四季校园绿地生物多样性感知恢复效益及视听影响因素*

秦 霄[1] 桑溢娟[1] 林 葳[1,2,3] 史 琰[1,2,3] 曾程程[1,2] 姚天祎[1] 朱欣怡[1]

1 浙江农林大学风景园林与建筑学院 杭州 311300

2 浙江省园林植物种质创新与利用重点实验室 杭州 311300

3 浙江省新型重点专业智库——浙江农林大学生态文明研究院 杭州 311300

摘要:【目的】分析四季绿地中生物多样性感知对大学生注意力恢复与压力缓解的影响,探讨视听因素与生物多样性感知的关系,揭示季节偏好与感知差异。【方法】以浙江农林大学东湖校区校园绿地和大学生为研究对象,通过实地调研,量化 64 个样地的视听因素和生物多样性指数,使用脑电波数据和问卷调查评估恢复效益和生物多样性感知。【结果】观看生物多样性视频能显著改善心理状态:Theta/BetaH 显著($P<0.05$)升高反映非自主注意力提升,BetaH/Alpha 显著($P<0.05$)降低表明压力缓解,其中秋、冬季效果最佳。夏季的生物多样性感知(植物、昆虫、鸟类、栖息地感知)及偏好显著($P<0.05$)优于其他季节。绿视率在四季均显著($P<0.05$)促进生物多样性感知,而自然声对鸟类感知具有积极作用,建筑视率则在冬季表现出负面影响。【结论】秋、冬季校园绿地在提升非自主注意力、缓解压力和促进放松方面效果最佳;夏季则更益于生物多样性感知和偏好。绿视率和自然声是影响生物多样性感知的关键要素,而建筑视率和人造声则对感知产生负面影响。未来研究可进一步探讨文化差异、长期效应及环境变量对恢复效益的贡献。

关键词:生物多样性感知;注意力恢复;压力缓解;校园绿地;四季

DOI:10.12169/zgcsly.2025.01.11.0001

Perceived Restoration Benefits of Campus Green Space Biodiversity and Audiovisual Influencing Factors in Four Seasons

Qin Xiao[1] Sang Yijuan[1] Lin Wei[1,2,3] Shi Yan[1,2,3] Zeng Chengcheng[1,2]
Yao Tianyi[1] Zhu Xinyi[1]

(1. College of Landscape Architecture, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Hangzhou 311300, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Germplasm Innovation and Utilization for Garden Plants, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Hangzhou 311300, China; 3. Zhejiang Province Key Think Tank: Institute of Ecological Civilization, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Hangzhou 311300, China)

Abstract:【Objective】To investigate the impact of green space biodiversity perception across four seasons on attention restoration and stress alleviation among university students, and explore the relationship between audiovisual factors and biodiversity perception, so as to uncover seasonal preferences

收稿日期:2025-01-11

* 基金项目:国家自然科学基金面上项目(52278084)

第一作者:秦霄(2000-),男,硕士生,研究方向为生物多样性感知。E-mail:2022605061062@stu.zafu.edu.cn

通信作者:林葳(1990-),男,博士,讲师,研究方向为风景园林与人体健康、景观感知、森林康养。E-mail:landscape1990@163.com

and perceptual differences.【Method】 Focusing on the green spaces and students at East Lake Campus of Zhejiang Agriculture & Forestry University, the paper quantifies audiovisual factors and biodiversity indices across 64 sample plots through field surveys and evaluates restorative benefits and biodiversity perception using electroencephalogram (EEG) data and questionnaire surveys.【Result】 Exposure to biodiversity videos significantly improves psychological states. An elevated Theta/BetaH ratio ($P<0.05$) indicates enhanced involuntary attention, while a reduced BetaH/Alpha ratio ($P<0.05$) suggests stress relief, with the most pronounced effects observed in autumn and winter. Biodiversity perception (including plants, insects, birds, and habitat awareness) and preference are significantly higher in summer than in other seasons ($P<0.05$). The green view index consistently strengthens biodiversity perception across all seasons ($P<0.05$), whereas natural sounds positively influences bird perception. By contrast, the built view index demonstrates negative effects during winter.【Conclusion】 Campus green spaces in autumn and winter are most effective for boosting involuntary attention, reducing stress, and promoting relaxation, whereas summer environments are more conducive to biodiversity perception and preference. The green view index and natural sounds emerge as critical facilitators of biodiversity perception, while built views and artificial sounds exert negative impacts. Future research should further examine cultural differences, long-term effects, and the contribution of environmental variables to restorative benefits.

Keywords: biodiversity perception; attention restoration; stress alleviation; campus green space; four seasons

随着城市化的推进，生物多样性对人类健康福祉的意义愈发重要[1]。根据亲自然假说(Biophilia Hypothesis)，人类天生倾向于与自然建立联系，这对心理和生理健康有深远影响[2]。研究表明，自然环境显著促进心理和生理健康[3]。生物多样性作为城市绿地评价的重要标准，其在恢复身心健康方面的潜力已得到广泛认可[4-5]。高生物多样性环境显著改善心理状态，如减轻压力、提高注意力，并对心率和血压等生理指标产生正面影响[6-8]。生物多样性还通过调节空气质量、提供食物与水源等生态系统服务，为人类健康带来益处[9-10]。

健康福祉不仅与生物多样性水平相关，更与其感知密切相关[11-12]。然而，生物多样性感知的恢复性潜力尚需进一步研究[13-14]。现有研究多关注对实际生物多样性的影响，而对感知机制及其季节变化的研究较少。季节是影响生物多样性感知的重要因素，不同季节的生物多样性景观和生态特征通过提供多样的视觉和听觉体验，显著影响个体对自然环境的感知[15]。例如，季节变化带来的视听刺激通过影响情绪和注意力等心理状态，进而提高注意力恢复和压力缓解效果[16-17]。

大学校园是城市绿地的重要组成部分[18]。大学生常面临压力、焦虑等健康问题[19]，校园绿地在提升心理健康方面发挥重要作用[20]。研究表明，校园绿地的恢复性效益主要体现在注意力恢复和压力缓解[21]，已有研究从生理和心理层面解释了这些效益[22-23]。部分研究利用脑电波(EEG)等指标量化恢复性效益[24-26]。

综上，本研究提出以下假设：H1：不同季节的生物多样性感知恢复效益（注意力恢复和压力缓解）存在显著差异；H2：视听因素影响生物多样性感知，并在不同季节中呈现相似的关键指标。通过四季生物多样性感知评价与恢复效益试验，研究将确定更优季节以恢复注意力和缓解压力，揭示季节偏好与感知差异，并分析视听因素的具体作用路径。

1 研究方法

1.1 研究区选择

本研究选址于浙江农林大学东湖校区(30.263 5°N, 119.723 4°E)，涵盖住宿区、教学区、运动区和休闲区等功能区，划分了 64 个10 m ×10 m 的样本点（图 1）。在每个样本点，调查乔木、灌木、草本和地被植物的物种丰富度，计算香浓维尔指数和 Pielou's J 指数[27-28]，评估植物多样性对生态恢复的影响。

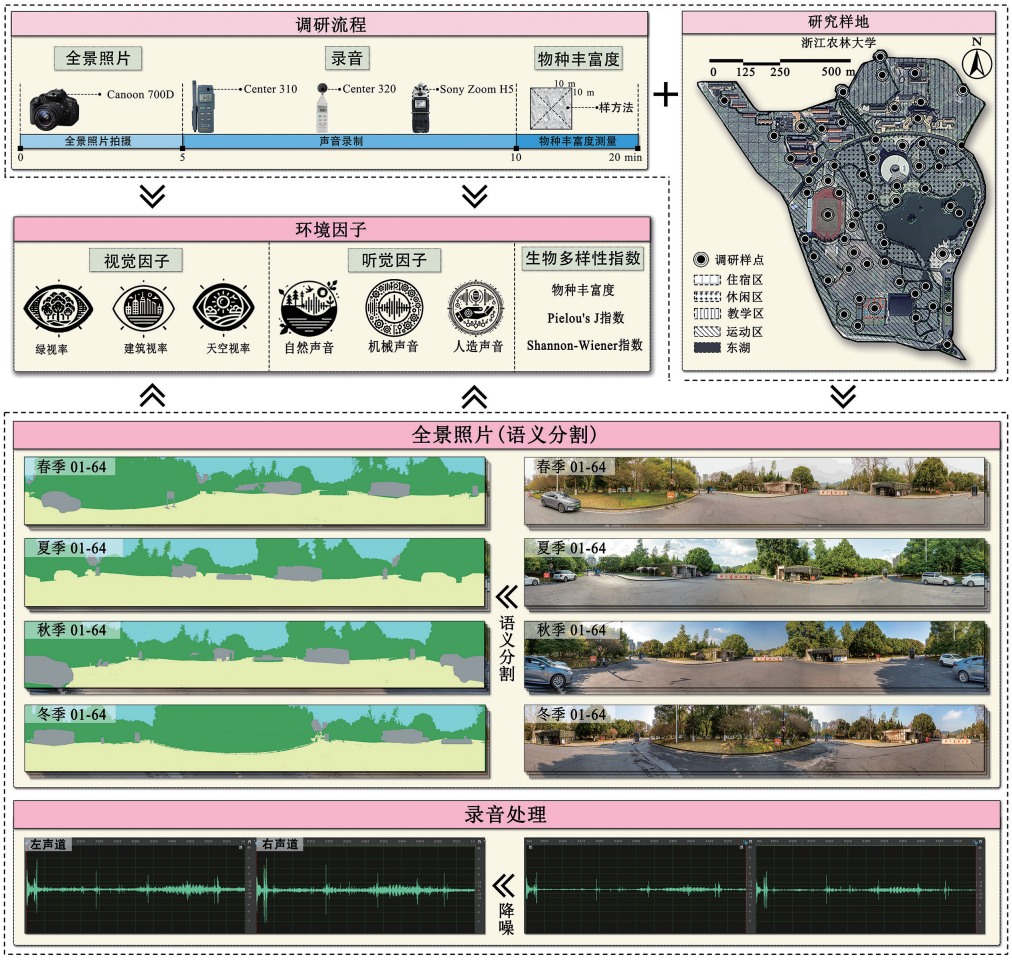


图 1　研究区域和视听因素

1.2　研究过程

在晴朗天气进行数据采集，使用 Canon 700D 相机（分辨率 5 184×3 456）拍摄 256 张全景照片，使用 Sony Zoom H5 录制声音数[29]。拍摄高度统一为 1.60 m[30]，焦距为 18 mm，每段录音时长为 1 min。所有数据经过 Adobe Photoshop 2023 和 Audition 2023 处理，生成视觉与声音刺激材料。

在视觉数据处理中，通过语义分割提取绿视率、建筑视率和天空视率等要素[29,31]；声音数据根据音源类型（如机械声、自然声和人造声）分类（图 1），统计每分钟录音中各类型声音的频次，并计算其相对频率，计算方法如下。

$$f_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^{k} n_j} \tag{1}$$

式（1）中：f_i 表示第 i 类声音的相对频率；n_i 表示第 i 类声音的出现次数；k 表示声音类别的总数；j 表示求和时的循环变量；n_j 表示第 j 类声音的出现次数。

1.2.1　不同季节生物多样性的感知

将不同样点的全景照片与音频组合制作成 16 组幻灯片，每组包含 4 个季节的 16 张全景照片，并同步播放相应音频。招募 256 名受试者，依次观看幻灯片，并根据植物、昆虫、鸟类、栖息地多样性及偏好进行评分[30]，填写感知问卷（图 2）。

1.2.2　不同季节生物多样性水平下的生理与情绪状态变化

招募 60 名受试者分为 3 组进行试验。试验开始前，受试者进行 5~10 min 静坐调整并签署知情同意书；试验过程中，受试者佩戴 Emotiv EPOC X 无创耳机（包含 14 个通道，覆盖额叶、颞叶、顶叶和枕叶区域），完成学习任务及连线测验（TMT），观看 10 min 涵盖 4 个季节的 8 张全景照片，同时播放音频，完成脑电波测量，评估受试者的生理与情绪状态（图 2），用于分析不同季节生物多样性感知过程中的恢复效益[32-34]。

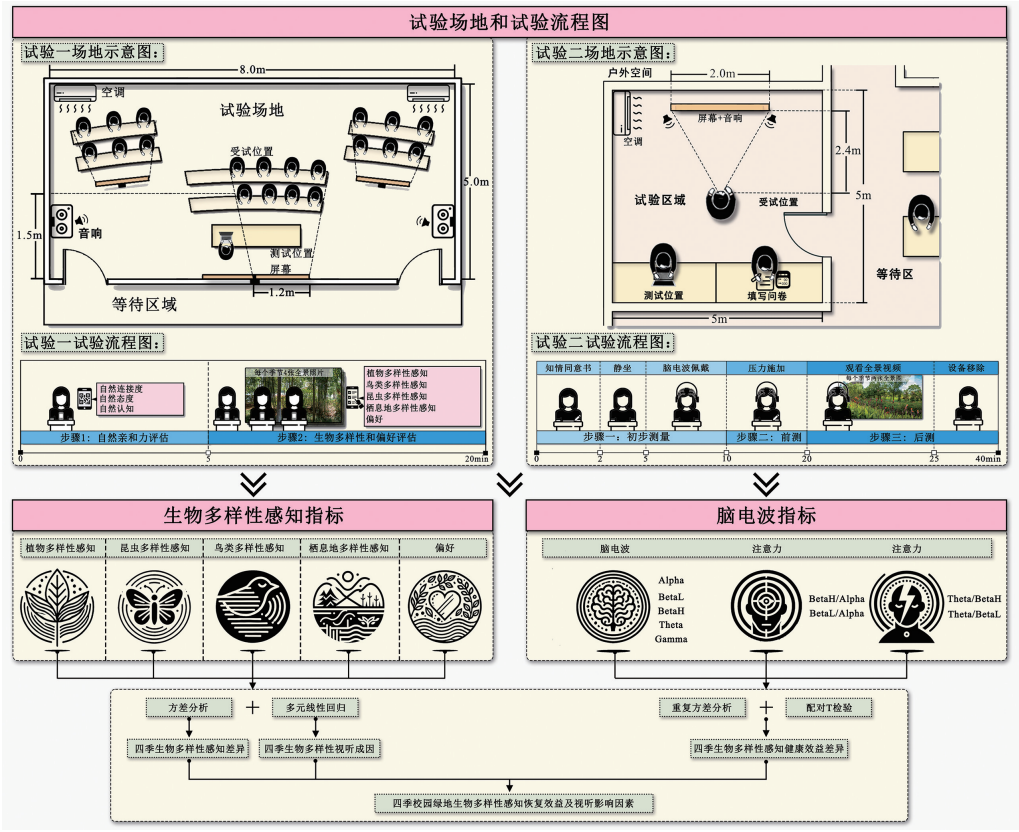


图 2 试验场地、试验流程、生物多样性感知指标和脑电波指标

1.3 数据分析方法

脑电波数据通过 MATLAB R2020b 版本的 EEGLAB 进行预处理，包括通道定位、滤波和去除伪影。选取 Theta 波、Alpha 波、BetaL 波、BetaH 波和 Gamma 波作为基础指标，使用 Theta/BetaH 和 BetaH/Alpha 分析注意力和压力状态。Theta/BetaH 升高表示注意力和放松状态增加，BetaH/Alpha 升高表示压力增强，降低则反映放松状态[35-36]。

通过观看四季生物多样性视频和压力施加过程中的脑电波振幅，计算 Theta/BetaH 和 BetaH/Alpha 的平均值。将 4 个季节作为独立组别，并通过重复测量方差分析（RM-ANOVA）检验不同季节生物多样性感知对脑活动的影响。如差异显著，进一步通过配对 T 检验明确最佳季节对注意力恢复和压力缓解的影响。

使用单因素方差分析（ANOVA）检验季节间生物多样性感知差异，评估季节变化对感知的影响。数据经过 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验和 Levene 方差齐性检验，确保符合正态分布和方差齐性假设。

此外，采用多元线性回归分析探讨生物多样性感知（植物、昆虫、鸟类、栖息地多样性及偏好）与视听因素和生物多样性指标的关系。回归分析前，通过相关性分析和 VIF 检验多重共线性问题，确保数据符合线性假设、独立性假设、正态分布假设和方差齐性假设。

2 结果与分析

2.1 四季生物多样性感知的健康效益

由表 1 可知，季节主效应显著（$P<0.05$），说明 Theta/BetaH 在不同季节间存在显著差异，且季节因素对其变化具有较强的影响力。然而，季节与感知水平的交互效应不显著（$P>0.05$），表明感知水平对季节间 Theta/BetaH 变化的调节作用并不显著。季节主效应显著（$P<0.001$），表明季节对 BetaH/Alpha 具有显著影响，且影响程度为中等。然而，季节与生物多样性感知水平等级的交互效应不显著（$P>0.05$），表明感知水平等级对季节间 BetaH/Alpha 变化的调节作用同样不显著。

表 1　多变量检验结果

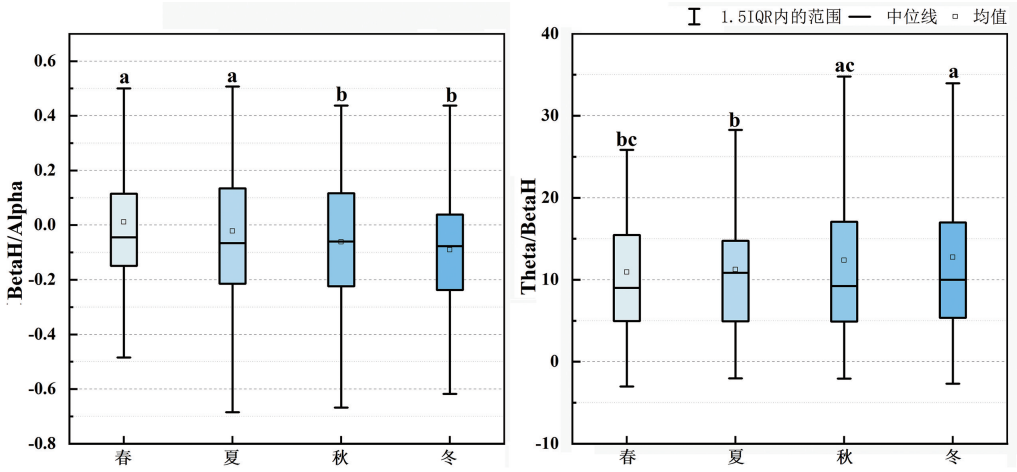
变量	效应	值	F 值	自由度（df）	显著性（*P*）	偏 Eta^2
Theta/BetaH	季节	0. 136	2. 189	3，55	0. 044	0. 136
Theta/BetaH	季节 × 感知水平	0. 107	1. 057	6，112	0. 393	0. 054
BetaH/Alpha	季节	0. 292	7. 561	3，55	<0. 001	0. 292
BetaH/Alpha	季节 × 感知水平	0. 103	1. 012	6，112	0. 420	0. 051

注：值对应统计量的具体值；F 值、自由度（df）和显著性（*P*）表示每个效应的显著性水平；偏 Eta^2 显示效应量的大小。

配对 T 检验结果（图 3）表明，Theta/BetaH 比值在不同试验条件下表现出显著差异（$P<0.05$）。与压力环节相比，观看生物多样性视频后，Theta/BetaH 显著升高，表明受试者的放松状态增加，伴随非自主注意力升高。具体结果显示：秋季均值显著（$P<0.05$）高于夏季；冬季均值显著（$P<0.05$）高于春季和夏季，中位数显著（$P<0.01$）高于夏季。此外，不同季节生物多样性视频下的脑电波数据分布范围存在差异，表明个体对绿地场景的脑电反应具有一定的差异性。

BetaH/Alpha 的分布（图 3）同样显示出显著差异（$P<0.05$）。与压力环节相比，观看生物多样性视频后，BetaH/Alpha 显著下降，说明受试者进入放松状态，认知负荷有所减轻。具体结果为：秋季和冬季的均值和中位数显著（$P<0.05$）低于春季；冬季的均值显著（$P<0.05$）低于夏季，但中位数显著（$P<0.01$）高于夏季。以上表明四季生物多样性场景在调节压力状态方面存在显著差异。

综合 Theta/BetaH 和 BetaH/Alpha 的分析结果，相较于压力测试环节，观看生物多样性视频后 Theta/BetaH 显著上升，表明放松状态增加且非自主注意力升高；BetaH/Alpha 显著下降，表明压力减轻且认知负荷减小。



注：图中不同小写字母表示不同处理间差异显著性（$P<0.05$）；下同。

图 3　Theta/BetaH 和 BetaH/Alpha 配对 T 检验箱线图

2. 2　四季生物多样性感知差异和视听成因

2. 2. 1　*四季生物多样性感知差异*

四季生物多样性感知差异如图 4 所示：对于植物物种多样性感知，夏季感知值最高（中位数 = 3. 5，平均值 = 3. 4）；冬季最低（中位数 = 2. 5，平均值 = 2. 6）；秋季感知值高于春季和冬季，但低于夏季。对于昆虫物种多样性感知，夏季感知值最高（中位数 = 4. 5，平均值 = 3. 4）；冬季最低（中位数 = 2. 5，平均值 = 2. 4）；春季和冬季之间仅显示微弱显著性（$P<0.05$）。对于鸟类物种多样性感知，夏季感知值显著高于其他季节（中位数 = 2. 5，平均值 = 2. 6）；春、秋、冬季感知值均显著低于夏季，但秋季显著高于冬季（$P<0.05$）。对于栖息地多样性感知，夏季感知值最高（中位数 = 3. 0，平均值 = 3. 4）；冬季最低（中位数 = 3. 0，平均值 = 2. 7）；秋季感知值高于春季和冬季，但低于夏季。对于偏好因素，夏季感知值最高（中位数 = 4. 0，平均值 = 3. 8）；冬季最低（中位数 = 3. 0，平均值 = 3. 1）；秋季偏好值高于春季和冬季，但低于夏季。

2.2.2 四季生物多样性感知视听成因

四季生物多样性感知视听成因如图 4 所示：在春季，绿视率和天空视率促进植物多样性感知、昆虫多样性感知、栖息地感知及偏好；物种丰富度和香浓维尔指数对植物和栖息地多样性感知有正向影响；自然声提升鸟类感知，而人造声降低昆虫感知。在夏季，绿视率提升植物、昆虫、鸟类、栖息地感知和偏好；自然声对昆虫和鸟类感知有积极作用，但却降低了植物感知和偏好。在秋季，绿视率促进植物、昆虫、栖息地感知和偏好；自然声提升鸟类感知，但天空视率对鸟类感知有负面影响；建筑视率对偏好具有正向作用，而物种丰富度会降低偏好。在冬季，绿视率提升植物、昆虫和栖息地感知及偏好；建筑视率对植物、鸟类感知和偏好产生负面影响；香浓维尔指数对植物感知具有正向作用，Pielou's J 指数对昆虫多样性感知也有积极影响；物种丰富度对偏好具有正向作用。

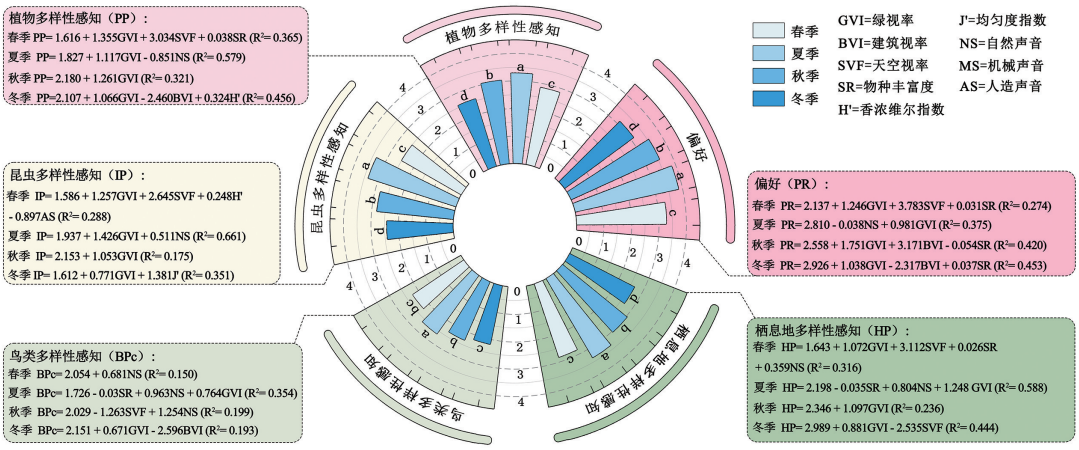


图 4 四季生物多样性感知差异与视听成因

3 讨论

3.1 四季生物多样性感知的恢复效益差异

本研究揭示了季节性差异对大脑活动在注意力恢复和压力缓解中的重要作用，尤其是秋冬季节的绿地场景显著调节大脑活动，表现为 Theta/BetaH 提高，与缓解压力和促进放松的效果一致[37]。尽管生物多样性感知水平的影响不显著，但季节性特征对恢复效益的作用更为突出[38]。秋冬季节的低刺激环境特征，如简洁的色彩和景观结构，可能更有利于心理恢复。这一发现为环境设计提供了依据，强调利用季节性自然环境的恢复性效益，特别是在秋冬季节，以缓解焦虑和增强注意力。季节性因素可能在生物多样性对健康的影响中比感知水平更为关键。

根据注意力恢复理论（ART），自然环境通过激活非自主注意力（Involuntary Attention）修复自主注意力（Voluntary Attention）[22]。秋冬季的低刺激环境有助于个体从日常压力中解脱，以柔和方式吸引注意力，促进大脑自主注意力的修复，表现为 Theta/BetaH 提高[39]。相比之下，春、夏季复杂的生物多样性对非自主注意力的吸引力较弱，恢复效益较低。此外，BetaH/Alpha 在压力状态下显著高于绿地场景后，表明绿地场景，尤其是秋冬季节，对缓解压力具有积极作用[6]。不同季节下 Theta/BetaH 和 BetaH/Alpha 的分布差异，进一步反映了个体对绿地场景恢复效益的季节性敏感度[40]。

综上，秋冬季绿地场景在缓解压力和促进放松方面表现突出，激活非自主注意力，修复自主注意力。未来研究可进一步探讨个体差异在注意力恢复中的作用及其对心理健康的影响[41]。

3.2 四季生物多样性感知的差异

本研究表明，季节对植物、昆虫、鸟类和栖息地多样性的感知及偏好水平有显著影响，排序为：夏季>秋季>春季>冬季。夏季因生物多样性达到峰值（如植物茂盛、昆虫活跃、鸟类频繁活动），感知和偏好水平最高[42]；冬季因植物休眠、昆虫和鸟类活动减少，感知值和偏好值最低；秋季因植物色彩变化及其视觉吸引力，表现优于春

季和冬季；春季处于生物多样性恢复初期，感知和偏好水平较低。综上所述，季节变化显著影响生物多样性感知与偏好，夏季表现最佳，冬季最低。

3.3　四季生物多样性感知的视听影响因素

本研究表明，绿视率和自然声是影响生物多样性感知的关键因素，而建筑视率、天空视率和物种丰富度等因素的影响呈现季节性差异。绿视率在所有季节均对生物多样性感知产生正向影响，显著提升植物、昆虫和栖息地多样性感知及偏好，表明其通过视觉增强了人们对植物和生态环境的认知[43]，并提高了自然景观的美学价值。自然声的作用具有季节性差异：在春、夏、秋季，自然声（如鸟鸣、虫鸣和水声）对鸟类、昆虫和栖息地感知有积极影响[44]，但夏季自然声对植物感知有负面作用，可能是高温下的自然噪音干扰了听觉感知。建筑视率在冬季降低了植物和鸟类感知，可能因建筑密度压缩了自然景观的视野[30]。天空视率在春季提升了植物、昆虫和栖息地多样性感知及偏好，可能是更好的光线条件增强了生态可见性。物种丰富度和香浓维尔指数的影响主要集中在春季和冬季，物种丰富度通过增强视觉吸引力提升偏好[45]，而香浓维尔指数在冬季促进植物感知，表明植物多样性在生物活动少的季节成为核心关注。此外，人造声在春季对昆虫多样性感知的负面影响尤为显著，揭示了噪声污染对生态环境的干扰效应。

4　结论

秋、冬季绿地场景在提升非自主注意力、缓解压力和促进放松方面效果最佳；夏、秋季在生物多样性感知和偏好上表现突出。绿视率和自然声是影响生物多样性感知的核心因素，而建筑视率和人造声则对感知产生显著负面影响。因此，建议优化绿视率和自然声资源，减少建筑视率和人造声的负面影响。未来研究可进一步探讨文化差异、长期效应及环境变量对恢复效益的贡献。

参考文献

[1] STANFORD H R, HURLEY J, GARRARD G E, et al. Exploring the secret gardens of the city: an assessment of human-nature interactions on informal green space using citizen science data[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2024, 98: 128414.

[2] KELLERT S R, WILSON E O. The biophilia hypothesis[M]. Leipzig: Island Press, 1995.

[3] 余洋，王馨笛，陆诗亮. 促进健康的城市景观：绿色空间对体力活动的影响[J]. 中国园林，2019，35(10)：67-71.

[4] 钟乐，左子童，赵智聪，等. 生物多样性影响人类健康：机制假说及关键问题[J]. 中国园林，2023，39(7)：6-13.

[5] CHEN Y, ZHAO P, XU Q C, et al. Relating biodiversity with health disparities of human population: an ecological study across the United States[J]. One Health, 2023, 16: 100548.

[6] CHIANG Y C, LI D Y, JANE H A. Wild or tended nature? The effects of landscape location and vegetation density on physiological and psychological responses[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 167: 72-83.

[7] WANG X X, RODIEK S, WU C Z, et al. Stress recovery and restorative effects of viewing different urban park scenes in Shanghai, China[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 15: 112-122.

[8] MENG L S, LI S H, ZHANG X D. Exploring biodiversity's impact on mental well-being through the social-ecological lens: Emphasizing the role of biodiversity characteristics and nature relatedness[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2024, 105: 107454.

[9] PEARCE-HIGGINS J W, ANTÃO L H, BATES R E, et al. A framework for climate change adaptation indicators for the natural environment[J]. Ecological Indicators, 2022, 136: 108690.

[10] FOO C H. Linking forest naturalness and human wellbeing: a study on public's experiential connection to remnant forests within a highly urbanized region in Malaysia[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 16: 13-24.

[11] FULLER R A, IRVINE K N, DEVINE-WRIGHT P, et al. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity[J]. Biology Letters, 2007, 3(4): 390-394.

[12] 马彦红，朱捷，陈曦. 城市公园感知生物多样性促进注意力恢复的影响研究[J]. 中国园林，2022，38(7)：80-85.

[13] FISHER J C, IRVINE K N, BICKNELL J E, et al. Perceived biodiversity, sound, naturalness and safety enhance the restorative quality and wellbeing benefits of green and blue space in a neotropical city[J]. Science of The Total Environment, 2021, 755: 143095.

[14] 孟令爽，康宁，宫宸，等. 生物多样性水平对心理健康与福祉的影响系统性综述[J]. 中国园林，2022，38(11)：82-87.

[15] 刘小君. 青海西宁湟水国家湿地公园湿地恢复评价研究[D]. 西宁：青海师范大学，2018.

[16] 马克·林奎斯特，埃卡特·兰格，唐真. 风景园林中的多感官体验：从景观可视化到环境模拟[J]. 中国园林，2013，29(5)：17-21.

[17] 王静怡，李春明，林婴伦，等. 声景生态学数据分析与应用[J].

生态学报,2022,42(21):8928-8934.
[18]邓巧明,李晓峰,刘宇波.基于人流模拟方法的高校疫情防控研究:以华南理工大学为例[J].建筑技艺,2022(9):30-33.
[19]万华军,熊巨洋,彭莹莹,等.健康中国视角下我国大学生健康问题及管理策略[J].医学与社会,2020,33(3):55-58.
[20]刘畅,李树华,陈松雨.多因素影响下的大学校园绿地访问行为对情绪的调节作用研究:以北京市三所大学为例[J].风景园林,2018,25(3):46-52.
[21]任静,牛佳琦,秦红巧,等.校园绿色空间缓解大学生心理压力的作用途径:以空间恢复性为中介的研究[J].中国园林,2024,40(11):110-116.
[22]KAPLAN S.The restorative benefits of nature:toward an integrative framework[J].Journal of Environmental Psychology,1995,15(3):169-182.
[23]ULRICH R S.Natural versus urban scenes:some psychophysiological effects[J].Environment and Behavior,1981,13(5):523-556.
[24]黄雅冰,翁羽西,徐伟振,等.森林公园游憩者环境偏好与脑电波关系[J].中国城市林业,2022,20(4):30-36.
[25]周艳慧,王一凡,金荷仙.视嗅感知下校园绿地的恢复性效益研究[J].中国园林,2023,39(11):36-41.
[26]汤景琛,金荷仙,周艳慧,等.小叶栀子花叶枝条挥发物成分及其对人体身心健康的影响[J].中国城市林业,2024,22(5):18-26.
[27]王兵,郑秋红,郭浩.基于Shannon-Wiener指数的中国森林物种多样性保育价值评估方法[J].林业科学研究,2008,21(2):268-274.
[28]马克平,黄建辉,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究Ⅱ丰富度、均匀度和物种多样性指数[J].生态学报,1995,15(3):268-277.
[29]张炜,周昱杏,杨梦琪.全景绿视率自动识别和计算研究[J].风景园林,2019,26(10):89-94.
[30]LIANG H Y,LIN Y W,CHEN Y Y,et al.The relationships among biodiversity,perceived biodiversity and recreational preference in urban green spaces-a case study in Xianyang,China[J].Ecological Indicators,2023,146:109916.
[31]李鑫,吴丹子,李倞,等.基于深度学习的城市滨河绿道景观视觉感知评价研究[J].北京林业大学学报,2021,43(12):93-104.
[32]YAO T Y,LIN W,BAO Z Y,et al.Natural or balanced? The physiological and psychological benefits of window views with different proportions of sky,green space,and buildings[J].Sustainable Cities and Society,2024,104:105293.
[33]LIN W,CHEN Q B,JIANG M Y,et al.The effect of green space behaviour and per capita area in small urban green spaces on psychophysiological responses[J].Landscape and Urban Planning,2019,192:103637.
[34]LIN W,ZENG C C,BAO Z Y,et al.The therapeutic look up:Stress reduction and attention restoration vary according to the sky-leaf-trunk (SLT) ratio in canopy landscapes[J].Landscape and Urban Planning,2023,234:104730.
[35]ROBINSON D L.The technical,neurological and psychological significance of 'alpha','delta' and 'theta' waves confounded in EEG evoked potentials:a study of peak latencies[J].Clinical Neurophysiology,1999,110(8):1427-1434.
[36]SUHAIMI N S,MOUNTSTEPHENS J,TEO J.EEG-based emotion recognition:a state-of-the-art review of current trends and opportunities[J].Computational Intelligence and Neuroscience,2020,2020(1):8875426.
[37]叶鹤宸,朱逊.哈尔滨市秋季城市公园空间特征健康恢复性影响研究:以兆麟公园为例[J].西部人居环境学刊,2018,33(4):73-79.
[38]BROOKS A M,OTTLEY K M,ARBUTHNOTT K D,et al.Nature-related mood effects:season and type of nature contact[J].Journal of Environmental Psychology,2017,54:91-102.
[39]KAPLAN R S-W,KAPLAN S.The Experience of Nature:A Psychological Perspective[M].Cambridge:Cambridge University Press,1989.
[40]陈波.杭州西湖园林植物配置研究:植物群落功能、种类组成与案例分析[D].杭州:浙江大学,2006.
[41]ROBINSON J M,BREED A C,CAMARGO A,et al.Biodiversity and human health:a scoping review and examples of under represented linkages[J].Environmental Research,2024,246:118115.
[42]MENG L S,LI S H,ZHANG X D.Assessing biodiversity's impact on stress and affect from urban to conservation areas:a virtual reality study[J].Ecological Indicators,2024,158:111532.
[43]HAO J F,GAO T,QIU L.How do species richness and colour diversity of plants affect public perception,preference and sense of restoration in urban green spaces? [J].Urban Forestry & Urban Greening,2024,100:128487.
[44]BARDHAN M,LI F,BROWNING M H E M,et al.From space to street:a systematic review of the associations between visible greenery and bluespace in street view imagery and mental health[J].Environmental Research,2024,263:120213.
[45]HA J,KIM H J.The restorative effects of campus landscape biodiversity:Assessing visual and auditory perceptions among university students[J].Urban Forestry & Urban Greening,2021,64:127259.