干靓，郭光普，姚雪艳．城市街旁绿地的生物多样性支持功能及其环境影响：以上海世纪大道街旁绿地鸟类研究为例 [J]. 风景园林，2019，26（1）：47-52．

城市街旁绿地的生物多样性支持功能及其环境影响——以上海世纪大道街旁绿地鸟类研究为例

Biodiversity Supporting Services of Urban Roadside Green Spaces and the Built Environment Influences — A Case Study of Birds Along Shanghai Century Avenue

干靓 郭光普 姚雪艳

GAN Jing, GUO Guangpu, YAO Xueyan

中图分类号：TU986
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2019)01-0047-06
DOI：10.14085/j.fjyl.2019.01.0047.06
收稿日期：2018-01-09
修回日期：2018-11-15

干靓 /1979 年生 / 女 / 上海人 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院副教授 / 研究方向为城市生物多样性与建成环境、城市生态规划与研究（上海 200092）
GAN Jing, born in 1979 in Shanghai, Ph.D., is an associate professor in College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. Her research focuses on urban biodiversity and built environment, urban ecological planning and research (Shanghai 200092).

郭光普 /1969 年生 / 男 / 河南人 / 博士 / 同济大学生命科学与技术学院副教授 / 研究方向为动物生态学、保护生态学（上海 200092）
GUO Guangpu, born in 1969 in Henan Province, Ph.D., is an associate professor in the School of Life Sciences and Technology, Tongji University. His research focuses on animal ecology and conservation ecology (Shanghai 200092).

姚雪艳 /1973 年生 / 女 / 重庆人 / 博士 / 同济大学设计创意学院副教授 / 研究方向为景观规划设计（上海 200092）
YAO Xueyan, born in 1973 in Chongqing, Ph.D., is an associate professor in the College of Design and Innovation, Tongji University. Her research focuses on landscape planning and design (Shanghai 200092).

摘要：街旁绿地的休闲、美化功能及其环境设计已有大量的讨论，而生态功能尤其是生物多样性支持功能却常常被忽略。通过上海浦东世纪大道沿线街旁绿地的鸟类多样性实测调查与统计，对街旁绿地与其他对照组绿地的鸟种数量、密度和多样性进行比较，分析街旁绿地与周边绿地的鸟类物种丰富度与相似性，探讨对鸟类等物种多样性有支持功能的环境影响要素。研究结果表明：1）街旁绿地作为一种面积有限的微型绿地，可以成为鸟类等城市野生动物的庇护所和中转站，在城市绿地系统布局中应该重视该类“边角料”用地的生物多样性支持功能；2）干扰边界比例和首层乔木退界率对街旁绿地的鸟类物种多样性具有一定的影响，尽可能降低周边人工环境对生物的干扰是提升街旁绿地生物多样性的主要路径。研究为街旁绿地的生态功能及其环境影响提供了新的研究视角，研究结论可为设计、建设和管理城市生物友好型街旁绿地提供科学依据和方法，也为进一步探讨街旁绿地在高密度城市生态绿网中的生物“踏脚石”作用机制奠定基础。

关键词：街旁绿地；生物多样性；支持功能；鸟类；环境影响

基金项目：国家自然科学基金青年基金项目“基于生物多样性绩效测评的高密度城镇化地区生态空间格局优化研究”（编号 51408426）；上海市哲学社会科学规划一般课题“以普及绿色发展理念为导向的上海城市社区生态环境公共营造策略研究”（编号 2016BCK001）；上海市科学技术委员会“2017 年度科技创新行动计划”课题“超大城市韧性的理论体系与提升技术”（编号 17DZ1203200）

Abstract: There have been a lot of discussions on the leisure and beautification functions and environmental designs of urban roadside green spaces, but their ecological functions, especially the biodiversity supporting services, are often overlooked. This paper analyzes the richness and similarity of bird species in roadside and surrounding green spaces, to explore the built environment influencing factors that can support the diversity of bird species, by surveys in roadside green spaces along the Century Avenue in Pudong New District, Shanghai, and comparing the numbers, density and diversity of bird species between roadside green spaces and the surrounding green spaces. The results show that 1) As small scale green patches, the roadside green spaces can act as shelters and transit stations for birds and other urban wildlife. So in the layout of urban green space system, we should pay attention to the biodiversity supporting services of such “leftover” spaces. 2) Disturbance/interaction edge ratio and setback rate of the first row of trees can have certain influence on the avian diversity of the roadside green spaces, thus minimizing the disturbance of surrounding artificial environment to the wildlife is the main way to enhance the biodiversity of the roadside green spaces. The paper provides a new perspective for the studies of the ecological functions of urban roadside green spaces and the built environment influences on them. The findings can provide scientific basis and methods for the design, construction and management of urban bio-friendly roadside green spaces. They also lay a solid foundation for further exploration of the biological “stepping stone” function mechanism of roadside green spaces in the high density urban ecological green network.

Keywords: roadside green spaces; biodiversity; supporting services; birds; built environment influences

Fund Items: Urban Ecological Space Optimization in High Density Urbanized Areas based on Urban Biodiversity Performance Assessment, National Natural Science Foundation of China (No. 51408426); Green Development-oriented Strategies for Public Eco-environment Building in Urban Communities of Shanghai, Shanghai Planning Office of Philosophy and Social Science (No. 2016BCK001); Theories and Enhancement Technologies for Urban Resilience of Megacities, Shanghai Science and Technology Committee (No. 17DZ1203200)

1 研究背景

1.1 街旁绿地的概念

街旁绿地（roadside green space）指“位于城市道路用地之外，相对独立成片的绿地”，“是城市中量大面广的一种公园绿地类型”[1]，包括街道广场绿地、小型沿街绿地、临街建筑前庭绿地、道路红线外绿地带等[2-3]。中国也曾以小游园、街坊绿地、街头小游园等界定此类用地[4]。类似概念在日本被称为“街区公园”[5]，在英、美等国被称为“口袋公园”（pocket park），“袖珍公园”（mini-park）[6]，“小型城市公共绿地”（Small Public Urban Green Spaces，简称SPUGS）[7]等。

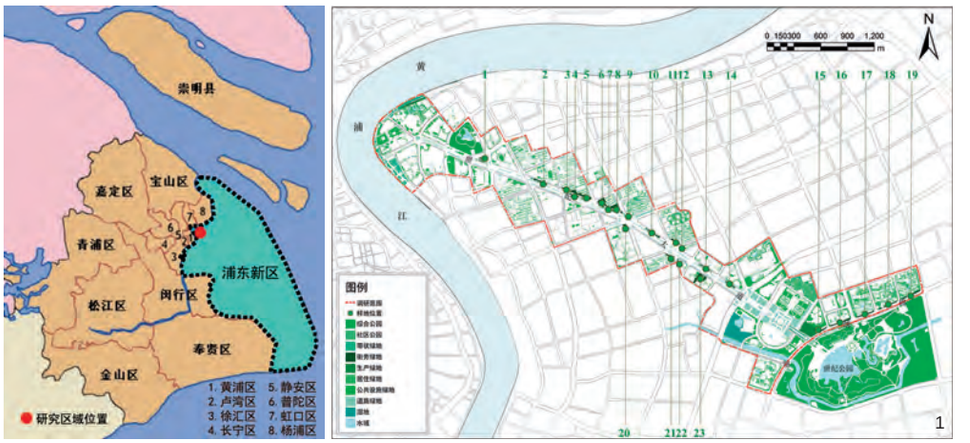
1.2 街旁绿地的景观功能

作为城市绿地系统中量大面广、使用频率最高的公园绿地类型，街旁绿地具有游憩、美化、防护、生态保育等多重功能。在评估街旁绿地功效时，从专家到公众普遍关注其游憩和景观美化功能[8]。此外，欧美国家更加重视这类城市小型开放绿地对于都市人群的心理健康、精神减压、社会交往的意义，并在社会学、精神病理学等领域均有专门研究[9-10]。

1.3 街旁绿地的生物多样性支持功能

尽管单个街旁绿地所发挥的生态效益有限，但在高密度城区内，这种小尺度的绿地对改善局部生态环境气候、净化空气、降低噪声、保护水土、提供氧气等仍然具有不可忽视的作用[11]；更重要的是，散布于城市各地的多个小型绿地与其他类型的公园绿地及生态走廊的组合，可以大幅提升城市生态网络的有效性和连接度[12]，为特定生物移动提供立足点和网状的交流路径[13]，成为生物多样性的重要庇护所（Shelter）和踏脚石（Stepping-stone）[14]，对促进城市生物多样性也同样具有重要意义。有研究表明，绿地系统规划中许多斑块特别是新建广场虽然占比不高，但在生态网络中可以发挥重要作用[15]；分布于各镇街的绿地小节点，可以有效连接生态廊道[16]；城市商业区的小型绿地斑块密度大，空间连接度甚至超过整体水平[17]；这些小型绿地能保护、提升和连接现有绿地空间，可能成为对鸟类等物种的生物多样性最有价值的绿地[18-19]。英国伦敦的城市小型绿地建设中也将生物多样性支持功能纳入设计要求，在其城市口袋公园的竞标要求中，除了提高场所品质、提供户外活动场所之外，还要求通过绿化促进生物多样性或场所的环境绩效，为野生物种提供栖居和庇护所[20]。

遗憾的是，聚焦生物多样性问题的城市街旁绿地研究非常少见，街旁绿地对于城市生物多样性的支持功能通常被忽视。鉴于此，本研究拟通过上海市世纪大道街旁绿地鸟类多样性的调查分析，对比街旁绿地与周边其他绿地斑块的生物多样性支持功能，并探讨对鸟类等物种的移动“中转”较为有利的环境影响要素，为城市生物友好型街旁绿地乃至整个城市绿地设计、建设与管理提供科学依据。



1 研究区域的调查范围、街旁绿地样地及对照组绿地位置
Location of the sampling sites of roadside green spaces and control group of green spaces in the study area

2 研究方法

2.1 研究区域

本研究选择上海市浦东新区世纪大道沿线街旁绿地作为研究对象。世纪大道西起东方明珠，东至世纪公园，是一条联系城市两大地标节点的轴线。本研究的范围包含世纪大道从小陆家嘴地区到杨高路段两侧100m及完整街坊，以及锦绣路沿线与世纪公园对街的街坊，共计51个地块[21]。研究区域中设有街旁绿地样地23个，其中世纪大道与周边道路的异形交叉口处有三角形街旁绿地9个，它们在绿化管理中被标注为“临时绿地”，但为了沿街景观效果进行了较好的人工植被景观配置。这9处绿地规模较一般街旁绿地大，日常由绿化管理部门进行维护和修剪，近20年来经历了一定的植被演替，是本文作者实证研究的重点。其余7个为世纪大道北侧步行道上的小游园，每个约180m长，20m宽，以白色粉墙围合，园内植被较单一；另有5处为宽度不足5m的居住区沿街带状绿地，1处交通岛和1处商务楼间绿地（表1）。为了便于与周边绿地做比较，研究还设定了62个其他类型绿地样地作为对照组，其中综合公园1个，社区公园3个，带状公园4个，生产绿地1个，居住绿地21个，公共设施绿地21个，道路绿地10个，湿地1个（图1）。

2.2 调查和分析方法

鸟类调查时间为2014年11月—2015年10月，每月调查一次，共调查12次。每月调查尽量集中在上旬，一般选择在天气晴朗的周末清晨，并根据日出时间确定为冬季7：00—10：00，春、秋季6：30—9：30，夏季6：00—9：00。调查采用样线法进行。调查时，以1.5km/h的行进速度前进，根据样地的规模及生境特质在每个样地停留5~15min不等，使用8~10倍的双筒望远镜，记录样地中看见和听见的野生鸟类的种类、数量等。根据现场实测调查所记录的鸟类数量和分类数据，计算每个样地的鸟类密度、物种丰富度、多样性指数。鸟类密度以单位样地面积内的鸟类数量（只/hm^2）来表示。

多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数公式进行计算，即 $H'=-\sum P_i \log P_i$，其中，P_i 为物种 i 的个体数量与所有物种总数之比。利用 Microsoft Excel 和 IBM SPSS 19.0 For Windows 统计分析软件，对街旁绿地与其他绿地的鸟种数量、密度和多样性进行比较，采用 ANOVA 分析进行差异显著性检验，并探讨鸟类生物多样性支持功能的环境影响要素。

3 结果与分析

3.1 街旁绿地与其他绿地的鸟种数量与鸟类密度比较

整个区域内调查记录到的城市野生鸟类 10 231 只次，根据《中国鸟类分类与分布名录》（第三版）[22]，隶属 8 目 25 科 47 种 [23]，不同绿地的鸟种数量具有极显著差异（$P=4.86\times10^{-6}<0.01$）①。其中街旁绿地观察到鸟类共 3 目 14 科 21 种，种数占比为 44.68%，高于生产绿地（16 种）和综合公园（16 种），略低于公共设施绿地（22 种）和带状公园（24 种）（图 2）②。

各类绿地间的鸟类密度也具有极显著性差异（$P=0.009<0.01$）。街旁绿地单位面积的鸟类密度高于综合公园、社区公园、带状公园、生产绿地、居住绿地、公共设施，说明街旁绿地的面积虽小，但密度不低，单位面积吸引的鸟类数量却可能更多（图 3），因此，在鸟类多样性方面街旁绿地同样起着重要的支持作用。

3.2 街旁绿地与其他绿地的鸟类多样性比较

单个街旁绿地的物种丰富度介于 1~10 之间，平均值为 5，多样性指数波动幅度都较大。对比整体物种丰富度，街旁绿地的整体物种丰富度较高，但单个地块较低，各地块的多样性差异都较大，也就是说每个街旁绿地能吸引到的鸟种数量有限但各不相同。这初步说明研究区域的街旁绿地的景观差异性较大，对城区不同种类的鸟类具有不同的生物多样性支持功能（图 4、5）。

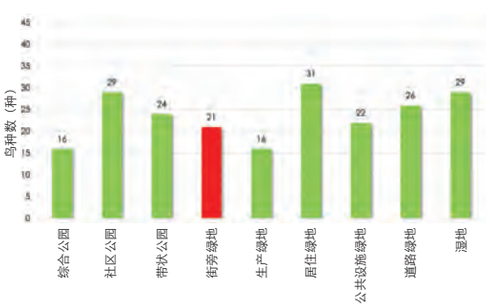
3.3 街旁绿地与周边绿地的鸟类物种丰富度与相似性比较

以鸟类物种丰富度作为比较指标，对比

表 1 研究区域各类街旁绿地面积及邻接地块的类型

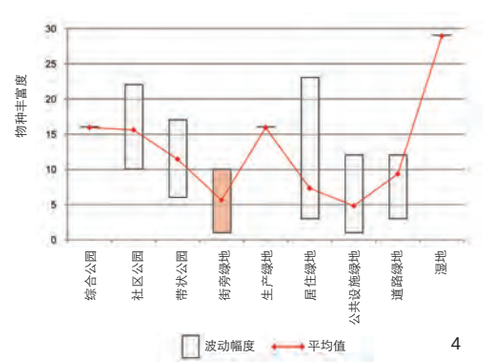
Tab. 1 Location and sampling sites of roadside green spaces

街旁绿地形态	样地编码	街旁绿地面积 /m²	邻接地块类型
三角形街旁绿地（9 个，占 39.13%）	3	3 175	居住区
	5	2 042	居住区
	6	5 642	居住区
	8	4 780	居住区
	11	2 573	居住区
	12	2 457	居住区
	20	1 383	商务区
	21	1 730	居住区
	22	1 143	商务区
世纪大道小游园（7 个，占 30.43%）	2	3 357	办公区
	4	2 404	居住区
	7	2 533	居住区
	9	2 889	居住区
	10	3 687	（城市综合体）建设工地
	13	2 972	商务区
	14	2 782	商务区
居住区沿街带状绿地（5 个，占 21.74%）	15	3 440	加油站
	16	2 322	商务区
	17	2 120	居住区
	18	2 328	居住区
	19	4 633	居住区
交通岛（1 个，占 4.35%）	1	2 705	—
商务楼间绿地（1 个，占 4.35%）	23	5 028	商务区

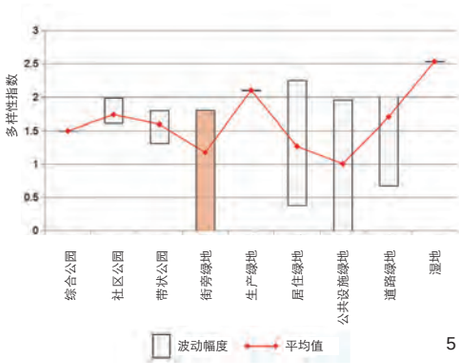


2

3



4



5

2 街旁绿地与其他绿地的鸟种数比较

Number of bird species in roadside green spaces and other types of green spaces

3 街旁绿地与其他绿地的鸟类密度比较

Density of bird species in roadside green spaces and other types of green spaces

4 街旁绿地鸟类物种丰富度与其他绿地的波动幅度与平均值的比较

Range and average of bird species richness of roadside green spaces and other types of green spaces

5 街旁绿地鸟类多样性指数与其他绿地的波动幅度与平均值的比较

Range and average of bird diversity index of roadside green spaces and other types of green spaces

表 2 街旁绿地与其邻接街区绿地的鸟类物种丰富度与相似性比较

Tab. 2 Comparison of bird species richness of roadside green spaces and surrounding green spaces

样地编码	街旁绿地形态	街旁绿地面积 /m²	邻接街区的绿地类型	街旁绿地物种丰富度	邻接街区物种丰富度	街旁绿地与其邻接街区物种丰富度差值	街旁绿地与其邻接街区绿地相同鸟种数量	街旁绿地与邻接街区绿地不同鸟种数量	备注
1	交通岛	2 705	–	10	–	–	–	–	无直接接壤地块
2	世纪大道小游园	3 357	公共设施绿地	5	10	−5	3	2	
3	三角形街旁绿地	3 175	居住绿地	5	4	1	4	1	
4	世纪大道小游园	2 404	居住绿地	7	4	3	4	3	
5	三角形街旁绿地	2 042	居住绿地	4	4	0	4	0	
6	三角形街旁绿地	5 642	居住绿地	5	5	0	5	0	
7	世纪大道小游园	2 533	居住绿地	5	5	0	4	1	
8	三角形街旁绿地	4 780	居住绿地	5	5	0	5	0	
9	世纪大道小游园	2 889	居住绿地	5	7	−2	4	1	
10	世纪大道小游园	3 687	–	–	–	–	–	–	周边为工地
11	三角形街旁绿地	2 573	居住绿地	10	7	3	5	5	
12	三角形街旁绿地	2 457	居住绿地	9	6	3	5	4	
13	世纪大道小游园	2 972	公共设施绿地	8	6	2	5	3	
14	世纪大道小游园	2 782	公共设施绿地	8	2	6	2	6	
15	居住区沿街带状绿地	3 440	防护绿地	1	16	−15	0	1	
16	居住区沿街带状绿地	2 322	公共设施绿地	7	5	2	5	2	
17	居住区沿街带状绿地	2 120	居住绿地	4	15	−11	3	1	
18	居住区沿街带状绿地	2 328	居住绿地	3	10	−7	2	1	
19	居住区沿街带状绿地	4 633	居住绿地	4	8	−4	3	1	
20	三角形街旁绿地	1 383	公共设施绿地	1	3	−2	1	0	
21	三角形街旁绿地	1 730	居住绿地	9	6	3	5	4	
22	三角形街旁绿地	1 143	–	4	–	–	–	–	周边商务楼内无绿地
23	商务楼间绿地	5 028	–	6	–	–	–	–	周边商务楼内无绿地

街旁绿地与周边直接接壤的居住区、商务办公区绿地的差异，研究发现：除了 4 个无法比较的样地外，19 个对比样地中，只有 7 个样地的鸟类物种丰富度低于邻接地块绿地，其中 2 处为世纪大道小游园（样地 2、9），4 处为单边毗邻街道的居住区沿街带状绿地（样地 15、17、18、19），另有 1 处毗邻商务办公区的三角形街旁绿地（样地 20）。前两者受人流车流干扰较多且植被相对单一，样地 20 的面积较小且邻接的商务办公区绿地率不高，对鸟类的吸引力有限。另 12 个样地的鸟类物种丰富度都高于邻接地块，并且比邻接地块绿地所记录到的相同鸟种的数量较高（表 2），这进一步佐证了该区域街旁绿地具有一定的鸟类生物多样性支持功能。从其与邻接街区绿地鸟类的相似性看，街旁绿地也具备一定的从周围鸟类多样性丰富地区向外扩散的“踏脚石”功能。

3.4 街旁绿地鸟类生物多样性支持功能的环境影响要素

3.4.1 街旁绿地环境影响要素详细研究样地选择

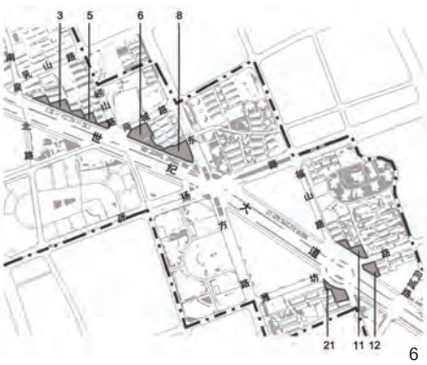
本研究在 23 块街旁绿地中选择 7 块三角形街旁绿地作为详细研究的样地，选择的依据为：1）具有一定规模（面积 1 500m² 以上），以便形成相对较复杂的生物群落；2）与居住区接壤，以便考查这些绿地对邻接住区鸟类物种多样性的强化或削弱效应，所选街旁绿地全部与开发强度相仿的二类住宅居住用地接壤，规避了邻接住区开发强度不同带来的影响；3）至少有一条边界对接公共步行道或车行道，以便检验人类干扰活动的影响（图 6）。

本研究将三角形街旁绿地的边界划分为干扰界面和邻接界面，干扰界面指与人行道或车行道邻接的界面，受到外界人类活动干扰；而邻接界面指与相邻住区、商务区、商业区等城市功能组团相邻的界面，虽然在用地边界上与邻接功能组团有明显区隔甚至设有围墙，但街旁绿地的乔木冠层一般高于围墙高度，因而能与住区的乔木冠层形成一体，故可以认为这一界面对物种多样性而言是友好界面。

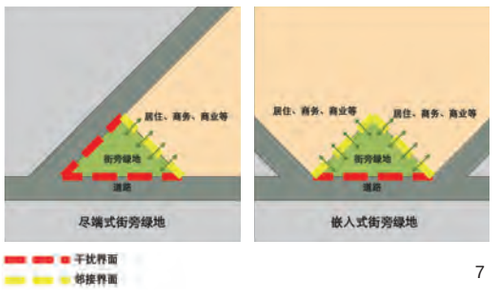
按照 7 块三角形街旁绿地与道路和周边地块的空间关系，可将这它们分为尽端式街旁绿地（样地 3、5、6、8、12）和嵌入式街旁绿地（样地 11、21）2 组。尽端式街旁绿地的干扰界面大于邻接界面，而嵌入式街旁绿地的干扰界面小于邻接界面（图 7）。

3.4.2 街旁绿地物种丰富度的干扰影响

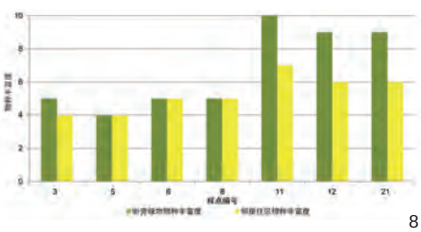
分析结果表明街旁绿地的鸟类物种丰富度略高于邻接住区的物种丰富度，但不具有显著差异（P=0.192>0.05）。绿地斑块面积更大的样地 3、5、6、8 的物种丰富度比样地 11、12、21 少一半左右，且与相邻的住区几乎一样，而后 3 个街旁绿地的物种丰富度明显优于



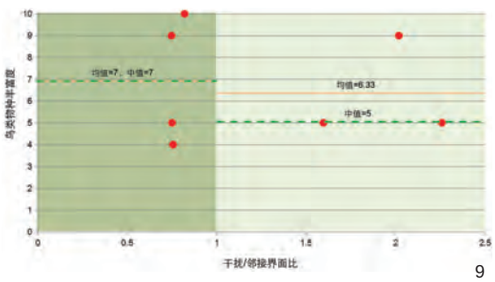
6



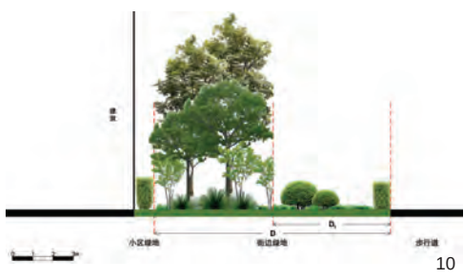
7



8



9



10

6 世纪大道沿线街旁绿地详细研究样地选择位置
Site selection for detailed studies of roadside green spaces along Century Avenue
7 世纪大道沿线街旁绿地分类及界面分析
Classification by interface of the roadside green spaces along Century Avenue
8 世纪大道沿线街旁绿地物种丰富度及与邻接住区物种丰富度的比较
Comparison of the bird species richness of the roadside green spaces along Century Avenue with the connected residential areas
9 世纪大道沿线街旁绿地鸟类物种丰富度与干扰 / 邻接界面比
Bird species richness of the roadside green spaces along Century Avenue and their disturbance/interaction edge ratio
10 样地 21 与样地 5 的植被空间配置比较（上：样地 21；下：样地 5）
Comparison of spatial configuration of plants in 21st and 5th sampling sites (Above: 21st sampling site; below: 5th sampling site)

相邻住区，即对整个地块的鸟类物种多样性有更大的支持。由此可见保护生态学的“种—面积关系”在这一尺度并不明显（图 8）。对植被结构的研究发现，7 个街旁绿地的物种丰富度与植被覆盖面积、高度和种类也没有较为明显的关联影响效应。

研究基于 AutoCAD 地形图，现场测量了街旁绿地的干扰界面和邻接界面，并计算了两者间的比值，大于 1 即为干扰影响大于邻接影响，小于 1 则反之。研究结果发现，干扰 / 邻接界面小于 1 的街旁绿地的物种丰富度的均值和中值（7）均大于干扰 / 邻接界面大于 1 的街旁绿地（均值 =6.33，中值 =5）（图 9），虽然不具有显著性差异（P=0.565>0.05），但整体而言，尽可能缩短干扰边界而增加邻接边界，即尽可能设置嵌入式街旁绿地而非尽端式街旁绿地，对于街旁绿地的鸟类物种多样性相对更有利。

3.4.3 街旁绿地物种丰富度的植被空间配置影响

上述 7 个地块中，样地 3、5 与样地 11、21 的干扰 / 邻接界面比基本相当，但物种丰富度却相差一半，并且后者的鸟类物种丰富度都高于邻接住区，而前者基本持平。进一步分析发现，这可能与两类绿地的植被空间配置有关。后者的植被空间配置郁闭度更高，并且首层高大乔木的种植位置更靠近干扰边界（即图 10 中的 D_t/D 更小），因此高大乔木层对外界的人类活动形成了一定的抗干扰能力，并通过茂密的枝叶为鸟类提供了丰富而安全的栖息空间（图 10）。

4 讨论

4.1 街旁绿地在城市生境网络中的生物多样性支持功能

研究发现了街旁绿地对鸟类生物多样性具有一定的支持功能，并且不同鸟类在街旁绿地停留时有着不同的行为特征，如珠颈斑鸠（*Streptopelia chinenesis*）等中型鸟类，仅在此处经过停歇，而白头鹎（*Pycnonotus sinensis*）、乌鸫（*Turdus merula*）等中小型鸟类除了躲避停歇，还有觅食行为，说明街旁绿地在一定程度上不仅可以为鸟类提供“休憩驿站”，还能为鸟类补给食物，即街旁绿地可以作为鸟类在城市生境网络移动的中转踏脚石。也有研究在道路边缘绿地、隔离带等街旁绿地发现了相当数量和种类的蝴蝶、蚂蚁等类群[24-25]，但街旁绿地对不同物种的生物多样性支持功能的作用机制还需进一步研究。

4.2 提升街旁绿地生物多样性的建成环境优化路径

干靓从“提高生物基层质量（提质）”和“减缓人工环境干扰（抗扰）”两维度提出提升城市生物多样性的建成环境优化路径[26]。街旁绿地相对于城市其他类型绿地，所受到的车辆和

行人交通的干扰更频繁，由光照、噪声、汽车尾气所造成的污染更为严重，对生物行为的改变也更大。因此，对于街旁绿地而言，减少周边人工环境的干扰是提升其生物多样性的最有效途径，而生境复杂性等“提质”要素的影响则可能较小[27]。研究发现的干扰 / 邻接界面比和首层乔木退界率都体现了减少和远离周边干扰对鸟类多样性的正面影响。也有研究指出，较少的人为植被修剪频率以及改进修剪方式，亦有利于街旁绿地的生物多样性[28-29]。减少杀虫剂、除草剂的使用，并能维持一定多样性的野生草本植物对提高生物多样性也有重要作用。

5 结论

综上所述，本研究总结以下两点：

1）在高密度城市中，街旁绿地作为一种面积有限的微型绿地，虽无法取代大型绿地在生物多样性支持功能中的重要性，但可以成为鸟类等城市野生动物的庇护所和中转站。在城市绿地系统布局中，应该重视该类“边角料”用地的生态功能，尤其是基于“踏脚石”的连接、间距、簇群等原理，将其与周边具有一定规模的集中绿地以及道路绿地和附属绿地以廊道贯通相连，为物种迁移与基因交流提供更有效的中转服务网络。

2）“抗扰”是提升街旁绿地生物多样性的主要路径，干扰边界比例和首层乔木的退界率对街旁绿地的鸟类物种多样性产生了一定影响。因此在街旁绿地的规划设计中，除了考虑景观性与人群使用的便捷性，也需要考虑尽可能降低周边功能组团和道路对生物的干扰，尤其在种植设计中尽可能通过保证乔木的种植比例、提升植被郁闭度以及提高首层乔木退界率的方式，为目标物种提供更为安全的庇护空间，增强街旁绿地作为小型绿地生境抵抗外界干扰压力的水平。

鉴于城市街旁绿地的数量和易接触性，其景观功能、休闲功能以及尚未得到充分研究的生物多样性支持功能，在城市化进程不断加快、土地空间资源有限的高密度城市绿地系统建设中必将日益受到关注。本研究初步探讨了街旁绿地对鸟类生物多样性支持功能及其环境影响要素，未来可进一步探讨街旁绿地的规模、形态、种植比例、种植结构、养护方式等建成环境要素及与周边组团绿地之间的连通性对其在高密度城市生态绿网中的生物“踏脚石”作用的影响机制，以期为城市街旁绿地的生物友好型设计、建设和管理提供更多的科学依据。

注释：

① 综合公园、生产绿地和湿地只有一个样点的数据，故未参与显著性检验，后同。

② 因篇幅有限，未附鸟类调查统计表，如有需要，可联系作者邮箱：jinggan@tongji.edu.cn。

③ 本文图片均为作者自绘，表格均为作者根据调研数据自制。

参考文献 (References)：

[1] 刘斯萌．城市街旁绿地设计研究 [D]．北京：北京林业大学，2010．

[2] 丁峰．街旁绿地规划设计研究 [D]．上海：同济大学，2007．

[3] 曾伟．浅析城市街旁绿地细部的“人性化”设计 [D]．北京：北京林业大学，2004．

[4] 李文，金洋．城市街旁绿地设计探讨 [J]．安徽农业科学，2009，37（21）：10268-10270，10287．

[5] 许浩．对日本近代城市公园绿地历史发展的探讨 [J]．中国园林，2002，18（3）：62-65．

[6] 张文英．口袋公园：躲避城市喧嚣的绿洲 [J]．中国园林，2007，23（4）：47-53．

[7] PESCHARDT K K, SCHIPPERIJN J, STIGSDOTTER KU. Use of Small Public Urban Green Spaces[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2012, 11(3): 235-244.

[8] 刘骏，蒲蔚然．城市街旁绿地规划设计 [M]．北京：中国建筑工业出版社，2013．

[9] NORDH H, ØSTBY K. Pocket Parks for People: A Study of Park Design and Use[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2013, 12(1): 12-17.

[10] PESCHARDT K K, STIGSDOTTER K U. Associations between Park Characteristics and Perceived Restorativeness of Small Public Urban Green Spaces[J]. Landscape & Urban Planning, 2013, 112(112): 26-39.

[11] 李铮生．城市园林绿地规划与设计 [M]．北京：中国建筑工业出版社，2006．

[12] KONG F, YIN H, NAKAGOSHI N, ZONG Y. Urban Green Space Network Development for Biodiversity Conservation: Identification based on Graph Theory and Gravity Modeling[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 95(1): 16-27.

[13] JONGMAN R H G. Ecological Networks from Concept to Implementation[M]//HONG S K, Nakagoshi N, FU B J, Morimoto Y. Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas: Linking Man and Nature Systems. Dordrecht: Springer Science+ Business Media B.V., 2008: 57-69.

[14] BAUM A K, HAYNES J K, DILLEMUTH P F. The Matrix Enhances the Effectiveness of Corridors and Stepping-stones[J]. Ecology, 2004, 85(10)：2671-2676．

[15] 孔繁花，尹海伟．济南城市绿地生态网络构建 [J]．生态学报，2008，28（4）：1711-1719．

[16] 李雅琦．广州市白云区绿地生态网络的构建 [D]．广州：仲恺农业工程学院，2016．

[17] 董卉卉．绿地景观格局优化及崇明实证研究 [D]．上海：华东师范大学，2010.

[18] CARBÓ-RAMÍREZ P, Zuria I. The Value of Small urban Greenspaces for Birds in a Mexican City[J]. Landscape & Urban Planning, 2011, 100(3): 213-222.

[19] STROHBACH M W, LERMAN S B, WARREN P S, Are Small Greening Areas Enhancing Bird Diversity? Insights from Community-driven Greening Projects in Boston [J]. Landscape & Urban Planning, 2013,114(114): 69-79.

[20] Department for Communities and Local Government. Pocket parks: Support for Small Areas of Inviting Public Space Where People Can Enjoy Relief from the Hustle and Bustle of City Street[M/OL].(2015-12-01)[2018-01-02] https://www.gov.uk/government/publications/pocket-parks-support-for-communities-to-manage-small-green-spaces.

[21] 干靓，郭光普．基于生态位需求的高密度城区鸟类微生境选择研究：以上海市浦东新区世纪大道地区为例 [J]．风景园林，2017（11）：86-92．

[22] 郑光美．中国鸟类分类与分布名录（第三版）[M]. 北京：科学出版社，2017．

[23] 干靓，郭光普．上海高密度城区不同用地的鸟类群落结构研究 [J]．中国城市林业，2017，15（2）：18-23．

[24] SAARINEN K, VALTONEN A, JANTUNEN J, et al. Butterflies and Diurnal Moths along Road Verges: does Road Type Affect Diversity and Abundance?[J]. Biological Conservation, 2005, 123(3): 403-412.

[25] PECAREVIC M, DANOFF-BURG J, DUNN R R. Biodiversity on Broadway-enigimatic Diversity of the Societies of ants(Formicidae) on the Streets of New York City[J]. Plos One, 2012, 5(10): e1000938-e1000938.

[26] 干靓．城市建成环境对生物多样性的影响要素与优化路径 [J]．国际城市规划，2018（4）：67-73

[27] LEONARD R J, MCARTHUR C, HOCHULI D F. Habitat Complexity does not Affect Arthropod Community Composition in Roadside Greenspaces[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018(30):108-114.

[28] O'SULLIVAN O S, HOLT A R, WARREN P H, et al. Optimising UK Urban Road Verge Contributions to Biodiversity and Ecosystem Services with Cost-effective Management[J]. Journal of Environmental Management, 2017(191): 162-171.

[29] NOORDIJK J, DELILLE K, SCHAFFERS A P, et al. Optimizing Grassland Management for Flower-visiting Insects in Roadside Verges[J]. Biological Conservation, 2009, 142(10): 2097-2103.

（编辑 / 陈汪丹）