

城市公园鸟类群落多样性与复杂性初探

——以北京地坛公园为例

贾丽丽, 陈卓琳, 关文彬*

(北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083)

摘要: 2013年1月至2015年3月采用样线法在北京地坛公园调查鸟类27次, 利用多样性和复杂性指数研究了鸟类群落结构, 探讨了群落多样性和复杂性随月份变化的规律, 并分析了复杂性和多样性的相关性及其影响因素, 结果如下: (1) 鸟类共计7目20科43种, 优势种8种。群落丰富度在春季或秋季迁徙季节达到峰值。(2) 总复杂性、无序复杂性和香农-维纳指数随月份变化趋势大致相同, 春夏较高, 秋冬较低, 结构复杂性则不同, 春秋季较高, 盛夏和冬季最低。(3) 群落总复杂性、无序复杂性以及香农-维纳指数随均匀度和丰富度的增加而增加, 随优势度的增加而降低。结构复杂性与丰富度呈极显著相关 ($R=0.834, P<0.01$), 丰富度越高, 结构复杂性越高; 优势度越高, 结构复杂性越低。(4) 香农-维纳指数与总复杂性相关性接近1 ($R=0.993, P<0.01$), 说明总复杂性受香农-维纳指数影响很大。(5) 结构复杂性和无序复杂性无明显相关 ($R=0.180, P=0.400$), 不能用无序复杂性测度结构复杂性。

关键词: 结构复杂性; 多样性; 鸟类群落; 地坛公园

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-0989-07

The diversity and complexity of the bird community in city park

——A case study of Ditan Park in Beijing

JIA Lili, CHEN Zhuolin, GUAN Wenbin

(College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: From Jan. 2013 to Mar. 2015, 27 surveys were conducted at Ditan Park in Beijing with line transect method. The diversity index and Huffman coding were adopted to analyze the bird community structure, the monthly variation of diversity and complexity, the relationship between diversity and complexity and the influence factors. The result shows that: (1) A total of 43 species from 20 families and 7 orders were recorded in Ditan Park, among which 8 were dominant birds. The richness of the bird community reached the highest in spring or autumn. (2) The total complexity, disorder complexity and the Shannon-Weiner index had a similar variation along with the month, presenting high in spring and summer, low in autumn and winter; while the structural complexity was different, presenting high in spring and autumn, low in mid-summer and winter. (3) The total complexity, disorder complexity and the Shannon-Weiner index increased along with the richness and evenness, and decreased with an increase of dominance. The structural complexity had a significant positive correlation with the richness ($R=0.834, P<0.01$), which increased with an increase of the richness and decreased with an increasing dominance. (4) The correlation coefficient between the Shannon-Weiner index and total complexity was nearly 1 ($R=0.993, P<0.01$), so total complexity was greatly affected by the Shannon-Weiner index. (5) The structural complexity and disordered complexity showed no significant correlation with each other ($R=0.180, P=0.400$). Thus the structural complexity cannot be measured by disorder complexity.

Key words: structure complexity; diversity; avian community; Ditan Park

收稿日期: 2016-03-26

基金项目: 林业公益性行业科研专项(200904019)资助。

作者简介: 贾丽丽, 硕士研究生。E-mail: ldqingfeng@sina.cn

* 通信作者: 关文彬, 教授, 博士生导师。E-mail: swlab@bjfu.edu.cn

城市化对生物多样性影响较大^[1]。鸟类群落多样性是衡量鸟类群落结构的综合指标,反映了城市生态系统的生物多样性和健康水平^[2-4]。生态复杂性,即生态系统内不同层次上的结构与功能的多样性、自组织及有序性^[5-6]。群落复杂性包括总复杂性、结构复杂性和无序复杂性,是近年来生态学领域研究的热点之一^[6-7]。结构复杂性,指以生物群落结构为研究对象的复杂性,阐释了关于物种组成、物种无序水平及物种对环境之间的非线性响应的敏感行为格局,具有重要的生态学意义^[6]。

多样性和结构复杂性均作为衡量群落结构的指标,虽具有一定的相关性,但二者并不同。结构复杂性反映的是群落内部的组织性和有序性,多样性反映的是群落的无序性^[8-9],因而测度方法也不同。多样性一般采用香农-维纳指数测度^[10],群落结构复杂性的测度主要基于3种方法:基于生物多样性的测度、基于计算复杂性的测度及基于几何学特征的测度^[9]。一般采用基于计算复杂性的测度方法,即Anand和Orlóci^[6]提出的以信息学中最小剩余码的平均码长,即Huffman编码的平均码长^[11]作为群落总复杂性的测度,用12阶Rényi熵作为无序复杂性的指标,以总复杂性和无序复杂性之差作为结构复杂性的测度^[4]。这种测度方法在植物群落复杂性中得到广泛应用^[6, 8-9, 12-13],应用于鸟类群落复杂性的测度可以解释鸟类群落结构的有序性和组织性,但目前有关鸟类群落复杂性的研究尚未见报道。

作者以地坛鸟类群落的调查数据为基础,研究了鸟类群落不同月份的多样性和复杂性,通过对比香农-维纳指数,提出群落复杂性和多样性测度的指标;并分析了复杂性和多样性、均匀度等的相关性,以期得出影响结构复杂性的因素。

1 研究地概况

地坛公园(39°57'12.3"N, 116°24'38.6"E)位于北京市东城区,北二环以北,海拔49.2 m,属温带

大陆性季风气候,年均温12.9℃,年均降水量638 mm。动物区系属古北界东洋亚界华北区;植物区系为暖温带落叶阔叶林区^[14]。

地坛占地37.4 hm²,绿化覆盖率达76.99%。园内植物116种,乔木层以针叶树种侧柏(*Platycladus orientalis*)、圆柏(*Juniperus chinensis*)、油松(*Pinus tabuliformis*)为主;银杏(*Ginkgo biloba*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、君迁子(*Diospyros lotus*)、柿树(*Diospyros kaki*)、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、元宝枫(*Acer truncatum*)、国槐(*Styphnolobium japonicum*)等落叶阔叶树种呈区域性分布;灌木层以玉簪(*Hosta plantaginea*)、月季(*Rosa chinensis*)、冬青卫矛(*Euonymus japonicus*)等为主;地被层人工植被以早熟禾(*Poa pratensis*)、麦冬(*Ophiopogon japonicus*)等为主,天然植被主要为诸葛菜(*Orychophragmus violaceus*)和细叶苔草(*Carex rigescens*)。

2 研究方法

2.1 调查方法

鸟类野外调查采用样线法,在地坛公园设置一条总样线,全长3.4 km,并根据公园的植被类型,将其均分为5个调查区域(表1),每个区域设置1条样线,平均长度为1 km,样线覆盖公园的全部生境类型。2013年1月至2015年3月,每月调查1~2次,日出后2 h或日落前2 h,沿固定路线以1.5 km·h⁻¹的速度匀速前进。调查工具主要为双筒望远镜(Nikula, 10×42)、长焦数码相机(Sony, DSC-H300)、GPS(GPS Magellan eXplorist 610)及录音笔(Sony, ICD-SX813),鸟类鉴别主要参考《中国鸟类野外手册》^[15],鸟类分类系统采用郑光美的《中国鸟类分类与分布名录(第2版)》^[16]。

2.2 数据分析

2.2.1 鸟类群落的多样性数据分析 (1) Shannon-Wiener 指数^[10]

表 1 北京地坛公园调查样区情况

Table 1 Information of different sampling areas in Ditan Park, Beijing

区域 Area	生境类型 Habitat type	主要树种 Major species	郁闭度 Canopy density	人为干扰 Human disturbance
1	落叶阔叶林、苗圃	毛白杨、柿树、元宝枫	疏林	较强
2	侧柏林	侧柏、圆柏	密郁闭	较弱
3	侧柏林	侧柏、圆柏、毛白杨	密郁闭	较强
4	针阔混交林	侧柏、银杏、油松	中度郁闭	较强
5	针阔混交林	侧柏、银杏、栾树、国槐	中度郁闭	强

注:疏林郁闭度<0.20;中度郁闭 0.20~0.69;密郁闭≥0.70。

Note: Canopy density of open forest <0.20; middle canopy density 0.20-0.69; high canopy density ≥0.70.

$$H_i = \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) \quad (1)$$

式中, $P_i = N_i/N$, 表示物种的个体数占总个体数的比例; N_i 为第 i 个物种的个体数量, N 为全部物种的数量; S 为物种数。

(2) Rényi 多样性指数^[17]

$$H_\alpha(S) = \frac{1}{1-\alpha} \log_2 \sum_{j=1}^q P_j^\alpha \quad (2)$$

式中: α 为多样性指数的序列号, $\alpha \in [0, +12]$ 且 $\alpha \neq 1$; 当 $\alpha=12$ 时达到稳定, 因而本研究 α 取值为 12; H_α 为多样性的指数簇; P_i 为物种 i 的个体数占总个体数的比例; S 为物种数。

(3) 均匀性指数^[18]

$$E_\alpha = H_\alpha / H_{\max} \quad (3)$$

式中: H_{\max} 为 H_α 的最大理论值。

(4) 优势度集中指数^[19]

$$C = \sum_{i=1}^S (P_i)^2 \quad (4)$$

式中: C 为优势度指数; P_i 为第 i 物种个体数量与群落全部个体数量的比值。

(5) 优势种分析。采用遇见率计算: 优势种为遇见率大于 $1 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 的鸟种, 常见种为遇见率 $0.1 \sim 1 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 的鸟种, 偶见种为遇见率小于 $0.1 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 。^[20]

2.2.2 鸟类群落的复杂性数据分析 (1) 群落总复杂性测度

$$L(S) = \sum_{j=1}^q p_j l_j \quad (5)$$

其中 q 是群落中物种数, P_j 是所选属性 (群落的相对多度) j 所占的比例, 满足 $\sum_{j=1}^q p_j = 1$, l_j 为群落属性 j 的最小剩余码长, 即 Huffman 编码字长度 (bit) ^[11]。

(2) 群落无序复杂性测度。用 Rényi 熵 $H_\alpha(S)$ 测度, 取 $\alpha=12$, 这时 $H_\alpha(S)$ 已达到稳定。

$$Ha(S) = \frac{1}{1-\alpha} \log_2 \sum_{j=1}^q P_j^\alpha \quad (6)$$

(3) 群落结构复杂性测度

$$\Delta_\alpha(S) = L(S) - H_\alpha(S) \quad (7)$$

3 结果与分析

3.1 鸟类群落组成

本次调查共记录到鸟种 43 种, 隶属 7 目 20 科, 发现 1 种国家 II 级重点保护鸟类阿穆尔隼 (*Falco amurensis*), 8 种北京市一级保护鸟种, 15 种北京市二级保护鸟种, 27 种属国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物^[21] (“三

有保护动物”)。

本次调查记录的鸟种按生态类型可分为 5 类, 鸣禽 34 种, 占鸟类种数的 79.1%, 构成地坛鸟类群落的主要组成部分; 攀禽次之, 共 6 种, 占 13.4%; 猛禽、陆禽和涉禽均有 1 种, 各占 2.3%。从区系上分析, 鸟类组成以古北界种为主, 有 26 种, 占鸟类种数的 61%, 其次是东洋界种和广布种, 分别有 10 种和 7 种, 各占 23.0% 和 16.0%。从居留型上分析, 公园鸟类以留鸟和夏候鸟为主, 留鸟 19 种, 占总数的 44.1%, 夏候鸟 10 种, 占 23.3%, 冬候鸟和旅鸟最少, 冬候鸟 5 种, 占 11.6%, 旅鸟 4 种, 仅占 9.3%。

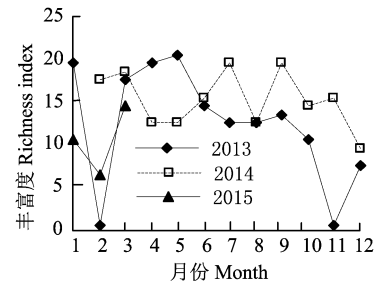


图 1 鸟类群落丰富度(S)月变化

Figure 1 Monthly variation of bird community richness index (S)

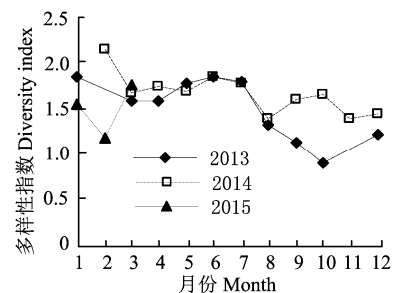


图 2 鸟类群落多样性(H1)月变化

Figure 2 Monthly variation of bird community diversity index (H1)

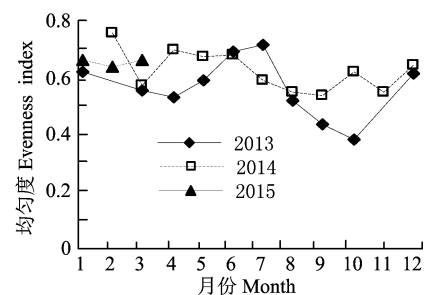


图 3 鸟类群落均匀度(E)月变化

Figure 3 Monthly variation of bird community evenness index (E)

根据遇见率计算的优势种共 8 种, 为树麻雀 (*Passer montanus*) $66.8 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 、灰喜鹊 (*Cyanopicyana*) $15.7 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 、喜鹊 (*Pica pica*) $8.1 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 、灰椋鸟 (*Sturnus cineraceus*) $4.1 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 、普通雨燕 (*Apus apus*) $3.2 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$ 、珠颈斑鸠 (*Streptopelia chinensis*)

3.0 只·h⁻¹、黑尾蜡嘴雀 (*Eophona migratoria*) 2.5 只·h⁻¹、八哥 (*Acridotheres cristatellus*) 1.0 只·h⁻¹。

3.2 鸟类群落季节动态

地坛公园的鸟类群落呈现明显的季节性分布。鸟类群落的丰富度、多样性、均匀度、优势度指数 H_1 随季节呈现波动现象，具体分别见图 1~图 4。

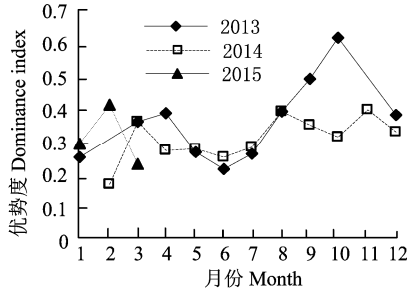


图 4 鸟类群落优势度(C)月变化

Figure 4 Monthly variation of bird community dominance index (C)

总体而言，地坛的鸟类群落的物种数在春季和秋季最高，冬季和夏季较低（见图 1）。2013 年鸟类群落的物种数在春季（5 月）达到峰值，为 20 种，2014 年在 7 月和 9 月达到峰值，均为 19 种。两年

的物种数均在 12 月最低，8 月较低。

鸟类群落的多样性指数与物种数变化趋势相近，但并不完全相同（见图 2）。2013 年和 2014 年的多样性变化趋势较接近，均在春季和夏季较高，秋季次之，冬季最低。2013 年鸟类群落多样性在 1 月最高，10 月最低，2014 年在 2 月最高，11 月最低。

地坛鸟类的均匀度和优势度变化趋势相反（图 3 和图 4），均匀度在冬季最高，秋季和春季较低，而优势度则在秋季和春季最高，冬季最低。2013 年和 2014 年的鸟类群落均匀度分别在 1 月份和 2 月份达到峰值，在 10 月和 3 月最低。优势度则呈现相反的变化趋势。

3.3 鸟类群落多样性与复杂性

3.3.1 群落的季节动态 地坛的鸟类群落复杂性与多样性随季节呈现波动性。由图 5A 可知，2013 年鸟类群落的总复杂性、多样性指数、无序复杂性随季节变化动态大体一致，均在夏初（6 月）最高，春季较高，冬季（12 月）较低，秋季（10 月）最低。其中总复杂性和多样性指数变化趋势更相近。而结构复杂性变化趋势则不同，在春季最高，夏季次之，冬季最低。

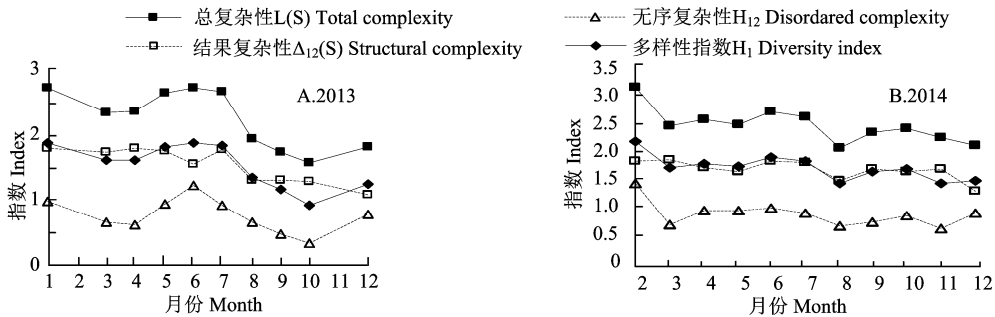


图 5 2013 和 2014 年地坛公园鸟类群落多样性、总复杂性和结构复杂性月变化

Figure 6 Monthly changes of diversity, total and structure complexity of bird community in Ditan Park, 2013 and 2014

由图 5B 可知，2014 年鸟类群落的总复杂性、多样性指数、无序复杂性随季节变化动态大体一致，均在冬末初春（2 月）最高，夏初较高，冬季较低，在盛夏（8 月）最低。结构复杂性的变化趋势稍有不同，春季（3 月）最高，夏初和秋季较高，盛夏（8 月）和冬季（12 月）最低。

3.3.2 多样性与复杂性的相关性分析 通过对地坛 2013-2015 年不同月份鸟类群落复杂性、多样性与丰富度、均匀度、优势度、物种数量等的相关性分析，结果见表 2。

从表 2 可以看出：总复杂性与群落丰富度 ($R=0.572, P=0.004$)、均匀度 ($R=0.755, P<0.01$) 呈极显著正相关，与优势度 ($R=-0.917, P<0.01$) 呈极显著

负相关，与总数量 ($R=-0.299, P=0.156$) 不相关。总复杂性和香农-维纳指数 ($R=0.993, P<0.01$)、无序复杂性 ($R=0.828, P<0.01$)、结构复杂性 ($R=0.701, P<0.01$) 均呈极显著正相关。

结构复杂性与丰富度呈极显著正相关 ($R=0.834, P<0.01$)，与优势度 ($R=-0.463, P=0.023$) 呈显著负相关，与均匀度 ($R=0.203, P=0.343$) 和总数量 ($R=-0.050, P=0.816$) 不相关。说明丰富度越高，结构复杂性越高。优势度越高，结构复杂性越低。结构复杂性与香农-维纳指数 ($R=0.684, P<0.01$) 和总复杂性 ($R=0.701, P<0.01$) 呈极显著正相关，与无序复杂性 ($R=0.180, P=0.400$) 不相关。说明结构复杂性与香农-维纳指数密切相关，对总复杂性有重

要影响。

群落的无序复杂性与均匀度 ($R=0.881, P<0.01$) 均呈极显著正相关, 与优势度 ($R=-0.900, P<0.01$) 呈极显著负相关, 与总数量 ($R=-0.451, P=0.027$) 呈显著负相关, 与丰富度 ($R=0.133, P=0.537$) 不相关。金森的研究表明, 群落的无序复杂性与优势种

对数最大比例呈极显著负相关, 优势种可以表征无序复杂性^[22]。结合本研究, 说明群落越均匀, 无序复杂性越大, 优势种所占比例越大, 无序复杂性越低。群落无序复杂性和香农-维纳指数 ($R=0.831, P<0.01$)、总复杂性 ($R=0.828, P<0.01$) 均呈极显著正相关, 与结构复杂性 ($R=0.180, P=0.400$) 不相关。

表 2 地坛公园鸟类群落多样性和复杂性相关性矩阵表

Table 2 Species diversity and complexity of bird community in relational matrix table (Ditan Park)

项目 Item	丰富度 S Richness	总数量 N Abundance	香农-维纳 指数 H_1 Shannon- Weiner index	均匀度 E Evenness	优势度 C Dominance	总复杂 性 $L(S)$ Total complexity	无序复杂 性 H_{12} Disordered complexity	结构复杂 性 $\Delta_{12}(S)$ Structural complexity
丰富度 S	1.000	0.276	0.558**	-0.063	-0.323	0.572**	0.133	0.834**
		0.192	0.005	0.771	0.123	0.004	0.537	0.000
总数量 N		1.000	-0.313	-0.609**	0.462*	-0.299	-0.451*	0.050
			0.137	0.002	0.023	0.156	0.027	0.816
香农-维纳指数 H_1			1.000	0.778**	-0.940**	0.993**	0.831**	0.684**
				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
均匀度 E				1.000	-0.898**	0.755**	0.881**	0.203
					0.000	0.000	0.000	0.343
优势度 C					1.000	-0.917**	-0.900**	-0.463*
						0.000	0.000	0.023
总复杂性 $L(S)$						1.000	0.828**	0.701**
							0.000	0.000
无序复杂性 H_{12}							1.000	0.180
								0.400
结构复杂性 $\Delta_{12}(S)$								1.000

注: “*” 显著相关 (0.05); “**” 极显著相关 (0.01)。

Note: “*” means significant correlation (0.05); “**” mean externally significant correlation(0.01).

群落的香农-维纳指数与丰富度 ($R=0.558, P=0.005$)、均匀度 ($R=0.778, P<0.01$) 呈极显著正相关, 与优势度 ($R=-0.940, P<0.01$) 呈极显著负相关, 与总数量 ($R=0.050, P=0.816$) 不相关。说明群落多样性由丰富度、均匀度、优势度决定, 丰富度越高, 均匀度越大, 多样性越高, 优势度越大, 多样性越低。群落的香农-维纳指数与总复杂性 ($R=0.993, P<0.01$)、无序复杂性 ($R=0.831, P<0.01$)、结构复杂性 ($R=0.684, P<0.01$) 均呈极显著正相关。说明复杂性和多样性密切相关。

4 讨论

4.1 鸟类群落的组成

本次调查结果与 2012 年调查对比^[23], 鸟类群落增加了 1 目 1 科 7 种。群落的物种组成不同, 新增了阿穆尔隼、金腰燕 (*Hirundo daurica*) 等 12 种鸟, 但红隼 (*F. tinnunculus*)、家燕 (*H. rustica*)、沼泽山雀 (*Poecile palustris*)、山噪鹛 (*Garrulax davidi*)、山斑鸠 (*S. orientalis*) 等 5 种鸟在本次调查中并未发现。

在区系组成和居留型上, 2012 年调查结果与本次相近, 鸟类群落区系组成以古北界种为主, 广布种与东洋界种相同。居留型均以留鸟为主, 夏候鸟次之, 冬候鸟和旅鸟最少。优势种组成与 2012 年结果相近, 本次调查增加了普通雨燕, 减少了大嘴乌鸦 (*Covus macrorhynchosw*)、燕雀 (*Fringilla montifringilla*)。从生态类型分析, 鸣禽均最具优势^[23]。

从鸟类群落构成分析, 城市公园的鸟类一般以伴人鸟种为主^[20,24-27]。隋金玲等对北京市绿化带鸟类的调查结果显示, 通惠河、东四环、朝来农艺园的绿化带由于生境单一, 植被种类少, 结构简单, 以喜鹊、树麻雀、灰喜鹊等伴人鸟类占绝对优势, 鸟类分布不均匀^[20]。杨萌等^[24], 刘洋等^[25]对天坛公园的调查显示, 树麻雀、灰喜鹊、喜鹊在天坛公园不同区域内均为优势种, 种群数量占绝对优势。本研究结果表明, 地坛公园的鸟类以陆生鸟种为主, 优势种以伴人鸟种树麻雀、灰喜鹊、喜鹊为主, 和以往研究相似。分析原因, 地坛公园的城市化水平高, 生境较单一, 以乔木层和地被层为主, 空间层次上缺乏灌木层, 无大型水域, 人为干扰以附近锻

炼的市民为主。伴人鸟种对地坛公园的适应性较强。

大量研究表明,城市化水平高,生境简单,人为干扰较严重的公园,伴人鸟种的数量占绝对优势。从食性角度分析,伴人鸟种主要为杂食性鸟种,城市垃圾为其提供了充沛的食物资源^[28]。地坛区域有4处家鸽投食地,树麻雀、珠颈斑鸠、灰喜鹊经常在此聚群觅食。Jokimäki和Suhonen对芬兰城市越冬鸟类对城市化程度的适应性的分析显示,在城市化程度高的区域,杂食性留鸟的密度较高^[29]。Emlen的研究表明,树麻雀、原鸽(*Columba livia*)、普通雨燕等外来物种的数量随城市化水平增加而上升,并成为优势种^[30]。

从繁殖生态学角度来看,城市化水平高的地区,这些鸟种的天敌相对较少,适应了城市环境,对人为干扰不太敏感,并在城市建筑中筑巢,因而得以繁衍^[30-32]。

4.2 鸟类群落的季节动态

北京地区位于鸟类迁徙的重要通道,鸟类群落特征呈现季节波动。赵欣如等对比北京6个典型公园的调查^[33],杨萌等^[24],刘洋等^[25]对天坛公园的调查,王鲁静等对北海公园鸟类群落的调查^[26],结果均显示鸟类群落的物种数季节动态显著,春秋季节较高,夏季和冬季较低。本研究结果部分印证了这一点,物种数在2013年春季达到峰值,在2014年7月和秋季均最高,呈现双峰,其次是春季;物种数均在冬季最低。分析原因,春秋季节候鸟的迁入迁出可能是导致物种数波动的主要因素。相比2013年同时期和2014年夏季,2014年7月的鸟种数达到峰值,主要增加了星头啄木鸟(*Picoides canicapillus*)、金腰燕、小嘴乌鸦(*Covus corone*)等几种偶见种。

杨萌等^[24]和刘洋等^[25]对天坛公园鸟类群落的研究发现,多样性指数春秋季节最高,冬季和夏季较低。金森的研究表明,群落的无序复杂性反映的是群落结构特征的编码描述复杂性,越均匀分布,无序性越强,即群落优势度越高,无序复杂性越低^[22]。本研究结果证明了这一点,鸟类群落的总复杂性、多样性指数、无序复杂性在春季和夏初最高,冬季较低,盛夏(8月)最低。分析发现,鸟类群落的优势度与总复杂性、多样性指数、无序复杂性指数关系密切,在群落优势度较低的1月、6月,复杂性和多样性指数均较高;在优势度较高的月份,复杂性和多样性指数均偏低。

4.3 鸟类群落的复杂性和多样性

群落总复杂性、无序复杂性以及香农-维纳指数主要受丰富度、优势度和均匀度影响。分析可知,

群落复杂性的计算均采用相对多度,因而个体总数量对复杂性影响不大,不能确定为复杂性的重要影响因子^[22]。

李镇清^[8]、冶民生等^[12-13],Anand和Orlóci^[6]研究表明,结构复杂性与物种丰富度呈显著线性正相关;金森的研究表明,群落的结构复杂性可表示为香农-维纳指数和优势种对数比例的线性组合^[22]。结合本研究结果,证明了丰富度、优势度、香农-维纳指数是结构复杂性的关键影响因子。其中丰富度对结构复杂性影响最大,物种丰富度越高,群落结构越复杂。物种数的增加很可能导致群落内部结构和组织构建的压力增大,从而导致结构复杂性增大。金森的研究显示,在其他特征一致时,结构复杂性会随优势度的增加而增加,到达极大值后随优势度的增加而下降。当群落中优势种的比例很大或各物种分布均匀时,群落的结构复杂性低^[22]。李镇清对中国东北样带典型植物群落的研究表明,干扰较少的围栏割草地群落的结构复杂性较高,而过度放牧导致极端退化的草地,其结构复杂性较低^[8]。本研究中,结构复杂性与优势度呈负相关,随优势度增加而下降,结合实际调查,地坛的鸟类群落以树麻雀为最大优势种,遇见率为 $66.8 \text{ 只} \cdot \text{h}^{-1}$,比例远超过其他鸟种,属于极端优势分布的群落,群落结构复杂性随优势度的增加而下降。

李镇清的研究发现,种的减少或增加对结构复杂性和无序复杂性的潜在重要性是相同的,并且这两种影响是互补的,而不是简单相关的^[8]。本研究分析发现,鸟类群落的结构复杂性与无序复杂性不相关($R=0.180, P=0.400$)。两者的影响因子不同,无序复杂性受丰富度、均匀度和优势度影响,而结构复杂性与均匀度无明显相关性。这也证明了李镇清提出的结构复杂性与无序复杂性是独立的,不可替代的,无序复杂性不能用来测度结构复杂性^[8]。

冶民生对岷江干旱河谷植物群落研究表明,总复杂性 with 物种多样性、丰富度均呈极显著相关^[13]。王宇超在对比佛坪山保护区不同海拔梯度上植物群落物种多样性与复杂性时发现,群落总复杂性与香农-维纳指数相关性接近1,物种多样性对植物群落总复杂性的影响很大;而结构复杂性与总复杂性、香农-维纳指数相关性不显著^[34]。本研究分析发现,总复杂性与香农-维纳指数呈极显著相关,说明总复杂性受香农-维纳指数影响很大。结构复杂性更适合用总复杂性与无序复杂性之差测度。这与多个学者的研究结果相同^[13,34]。

由复杂性的计算公式可以得知,总复杂性由物

种数、物种的相对多度以及 Huffman 最小剩余码长决定, 香农-维纳指数也由物种数、物种的相对多度决定, 因而两者相关性很高。从理论上分析, 香农-维纳指数是信息编码理论的最小平均码长, 总复杂性是 Huffman 编码的最小平均码长, 是实际生态过程中的最小平均码长^[35], 两者的落差应该是由群落结构决定的, 但是由于两者高度相关, 因而不能用来衡量群落的结构复杂性。而总复杂性和无序复杂性的相关性相对较低, 因而两者之差可能更适合作为结构复杂性的衡量指标^[11,22]。

本研究对北京地坛鸟类群落的复杂性进行了初步的探讨, 关于鸟类群落复杂性和多样性的关系还只是从数值和描述角度出发。结构复杂性的生态内涵必须要与实际生态过程相结合, 才能进一步明确其生态意义和应用价值^[4,13]。生态过程非常复杂, 并且处于动态变化中, 本研究对鸟类群落复杂性的生态过程进行初步研究, 是非常有意义的尝试。

结构复杂性中属性的选择和权重问题也很重要, 本研究选取相对多度为指标, 与金森选取指标相同^[22], 李镇清^[8]、治民生等^[13]选取相对重要值作为指标, 采用不同指标对研究结果可能有一定影响。一般综合性的指标比单一的指标更完善^[9], 但是如何选择指标, 指标的权重应该如何确定, 产生的权重是否与生态过程密切相关, 这些问题都是今后探讨和研究的重点。

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(5864): 756-760.
- [2] PADOA-SCHIOPPA E, BAIETTO M, MASSA R, et al. Bird communities as bioindicators: The focal species concept in agricultural landscapes[J]. *Ecol Indic*, 2006, 6(1): 83-93.
- [3] SANDSTRÖM U G, ANGELSTAM P, MIKUSIŃSKI G. Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space[J]. *Landscape Urban Plan*, 2006, 77(1): 39-53.
- [4] MULSOW R. Bird communities as indicators of urban environment[C]// LUNIAK M, PISARSKI B. *Animals in urban environment*. Polish Academy of Sciences, Wrocław: 1982: 61-68.
- [5] 张彬彬, 王祖望, 李典谟. 生态复杂性研究——综述与展望[J]. *生态学报*, 1998, 18(4): 433-441.
- [6] ANAND M, ORLÓCI L. Complexity in plant communities: the notion and quantification[J]. *J Theor Biol*, 1996, 179(2): 179-186.
- [7] METZGER J P, MULLER E. Characterizing the complexity of landscape boundaries by remote sensing[J]. *Landsc Ecol*, 1996, 11(2): 65-77.
- [8] 李镇清. 中国东北样带(NECT)植物群落复杂性与多样性研究[J]. *植物学报*, 2000, 42(9): 971-978.
- [9] 金森. 群落结构复杂性的测度方法研究进展[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(6): 1030-1039.
- [10] SHANNON C E, WIENER W. *The mathematical theory of communication*[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- [11] HUFFMAN D A. A method for the construction of minimum-redundancy codes[J]. *Resonance*, 2006, 11(2): 91-99.
- [12] 治民生, 吴斌, 关文彬, 等. 岷江源区植物群落复杂性研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(8): 174-179.
- [13] 治民生, 关文彬, 吴斌, 等. 岷江干旱河谷植物群落的复杂性[J]. *生态学报*, 2006, 26(10): 3159-3165.
- [14] 隋金玲. 北京市区绿化隔离带内鸟类群落结构及其影响因素研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [15] 约翰·马敬能, 卡伦·菲力普斯. *中国鸟类野外手册*[M]. 卢何芬, 译. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.
- [16] 郑光美. *中国鸟类分类与分布名录*[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [17] RRNYI A. On measures of entropy and information[C]//Fourth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. 1961, 1: 547-561.
- [18] PIELOU E C. *An introduction to mathematical ecology*[M]. New York: Wiley-Interscience, 1969.
- [19] SIMPSON E H. Measurement of Diversity[J]. *Nature*, 1949, 163(4148): 688-688.
- [20] 隋金玲, 胡德夫, 李凯, 等. 北京市区不同绿化带内夏季鸟类的群落特征[J]. *林业科学*, 2006, 42(7): 66-72.
- [21] 王志宝. 国家林业局令第七号——国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物名录[J]. *野生动物*, 2000, 21(5): 49-82.
- [22] 金森. 基于 Huffman 编码的群落结构复杂性[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(6): 1154-1160.
- [23] 范宗骥. 北京西山静福寺林区与地坛公园鸟类群落研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [24] 杨萌, 史红全, 李强, 等. 北京天坛公园鸟类群落结构调查[J]. *动物学杂志*, 2007, 42(6): 136-146.
- [25] 刘洋, 李强, 张明庆. 北京天坛公园鸟类群落的动态变化研究[J]. *生态科学*, 2015, 34(4): 64-70.
- [26] 王鲁静, 纪建伟, 立天宇, 等. 北京北海公园鸟类多样性季节变化[J]. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2012, 34(3): 298-303.
- [27] 陈志强, 付建平, 赵欣如, 等. 北京圆明园遗址公园鸟类组成[J]. *动物学杂志*, 2010, 45(4): 21-30.
- [28] 陈水华, 丁平, 郑光美, 等. 城市鸟类群落生态学研究展望[J]. *动物学研究*, 2000, 21(2): 165-169.
- [29] JOKIMÄKI J, SUHONEN J. Distribution and habitat selection of wintering birds in urban environments[J]. *Landsc Urban Plan*, 1998, 39(4): 253-263.
- [30] EMLEN J T. An urban bird community in Tucson, Arizona: derivation, structure, regulation[J]. *The Condor*, 1974, 76(2): 184-197.
- [31] GERING J C, Blair R B. Predation on artificial bird nests along an urban gradient: predatory risk or relaxation in urban environments?[J]. *Ecography*, 1999: 532-541.
- [32] JOKIMÄKI J, HUHTA E. Artificial nest predation and abundance of birds along an urban gradient[J]. *The Condor*, 2000, 102(4): 838-847.
- [33] 赵欣如, 房继明, 宋杰, 等. 北京的公园鸟类群落结构研究[J]. *动物学杂志*, 1996, 31(3): 17-21.
- [34] 王宇超. 秦岭大熊猫主要栖息地植物群落特征及与生境对应关系分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [35] 肖自美. *图像信息理论与压缩编码技术*[M]. 广州: 中山大学出版社, 2000. 282-304.