雀（*Aegithalos concinnus*）、灰喜鹊（*Cyanopica cyanus*）、山斑鸠（*Streptopelia orientalis*）和雉鸡（*Phasianus colchicus*）。其中，北红尾鸲和珠颈斑鸠为高偏好鸟鸣声；红头长尾山雀和灰喜鹊为中偏好鸟鸣声；山斑鸠和雉鸡为低偏好鸟鸣声。使用音频软件 Adobe audition CC 对采集到的音频进行处理，每条音频 20 s。

2.1.2　视觉场景构建

鸟鸣声景研究应遵循自然的生态美学，保证欣赏景观物体不能脱离其生存环境中的其他事物[22]，即将人与自然的和谐相互作用置于环境健康与和谐发展的核心位置，寻求平衡生态的可持续性与人类的审美偏好[23-24]。因此，基于生态美学，参考常见鸟类生境、CNLUCC 数据分类体系与中国植被划分，总结出常见鸟类生境，并与合肥城市绿地植物群落进行共同要素提取（表 1），最后归纳为疏林草地、灌丛、密林 3 种具有代表性的视觉场景。对来自合肥城市绿地（综合公园、社区公园、森林公园、植物园）的 148 张照片进行要素分析与专家评估，最终选出具有代表性 15 张照片进行下一步工作。

表 1 生境与城市绿地植物群落共同要素提取

鸟种	生境类型	植物群落类型	共同要素提取
北红尾鸲	山地、森林、林缘、灌丛	疏林草地、灌丛、密林	疏林草地、灌丛、密林
珠颈斑鸠	城市、开阔原野、丘陵	疏林草地、灌丛、密林	
红头长尾山雀	山地、丘陵、灌丛	疏林草地、灌丛、密林	
灰喜鹊	丘陵和平原次生林山麓、住宅旁、疏林	疏林草地、灌丛、密林	
山斑鸠	广泛分布各种有林区域	疏林草地、灌丛、密林	
雉鸡	丘陵、农田、灌丛、草丛	疏林草地、灌丛	

参照实景照片对试验视觉虚拟场景进行建模。在 CAD 软件中以站立点为中心，计算半径 100 m 内植物凹陷度，控制视频拦截高度为 1.6 m，调整材料亮度、饱和度一致。在光辉城市（Mars）软件平台中基于优势植物选择模型植物，常绿植物中以香樟（*Cinnamomum camphora*）为优势树种和建立物种树层，灌木层以石楠（*Photinia serratifolia*）和桂花（*Osmanthus fragrans*）建立亚层[25]，地被选择狗牙根（*Cynodon dactylon*）、酢浆草（*Oxalis corniculata*）；最终建立模型疏林草地、灌丛与密林为主要视觉刺激材料，同时与视觉关联材料形成对比，引入与之相对立的荒漠与城市广场场景。

2.2 生理试验设备

采用 HTC VIVE Pro 虚拟现实眼镜呈现刺激，由医疗级可穿戴设备 EmphaptayE4 手环与其实时数据平台采集皮电 EDA（取自 GSR 皮肤电反应传感器，μS）、心率 HR（取自 BVP 血容量脉冲）两个生理指标数据，数据采样率为 4 Hz（设备参数详情参见 https://www.vive.com/cn/）。

2.3 受试者选择

共 45 名（21 男、24 女）不同专业在校本科或研究生（11 本科生、34 研究生）参加试验。年龄 20～25 岁，平均 23 岁，被试均为右利手，裸眼视力 4.8～5.1，健康状况良好。使用 G-power 软件计算所需被试量，$f=0.25$，$\alpha=0.05$，$1-\beta=0.95$，所对应的被试量为 30 人。试验前一天提醒被试不要食用刺激性食物，保持充足睡眠，试验后给予报酬。

2.4 试验设计

试验分为主观偏好问卷与客观生理试验两部分。采用双因素被试内试验设计，于上午完成。为防止被试者疲劳，数据收集限制在 25 min 内。试验前参与者接受了试验的介绍与生理手环佩戴。将 5 个视频和 6 个音频组合成 30 个不同的刺激，采用拉丁方试验设计呈现刺激材料。

2.5 数据处理

主观偏好分为视觉主观偏好和听觉主观偏好两部分。试验采用熵值法和信息量权重法确定视觉场景主观偏好和听觉偏好权重。根据不同的视觉空间场景主观偏好和鸟鸣声主观感知偏好，确定不同视听组合场景的偏好值。

分析客观生理唤醒度时，采用熵值法和信息量权重法确定权重。取两种不同权重的平均值来确定不同视听场景的唤醒程度值。唤醒程度高的场景代表可以引起人更高的生理偏好。采用相关分析方法探讨视听互动下常见鸟类鸣叫偏好的影响因素。

研究发现人在视听环境时视听器官并不完全独立[26]，视觉在人的认知机制中起主导作用，且对听感造成较大干扰[27]；但同样有研究表明视觉并非总在景观评估过程中占主导地位[28]，偏好的变化以听觉为主而非视觉[29]；当视觉场景与声景观不匹配时，声景观对景观感知评价的影响更大[30]。Anderson 等[31]则表明声环境比视觉环境对情绪状态有更强的影响。Gan 等[28]以听视觉偏好为变量建立多元线性回归模型准确率可超过 70%，其公式为：

$$P_{(Vi,\ Ai)} = 0.10 + 0.17 * P_{(Vi)} + 0.76 * P_{(Ai)} \quad (1)$$

式（1）中：$P_{(Vi,\ Ai)}$ 为视听环境整体偏好；$P_{(Vi)}$ 为视觉偏好；$P_{(Ai)}$ 为听觉偏好。

本文将视觉偏好和听觉偏好值的均值引入模型，并使用数学统计方法得到的值作为最终视听环境整体偏好值。对不同视听组合引起的 EDA 和 HRV 进行正态性检验。部分数据没有表现出正常性状，因此使用多配对样本的弗里德曼检验对生理指标进行差异分析。由于不同组合场景内皮质

电图和心率的变化率存在差异（$P<0.05$ 和 $P<0.01$），且心率、皮电变化率与偏好之间的数量级差别较大，为避免数据拟合出现问题，对数据进行归一化，具体公式如下：

1）对于正向指标

$$X_{ij}=\frac{X_{ij}-X_{j\min}}{X_{j\max}-X_{j\min}} \tag{2}$$

2）对于负向指标

$$X_{ij}=\frac{X_{j\max}-X_{ij}}{X_{j\max}-X_{j\min}} \tag{3}$$

式（2）（3）中，$X_{j\max}$、$X_{j\min}$分别表示第 j 个索引的最大值和最小值[32]。

3　结果与分析

3.1　不同视听组合下主观偏好

相较于单一听觉场景，疏林草地、密林与 6 种鸟鸣的结合可提高主观偏好值（图 1A、图 1C）。灌丛与红头长尾山雀、灰喜鹊与、雉鸡与山斑鸠的结合主观偏好值高于单一听觉场景，但与珠颈斑鸠、北红尾鸲结合时主观偏好值与单一听觉场景相差无几（图 1B）。相较于单一听觉场景下，荒漠、城市广场与雉鸡的结合可提高主观偏好值，但是与北红尾鸲、珠颈斑鸠、红头长尾山雀、灰喜鹊、山斑鸠的结合却降低了偏好值（图 1D、图 1E）。

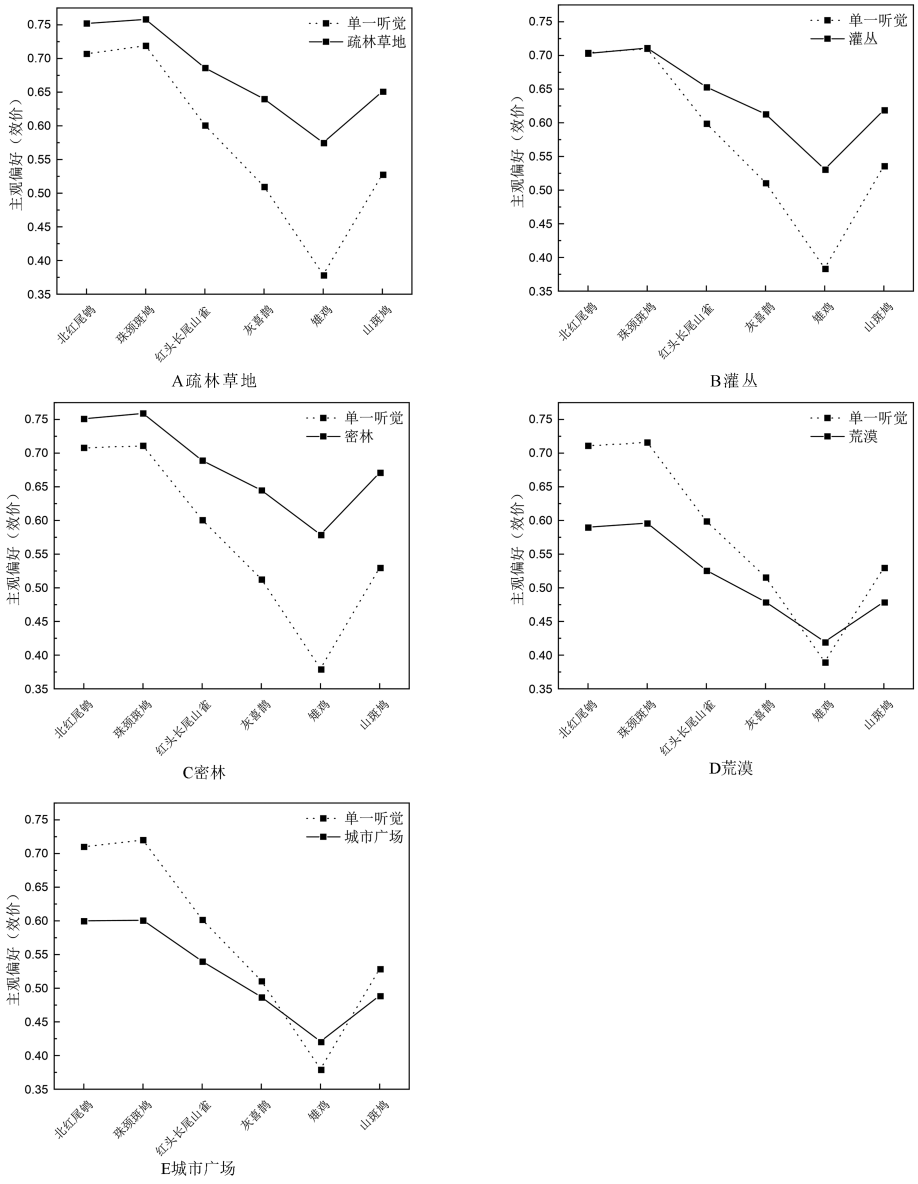


图 1　不同视觉场景下鸟鸣对主观偏好的影响

3.2 不同视听组合下生理唤醒度

相较于单一听觉场景下，疏林草地中珠颈斑鸠鸣声可提高生理唤醒度（图 2A）。未发现 6 种鸟鸣声与灌丛组合场景可显著提高生理唤醒度（图 2B）。密林中雉鸡鸣声生理唤醒度最高（图 2C）。荒漠中红头长尾山雀鸣声生理唤醒度最高（图 2D）。城市广场中雉鸡与山斑鸠声的生理唤醒度最高（图 2E）。

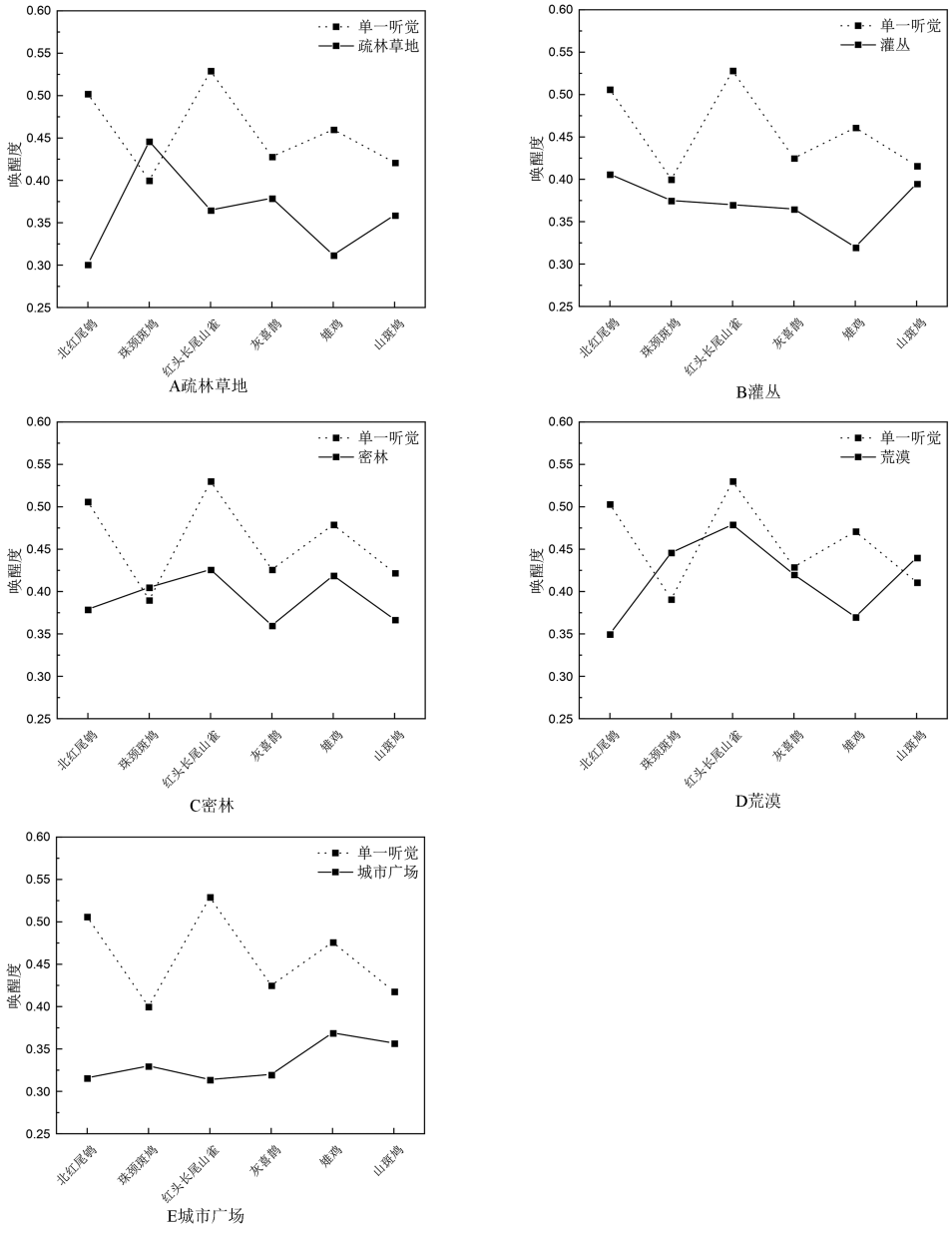


图 2 不同场景下鸟鸣对生理唤醒度的影响

3.3 不同视听组合下主观偏好与生理唤醒度

为更直观可视化呈现不同效价和唤醒水平，对主客观数据进行归一化处理。采用等距法对不同视听组合（包括单一听觉场景）进行分类（表 2），其中负效价组合 7 组，中效价组合 14 组，正效价组合 15 组。同理，结合等距法将不同鸟鸣生理唤醒度水平分为高唤醒、中唤醒、低唤醒 3 个层次（表 3）。其中低唤醒组合 18 组，中唤醒组合 11 组，高唤醒组合 7 组。

由表 2、表 3 可知，珠颈斑鸠鸣声在单一听觉场景、疏林草地和密林为正效价水平，在荒漠为中效价水平。4 种场景均呈中唤醒水平，即人在单一听觉场景、荒漠、疏林草地与密林中对珠颈斑鸠鸣声具有更高的感知偏好。

表 2　不同视听组合场景主观偏好

视觉场景	珠颈斑鸠	红头长尾山雀	灰喜鹊	雉鸡	山斑鸠	北红尾鸲
单一听觉	正效价	中效价	中效价	负效价	中效价	正效价
荒漠	中效价	中效价	负效价	负效价	负效价	中效价
城市广场	中效价	中效价	负效价	负效价	负效价	中效价
灌丛	正效价	正效价	中效价	中效价	中效价	正效价
疏林草地	正效价	正效价	正效价	中效价	正效价	正效价
密林	正效价	正效价	正效价	中效价	正效价	正效价

表 3　不同视听组合场景生理唤醒度

视觉场景	珠颈斑鸠	红头长尾山雀	灰喜鹊	雉鸡	山斑鸠	北红尾鸲
单一听觉	中唤醒	高唤醒	高唤醒	高唤醒	高唤醒	高唤醒
荒漠	中唤醒	高唤醒	中唤醒	低唤醒	中唤醒	低唤醒
城市广场	低唤醒	低唤醒	低唤醒	低唤醒	低唤醒	低唤醒
灌丛	低唤醒	低唤醒	中唤醒	低唤醒	中唤醒	中唤醒
疏林草地	中唤醒	低唤醒	中唤醒	低唤醒	低唤醒	低唤醒
密林	中唤醒	中唤醒	低唤醒	高唤醒	低唤醒	低唤醒

在单一听觉场景与荒漠中感知红头长尾山雀鸣声时，被试处于高唤醒、中效价水平；密林中感知红头长尾山雀鸣声时为中唤醒、正效价水平，故密林中感知红头长尾山雀鸣声偏好较高。

在单一听觉场景、疏林草地与荒漠中感知灰喜鹊鸣声时，被试处于中唤醒水平。其中，在疏林草地中感知灰喜鹊鸣声时为正效价水平，在单一听觉场景中感知灰喜鹊鸣声时为中效价水平，在荒漠中感知灰喜鹊鸣声时负效价水平。因此，疏林草地中感知灰喜鹊鸣声时偏好较高，而在荒漠中时则偏好最低。

在单一听觉场景与密林场景中感知雉鸡鸣声时，被试处于高唤醒状态，在其他 4 种场景中时为低唤醒状态。而单一听觉场景中感知雉鸡鸣声处于负效价水平，在密林中处于中效价水平，因此，在单一听觉场景中感知雉鸡鸣声偏好度最低。在荒漠、城市广场、灌丛、疏林草地场景中感知雉鸡鸣声均处于低唤醒水平，因此，在这些场景中感知雉鸡鸣声偏好一般。

在单一听觉场景、灌丛与荒漠中感知山斑鸠鸣声时，被试处于中唤醒状态，而在荒漠中感知山斑鸠鸣声属于负效价状态，因此在荒漠中感知山斑鸠鸣声偏好较低。在密林、疏林草地、城市广场中感知山斑鸠鸣声时唤醒度水平较低，因此偏好一般。

被试在单一听觉场景中感知北红尾鸲鸣声处于高唤醒、正效价状态。在灌丛中感知北红尾鸲鸣声时，被试处于中等唤醒、正效价状态。在其他场景中为低唤醒状态。因此，在单一听觉场景中感知北红尾鸲鸣声偏好最高，在其他场景中偏好均为一般。

4　讨论

4.1　鸟鸣对主观偏好的影响

整体来看，人们对自然场景的偏好值较高，对广场等人工场景的偏好值较低，这与前人的研究结果一致，即相较于建成环境，人们更倾向于亲近自然环境[33]。在自然的环境中人们可以获得更高的愉悦感，从压力中更快恢复。

通过对比视听组合场景的主观偏好值与单一听觉场景时的主观偏好值可知：对于雉鸡等主观偏好较低的鸟鸣，其与疏林草地、灌丛、密林、荒漠、城市广场 5 种场景结合均可提高主观偏好值。对于北红尾鸲与珠颈斑鸠鸣声等主观偏好较高的鸟鸣，仅在与较高偏好度场景（疏林草地、密林）时才能进一步提升其偏好度，这与前人对试听结合的偏好感知研究结果一致，即当视觉场景和声环境内容匹配时，整体视听环境会获得较高评价[34]。因此，在条件允许的情况下，宜借助视听交互间的相互作用，在低偏好度鸣声环境构建视觉场景以提升整体原视听环境偏好度，并结合实际应用进行景观规划设计。

4.2　鸟鸣对生理唤醒度的影响

通过对比视听组合场景的生理唤醒度与单一

听觉场景时的生理唤醒度可知：仅珠颈斑鸠鸣声加入到疏林草地、密林、荒漠时，生理唤醒度相较于单一听觉场景会提高，参考前人研究[21]，原因可能是珠颈斑鸠鸣声为高偏好鸟鸣声且具有高熟悉感，从而提高了整体视听环境的偏好度。

4.3 展望

本研究主要招募年龄相近的大学生作为被试，在未来的研究中应扩大被试来源，并选择更多样的造景要素和鸟类鸣声的组合，以得到更为全面和深入的基础数据，获取更具普适性的结果，为构建更为科学、合理、可行的视听景观和评估方法提供科学支撑。

5 结论

鸟鸣和视觉场景的结合可以显著影响感知偏好。

不同偏好度的鸟鸣与视觉景观环境匹配时会带来不同效果。高偏好度的视觉或听觉环境要素加入到低偏好度的环境时，可带来正向的提升效果。但是中低偏好度的鸟鸣加入到高偏好度的环境中时，反而会降低环境整体偏好度。

整体视听环境感知偏好度高的组合为：灌丛景观与北红尾鸲声环境结合；疏林草地、密林与珠颈斑鸠鸟鸣结合；密林与红头长尾山雀鸟鸣结合；疏林草地与灰喜鹊鸟鸣结合。任意郁闭度的视觉景观均有助于提升雉鸡鸣声的整体视听环境感知偏好度。

参考文献

[1] TONG H, ALETTA F, MITCHELL A, et al. Increases in noise complaints during the COVID-19 lockdown in Spring 2020: a case study in Greater London, UK [J]. Science of the Total Environment, 2021, 785: 147213.

[2] World Health Organization. Environmental noise guidelines for the European region [M]. Regional Office for Europe, 2018.

[3] CLARK C, PAUNOVIC K. WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and cognition [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(2): 285.

[4] BROWN A L, MUHAR A. An approach to the acoustic design of outdoor space [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2004, 47(6): 827-842.

[5] 韩亚洁，许大为. 我国声景观研究现状与展望：基于科学知识图谱分析[J]. 中国城市林业，2023，21(4)：120-126.

[6] 王淑芬，毕燕琪，房伯南，等. 促进人群压力缓解的绿色空间研究重要进展[J]. 北京工业大学学报，2023，49(9)：1025-1038.

[7] ULRICH R S, SIMONS R F, LOSITO B D, et al. Stress recovery during exposure to natural and urban environments [J]. Journal of Environmental Psychology, 1991, 11(3): 201-230.

[8] RACHEL K, STEPHEN K. The experience of nature: a psychological perspective [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

[9] FRANCIS C D, NEWMAN P, TAFF B D, et al. Acoustic environments matter: Synergistic benefits to humans and ecological communities [J]. Journal of Environmental Management, 2017, 203: 245-254.

[10] 康健，马蕙，谢辉，等. 健康建筑声环境研究进展[J]. 科学通报，2020，65(4)：288-299.

[11] 叶菁，王鸿达，郑俊鸣，等. 基于不同声景偏好的历史街区声景体验差异[J]. 中国城市林业，2022，20(5)：55-60.

[12] RATCLIFFE E, GATERSLEBEN B, SOWDEN P T. Associations with bird sounds: How do they relate to perceived restorative potential? [J]. Journal of Environmental Psychology, 2016, 47: 136-144.

[13] NWANKWO M, MENG Q, YANG D, et al. Effects of forest on birdsong and human acoustic perception in urban parks: a case study in Nigeria [J]. Forests, 2022, 13(7): 994.

[14] ZHAO W, LI H Y, ZHU X, et al. Effect of birdsong soundscape on perceived restorativeness in an urban park [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(16): 5659.

[15] ZHU X, GAO M, ZHAO W, et al. Does the presence of birdsongs improve perceived levels of mental restoration from park use? experiments on parkways of Harbin Sun Island in China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(7): 2271.

[16] ONG Z T, HONG J Y, LAM B, et al. Prediction models of desirable levels of birdsong and water sound in a noisy environment: a laboratory experiment based on virtual reality [C]//Ochmann M, Vorländer M, Fels J. Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics: integrating 4th EAA Euroregio, 2019.

[17] 朱玉洁，翁羽西，孙丹玫，等. 声景对自然和城市环境恢复性效益的影响[J]. 建筑科学，2021，37(2)：63-69，76.

[18] STOBBE E, SUNDERMANN J, ASCONE L, et al. Birdsongs alleviate anxiety and paranoia in healthy participants [J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 16414.

[19] 张孚允，杨若莉. 中国鸟类迁徙研究[M]. 北京：中国林业出版社，1997.

[20] 詹双侯，吴翠珍. 合肥地区鸟类调查和多样性分析[J]. 现代农业科技，2020(17)：201-202，205.

[21] 聂玮，李红梅，赵瑾瑜，等. 城市绿地常见鸟鸣感知偏好和恢复效益研究[J]. 淮阴工学院学报，2022，31(5)：81-89，96.

[22]NASSAUER J I, COOPER D A, MARSHALL L L, et al. Parcel size related to household behaviors affecting carbon storage in exurban residential landscapes [J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 129: 55-64.

[23]TRIBOT A S, DETER J, MOUQUET N. Integrating the aesthetic value of landscapes and biological diversity [J]. Proceedings Biological Sciences, 2018, 285(1886): 20180971.

[24]简春艳.生态美学视域下的美丽乡村建设探析：以凤冈县田坝社区为例[J].贵州农机化, 2023(3): 55-58.

[25]杜艳艳, 吴泽民, 张前进.合肥市主要城市景观林群落类型及结构研究[J].中国城市林业, 2013, 11(2): 1-4, 8.

[26]赵警卫, 夏婷婷.城市绿地中的声景观对精神复愈的作用[J].风景园林, 2019, 26(5): 83-88.

[27]GAN Y H, LUO T, BREITUNG W, et al. Multi-sensory landscape assessment: the contribution of acoustic perception to landscape evaluation[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2014, 136(6): 3200.

[28]YANG X Y, KANG J. The effect of visual and acoustic factors on the sound preference for waterscapes in urban public spaces[J]. Applied Acoustics, 2022, 197: 108945.

[29]JIANG B, XU W Y, JI W Q, et al. Impacts of nature and built acoustic-visual environments on human's multidimensional mood states: a cross-continent experiment[J]. Journal of Environmental Psychology, 2021, 77: 101659.

[30]税依妮, 甘永洪, 杨林鹏, 等.基于视听二元感知的公园景观交互评价[J].中国城市林业, 2023, 21(1): 101-108.

[31]ANDERSON L M, MULLIGAN B E, GOODMAN L S, et al. Effects of sounds on preferences for outdoor settings [J]. Environment and Behavior, 1983, 15(5): 539-566.

[32]TREMAYNE P, BARRY R J. Elite pistol shooters: physiological patterning of best *vs*. worst shots [J]. International Journal of Psychophysiology, 2001, 41(1): 19-29.

[33]WILSON E O. Biophilia [M]. Cambridge: Harvard University Press, 2009.

[34]魏澜清.视听交互作用下竹景与偏好、感知恢复的关系研究[D].雅安：四川农业大学, 2019.