

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202405018



屋顶花园空间感知与恢复绩效的关联性

卓志雄, 董靓

(华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 为了确定绿色屋顶空间对健康的恢复作用,选取 3 种特定场景探索绿色屋顶空间的恢复性潜力。以华侨大学人-境交互实验屋顶花园不同类型空间为研究对象,通过开展实地研究,测量受试者在不同空间恢复前后心理感知和生理反馈指标的变化,探究屋顶花园空间感知与恢复绩效的关联性。结果表明:屋顶花园具有一定的恢复性潜力,不同开敞程度空间的恢复绩效具有显著性差异,其中以半开敞空间的恢复绩效最佳,其次是覆盖空间和开敞空间;环境感知评价对心理和生理恢复绩效有显著影响,尤其是心理感知层面。

关键词: 屋顶花园; 空间感知; 心理感知; 生理反馈指标; 恢复性潜力

中图分类号: TU 986

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2025)01-0052-08

Correlation Between Spatial Perception and Restoration Performance in Rooftop Garden

ZHUO Zhixiong, DONG Liang

(School of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to determine the restorative effects of green rooftop space on health, three specific scenarios were selected to explore the restorative potential of green rooftop space. Taking different types of spaces in the rooftop garden of the human-environment interaction experiment of Huaqiao University as the research object, the correlation between spatial perception and restoration performance of rooftop garden was investigated by conducting a field study to measure the changes in psychological perception and physiological feedback indexes before and after the restoration in different spaces. The results show that rooftop garden has a certain restorative potential, and the restoration performance of spaces with different degrees of openness has significant differences, the best restoration performance occur in semi-open space, secondly in covered space and open space. The environmental perceptual evaluations significantly affect the psychological and physiological restoration performance, especially at the level of psychological perceptions.

Keywords: rooftop garden; spatial perception; psychological perception; physiological feedback index; restoration potential

伴随城市的快速发展,城市化环境能给予人们诸多的便利性,但也让越来越多的城市人群在日常生活中面临更多的困境,例如,城市中各种疾病日趋蔓延、心理问题日益突出和健康风险不断增加^[1-3]。大量研究表明,自然环境有助于弥补健康损失,与自然环境接触能够减轻身心压力^[4-5]。自然环境可以减少生活中压力源带给人们的刺激,为人们提供适应性的庇护所,从而帮助人们获得恢复性体验^[6]。

收稿日期: 2024-05-24

通信作者: 董靓(1963-),男,教授,博士,博士生导师,主要从事智慧城市设计、可持续景观设计的研究。E-mail: le-dong@qq.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51678253); 华侨大学科研基金资助项目(15BS302)

由 Ulrich 等^[7]和 Kaplan^[8]提出的压力恢复理论(SRT)与注意力恢复理论(ART)均阐释了暴露于自然环境可以有效提升游憩者的情绪状态,证实了自然环境有助于缓解精神压力的作用。Hartig 等^[9]发现自然化空间具有减少负面情绪的心理效益,同时可改善注意力并重新获得精神活力。比起城市环境,自然环境往往拥有更好的健康疗愈效益,处在自然环境中的人的血压、情绪及注意力有显著的改善^[10]。屋顶花园作为独特类型的袖珍绿地也具有缓解压力 and 提升身心健康的潜力^[11]。由城市化引起用地紧张问题导致城市绿地的建设遭受到了限制,而建筑屋顶可为城市景观的多样化存在提供额外的空置空间。同时,在屋顶建设花园能为城市创造生态和社会效益^[12],例如,缓解城市热岛效应、调节雨洪管理、提高建筑的隔热性能、提升城市整体美观形象等^[13-16]。

目前,一些学者聚焦于屋顶花园植被的压力恢复效益,与无植被的屋顶花园相比,有植被的屋顶花园对人群的积极影响更为显著^[17]。Lee 等^[18]发现具有结构化植被的自然空间能帮助人群改善情绪状态和减轻压力,而较为封闭的植被空间则不一定能促进身心健康。比起混凝土屋顶,利用短暂时间观看开花的屋顶花园草地可以持续提高大学生的注意力^[11]。除了植被的健康效益,屋顶花园绿色空间的感知体验具有更直观的感受,有助于恢复性水平的提高。Mesimäki 等^[19]为游客提供多感官的屋顶花园接触,揭示了屋顶花园的恢复性潜力是存在的且恢复性水平较高。

然而,目前关于屋顶花园恢复性效益的研究多是以单一类型空间为研究场景,缺少对多样化屋顶花园绿色空间的研究,并且国内针对屋顶花园恢复绩效的研究也鲜有报道。此外,相关研究往往是基于虚拟现实技术进行视觉刺激从而评估恢复绩效^[20-21],该方法虽然具备便捷的操作性,但与真实的自然环境相比存在感知差异性。现场研究允许体验真实的环境,保证自然体验的生态效度,为使用特定的设计提升屋顶花园恢复效益提供实证支持。国外学者已开展诸多关于绿色空间开敞程度对注意力恢复影响的相关探索,而目前国内则较少聚焦于该方向的研究。因此,本文选择华侨大学人境交互实验室为试验场地,通过实地测量方法,探讨屋顶花园不同空间类型与压力恢复的关联性。

1 研究方法

1.1 实验场地及测试对象

实验场地位于华侨大学建筑学科实验大楼人境交互实验室(图 1)。实验室基础是一个矩形的屋顶花园,面积约为 240 m²,拥有水体、景观廊架、阳光房、乔灌木、地被植物等景观元素。实验室平时作为庭院日常对外开放,为附近的师生提供绿色休憩空间。

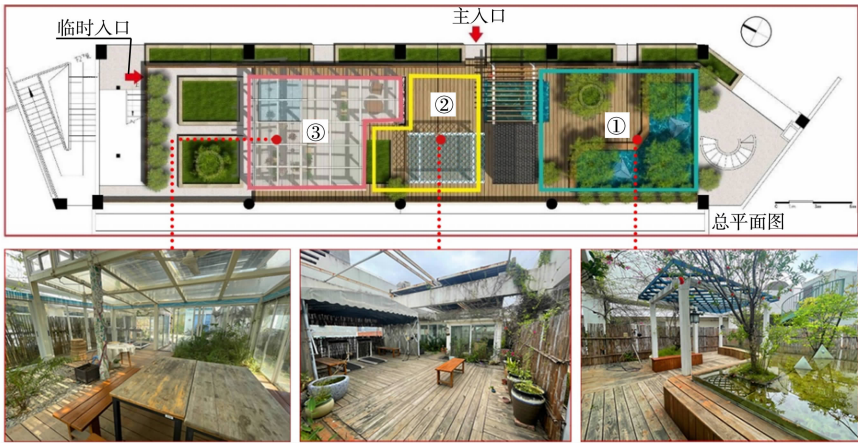


图 1 实验场地示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental site

作为附近大学生日常生活中接触最多的第二自然,积极的自然访问有助于减轻压力并提高注意力。该屋顶花园主要有 3 个游憩空间,分别是图 1 中的区域空间①,②,③。区域①中植物群落半结构化,人工水池约占整个空间的一半,拥有折线形景观廊架和休闲座椅,空间视线较为清晰。区域②是用木头铺成较为开阔的广场,左侧有一些低矮灌木,视觉范围较为开阔。区域③为开敞式的阳光房,是师生进行园艺活动的半户外空间,其中有大面积的低矮灌木和地被植物,视线主要向左右两侧渗透。

在景观空间营造过程中,设计师常利用亲自然元素构造不同空间类型,包括开敞空间、半开敞空间、覆盖空间、垂直空间等^[22]。其中,开敞空间一般用低矮灌木或地被植物控制空间开敞度,几乎暴露于阳光下,引起空间视线较为开阔、私密性较弱;半开敞空间中部分空间受到较高植物的封闭,导致视线受到一定的限制,开敞程度较小;覆盖空间一般利用浓密树冠的植物或构筑物作为空间顶平面,空间四周较为开敞;而垂直空间则应用高又细的植物构造成具有垂直感且上空开敞的空间。根据风景园林设计要素对空间类型的划分,图 1 中的①,②,③游憩空间可以分别对应为半开敞空间、开敞空间和覆盖空间。

因此,选取该屋顶花园的 3 种空间类型作为实验样地,以此比较屋顶花园不同空间类型的恢复性效益。由于实验场地的受惠对象主要为在校大学生群体,所以共招募 35 名大学生作为测试对象,男女比例将近 1:1。所有参与者身体健康状况良好,无身心疾病,且在实验前 24 h 未饮用茶、酒等刺激性物品。为了确保实验的顺利进行,参与者在实验前被告知实验流程并签署了知情同意书。

1.2 恢复绩效测量

借鉴前人研究经验,采用心理感知量表和生物反馈测量法,探究屋顶花园对身心健康的恢复绩效。

1) 心理感知量表。选用感知恢复性量表(PRS)评价不同屋顶花园空间类型对受试者心理恢复的影响。PRS 是由 Hartig 等^[23]建立的环境评价体系,可以衡量环境的恢复性潜力。参照文献[23]提出 PRS 修改版,其中涵盖了逃离性、魅力性、延展性和兼容性 4 个维度特征,并采用李克特 7 级量表进行评价。考虑到测试对象的感知差异可能影响到压力恢复,引入了测试对象的环境感知评价,包括环境的美景度、满意度及舒适度,评价量表均为 5 级量表,以此探究主观感知评价与恢复绩效的关联性。

2) 生物反馈测量。实验测量的生理指标包括心率(HR)和心率变异性(HRV),HR 和 HRV 是生理压力的有效测量指标,并且经常用于压力恢复的研究^[24]。HR 是客观的生理唤醒指标,受到交感神经和副交感神经的调节,当产生紧张、压力等心理状态时,交感神经活动增强会导致心率加快。HRV 是指连续心跳间隔时间的变化,是个体调节应激反应能力的生理标志,可作为评价个体自主神经活动的客观指标^[25]。研究主要采用 HRV 中的 RR 间期均值(t_M)、RR 间期标准差(t_{SD})、连续 RR 间期均值平方差的平方根(t_{RMSSD})指标。

t_M, t_{SD}, t_{RMSSD} 用于评估副交感神经活动,数值越大,表明恢复效果越好。选用 Polar V2 型心率表和 Polar H10 型心率带测定 HR 和 HRV 指标,通过观察生理指标的变化,可以客观解释不同屋顶花园绿色空间的压力恢复绩效。

1.3 实验方法

实验选择在 2023 年 5—6 月中晴朗无风的白天进行,实验时间为 8:00—9:30 或 16:30—18:00,实验期间气候较为适宜且物理环境基本一致,在该屋顶花园进行实验也可避免噪音的干扰。实验流程,如图 2 所示。

1) 受试者到达现场后被随机分配到一个空间以消除顺序效应,随后佩戴心率表和心率带。

2) 其次,进行一项 3 min 的数字口算,以诱导受试者的心理压力水平。在完成压力测试任务后,测量生理和心理指标(前测值)。

3) 研究表明,接触自然环境 3~5 min 可以获得可靠的研究结论^[26],故将恢复活动时间控制在 5 min。在恢复过程中,受试者以静坐或站立的方式感知空间,为了提高实验结果的信度和效度,受试者被要求在实验期间只对独立绿色空间进行视觉感知,5 min 后再次测量其生理和心理指标(后测值),随之填写环境感知评价。

4) 受试者休息 10 min 以平复个人情绪,并进行下一个空间的实地测量。

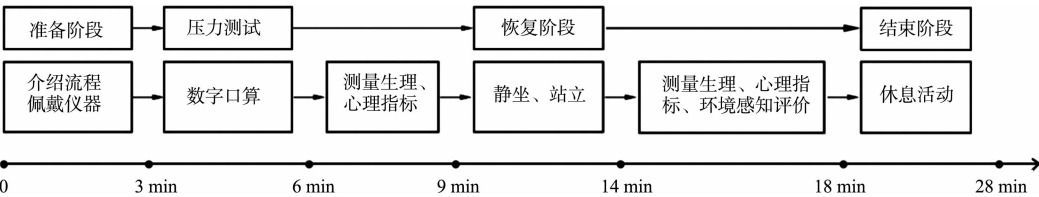


图 2 实验流程

Fig. 2 Experimental process

1.4 数据分析

首先,使用 Cronbach's α 对 PRS 的内部信度进行分析。结果显示,Cronbach's α 为 0.91($P <$

0.05),表明 PRS 的信度较好。其次,采用 Kubios HRV Standard 软件对生理数据进行伪影和异位搏的校正,为了排除典型伪影、异位心跳和漏拍,使用 3 次样条插值方法替换漏拍的心率间隔,并利用平滑先验方法去除时间序列的非平稳性,对数据进行去趋势化处理。然后,选用 IBM SPSS 26.0 软件记录每组实验前、后受试者心理感知和生理反馈指标的变化值,作为测量恢复绩效的指标。采用单因素方差分析检验受试者恢复生理和心理指标的变化量,并以此分析各空间类型恢复绩效的差异性,如有差异,则使用最小显著性差异(LSD)法进行事后检验。

2 研究结果与分析

2.1 基线数据的检测

在通过方差齐性检验的基础上,对恢复阶段前的生理和心理指标进行方差分析,结果如表 1 所示。表 1 中:DF 表示自由度;MS 代表均方误差; F 用于评估组间的差异; P 为显著性。由表 1 可知:所有指标的差异均无统计学意义($P>0.05$),说明应激源暴露后受试者的生理和心理状态基本一致。因此,可以将后期生理和心理状态的差异归因于屋顶花园不同空间类型的影响。

表 1 恢复初始生理和心理指标方差分析结果

Tab.1 Results of variance of physiological and psychological indexes of initial recovery

测量指标	半开敞空间	开敞空间	覆盖空间	DF	MS	F	P
远离性	3.23	2.91	2.74	3	1.44	1.74	0.162
魅力性	2.71	2.71	2.49	3	0.42	0.34	0.802
延展性	2.57	2.63	2.43	3	0.28	0.25	0.859
兼容性	2.54	2.51	2.54	3	0.24	0.24	0.867
HR/次·min ⁻¹	78.74	77.97	78.34	3	4.45	0.03	0.993
t_M /ms	772.30	783.09	781.09	3	1 256.28	0.09	0.968
t_{SD} /ms	44.08	44.01	43.14	3	17.21	0.06	0.980
t_{RMSSD} /ms	35.52	36.00	33.44	3	43.04	0.13	0.940

2.2 感知恢复性量表与空间恢复绩效

各空间类型 PRS 分值大小依次为半开敞空间(6.77 ± 4.45)>覆盖空间(6.40 ± 3.56)>开敞空间(3.34 ± 2.96)。单因素方差分析结果显示,3 种屋顶花园空间类型间的 PRS 分值变化有显著效应($F=9.011,P<0.001$),表明不同屋顶花园空间类型恢复绩效的差异有统计学意义。

不同空间类型感知恢复性及特征的 LSD 事后比较分析结果,如表 2 所示。表 2 中: M 为均值差;*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。由表 2 可知:半开敞空间($M=3.43,P=0.000$)和覆盖空间($M=3.06,P=0.001$)对感知恢复性的恢复绩效显著优于开敞空间,半开敞空间与覆盖空间的差异则无统计学意义。由此可知,半开敞空间恢复绩效优于其他两种空间类型,覆盖空间恢复绩效优于开敞空间。

表 2 不同空间类型感知恢复性及特征的 LSD 事后比较分析结果

Tab.2 Results of LSD post hoc comparative analysis of perception restoration and characteristics of different spatial types

空间类型 i	空间类型 j	PRS		远离性		魅力性		延展性		兼容性	
		M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
半开敞空间	开敞空间	3.43**	0.000	0.51*	0.039	1.06***	0.000	1.09**	0.000	0.77**	0.008
	覆盖空间	0.37	0.676	-0.14	0.562	0.09	0.759	0.29	0.239	0.14	0.619
开敞空间	半开敞空间	-3.43**	0.000	-0.51*	0.039	-1.06**	0.000	-1.09**	0.000	-0.77**	0.008
	覆盖空间	-3.06**	0.001	-0.66**	0.009	-0.97**	0.001	-0.80**	0.001	-0.63*	0.030
覆盖空间	半开敞空间	-3.71	0.676	0.14	0.562	-0.09	0.759	-0.29	0.239	-0.14	0.619
	开敞空间	3.06**	0.001	0.66**	0.009	0.97**	0.001	0.80**	0.001	0.63*	0.030

为了进一步探析不同空间类型的恢复性特征,统计不同空间类型的 PRS 维度的分值变化。结果显示,不同空间类型的远离性变化值($F=3.963,P=0.022<0.05$)和兼容性变化值($F=4.117,P=0.019<0.05$)的差异具有统计学意义,而不同空间类型的魅力性变化值($F=8.911,P=0.000<0.001$)

和延展性变化值($F=4.117, P=0.000<0.001$)的差异极具统计学意义。因此可知,3 种屋顶花园空间类型的 PRS 维度分值均呈现显著性效应。由表 2 可知:3 种空间类型中的 PRS 维度分值变化展现出相似的趋势,半开敞空间和覆盖空间的恢复绩效均优于开敞空间。具体表现为半开敞空间($M=0.51, P=0.039$)和覆盖空间($M=0.66, P=0.009$)的远离性变化值优于开敞空间;半开敞空间($M=1.06, P=0.000$)和覆盖空间($M=0.97, P=0.001$)的魅力性变化值优于开敞空间;半开敞空间($M=1.09, P=0.000$)和覆盖空间($M=0.80, P=0.001$)的延展性变化值优于开敞空间;半开敞空间($M=0.77, P=0.008$)和覆盖空间($M=0.63, P=0.030$)的兼容性变化值优于开敞空间。

总体而言,感知恢复性量表及其维度变化共同印证了屋顶花园空间类型的恢复绩效在不同维度上表现出显著差异化,其中半开敞空间的恢复绩效最佳,其次分别为覆盖空间和开敞空间。

2.3 生理反馈指标与空间恢复绩效

生理反馈指标与空间恢复绩效的关联性采用 HR 和 HRV 两类指标予以表征。在通过方差齐性检验的基础上,对生理反馈指标进行单因素方差分析。

2.3.1 HR 变化 在感知体验不同空间类型后,3 种空间类型的 HR 下降值分别为半开敞空间(2.37 ± 3.81)、开敞空间(0.60 ± 0.31)、覆盖空间(1.60 ± 3.85),受试者的 HR 均有所降低,表明屋顶花园空间类型具有潜在的恢复潜力,尤其是半开敞空间和覆盖空间。单因素方差分析结果显示,3 种屋顶花园空间类型的 HR 变化量具有显著效应($F=2.135, P<0.05$),反映出 3 种屋顶花园空间类型的恢复绩效具有显著差异性。不同空间类型生理指标的 LSD 事后比较分析结果,如表 3 所示。由表 3 可知:仅有半开敞空间对 HR 的恢复绩效显著优于开敞空间($M=1.771, P=0.042$)。

表 3 不同空间类型生理指标的 LSD 事后比较分析结果

Tab. 3 Results of post hoc comparative LSD analysis of physiological indexes of different spatial types

空间类型 <i>i</i>	空间类型 <i>j</i>	HR/次·min ⁻¹		<i>t_M</i> /ms		<i>t_{SD}</i> /ms		<i>t_{RMSSD}</i> /ms	
		<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>P</i>
半开敞空间	开敞空间	1.771*	0.042	19.343*	0.015	3.446	0.182	2.717	0.329
	覆盖空间	0.771	0.372	6.200	0.601	0.629	0.981	-0.070	0.980
开敞空间	半开敞空间	-1.771*	0.042	-19.343*	0.015	-3.446	0.182	-2.717	0.329
	覆盖空间	-1.000	0.247	-13.143*	0.026	-3.383	0.190	-2.787	0.316
覆盖空间	半开敞空间	-0.771	0.372	-6.200	0.601	-0.629	0.981	0.070	0.980
	开敞空间	1.000	0.247	13.143*	0.026	3.383	0.190	2.787	0.316

2.3.2 HRV 变化 HRV 指标的变化量,如表 4 所示。由表 4 可知: t_M 和 t_{RMSSD} 在恢复阶段后的增幅明显大于 t_{SD} 的变化量; t_{SD} 指标在开敞空间中呈现下降的迹象,说明开敞空间对诱发屋顶花园的恢复绩效有一定的局限性。单因素方差分析结果显示,屋顶花园空间类型均对 t_M ($F=1.394, P<0.05$) 和 t_{RMSSD} ($F=1.659, P<0.05$) 变化有显著效应;而空间类型对 t_{SD} ($F=1.18, P>0.05$) 变化则无显著效应,表明屋顶花园空间类型对该指标变化量的差异无统计学意义。由表 3 可知:开敞空间对 t_M 指标的恢复绩效均显著低于半开敞空间($M=-19.343, 771, P=0.015$)和覆盖空间($M=-13.143, P=0.026$),说明 t_M 指标的上升值均低于其他两种空间类型,导致其空间恢复绩效较低。

表 4 HRV 指标的变化量

Tab. 4 Changes of HRV indexes

空间类型	<i>t_M</i> /ms	<i>t_{SD}</i> /ms	<i>t_{RMSSD}</i> /ms
半开敞空间	23.89±40.55	3.00±13.13	5.78±13.55
开敞空间	4.54±62.57	-0.44±9.75	2.76±10.40
覆盖空间	17.69±42.31	2.94±8.85	5.55±10.52

2.4 环境感知评价与恢复绩效的关系

为了探析受试者的环境感知评价与恢复绩效的关联性,采用相关性分析检验两者之间的关系。环境感知评价与恢复绩效的相关性,如图 3 所示。从 Spearman 相关系数和显著性来看,环境感知评价与大部分恢复绩效指标呈正相关。与生理恢复绩效相比,环境感知评价与心理感知恢复的关联性更为紧密,且相关性系数保持在 0.3~0.6。此外,环境感知评价与心理感知恢复的显著效应表现得更为强烈。

在心理感知恢复性表征上,环境感知评价中的美景度、满意度和舒适度对感知恢复性量表及其维度有极为显著的积极影响。由图 3 可知:环境感知评价与感知恢复性维度的关联性大小依次是延展性、兼容性、魅力性、远离性,并且环境舒适度对感知恢复性的影响最大,其次是满意度和美景度。可见,环境感知评价对屋顶花园恢复绩效存在积极的影响,良好的环境空间体验会促使产生恢复性作用。在相关性分析结果中,发现环境感知评价与生理反馈指标也呈正相关关系,其中,美景度对 HR 有显著的积极影响,满意度与 t_{RMSSD} 指标之间的关系也出现了类似的结果,且舒适度对 HR 和 t_{SD} 有显著的正向影响。综上,虽然屋顶花园环境感知评价对心理和生理的影响存在差异化,但在一定程度上强调了受试者环境感知体验的重要性,表明优越的环境感知对诱发较佳的空间恢复绩效有着重要的影响。

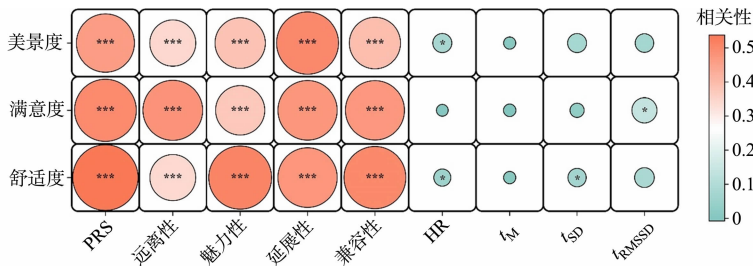


图 3 环境感知评价与恢复绩效的相关性

Fig. 3 Correlation between environmental perception evaluation and restoration performance

3 结论

以华侨大学人境交互实验室的 3 种屋顶花园空间类型为实验场地,通过实地测量方法,选用单因素方差分析探析不同空间类型心理和生理恢复绩效的差异性,并进一步分析受试者环境感知评价与恢复绩效的相关性,得出了如下 4 点结论。

1) 尽管心理感知和生理反馈指标测量结果存在差异性,两者的显著性变化均可证实屋顶花园具有恢复绩效。这与先前的研究结果相似,即接触屋顶花园对心理和生理具有促进身心健康的积极作用^[19,27]。可进一步解释为拥有亲生物设计的屋顶花园属于人工自然环境,易受到人们的青睐,因为人类天生就具备与自然环境联系的倾向^[28]。

2) 感知恢复性量表结果揭示了不同屋顶花园空间类型的恢复绩效具有显著的差异性,恢复绩效最优是半开敞空间,其次是覆盖空间和开敞空间,表明受试者短暂沉浸在屋顶花园有助于获得恢复性体验。不同空间类型的感知恢复性维度(远离性、魅力性、延展性、兼容性)的差异具有统计学意义,并且开敞空间和覆盖空间在各个维度所表现的恢复绩效优于开敞空间。

3) 受试者在 3 种屋顶花园空间类型的 HR 均有下降且变化量具有显著效应,而只有半开敞空间的生理恢复绩效高于开敞空间。HRV 中的 t_M 和 t_{RMSSD} 指标在恢复过程中增幅大于 t_{SD} , t_{SD} 指标在开敞空间中呈下降趋势,可见开敞空间对受试者身心放松效果较差。 t_M 和 t_{RMSSD} 的变化量也具有显著效应,然而仅有 t_M 可以反映出木质开敞空间的恢复绩效较低。

4) 环境感知评价(美景度、满意度、舒适度)对屋顶花园空间类型的心理和生理恢复有显著的正向影响。环境感知评价中舒适度对心理感知恢复绩效影响最大,其次是满意度和美景度。环境感知评价对生理恢复绩效也有重要影响,相较于生理反馈指标,环境感知评价对心理感知的影响较为显著。因此,在营造屋顶花园时,应充分考虑屋顶花园的空间感知体验,以期最大限度发挥屋顶花园绿色空间的恢复性效益。

屋顶花园空间类型具有心理和生理健康的恢复性潜力,不同空间类型的恢复绩效具有显著的差异化。整体而言,半开敞空间的恢复绩效最佳,其次为覆盖空间,最后是开敞空间。由此可知,开敞程度较低的空间拥有良好的恢复绩效,当空间开敞程度降低到一定程度时会导致恢复绩效下降。Kaplan 等^[29]提出的注意力恢复理论强调开敞程度较低的空间具有强烈的远离性特征,进而更容易恢复积极情绪。当视野逐渐开阔,易导致注意力分散。心理学中的“瞭望-庇护”(prospect-refuge)理论指出,人们在观赏外界环境时需要保证自身处于安全感的庇护所,清晰视野和隐藏空间的环境具有帮助人们提升幸

福感的能力^[30]。开敞空间恢复效益较差,究其原因可能是该空间主要以木质铺装为主,植被少且单一,在视觉感知上容易产生单调、呆板的顿挫感。而覆盖空间虽然半封闭但具有一定的可渗透性,并且含有大面积的低矮灌木和地被植物,自然化程度较高,为受试者提供绿色缓冲空间以对抗压力事件的负面影响。而半开敞空间恢复性潜力最大的原因除了空间的开敞程度,还有相对结构化的植被,使其营造的空间感较为舒适,这与环境感知评价对恢复绩效影响的结果相似,即舒适度在环境的恢复绩效中扮演着重要的角色。先前研究表明,具有结构化的植被设计与更好的恢复绩效有关^[18,31-32]。此外,心理感知指标的变化量对测量屋顶花园空间类型的恢复绩效更为显著,这可能是受试者常于此活动,对此类空间产生场所依恋和环境偏好。而生理反馈指标则客观阐释了屋顶花园对人身心理健康的恢复作用,但在一定程度上也受到遗传特征、生存环境等因素的影响,这种生理变化的潜在机制有待进一步证实。将心理和生理指标测量方法相结合,有助于更好地理解屋顶花园的健康益处。

然而,研究只定性分析屋顶花园空间类型对心理和生理反馈的影响。后续研究应进一步量化空间成分特征,以更具体的量化分析探讨屋顶花园环境质量对恢复绩效的影响。

参考文献:

- [1] 刘群阅,吴瑜,肖以恒,等. 城市公园恢复性评价心理模型研究: 基于环境偏好及场所依恋理论视角[J]. 中国园林, 2019,35(6):39-44. DOI:10.19775/j.cla.2019.06.0039.
- [2] 赵一帆,潘芝颖,胡乃文,等. 城市化与精神健康的关系: 经典假设、挑战与研究趋势[J]. 中国临床心理学杂志, 2022,30(4):876-882. DOI:10.16128/j.cnki.1005-3611.2022.04.024.
- [3] LAMHAMEDI H,LIZIN S,WITTERS N,*et al.* The recreational value of a peri-urban forest in Morocco[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2021,65:127339. DOI:10.1016/j.ufug.2021.127339.
- [4] JANECKO E,BIELINIS E,WÓJCIK R,*et al.* When urban environment is restorative: The effect of walking in suburbs and forests on psychological and physiological relaxation of young polish adults[J]. Forests,2020,11(5):591. DOI:10.3390/f11050591.
- [5] TYRVÄINEN L,OJALA A,KORPELA K,*et al.* The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment[J]. Journal of Environmental Psychology,2014,38:1-9. DOI:10.1016/j.jenvp.2013.12.005.
- [6] YU C S,HSIEH H. Beyond restorative benefits: Evaluating the effect of forest therapy on creativity[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2020,51:126670. DOI:10.1016/j.ufug.2020.126670.
- [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. DOI:10.1016/S0272-4944(05)80184-7.
- [8] KAPLAN S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework[J]. Journal of Environmental Psychology,1995,15(3):169-182. DOI:10.1016/0272-4944(95)90001-2.
- [9] HARTIG T,MITCHELL R,DE VRIES S,*et al.* Nature and health[J]. Annual Review of Public Health,2014,35(1):207-228. DOI:10.1146/annurev-publhealth-032013-182443.
- [10] HARTIG T, EVANS G W, JAMNER L D,*et al.* Tracking restoration in natural and urban field settings[J]. Journal of Environmental Psychology,2003,23(2):109-123. DOI:10.1016/S0272-4944(02)00109-3.
- [11] LEE K E,WILLIAMS K J H,SARGENT L D,*et al.* 40-second green roof views sustain attention: The role of micro-breaks in attention restoration[J]. Journal of Environmental Psychology,2015,42:182-189. DOI:10.1016/j.jenvp.2015.04.003.
- [12] SHAFIQUE M,KIM R,RAFIQ M. Green roof benefits, opportunities and challenges: A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2018,90:757-773. DOI:10.1016/j.rser.2018.04.006.
- [13] 朱伶俐,丁凤,杨琳,等. 夏冬季城市公园与城市热岛/冷岛空间关系研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2020,36(1):87-95. DOI:10.12046/j.issn.1000-5277.2020.01.013.
- [14] KUOPPAMÄKI K, HAGNER M, LEHVÄVIRTA S,*et al.* Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity[J]. Ecological Engineering,2016,88:1-9. DOI:10.1016/j.ecoleng.2015.12.010.
- [15] NAWAZ R,MCDONALD A,POSTOYKO S. Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate[J]. Ecological Engineering,2015,82:66-80. DOI:10.1016/j.ecoleng.2014.11.061.
- [16] MESIMÄKI M,HAURU K,KOTZE D J,*et al.* Neo-spaces for urban livability?: Urbanites' versatile mental ima-

- ges of green roofs in the Helsinki metropolitan area, Finland[J]. *Land Use Policy*, 2017, 61: 587-600. DOI:10.1016/j.landusepol.2016.11.021.
- [17] LEE K E, WILLIAMS K J H, SARGENT L D, *et al.* Living roof preference is influenced by plant characteristics and diversity[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 122: 152-159. DOI:10.1016/j.landurbplan.2013.09.011.
- [18] LEE J, KANG M, LEE S, *et al.* Effects of vegetation structure on psychological restoration in an urban rooftop space[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20(1): 260. DOI:10.3390/ijer-ph20010260.
- [19] MESIMÄKI M, HAURU K, LEHVÄVIRTA S. Do small green roofs have the possibility to offer recreational and experiential benefits in a dense urban area?: A case study in Helsinki, Finland[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 40: 114-124. DOI:10.1016/j.ufug.2018.10.005.
- [20] BIRENBOIM A, DIJST M, ETTEMA D, *et al.* The utilization of immersive virtual environments for the investigation of environmental preferences[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 189: 129-138. DOI:10.1016/j.landurbplan.2019.04.011.
- [21] BROWNING M H E M, MIMNAUGH K J, VAN RIPER C J, *et al.* Can simulated nature support mental health?: Comparing short, single-doses of 360-degree nature videos in virtual reality with the outdoors[J]. *Frontiers in Psychology*, 2019, 10(10): 2667. DOI:10.3389/fpsyg.2019.02667.
- [22] 布思 N K. 风景园林设计要素[M]. 曹礼昆,等译. 北京:中国林业出版社,1989.
- [23] HARTIG T, KORPELA K, EVANS G W, *et al.* A measure of restorative quality in environments[J]. *Housing, Theory & Society*, 1997, 14(4): 175-194. DOI:10.1080/02815739708730435.
- [24] ANNERSTEDT M, JÖNSSON P, WALLERGÅRD M, *et al.* Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest: Results from a pilot study[J]. *Physiology & Behavior*, 2013, 118: 240-250. DOI:10.1016/j.physbeh.2013.05.023.
- [25] JIANG Bin, CHANG C Y, SULLIVAN W C. A dose of nature: Tree cover, stress reduction, and gender differences[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 132: 26-36. DOI:10.1016/j.landurbplan.2014.08.005.
- [26] YIN Jie, ZHU Shihao, MACNAUGHTON P, *et al.* Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment[J]. *Building and Environment*, 2018, 132: 255-262. DOI:10.1016/j.buildenv.2018.01.006.
- [27] YOON E, LIM Y. A Study on the connection between nature and architectural space in Le Corbusier's Venice hospital project[J]. *Architectural Research*, 2020, 22(4): 113-122. DOI:10.5659/AIKAR.2020.22.4.113.
- [28] KELLERT S R, WILSON E O. The biophilia hypothesis[M]. Washington D C: Island Press, 1993.
- [29] KAPLAN R, KAPLAN S. The experience of nature: A psychological perspective[M]. New York: Cambridge University Press, 1989.
- [30] GATERSLEBEN B, ANDREWS M. When walking in nature is not restorative: The role of prospect and refuge[J]. *Health & Place*, 2013, 20: 91-101. DOI:10.1016/j.healthplace.2013.01.001.
- [31] 王茜, 张延龙, 赵仁林, 等. 四种校园绿地景观对大学生生理和心理指标的影响研究[J]. *中国园林*, 2020, 36(9): 92-97. DOI:10.19775/j.cla.2020.09.0092.
- [32] HUANG Qiuyun, YANG Minyan, JANE H, *et al.* Trees, grass, or concrete?: The effects of different types of environments on stress reduction[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 193: 103654. DOI:10.1016/j.landurbplan.2019.103654.

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 方德平)