

文章编号: 1000-5641(2016)06-0046-08

## 上海大型城市公园斑块结构对鸟类群落的影响

杨 刚<sup>1,2</sup>, 王 勇<sup>3</sup>, 许 洁<sup>3</sup>, 丁由中<sup>3</sup>, 叶 辛<sup>3</sup>, 王正寰<sup>2,3</sup>

(1. 上海科技馆 上海自然博物馆 自然史研究中心, 上海 200127;

2. 华东师范大学 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241;

3. 华东师范大学 生命科学院, 上海 200241)

**摘要:** 本研究以上海植物园、世纪公园、共青森林公园、滨江森林公园和海湾森林公园 5 个大型城市公园为研究地点, 2012 年 5 月到 2013 年 4 月, 采用样线法对 5 个公园进行鸟类群落调查. 借助 ArcGIS10.0 目视解译对 5 个公园的卫星图像进行斑块分类. 基于斑块分类结果, 设置 34 个斑块结构变量(斑块数变量、斑块密度变量、斑块面积变量、斑块边界长度变量、斑块面积周长比变量和斑块多样性指数等). 采用卡方检验比较 5 个公园鸟类种类和数量以及斑块数量是否具有显著差异. 使用多元线性回归分析鸟类数据与斑块结构变量的回归关系. 结果表明, 5 个公园的鸟种数( $\chi^2 = 29.91$ ,  $p < 0.001$ )和数量( $\chi^2 = 4891.12$ ,  $p < 0.001$ )均存在显著差异. 多元线性回归模型显示, 鸟种数与水体斑块数、草地斑块面积周长比和最大斑块指数具有显著的相关性. 鸟类数量与林地斑块面积、林地斑块周长和平均斑块面积显著相关. 林地鸟类与林地斑块面积、草地斑块密度、水体斑块面积显著相关. 本研究为城市野生鸟类保护策略提供理论基础和建议.

**关键词:** 城市公园; 斑块结构; 鸟类群落; 多元线性回归

**中图分类号:** Q145 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2016.06.004

## Influence of patch structure on bird community and structure in Shanghai large urban parks

YANG Gang<sup>1,2</sup>, WANG Yong<sup>3</sup>, XU Jie<sup>3</sup>, DING You-zhong<sup>3</sup>,  
YE Xin<sup>3</sup>, WANG Zheng-huan<sup>2,3</sup>

(1. Natural History Research Center, Shanghai Natural History Museum, Shanghai Science and Technology Museum, Shanghai 200127, China;

2. Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

3. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

**Abstract:** The bird community was surveyed in Shanghai Botanical Garden, Century Park, Gongqing Forest Park, Binjiang Forest Park and Haiwan Forest Park during May

收稿日期: 2016-06

基金项目: 国家自然科学基金(31601872); 上海科技馆基础研究专项基金; 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室开放基金

第一作者: 杨 刚, 男, 助理研究员, 研究方向为生态学. E-mail: yangg@sstm.org.cn.

通信作者: 王正寰, 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为生态学. E-mail: zhwang@ecnu.edu.cn.

2012 to April 2013 by line transect method. We used ArcGIS 10.0 to classify the patches within the urban parks by visual interpretation. Based on the classification, 34 patch variables including patch number, patch density, patch area and patch total edge was set to analyze the relationship between bird communities and patch variables. We used Chi-square test to analyze whether the bird species and abundance in various urban parks differed significantly. Multiple statistical analyses were required to measure how the patch variables affected the bird community composition. Results indicated that there was significant difference among bird richness, bird abundance, the number of patches in 5 urban parks. Multiple linear regression models confirmed that there was significant positive correlation between bird species and the number of Number of Water patches (*WNP*) and Grassland patches shape index (*GSI*). There was significant negative correlation between bird species and the largest patch index (*LPI*). Bird abundance was significant positive correlation with size of Plant patches (*PPS*), mean size of patches (*MPS*) and was significant negative correlation with total edge of Plant patches (*PTE*). In addition, suggestions in relation to the construction of urban parks and vegetation configuration were put forward according to the above results.

**Key words:** urban parks; patch structure; bird community; multiple linear regression

## 0 引 言

快速城市化导致生物多样性丧失和群落结构改变是生态学领域研究热点之一<sup>[1]</sup>。保护城市生物多样性的意义在于:①城市是许多土著物种或者迁徙物种固有的栖息地<sup>[2-3]</sup>;②生物多样性是城市生态系统健康的重要组成部分<sup>[4]</sup>;③城市生物多样性对于城市居民生活质量和舒适度的提高有着不可替代的作用<sup>[5-6]</sup>。鸟类作为生物多样性重要组成部分,是城市生态系统健康的重要指标类群<sup>[7]</sup>。同时,鸟类因其易于观察和广布于各种不同类型生境的特点成为城市生态学和景观生态学领域重要的研究对象<sup>[8-9]</sup>。

城市公园绿地是城市鸟类的主要栖息地,为鸟类直接或间接的提供食物。国内外学者在不同尺度上对城市鸟类的栖息地选择进行了探讨。在城市化尺度上, Sandström<sup>[10]</sup>和 McKinney<sup>[3]</sup>的研究表明,城市化导致自然林地中常见的食虫鸟类、筑地面巢或树洞巢鸟类沿城市化梯度种类和数量都呈减少趋势。在景观尺度上,陈水华等对城市鸟类群落组成的研究表明,园林鸟类群落呈现出不完全的嵌套格局,分布于物种数较少的园林中的物种多数也分布在物种数较多的园林中<sup>[11]</sup>。Wang 的研究也证实了杭州 20 块绿地中 60 种繁殖鸟和越冬鸟类显著符合嵌套结构<sup>[12]</sup>。而 Shanahan 在澳大利亚布里斯班市的研究表明,斑块连通性对鸟类丰富度具有重要影响,而斑块面积和斑块连通性对鸟类多度具有重要影响<sup>[13]</sup>。在微生境尺度上, Fontana<sup>[14]</sup>和 Yang<sup>[15]</sup>的研究进一步表明,城市绿地植被结构,尤其是乔木、灌木结构复杂度与鸟类丰富度和多样性呈显著正相关。

然而,探讨公园内部斑块尺度对鸟类群落影响的研究尚不多见。公园内部斑块结构既反映了公园植被群落的总体构成与复杂程度,又反映出林地斑块、草地斑块、建筑斑块和水体斑块等各类型斑块直接的比例和相互关系,其大小、结构与连通性是影响公园内部鸟类群落结构和分布的关键因子。

因此,本研究选择上海市5个大型城市公园——上海植物园、世纪公园、共青森林公

园、滨江森林公园和海湾森林公园作为研究地点,通过量化分析公园内部斑块结构与鸟类群落组成的关系,研究大型城市公园斑块结构对鸟类群落的影响.对此科学问题的探讨,有助于了解野生动物对城市化过程的适应机制以及为城市野生鸟类保护策略提供理论基础和建议.

## 1 研究方法

### 1.1 研究地点

上海(31°14'N, 121°29'E)属亚热带季风气候,2013年的城市化率为90%,常住人口2 415万,是中国的经济和工业中心.2000年以来,上海的城市绿地建设不断加快,人均绿地面积从2000年的3.62 m<sup>2</sup>增长到2013年的13.38 m<sup>2</sup>,公园数量和面积从2000年的122个和4 812 ha增加到2013年的158个和17 142 ha.从公园大小上看,上海91%的公园面积在80 ha以下.而超过80 ha的大型公园有13个.根据岛屿生态学理论<sup>[6]</sup>,斑块面积越大,其鸟类群落结构也越稳定;而斑块距离越远,斑块内部物种的相似度越低.按照公园面积大于80 ha且公园间距大于5 km的原则,本研究选择城市化水平不同的5个大型公园作为研究地点,分别是上海植物园、世纪公园、共青森林公园、滨江森林公园和海湾森林公园.

上海植物园位于上海市徐汇区,周边以建筑、道路、水体为主,林绿地斑块很少,破碎化分布,城市化水平很高.世纪公园位于上海市浦东新区,周边以建筑、道路为主,林绿地总面积较大但破碎化严重,周边区域整体城市化水平较高.共青森林公园位于上海市杨浦区,公园周边以建筑、道路、水体为主,林绿地斑块化分布,周边城市化水平较高.滨江森林公园位于上海市浦东新区,公园周边以建筑、农田、林绿地为主,林绿地、农田斑块化分布,周边城市化水平较低.海湾国家森林公园位于上海市奉贤区,公园周边以农田、水体、林绿地为主,林绿地、农田斑块化分布,周边城市化水平较低.5个公园的地理位置见图1.

### 1.2 样线设置

在公园内随机设置样点,样点间隔 $\geq 100$  m.将相邻的2个样点联接,联接的路线作为公园鸟类调查的样线,样线穿过公园各种生境类型,抽样强度不小于公园面积的15%,样线长度及抽样强度见表1.

表 1 5个公园的面积、样线长度、样线法调查面积及抽样强度

Tab. 1 Size, line transect length, survey area and sampling intensity in 5 parks				
公园名称	公园面积(SP)/ha	样线长度(L)/km	样线法调查面积(SA)/ha	抽样强度SI
上海植物园	80	3.5	17.6	22%
世纪公园	120	4.5	22.3	19%
共青森林公园	120	5.1	25.5	21%
滨江森林公园	120	4.8	24.0	20%
海湾森林公园	400	12.6	63.0	16%

注:  $SA = 2LW$ ,  $L$ 为样线长度,  $W$ 为单侧样线宽度 25 m;  $SI = SA/SP$

### 1.3 鸟类调查

鸟类调查在2012年5月到2013年4月进行,每月1次.鸟类调查选择晴朗少风的工作日进行,时间一般选择上午06:00~10:00和下午15:00~18:00.为了控制人员变化所带来的误差,每次调查人员固定.每次调查开始样点随机.调查者采用样线法进行鸟类调查,记录样线两侧25 m内听到、看到的鸟类种类和数量,以此计算鸟类变量数据如下.

鸟种数(Species,  $S$ ),调查所记录到的鸟类物种数;

鸟类数量(Abundance of birds,  $A$ ), 调查所记录到的鸟类个体数, 单位为只次;

鸟类密度(Density of birds,  $D$ ), 调查样带的鸟类密度, 公式为  $D = N/2LW$ , 样带单侧宽度为 25 m.  $N$  为样带鸟类数量,  $L$  为样带长度,  $W$  为单侧样带宽度.

鸟类多样性指数(Diversity index of birds)采用香农威纳指数(Shannon-Wiener index,  $H$ ), 公式为

$$H = - \sum P_i \ln P_i, \quad (1)$$

$P_i$  为鸟类群落中第  $i$  种个体数量占鸟类群落总数的比例.



图 1 上海 5 个大型城市公园位置图

Fig. 1 Location of 5 large urban parks in Shanghai

#### 1.4 遥感影像数据获取

本研究卫星图像取自福卫 2 号卫星(FORMOSAT-2)2011 年 12 月的遥感影像, 分辨率为  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ . 目视解译得到了 5 个研究地点的斑块类型数据, 解译数据精度为 93%. 覆盖 5 个研究地点的遥感影像行列号和时相分别为: 滨江森林公园(138507, 20111210)、共青森林公园(138507, 20111210)、海湾森林公园(138523, 20111210)、上海植物园(138511, 20111210)和世纪公园(138509, 20111210). 所有卫星影像经过了几何校正、辐射校正和去云处理.

#### 1.5 公园斑块分类与变量设置

以公园几何中心为中心, 周边  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  区域作为研究区域, 使用 ArcGIS10.0 解译得到了 5 个研究地点的斑块类型数据. 借助 ArcGIS10.0 对 5 个研究地点的解译及解译精度的验证, 在 ArcGIS10.0 中对不同类型斑块面积进行了分析. 本研究将公园分为 6 种不同的斑块类

型, 分别是建筑斑块(Building)、草地斑块(Grassland)、林地斑块(Plant)、道路斑块(Road)、农田斑块(Farmland)和水体斑块(Water). 在上述分析的基础上, 研究人员将通过实地调查的方法对斑块分类进行核实和校正. 借助 ArcGIS10.0 对 5 个研究地点的解译及解译精度的验证, 在 ArcGIS10.0 中对不同类型斑块面积进行了分析. 本研究涉及以下 6 种不同的斑块类型.

- (1) 建筑斑块(Building): 影像以红黄蓝等色调居多, 几何形状特征明显, 边界清晰;
- (2) 农田斑块(Farmland): 影像以浅黄色为主, 颜色均一;
- (3) 草地斑块(Grassland): 影像以浅绿色为主, 颜色均一;
- (4) 林地斑块(Plant): 影像颜色为墨绿、深绿色, 边界清晰, 形状不规则;
- (5) 道路斑块(Road): 影像颜色为黄色、棕黄色, 条状, 边界明显;
- (6) 水体斑块(Water): 影像颜色为黑色.

本研究设置以下 34 个斑块结构变量.

斑块数变量: 包括总斑块数( $NP$ )、建筑斑块数( $BNP$ )、草地斑块数( $GNP$ )、林地斑块数( $PNP$ )、道路斑块数( $RNP$ )和水体斑块数( $WNP$ ).

斑块密度变量: 每平方千米的斑块数包括总斑块密度( $PD$ )、建筑斑块密度( $BPD$ )、草地斑块密度( $GPD$ )、林地斑块密度( $PPD$ )、道路斑块密度( $RPD$ ) 和水体斑块密度( $WPD$ ).

斑块面积变量: 包括整个公园斑块总面积( $PS$ )、建筑斑块总面积( $BPS$ )、草地斑块总面积( $GPS$ )、林地斑块总面积( $PPS$ )、道路斑块总面积( $RPS$ )和水体斑块总面积( $WPS$ ).

斑块边界长度变量: 包括公园斑块边界总长度( $TE$ )、建筑斑块边界总长度( $BTE$ )、草地斑块边界总长度( $GTE$ )、林地斑块边界总长度( $PTE$ )、道路斑块边界总长度( $RTE$ )和水体斑块边界总长度( $WTE$ ).

斑块面积周长比变量: 包括整个公园斑块面积周长比( $SI$ )、建筑斑块面积周长比( $BSI$ )、草地斑块面积周长比( $GSi$ )、林地斑块面积周长比( $PSI$ )、道路斑块面积周长比( $RSI$ )和水体斑块面积周长比( $WSI$ ).

斑块多样性指数( $SHDI$ ): 计算公式为  $SHDI = -\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i$ ,  $P_i$  表示每一斑块类型所占面积与公园斑块总面积的比值.

最大斑块指数( $LPI$ ): 公园中最大斑块的面积除以公园总面积, 计算公式为  $LPI = \text{Max} \frac{(a_1, \dots, a_n)}{A} \times 100$ .

平均斑块面积( $MPS$ ): 公园所有斑块的总面积除以斑块总数.

斑块丰富度( $PR$ ): 公园中不同斑块类型的总数.

## 1.6 数据处理

用卡方检验(Chi-square test)分析不同公园鸟类种类、数量和斑块变量是否存在显著差异. 采用多元线性回归(Multiple Linear Regression)分析斑块变量与鸟类数据的关系, 所有数据用单样本Kolmogorov-Smirnov检验其正态性. 采用AIC信息准则(Akaike information criterion)对所有显著的回归方程进行检验, 直至选出最终的回归方程<sup>[17]</sup>.

所有数据分析在 R-3.2.3 中进行.

## 2 结 果

### 2.1 大型城市公园鸟类群落结构

5 个公园共调查到鸟类 107 种, 21 551 只次, 分属 13 目 39 科. 其中上海植物园 42 种, 2 787 只次, 世纪公园 42 种, 3 005 只次; 滨江森林公园 68 种, 3 999 只次; 共青森林公园 40 种, 3 932 只次; 海湾森林公园 81 种, 7 828 只次(见图 2). 鸟类种类和数量均存在显著差异, 而密度无显著差异(见表 2).

表 2 5 个公园鸟类变量及卡方检验结果

Tab. 2 Bird variables and its chi-square test of five parks							
变量	上海植物园	世纪公园	共青森林公园	滨江森林公园	海湾森林公园	卡方	P值
数量	2 787	3 005	3 932	3 999	7 828	3 860.258	< 0.001
种数	42	43	40	68	81	25.234	< 0.001
密度	159	135	154	166	124	8.301	0.081
香农威纳指数	2.11	2.37	2.49	2.81	3.09	—	—

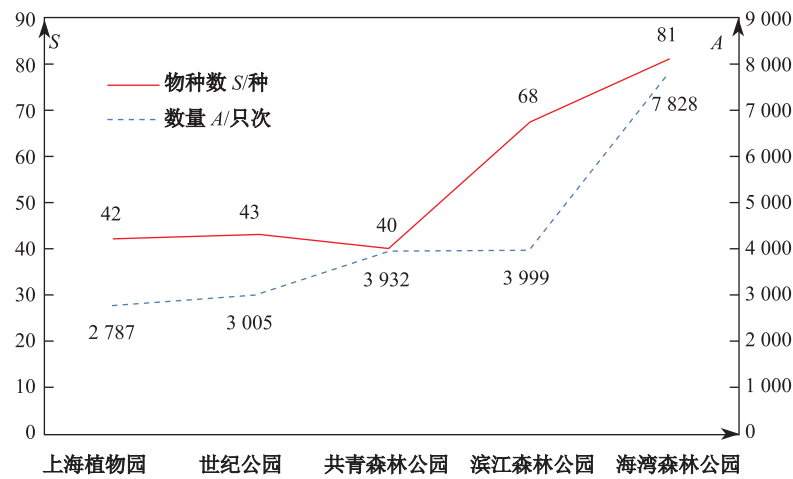


图 2 5 个公园鸟种数与鸟类数量的叠加图

Fig. 2 Combined line chart of bird species and abundance in 5 parks

从居留型<sup>[18]</sup>来看, 共记录到留鸟 28 种, 10 977 只次; 冬候鸟 35 种, 4 189 只次; 夏候鸟 12 种, 1 114 只次; 旅鸟 29 种, 2 477 只次; 逃逸鸟 3 种, 7 只次。

2.2 5 个公园不同类型斑块分析

5 个公园斑块总数量存在显著差异( $\chi^2 = 332.00, p < 0.001$ ), 海湾森林公园斑块数量最多, 共青森林公园斑块数量最少(见表 3)。其中建筑斑块海湾森林公园最多, 滨江森林公园和上海植物园最少( $\chi^2=43.18, p < 0.001$ )。草地斑块海湾森林公园最多, 上海植物园最少( $\chi^2 = 59.56, p < 0.001$ )。林地斑块海湾森林公园最多, 共青森林公园最少( $\chi^2 = 228.60, p < 0.001$ )。道路斑块海湾森林公园最多, 共青森林公园最少( $\chi^2 = 44.80, p < 0.001$ )。水体斑块海湾森林公园最多, 共青森林公园最少( $\chi^2=25.59, p < 0.001$ )。

2.3 公园斑块结构对鸟类群落的影响

多元线性回归模型显示, 鸟种数与水体斑块数、草地斑块面积周长比显著正相关, 与最大斑块指数显著负相关。鸟类数量与林地斑块面积、平均斑块面积显著正相关, 与林地斑块边界总长度显著负相关。林地鸟类与林地斑块面积、水体斑块面积显著正相关, 与草地斑块密度呈显著负相关。涉禽与林地斑块总面积呈显著的正相关。游禽与公园斑块总面积呈显著正相关(见表 4)。

表 3 3 个公园斑块数统计

Tab. 3 The number of patches in 5 urban parks

公园名称	斑块分类					总斑块数
	建筑斑块数	草地斑块数	林地斑块数	水体斑块数	道路斑块数	
上海植物园	17	19	16	12	9	73
世纪公园	27	50	40	13	19	149
共青森林公园	24	20	8	13	4	69
滨江森林公园	17	23	11	18	6	75
海湾森林公园	59	68	101	35	33	296
均值±标准误(Mean±SD)	28.8±7.80	36.0±9.83	35.2±17.39	18.2±4.33	14.2±5.36	132.4±43.52

表 4 鸟类变量和斑块结构变量的多元线性回归模型

Tab. 4 Multiple linear regression models simulating the relationships between bird community data and patch structure variables

	回归模型	残差平方和(F)	调整后R <sup>2</sup>	显著性	拟合优度(AIC)
鸟种数(S)	1.621WNP+1.636GSI -5.194LPI-0.492	6.237×10 <sup>4</sup>	1.000	0.003	10.994
鸟类数量(A)	0.003PPS -0.032PTE +0.008MPS +2.406×10 <sup>3</sup>	3.147×10 <sup>6</sup>	1.000	0.000	14.915
游禽	1.913×10 <sup>-5</sup> PS-4.945	222.408	0.982	0.001	1.357
涉禽	0.001 PPS-232.606	115.074	0.966	0.002	0.698
林地鸟类	2.167×10 <sup>-4</sup> PPS-7.046×10 <sup>7</sup> GPD + 0.002WPS + 4.842×10 <sup>3</sup>	2.195×10 <sup>5</sup>	0.999	0.002	12.252

注: a 根据本次调查结果, 游禽包括鸬鹚目, 涉禽包括鸻形目, 林地鸟类包括雀形目、隼形目、鸺形目、戴胜目、鸽形目、佛法僧目和鸡形目; b  $AIC=\ln(F)+2(P+1)-n\ln(n)$ ,  $F$ 为残差平方和,  $P$ 为回归模型中自变量的数量,  $n$ 为样本数( $n=5$ ); c 斑块变量数据中文名称见 1.5

3 讨 论

3.1 斑块结构与鸟类群落的关系

根据回归模型, 鸟类种类与水体斑块数和草地斑块面积周长比呈显著正相关, 与最大斑块指数呈显著负相关. 因此, 要增加公园鸟类物种数, 不适宜单一的大面积斑块, 而需要增加水体斑块的数量, 同时增加草地斑块的面积周长比. 在城市人工生境中, 单一且面积较大的斑块(水体、林地、草地)往往能够提供的生境类型比较单一, 能显著增加某些鸟类的数量, 而不能显著增加鸟类多样性<sup>[19]</sup>. 而水体斑块尤其是栖息地距水源地的距离对于城市鸟类是重要的限制因子<sup>[15]</sup>.

鸟类数量与林地斑块面积和平均斑块面积呈显著的正相关, 与林地斑块周长呈显著的负相关. 说明增加林地面积、减小周长能够有效增加鸟类数量. 与鸟类种数的影响因子所不同, 城市鸟类数量的增加往往是某些常见物种的增加, 一般来说, 林地斑块面积越大, 鸟类数量也越多.

对于林地鸟类, 其与林地斑块面积、水体斑块面积显著正相关, 与草地斑块密度呈显著负相关. 说明林地面积和水域面积是增加林地鸟类数量的关键因素, 而单一化的草坪不利于林鸟数量的增加. 另外, 大多数的雀形目鸟类偏好林地生境, 建筑斑块面积过大对雀形目鸟类不利.

对于鸻形目鸟类等涉禽, 其与林地斑块总面积呈显著的正相关. 在调查中发现, 以鸻科为主的鸟类筑巢于高大乔木或者乔木林, 因此鸻形目鸟类与林地斑块总面积呈显著的正相关. 而对于鸬鹚科等游禽游禽公园斑块总面积呈显著正相关, 说明小鸬鹚等鸟类已在各个公园广范分布.

3.2 城市公园建设与鸟类栖息地营造

从野生鸟类的保护角度来看,在城市公园的建设过程中,营造不同的生境类型,必然会为鸟类提供不同的栖息地. 栖息地异质化程度在一定程度上决定了公园鸟类的多样性水平. 因此,在公园设计规划时,就应有计划进行功能区划,如裸子植物区(如水杉林)、落叶阔叶林区(如杨树林)、常绿阔叶林区(如香樟林)、水生植物区(芦苇等). 在条件允许的情况下,可留出一定面积的次生林功能区使其自然演替.

在提升公园鸟类群落的过程中,既要兼顾鸟类群落整体的种类和数量,又要注意一些特殊鸟类的数量的维持. 如鹁鸪科鸟类是上海城市公园中一类典型的迁徙鸟类,仅在每年的迁徙季节经过,上海城市公园已经成为其主要栖息地之一. 其数量与草地斑块面积周长比、平均斑块面积呈显著正相关,与斑块面积周长比呈显著负相关. 应当营造鹁鸪科鸟类适宜的栖息地,如提高部分区域的裸滩面积或适宜鹁鸪科鸟类栖息的森林等. 此举既是对上海本地鸟类资源的保护,又保护了整条迁徙路线上的鸟类资源<sup>[20]</sup>.

即使同属目、科的鸟类,也存在生境选择的差异. 以雀形目为例,其与林地斑块面积、斑块多样性指数呈显著的正相关,与建筑斑块总面积呈显著负相关. 由于雀形目是一个很大的类群,不同的鸟类选择的生境也不一致,如麻雀选择伴人的建筑斑块生境,而鸫科鸟类等选择次生林地生境. 鸫科鸟类整体上与草地斑块密度呈显著正相关,与总斑块密度呈显著负相关. 而在我们的调查中,乌鸫在林地生境中均匀分布,斑鸫偏向有开阔区域的林地,灰背鸫等却偏好地被层盖度较大的林地. 因此,在林地斑块的营造中,应注重林下复杂度和乔木层、灌木层、地被层搭配,为多种鸟类提供生态位<sup>[21]</sup>.

**致谢:** 感谢上海植物园、世纪公园、共青森林公园、滨江森林公园和海湾森林公园全体工作人员的大力支持. 感谢上海市市容与绿化管理局、上海市野生动植物管理和保护站、上海市城市化过程与恢复重点实验室以及上海科技馆对本研究的资助. 邹业爱、钟宇、刘晶、路珊和刘佳余关于统计方法对本文提出了建设性意见,对这些无私帮助过我们的人们一并致谢!

## [参 考 文 献]

- [1] GRIMM N B, FAETH S H, GOLUBIEWSKI N E, et al. Global change and the ecology of cities[J]. *Science*, 2008, 319: 756-760.
- [2] CHACE J F, WALSH J J. Urban effects on native avifauna: A review[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 74: 46-69.
- [3] MCKINNEY M L. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals[J]. *Urban Ecosystems*, 2008(11): 161-176.
- [4] NIEMELÄ J. Ecology and urban planning[J]. *Biodiversity and Conservation*, 1999(8): 119-131.
- [5] TYRVÄINEN L. The amenity value of the urban forest: An application of the hedonic pricing method[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 37(3/4): 211-222.
- [6] SAVARD J P L, CLERGEAU P, MENNECHEZ G. Biodiversity concepts and urbanecosystems[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 48(3/4): 131-142.
- [7] ROBERGE J M, ANGELSTAM P. Indicator species among resident forest birds-A cross-regional evaluation in northern Europe[J]. *Biological Conservation*, 2006, 130: 134-147.
- [8] ROTENBERRY J T, WIENS J A. Foraging patch selection by shrubsteppe sparrows[J]. *Ecology*, 1998, 79: 1160-1173.
- [9] STROHBACH M W, HAASE D, KABISCH N. Birds and the city: Urban biodiversity, land use, and socioeconomics[J]. *Ecology and Society*, 2009, 14(2): 31.
- [10] SANDSTRÖM U, ANGELSTAM P, MIKUSIŃSKI, G. Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 77(1/2): 39-53.
- [11] 陈水华, 丁平, 郑光美, 等. 园林鸟类群落的岛屿性格局[J]. *生态学报*, 2005, 25 (4): 657-663.
- [12] WANG Y P, DING P, CHEN S H, et al. Nestedness of bird assemblages on urban woodlots: Implications for conservation[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 111: 59-67.

(下转第70页)