

DOI: 10.5846/stxb202204141001

覃小彬, 付昌健, 向晨旭, 蓝方源, 李翔, 邢晓莹. 家燕营巢特征及其对城市环境的适应性. 生态学报, 2023, 43(15): 6345-6353.

Qin X B, Fu C J, Xiang C X, Lan F Y, Li X, Xing X Y. Nesting characteristics and plasticity of barn swallow (*Hirundo rustica*) in urban environment. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(15): 6345-6353.

家燕营巢特征及其对城市环境的适应性

覃小彬^{1,2}, 付昌健³, 向晨旭⁴, 蓝方源^{1,2}, 李翔^{1,2}, 邢晓莹^{1,2,*}

1 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 哈尔滨 150040

2 东北亚生物多样性研究中心, 哈尔滨 150040

3 南京大学生命科学学院动物行为与保护实验室, 南京 210023

4 浙江大学生命科学学院, 杭州 310058

摘要: 城市面积在全球范围内迅速扩张, 一些鸟类种群通过改变营巢特征, 在与自然生境截然不同的城市中筑巢繁殖。但目前城市环境对于鸟类营巢影响的研究较缺乏。为了解鸟类营巢对城市环境的适应, 于 2016、2019 年在黑龙江哈尔滨的城市与乡村环境, 分别测量家燕 (*Hirundo rustica*) 巢 (如, 大小及形状) 及巢址特征等 (如, 距地面和屋顶距离) 参数, 以探究: (1) 家燕巢特征在乡村及城市生境是否存在差异? (2) 家燕巢特征在年际间是否存在变化? 并为城市家燕种群的保护提供理论依据及合理建议。研究采用 Kruskal-Wallis 秩和检验以及 Wilcoxon 秩和检验比较分析所测量的巢特征参数在城乡之间、年际间的差异, 并对组间参数进行线性判别分析 (LDA, Linear Discriminant Analysis)。结果发现, 城乡间具有显著差异: (1) 与乡村相比, 城市巢距离屋顶更远, 距地相对更近 ($P < 0.05$); (2) 城市巢更浅 ($P < 0.05$); (3) 从 2016 到 2019 年, 城市和乡村巢都变得更深, 半径更大 ($P < 0.05$)。根据这些发现, 推测城市楼房建筑的楼道为家燕繁殖提供了相对更为封闭、安全的环境, 旧巢及较为丰富的支撑物为家燕提供了适宜的巢址, 有可能节省亲鸟在营巢上的繁殖投入; 但同时应当警惕门窗关闭、资源受限、人为干扰等不利因素可能造成的生态陷阱。

关键词: 家燕; 城市化; 营巢; 巢特征; 城乡差异

Nesting characteristics and plasticity of barn swallow (*Hirundo rustica*) in urban environment

QIN Xiaobin^{1,2}, FU Changjian³, XIANG Chenxu⁴, LAN Fangyuan^{1,2}, LI Xiang^{1,2}, XING Xiaoying^{1,2,*}

1 College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Northeast Asia Biodiversity Research Center, Harbin 150040, China

3 Lab of Animal Behavior and Conservation, School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China

4 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: Since the 20th century, urban areas have rapidly expanded worldwide, and some bird populations have changed their nesting characteristics in urban habitat that completely differed from their natural habitats. However, we still have limited knowledge about the impact of urban environment on bird nesting. Both the positive and negative urbanization effects on birds nesting and breeding outputs have been reported. In order to understand the plasticity of bird nests in urban environment, this study measured 10 nesting (e.g., size and shape) and site parameters (e.g., distance from the ground and roof) of barn swallow (*Hirundo rustica*) from both urban and rural habitats in Harbin, Heilongjiang Province in 2016 and 2019. We aimed to explore: (1) Did any difference exist in nest characteristics between rural and urban habitats? (2) Did the nest characteristics of barn swallow vary between years? We also provided the theoretical basis and reasonable

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项 (2572022BE02); 国家自然科学基金 (32170485, 31770454); 东北林业大学大学生创新训练项目 (202110225053)

收稿日期: 2022-04-14; **采用日期:** 2022-12-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ab71588@163.com

suggestions for protection of urban barn swallow populations. Kruskal-wallis rank sum test and Wilcoxon rank sum test were used to compare and analyze the differences between urban and rural nests and inter-annual characteristic parameters, and Linear Discriminant Analysis (LDA) was performed on characteristics of urban and rural nests in 2016 and 2019. The results showed the difference between urban and rural areas: (1) compared with nests in rural habitat, urban nests were farther from the roof and closer to the ground relatively ($P<0.05$), and to avoid bad weather or predation may caused rural nests much higher from grounds and closer to roofs which built outside doors; (2) The nests in urban were much shallower than those in rural habitat ($P<0.05$), and may correlate with saving earths or times invested in building nests which above supporting substrates. As for difference from 2016 to 2019, (3) both urban and rural nests became deeper with larger radius ($P<0.05$) which assumed that because the barn swallows reused the old nests with repairs, which made the nests became bigger and deeper with the using time increased many. In terms of these results, we assumed that the stairway corridors in urban buildings provided a relatively closed and safe environment for barn swallows, and the old nests and abundant anthropogenic upholders provided suitable nesting sites for them, which could save the breeding costs of bird parents on the nest. Nevertheless, we should also pay great attentions on the ecological traps caused by closed doors and windows, limited resources, and human interference which can decrease the birds' breeding success.

Key Words: Barn swallow (*Hirundo rustica*); urbanization; nesting; nest characteristics; differences between urban and rural areas

19—20 世纪以来,城市化进程在全球范围内快速持续发展,至 2030 年,城市面积将高达 120 万 km^2 ,约为 2000 年的 3 倍,已经对生物多样性产生极为广泛的影响^[1]。城市化是高度人为干扰下导致的生境快速变化过程,会促使城市野生动物产生表型分化,并对其繁殖产生影响^[2]。鸟类(Aves)是最为适应城市环境的动物类群之一^[3],相应的城市生态学研究也比较丰富^[3–7]。城市化对不同鸟种的繁殖影响不同,有些研究未发现繁殖特征在城市环境中有明显变化,如繁殖于城市公园和落叶林这两个不同生境中的大山雀(*Parus major*),巢的大小和质量没有明显差异^[8–9];但其他研究却证实雏鸟表型^[10]、巢材^[11]、巢址选择^[12–13]等特征随城市化环境产生了改变,并反映出一定的适应性^[3–4]。

鸟巢为卵孵化及雏鸟生长发育提供适宜的微气候环境,因此筑巢是保障繁殖成功的关键^[14]。但目前有关城市鸟类的研究更多关注于其他繁殖特征,而较为忽略营巢生物学^[7]。探究城市鸟巢的结构与营巢生境,有助于了解鸟类应对城市化的适应性策略、并为城市建设规划提供鸟类保护的科学依据。目前,城市化对鸟类繁殖影响的研究发现了不同的结果:一方面,城市鸟类可通过改变营巢特征,或利用人工结构、建筑、垃圾等作为巢材或巢址以适应城市化的新环境,例如,喜鹊(*Pica pica*)巢离地高度随着城市化水平的提高而增加,以避免行人的干扰^[15];在缺少适宜筑巢树木的情况下,乌鸫(*Turdus merula*)会选择在电线、空调、阳台、护栏、花盆或花架、遮雨棚等人工的结构上筑巢^[12];城市中繁殖的家朱雀(*Carpodacus mexicanus*)会在巢中添加废弃的烟头减少雏鸟体表寄生虫^[16]。但另一方面,城市中使用人工结构或材料也直接或间接地对鸟类繁殖产生负面影响^[7],例如,某些适宜筑巢的建筑或结构只能暂时性地被利用,当城市改造或为消除危险隐患而拆除这些结构,将导致鸟类繁殖失败^[17];而城市鸟类巢材中人工材料,如塑料、绳子等可因缠绕雏鸟、或被雏鸟意外吞食而造成较高的雏鸟死亡率^[18–20]。此外,人工材料的其他特性也会影响鸟类繁殖,如城市中褐背鸫(*Turdus grayi*)更多使用金属钉、玻璃等作为巢材,与树枝、植物根等自然材料相比,其保温性能明显更差,亲鸟需要提高代谢产热以维持后代生长发育所需的温度条件^[11]。因此,城市环境对鸟类繁殖可产生正、负面的不同影响^[4,7],说明在探究城市鸟类生态学问题时,有必要针对不同鸟种类群开展特定研究,综合考虑各种因素对鸟类筑巢的影响。

家燕(*Hirundo rustica*)属雀形目(Passeriformes)燕科(Hirundinidae)的一种世界性广布鸟类^[21],喜好在人类建筑物上筑巢繁殖,因此是探究城市环境对鸟类巢特征影响的理想物种。目前,家燕繁殖种群在北美洲正在下降^[22],对家燕的城市化适应研究仅关注了繁殖生态学^[23–26],而对于城市化进程如何影响家燕营巢却研究甚少。本研究通过对比黑龙江哈尔滨城市和乡村的家燕(*Hirundo rustica mandschurica*)在城市和乡村不同

生境中的巢特征,以探究:(1)家燕巢特征在乡村及城市生境是否存在差异?(2)家燕巢特征在年际间是否存在变化?通过这些差异了解家燕对于城市化的适应,以及城市中哪些对家燕繁殖不利的生态因素;同时结合这些研究结果为城市家燕种群的保护提供理论依据及合理建议。

1 方法

1.1 研究地概况

哈尔滨市地处中国东北平原东北部地区,位于黑龙江省南部,属中温带大陆性季风气候。研究地点选择哈尔滨市香坊区东北林业大学家属区(126.64°E,45.72°N)及附近的松岩小区作为家燕的城市繁殖地、尚志市帽儿山镇仁和村(127.58°E,45.27°N,距离林大家属区 93.9 km)作为乡村繁殖地。东北林业大学家属区临近城市绿地、林场、沟河等,可为家燕的繁殖提供筑巢的泥土、干草,以及双翅目(Diptera)、鳞翅目(Lepidoptera)、鞘翅目(Coleoptera)等昆虫食物资源。长期监测发现每年均有家燕通过开放的门窗进入家属区楼道内筑巢繁殖,仁和村也由家燕及金腰燕(*Cecropis daurica*)每年春季迁回在农户房舍屋檐下筑巢繁殖。

1.2 巢特征参数测量

家燕于4月底至5月上旬迁回黑龙江省繁殖,5月末至6月初开始产卵^[26]。于2016、2019年9—10月待家燕陆续南迁后收集上述城市、乡村两种生境中家燕筑巢数据,以避免对家燕繁殖的影响。使用111n—101ga型数显游标卡尺(桂林广陆数字测控有限公司,量程300 mm,精度0.01 mm)及卷尺测量空巢及位置共10种特征参数(表1;图1)。由于家燕巢往往形状不对称,且左右侧巢壁厚度有时也不一致,因此为了较好的体现巢特征,本研究以巢最低点到巢口的垂点为中心(垂线即为巢高度),分别测量了左侧及右侧的内、外径(图1)。下文图表中各项巢特征参数均用英文缩写代替,2016年和2019年城市(Urban)组分别用“U2016、U2019”代替,乡村(Rural)组用“R2016、R2019”代替。巢位置特征参数中巢距地高度比(NHRG)的计算方式为: $NHRG = NHG / (NHR + NH + NHG)$;巢距顶高度比(NHRR)的计算方式为: $NHRR = NHR / (NHR + NH + NHG)$ 。

表1 10种家燕巢及巢周特征参数

Table 1 Ten nest and surrounding characteristic parameters of barn swallow

参数 Parameters	英文全称 English full name	英文缩写 Abbreviation	参数 Parameters	英文全称 English full name	英文缩写 Abbreviation
巢特征参数 Nest characteristic parameters			巢位置特征参数 Nestsite characteristic parameters		
巢深/cm	Nest Depth	ND	巢距地高度/cm	Nest Height to Ground	NHG
左内径/cm	Nest Left Radius	NLR	巢距顶高度/cm	Nest Height to Roof	NHR
右内径/cm	Nest Right Radius	NRR	巢高度/cm	Nest Height	NH
左外径/cm	Nest Left Radius Outer	NLRO	巢距地高度比	Nest Height Ratio to Ground	NHRG
右外径/cm	Nest Right Radius Outer	NRRO	巢距顶高度比	Nest Height Ratio to Roof	NHRR

1.3 统计分析

对于2016、2019年城乡10种巢特征参数,首先使用R语言中的‘shapiro.test’函数进行Shapiro-Wilk检验分析各参数正态性,结果发现所有参数显著性均为: $P < 0.001$,均不符合正态分布。因此运用非参数检验中的Kruskal-Wallis秩和检验对2016、2019年城乡巢之间各参数的差异性进行分析。随后使用Wilcoxon秩和检验进行4组(即U2016、R2016、U2019、R2019)间多重比较,以探究不同年际之间和城乡之间巢特征的显著性差异。使用R语言‘MASS’包中的‘lda’函数对4组巢特征参数进行线性判别分析(LDA, Linear Discriminant Analysis),结果发现LD1及LD2可累计解释高达91.23%的差异,因此使用这两个判别函数来进行分类(表2)。所有数据的统计分析均使用软件R 4.1.2(<http://www.r-project.org>)及Rstudio 1.3.1093(<https://www.rstudio.com>)完成。

2 结果

2.1 城乡家燕巢特征描述

家燕巢属于泥巢,为亲鸟在雨后衔泥丸混合干草等粘贴于墙上,累叠筑成,呈杯状或半碗状,巢内铺垫羽毛、干草等。本研究中城市巢建筑于居民楼的楼道内,大部分巢底部以金属或塑料水管、电线、灯座、分线箱等人工结构作为支撑物。2019 年调查的 107 个城市巢中,96 个巢具有这些支撑物(90%)。有支撑物的巢形状略不规则,无支撑物则为典型的杯状或半碗状。乡村中巢大多建筑在屋舍房檐之下(图 2)。本研究共测量城乡家燕巢 97 个,其中 2016 年测量城市巢 36 个,农村巢 30 个;2019 年测量城市巢 20 个,农村巢 11 个,下文以 n 代表巢数量。

2.2 城市与乡村的巢特征差异

2016 年,城市家燕巢的距地高度(NHG)、巢深(ND)、巢距地高度比(NHRG)显著低于乡村巢($P<0.$

001),距顶高度(NHR)、巢距顶高度比(NHRR)显著高于乡村巢($P<0.001$),其他参数无显著性差异。2019 年,城市家燕巢的距地高度(NHG, $P=0.047$)、巢深(ND, $P=0.028$)、巢距地高度比(NHRG, $P<0.001$)显著低于乡村巢,距顶高度(NHR)、巢距顶高度比(NHRR)显著高于乡村巢($P<0.001$),其他参数无显著性差异(表 3,表 4,表 5,图 3)。

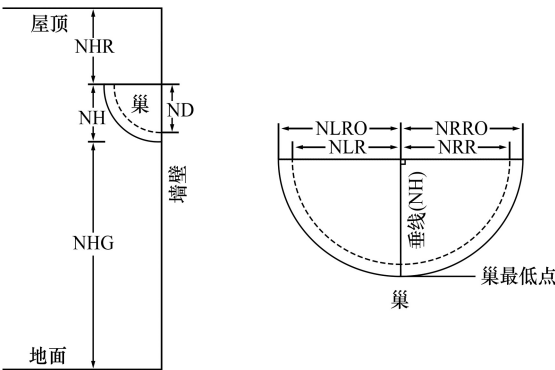


图 1 家燕巢特征参数测量示意图

Fig.1 Schematic diagram of characteristic parameter measurement of barn swallow nest

NHR:巢距顶高度 Nest height to roof; NH:巢高度 Nest height; ND:巢深 Nest depth; NHG:巢距地高度 Nest height to ground; NLRO:左外半径 Nest left radius outer; NRRO:右外半径 Nest right radius outer; NLR:左内半径 Nest left radius; NRR:右内半径 Nest right radius

表 2 2016、2019 年城乡巢参数 4 组间线性判别分析(LDA)

Table 2 Linear discriminant analysis (LDA) for four groups of urban and rural nest parameters in 2016 and 2019

线性判别函数 Linear discriminant function	LD1	LD2	LD3
比例 Proportion of trace/%	58.86	32.37	8.76
奇异值分解 Singular value decomposition(SVD)	7.706	5.715	2.973
线性判别系数 Coefficients of linear discriminants			
NHG	0.008	0.020	0.040
NHR	-0.141	0.025	-0.497
NH	-0.127	0.063	-0.260
NHRG	-65.581	15.992	-132.480
NHRR	-8.911	10.919	34.346
ND	-0.744	0.133	0.153
NLR	-0.438	-0.051	-0.115
NRR	0.996	0.731	-0.171
NLRO	-0.167	-0.561	0.276
NRRO	-0.440	-0.326	-0.102

表 3 2016、2019 年城乡巢特征参数值(均值±标准误)

Table 3 Urban and rural nest characteristic parameter values in 2016 and 2019 (Mean±SE)

	NHG/cm	NHR/cm	NH/cm	NHRG	NHRR	ND/cm	NLR/cm	NRR/cm	NLRO/cm	NRRO/cm
U2016($n=36$)	240.23±16.98	46.92±22.11	8.75±4.47	0.81±0.07	0.16±0.07	1.87±0.72	5.06±1.48	5.06±1.48	7.11±1.66	6.97±1.78
R2016($n=30$)	297.24±55.54	9.14±9.67	9.53±2.46	0.94±0.04	0.03±0.04	4.26±1.53	5.62±1.77	5.62±1.77	7.62±1.97	7.58±1.9
U2019($n=20$)	237.64±15.25	34.43±20.66	11.47±4.68	0.84±0.07	0.12±0.07	2.94±0.84	5.35±1.06	5.06±1.48	8.85±1.87	8.39±2.86
R2019($n=11$)	253.91±19.17	3.86±0.87	8.34±1.62	0.95±0.01	0.01±0.01	3.85±0.73	5.55±0.93	5.68±0.81	9.32±0.9	9.59±1.00

n 表示巢的数量,U:城市(Urban),R:农村(Rural)



图2 城市及乡村家燕巢照片(陈睿涵拍摄)

Fig.2 Photographs of urban and rural nests (Photographed by Ruihan Chen)

表4 2016、2019年城乡巢特征参数 Kruskal-Wallis 秩和检验

Table 4 Kruskal-wallis rank sum test of urban and rural nest characteristic parameters in 2016 and 2019

	NHG/cm	NHR/cm	NH/cm	NHRG	NHRR	ND/cm	NLR/cm	NRR/cm	NLRO/cm	NRRO/cm
<i>H</i>	35.591	57.647	8.017	55.151	57.930	54.710	10.283	10.130	27.446	19.217
<i>df</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>P</i>	<0.001 ***	<0.001 ***	0.046 *	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***	0.016 *	0.018 *	<0.001 ***	<0.001 ***

* $P<0.05$; * * $P<0.01$; * * * $P<0.001$

表5 2016、2019年城乡巢特征参数多重比较(Wilcoxon 秩和检验)差异显著性

Table 5 Significant difference for multiple comparison (Wilcoxon rank sum test) of urban and rural nest characteristics in 2016 and 2019

	U2016-R2016	U2016-U2019	U2016-R2019	R2016-U2019	R2016-R2019	R2019-U2019
NHG/cm	<0.001 ***	0.778	0.052	<0.001 ***	0.018 *	0.047 *
NHR/cm	<0.001 ***	0.058	<0.001 ***	<0.001 ***	0.499	<0.001 ***
NH/cm	0.295	0.128	0.720	0.720	0.382	0.382
NHRG	<0.001 ***	0.259	<0.001 ***	<0.001 ***	0.759	<0.001 ***
NHRR	<0.001 ***	0.096	<0.001 ***	<0.001 ***	1.000	<0.001 ***
ND/cm	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***	0.001 **	0.735	0.028 *
NLR/cm	0.092	0.092	0.092	1.000	1.000	1.000
NRR/cm	0.077	0.940	0.033 *	0.562	0.940	0.341
NLRO/cm	0.136	<0.001 ***	<0.001 ***	0.038 *	0.002 **	0.273
NRRO/cm	0.244	0.244	<0.001 ***	0.378	0.003 **	0.244

* $P<0.05$; * * $P<0.01$; * * * $P<0.001$

2.3 巢特征的年际差异

对于城市家燕巢,与2016年相比,2019年仅巢深(ND)及左外径(NLRO)显著增加($P<0.001$)。对于乡村巢,与2016年相比,2019年仅距地高度(NHG)略低($P=0.018$)、而左外径(NLRO)和右外径(NRRO)显著增加($P<0.01$,表3,表4,表5,图3)。

根据线性判别分析结果,判别函数LD1中巢距地高度比(NHRG)与巢距顶高度比(NHRR)两个参数的线性判别系数最大,呈现负相关关系($-65.581, -8.911$);LD2中也为这两个参数系数最大,但呈正相关关系($15.992, 10.919$,表2)。因此通过巢距地高度比(NHRG)与巢距顶高度比(NHRR)两个参数,可以将城市与乡村、不同年际间的巢明显区分(图4)。

3 讨论

本研究通过测量并对比2016年、2019年哈尔滨城市与乡村家燕营巢特征参数,结果发现不同年份的城

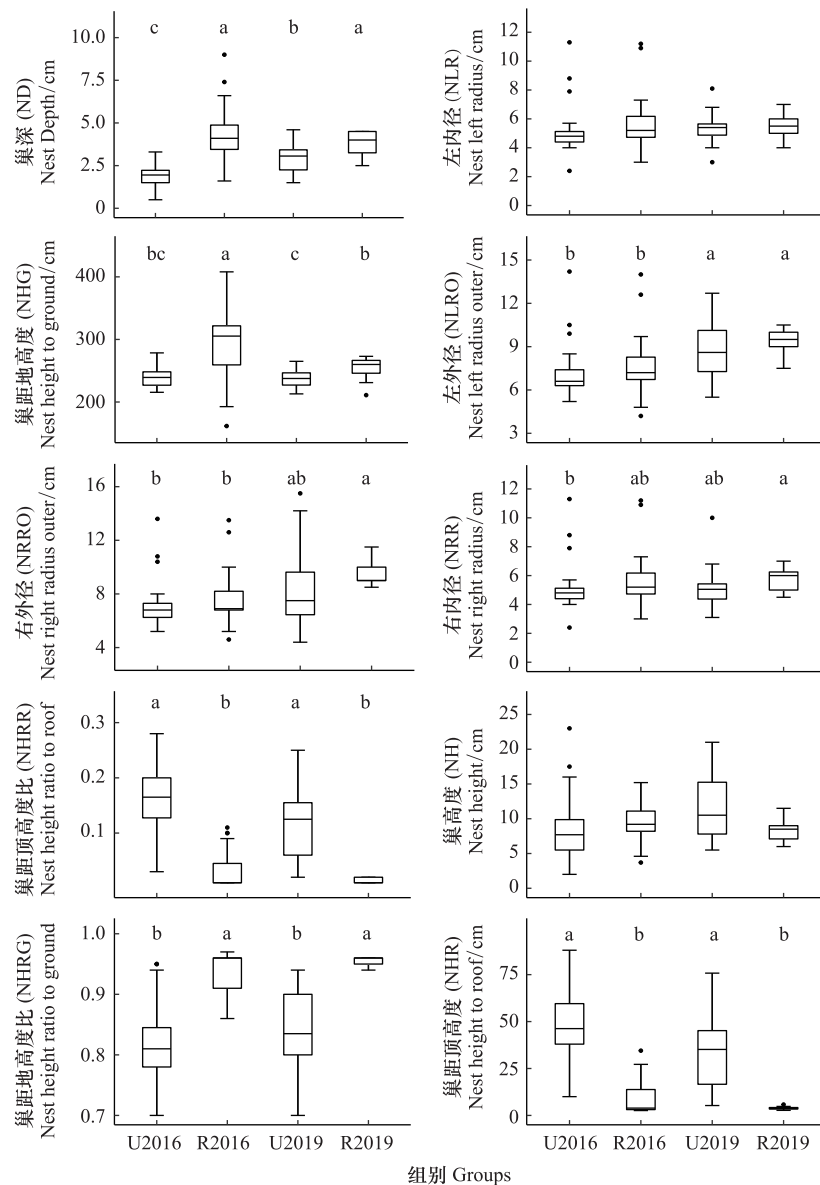


图3 2016、2019 城乡之间 10 种巢特征参数箱线图

Fig.3 Box plots of 10 urban and rural nest characteristic parameters in 2016 and 2019

不同字母表示组间差异性显著,相同字母反之;NHRR:巢距顶高度比 Nest height ratio to roof;NHRG:巢距地高度比 Nest height ratio to ground; U:城市 Urban;R:农村 Rural

乡差异相似,均为:(1)与乡村相比,城市家燕巢距离建筑物顶部更远、距离地面更近;(2)城市家燕巢比乡村巢更浅,例如,2016年,城市巢深仅为 (1.87 ± 0.72) cm($n=36$),而乡村巢深均值可达 (4.26 ± 1.53) cm($n=30$);(3)从2016到2019年,城市及乡村巢都变得更深,半径更大($P<0.05$)。

3.1 营巢特征的城乡差异

能够利用城市建筑营巢是鸟类适应城市环境的体现^[4,6],而在城市环境中筑巢往往也会改变巢址或结构特征^[27]。本研究发现无论在2016年还是2019年,城市与乡村家燕巢的特征参数差异均主要集中于距地、距顶距离以及巢深。城市巢距地面更近、距顶更远,这些差异是由于城市与乡村建筑的不同导致的。已有研究发现城市与乡村或者自然生境、甚至不同的城市环境,均会改变鸟类巢址选择,例如,营树洞巢的鸳鸯(*Aix galericulata*),在城市环境中会选择居民楼厨房的通风道简单营巢进行繁殖^[28]。本研究中仁和村家燕大多选

择在农舍屋檐下的室外环境筑巢,距离屋檐较近、离地相对较高,可能有利于应对强风暴雨等恶劣天气、躲避猛禽等天敌或者降低人为干扰。有研究发现,为避免行人的干扰,喜鹊会提高巢的离地高度^[15]。而城市家燕主要在楼道中筑巢,很大程度上避免了恶劣天气及天敌的威胁,无需距离屋顶更近。同时,为了避免人为干扰(如噪音或楼道灯光等)或因楼道窗户的关闭情况,家燕往往将巢筑在顶楼。

城乡建筑的差异及巢支撑物在墙壁上的高度,是影响城市巢距离地面或楼顶距离的主要因素。2019 年 90% 的城市巢筑在楼道中的水管、电线等人工结构等支撑物之上,而这些支撑物通常都离建筑物顶部有一定距离,从而巢距楼顶距离比乡村更远。此外,其他城市地区的家燕^[23,25]、以及其他鸟种,例如乌鸫、灰斑鸠(*Streptopelia decaocto*)、普通雨燕(*Apus apus*)等城市鸟类也会利用这些城市建筑结构来营巢^[7,29],因此人工结构的支撑物对于城市鸟类营巢具有很重要的作用。

与乡村家燕巢相比,城市巢较浅,也可能与支撑物的利用相关。因为有巢底部的支撑物托举,亲鸟可减少使用泥土而节省繁殖中的能量/时间投入,这符合巢材使用的新位置假说(new location hypothesis)^[4,7,12,30]。同时,乡村较为开放的营巢环境及风、雨水等气候因素,会使得巢内热量较快流失,乡村较深的巢较大幅度的保持了巢内温度;但对城市来说,楼道环境温度本身就相对稳定。此外,对于鸟类繁殖特征研究发现,巢深度也与巢重量、窝卵数具有相关性^[8],如草原林莺(*Setophaga discolor*)较浅的巢杯通常只有较少的窝卵数^[31]。同时,城市中的热岛效应(heat-island effect)也会影响雏鸟的体重^[32],进而造成巢大小、深度的变化。该假说是否适用于本研究中的城乡家燕种群,还尚待进一步检验。总之,城乡巢特征的差异是受多种繁殖及环境因素共同影响,同时产生一定综合的适应性的结果。

3.2 营巢特征的年际间差异

2019 年的家燕巢比 2016 年更大、更深,推测可能原因是家燕对旧巢的重复利用。部分家燕会用新巢材修补旧巢而重复使用旧巢^[33],如李翔等^[26]对旧巢繁殖利用率的调查,发现 2016 年、2017 年东北林业大学校园家属区家燕对旧巢利用率分别达 70% (14/20) 和 60% (15/25)。亲鸟用泥土在旧巢基础上的修补,可能使得 2016 年到 2019 年,城市巢越来越深、巢半径越来越大。重复利用旧巢,或许可节省亲鸟建造新巢所消耗的时间和能量投入,从而将精力投入其他繁殖活动^[34-36]。除此之外,城市旧巢的高利用率也可能与巢材来源有关。乡村的农田、土路、菜园、池塘等环境在雨后均有丰富的泥土来源,而城市环境泥土相对更难获得。据观察,城市家燕主要从校园家属区附近的一条河沟及林场采集泥土,到巢址距离相对较长,因此利用旧巢可以节省亲鸟采集泥土的投入,同时这也解释了城市巢相对更浅的结果。

3.3 对城市繁殖家燕的保护建议

综合考虑城市环境对鸟类繁殖影响的多种影响因素,对分析鸟类城市生态学问题会更科学、有效^[6-7]。选择定居在城市中营巢繁殖,对于鸟类来说可能同时存在利弊^[3,7]。例如,干旱年份的小嘴地雀(*Geospiza fuliginosa*)可在城市环境中获得更多人为食物,因此比非城市种群具有更高的幼鸟出飞率,但这种优势是以城市种群因巢中绳子、塑料等人为材料(缠绕、吞食)造成 18% 的雏鸟死亡率为代价^[37]。因此,以自然栖息生境中的繁殖为参照,对比分析城市中的有利及不利因素的共同作用,对城市鸟类保护更具实践意义。

城市化环境对于家燕繁殖也同时存在多种不同的影响作用。一方面,由于家燕的开放式巢,较强的夜间人工照明可提高雏鸟夜间乞食强度,刺激亲鸟更频繁喂食,从而有更高的出飞率^[38]。此外,城市建筑也为家燕筑巢繁殖提供了比乡村建筑更适宜生境,例如本研究中家属区楼道中相对封闭而较少人为干扰和天敌威胁

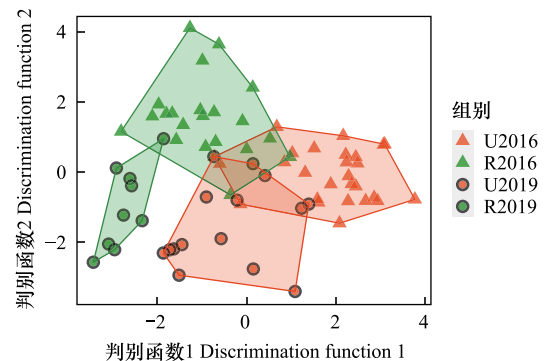


图 4 2016、2019 城乡巢特征参数线性判别分析(LDA)散点图

Fig.4 Scatter plots of linear discriminant analysis (LDA) for urban and rural nest characteristic parameters in 2016 and 2019

环境^[39-40]、并且有较多的人造结构可作为筑巢支撑物,不仅使得巢基部更为牢固,也极可能减少繁殖期亲鸟对筑巢的投入。未来仍需继续监测城市中家燕繁殖动态,尤其需分析窝卵数、孵化率、雏鸟成活率、出飞率等繁殖成效与营巢特征之间的相关性、或城乡间的差异性^[33]。例如,有研究发现乡村中大山雀 14 日龄雏鸟比城市生境更重、跗跖更长^[10],城乡雏鸟体型上的差异可能与巢特征有密切联系。

但另一方面,也需警惕某些城市环境可能成为家燕繁殖的生态陷阱^[4,7,41]。首先,相比农村或市郊生境,城市中较少的昆虫资源会造成较低的雏鸟体重、更长的雏鸟生长发育期、较低的出飞率等^[42]。其次,对某些人造结构的使用不当,则会降低繁殖适合度而导致种群下降^[6]。例如有些家燕也会选择户外屋檐下筑巢,而金属屋檐的温度条件比木质更为极端,很容易造成繁殖在金属屋檐下的雏鸟因高温而死亡^[43]。再者,本研究中的楼房内筑巢繁殖的家燕保护,需要注意的是繁殖期时周围环境中的不稳定的因素,如楼道窗户的随意关闭,可能会导致孵化期或育雏期亲鸟无法及时回巢,而导致蛋或雏鸟发育受到影响。此外,本研究还发现部分居民因卫生条件而对家燕巢进行清理而导致家燕繁殖失败^[23,26]。同时,楼道中墙面往往较为光滑,多次发现家燕衔来的泥丸粘黏不牢而脱落^[24],这或许也促使家燕不得不将已有建筑结构作为筑巢支撑物。而乡村也存在同样的问题,乡村经济振兴促使越来越多农舍房屋选用表面光滑的瓷砖建材,虽美观整洁但这些材料会大大增加家燕筑巢的难度。

最后,鉴于家燕具有重要生态功能,且其种群数量下降的现状^[22,44-45],基于本研究结果,对城市家燕繁殖种群保护提出以下建议:(1)在城市及乡村中安装使用人工家燕巢杯^[33]、巢托^[24],以提供更多的巢址,降低家燕在寻找巢材、筑巢上消耗的时间及投入,提高其繁殖成功率。(2)倡导有家燕繁殖的居民区楼、公寓中的居民在繁殖期尽量避免随意关闭楼道窗户,并适当拆除纱窗,为家燕进出楼道提供顺畅的通道。(3)检查、维修、改换楼道中水管、电线、电灯,变线箱等设施时,应避免对巢造成破坏;如有家燕在其中繁殖,应酌情停工或尽快完成施工,避免干扰家燕繁殖。(4)通过调查当地居民对附近繁殖家燕的态度,适当在巢下安装挡板以方便清理粪便,从而减少居民因卫生条件而破坏或干扰家燕繁殖。(5)促进野生动物保护法律法规的普及,加强城市鸟类保护的科普及宣传活动,提高爱鸟护鸟的公共意识。

参考文献 (References):

- [1] Seto K C, Güneralp B, Hutyrá L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(40): 16083-16088.
- [2] 柏军鹏. 城市化生境下珠颈斑鸠巢选择对策研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [3] 谢世林, 曹垒, 逯非, 欧阳志云. 鸟类对城市化的适应. *生态学报*, 2016, 36(21): 6696-6707.
- [4] 蓝方源, 马行健, 逯金瑶, 李雨果, 柴汝松, 李翔, 罗亦欧, 张宇泽, 叶子凌, 付昌健, 暴文爽, 李立, 邢晓莹. 城市化对鸟类筑巢的影响研究综述. *生物多样性*, 2021, 29(11): 1539-1553.
- [5] 张琴, 兰思思, 黄秦, 陈水华. 城市化对鸟类的影响: 从群落到个体. *动物学杂志*, 2013, 48(5): 808-816.
- [6] Mainwaring M C. The use of man-made structures as nesting sites by birds: a review of the costs and benefits. *Journal for Nature Conservation*, 2015, 25: 17-22.
- [7] Reynolds S J, Ibáñez-Álamo J D, Sumasgutner P, Mainwaring M C. Urbanisation and nest building in birds: a review of threats and opportunities. *Journal of Ornithology*, 2019, 160(3): 841-860.
- [8] Gładalski M, Bańbura M, Kaliński A, Markowski M, Skwarska J, Wawrzyniak J, Zieliński P, Cyżewska I, Bańbura J. Effects of nest characteristics on reproductive performance in blue tits *Cyanistes caeruleus* and great tits *Parus major*. *Avian Biology Research*, 2016, 9(1): 37-43.
- [9] Lambrechts M M, Charmantier A, Demeyrier V, Lucas A, Perret S, Abouladzé M, Bonnet M, Canonne C, Faucon V, Grosset S, le Prado G, Lidon F, Noell T, Pagano P, Perret V, Pouplard S, Spitaliéry R, Bernard C, Perret P, Blondel J, Grégoire A. Nest design in a changing world: great tit *Parus major* nests from a Mediterranean city environment as a case study. *Urban Ecosystems*, 2017, 20(6): 1181-1190.
- [10] Biard C, Brischoux F, Meillere A, Michaud B, Niviere M, Ruault S, Vaugoyeau M, Angelier F. Growing in cities: an urban penalty for wild birds-A study of phenotypic differences between urban and rural Great Tit chicks (*Parus major*). *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2017, 5:79.
- [11] Corrales-Moya J, Barrantes G, Chacón-Madriral E, Sandoval L. Human waste used as nesting material affects nest cooling in the clay-colored thrush. *Environmental Pollution*, 2021, 284: 117539.
- [12] Wang Y P, Huang Q, Lan S S, Zhang Q, Chen S H. Common blackbirds *Turdus merula* use anthropogenic structures as nesting sites in an urbanized landscape. *Current Zoology*, 2015, 61(3): 435-443.
- [13] Han Y Q, Bai J P, Zhang Z, Wu T, Chen P, Sun G L, Miao L W, Xu Z F, Yu L J, Zhu C Y, Zhao D Q, Ge G, Ruan L Z. Nest site selection

- for five common birds and their coexistence in an urban habitat. *Science of the Total Environment*, 2019, 690: 748-759.
- [14] Moreno J, Martínez J, Corral C, Lobato E, Merino S, Morales J, Martínez-De la Puente J, Tomás G. Nest construction rate and stress in female pied flycatchers *Ficedula hypoleuca*. *Acta Ornithologica*, 2008, 43(1): 57-64.
- [15] Wang Y P, Chen S H, Jiang P P, Ding P. Black-billed magpies (*Pica pica*) adjust nest characteristics to adapt to urbanization in Hangzhou, China. *Canadian Journal of Zoology*, 2008, 86(7): 676-684.
- [16] Suárez-Rodríguez M, García C M. An experimental demonstration that house finches add cigarette butts in response to ectoparasites. *Journal of Avian Biology*, 2017, 48(10): 1316-1321.
- [17] Lesiński G. Location of bird nests in vertical metal pipes in suburban built-up area of Warsaw. *Acta Ornithologica*, 2000, 35(2): 211-214.
- [18] Townsend A K, Barker C M. Plastic and the nest entanglement of urban and agricultural crows. *PLoS One*, 2014, 9(1): e88006.
- [19] Henry P Y, Wey G, Balança G. Rubber band ingestion by a rubbish dump dweller, the white stork (*Ciconia ciconia*). *Waterbirds*, 2011, 34(4): 504-508.
- [20] Antczak M, Hromada M, Czechowski P, Tabor J, Zabłocki P, Grzybek J, Tryjanowski P. A new material for old solutions—the case of plastic string used in Great grey shrike nests. *Acta Ethologica*, 2010, 13(2): 87-91.
- [21] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录. 3 版. 北京: 科学出版社, 2017: 228.
- [22] 张凯, 张萌萌, 徐雨. 家燕种群变化趋势研究进展. *四川动物*, 2019, 38(5): 587-593.
- [23] 植飞, 杨天乐, 张东兵, 颜军. 武汉城区燕子繁殖调查研究. *野生动物学报*, 2018, 39(2): 334-339.
- [24] 吴国涛, 马玲, 马钰戎, 李林燕, 魏智清. 城市化背景下家燕巢址选择及对人工巢托利用率的初步研究. *宁夏农林科技*, 2019, 60(12): 32-35, 4.
- [25] 张波. 秦皇岛地区家燕巢址选择初步研究. *唐山师范学院学报*, 2006, 28(2): 29-30, 34.
- [26] 李翔, 谭霄鹏, 赵磊, 陈睿涵, 付昌健, 向晨旭, 袁立成, 叶紫芸, 邢晓莹. 哈尔滨家燕 *mandschurica* 亚种繁殖生态特征. *动物学杂志*, 2019, 54(6): 793-799.
- [27] Hanmer H J, Thomas R L, Beswick G J F, Collins B P, Fellowes M D E. Use of anthropogenic material affects bird nest arthropod community structure: influence of urbanisation, and consequences for ectoparasites and fledging success. *Journal of Ornithology*, 2017, 158(4): 1045-1059.
- [28] 蒋爱伍, 蔡江帆. 鸳鸯利用城市建筑物繁殖初步观察. *动物学杂志*, 2009, 44(3): 135-137.
- [29] Sohi G K, Kler T K. Adaptations in avian nesting behavior in relation to indigenous trees and housing structures in Punjab. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2017, 5: 1045-1051.
- [30] Wesolowski T. Reports from nestbox studies: a review of inadequacies. *Acta Ornithologica*, 2011, 46(1): 13-17.
- [31] Akresh M E, Ardia D R, King D I. Effect of nest characteristics on thermal properties, clutch size, and reproductive performance for an open-cup nesting songbird. *Avian Biology Research*, 2017, 10(2): 107-118.
- [32] Merckx T, Souffreau C, Kaiser A, Baardsen L F, Backeljau T, Bonte D, Brans K I, Cours M, Dahirel M, Debortoli N, de Wolf K, Engelen J M T, Fontaneto D, Gianuca A T, Govaert L, Hendrickx F, Higuti J, Lens L, Martens K, Matheve H, Matthysen E, Piano E, Sablon R, Schön I, van Doninck K, de Meester L, van Dyck H. Body-size shifts in aquatic and terrestrial urban communities. *Nature*, 2018, 558(7708): 113-116.
- [33] 周昌乔, 李翔云. 长春地区两种燕子生态的初步观察. *吉林师大学报*, 1959(1): 126-136.
- [34] Teglhoj P G. Artificial nests for Barn Swallows *Hirundo rustica*: a conservation option for a declining passerine? *Bird Study*, 2018, 65(3): 385-395.
- [35] Jo S R. Adaptive site selection rules and variation in group size of barn swallows: individual decisions predict population patterns. *The American Naturalist*, 2004, 164(2): 121-131.
- [36] Safran R J. Nest-site selection in the barn swallow, *Hirundo rustica*: what predicts seasonal reproductive success? *Canadian Journal of Zoology*, 2006, 84(11): 1533-1539.
- [37] Harvey J A, Chernicky K, Simons S R, Verrett T B, Chaves J A, Knutie S A. Urban living influences the nesting success of Darwin's finches in the Galápagos Islands. *Ecology and Evolution*, 2021, 11(10): 5038-5048.
- [38] Wang J S, Tuanmu M N, Hung C M. Effects of artificial light at night on the nest-site selection, reproductive success and behavior of a synanthropic bird. *Environmental Pollution*, 2021, 288: 117805.
- [39] Møller A P. Urban areas as refuges from predators and flight distance of prey. *Behavioral Ecology*, 2012, 23(5): 1030-1035.
- [40] Vincze E, Seress G, Lagisz M, Nakagawa S, Dingemanse N J, Sprau P. Does urbanization affect predation of bird nests? A meta-analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2017, 5: 29.
- [41] Robertson B A, Rehage J S, Sih A. Ecological novelty and the emergence of evolutionary traps. *Trends in Ecology & Evolution*, 2013, 28(9): 552-560.
- [42] Teglhoj P G. A comparative study of insect abundance and reproductive success of barn swallows *Hirundo rustica* in two urban habitats. *Journal of Avian Biology*, 2017, 48(6): 846-853.
- [43] Imlay T L, Nickerson D, Horn A G. Temperature and breeding success for cliff swallows (*Petrochelidon pyrrhonota*) nesting on man-made structures: ecological traps? *Canadian Journal of Zoology*, 2019, 97(5): 429-435.
- [44] Sauer J R, Pardieck K L, Ziolkowski D J, Smith A C, Hudson M A R, Rodriguez V, Berlanga H, Niven D K, Link W A. The first 50 years of the North American Breeding Bird Survey. *The Condor*, 2017, 119(3): 576-593.
- [45] Laaksonen T, Lehtikoinen A. Population trends in boreal birds: continuing declines in agricultural, northern, and long-distance migrant species. *Biological Conservation*, 2013, 168: 99-107.