

• 研究简报 •

# 人工巢箱对次级洞巢鸟类多样性及繁殖鸟类群落稳定性的作用

李臻 杨丽媛 刘文 邓文洪\*

(北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

**摘要:** 人工巢箱在鸟类研究与保护中的使用越来越广泛, 但是人工巢箱对鸟类群落的影响并不清楚, 人工巢箱在鸟类群落保护过程中所扮演的角色仍然值得商榷。我们于2007年3–8月, 在北京门头沟区小龙门国家森林公园选择两块海拔及植被情况相似的样地, 一块悬挂50个人工巢箱, 另一块作为对照。我们调查了巢箱利用情况、巢箱内鸟类的繁殖情况及两样地的植被群落和鸟类群落。50个巢箱中有20个分别被褐头山雀(*Parus songarus*)、白眉姬鹀(*Ficedula zanthopygia*)、普通鵙(*Sitta europaea*)及大山雀(*Parus major*)占用。通过比较分析得知, 人工巢箱使实验样地白眉姬鹀的种群密度显著增加, 使实验样地次级洞巢鸟类群落的多样性指数( $H'$ )和群落种间相遇率( $PIE$ )显著高于对照样地, 而优势度指数( $\lambda$ )显著低于对照样地。同时, 繁殖鸟类群落的相应指数也呈现出相同变化。这种变化更多地应该归因于人工巢箱的调节作用。通过这次研究, 我们认为人工巢箱影响了一部分次级洞巢鸟的分布模式, 并通过影响鸟类多度影响了次级洞巢鸟的多样性, 增加了一部分利用巢箱鸟类的种群密度, 进而使得实验样地繁殖鸟类多样性增加, 个体数量差异降低, 而群落均匀性增加。巢箱的悬挂对次生林鸟类群落保护产生了积极的影响。

**关键词:** 人工巢箱, 次级洞巢鸟, 鸟类群落

## Effect of artificial nestboxes on the diversity of secondary cavity-nesting birds and the stability of breeding bird community

Zhen Li, Liyuan Yang, Wen Liu, Wenhong Deng\*

College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875

**Abstract:** Artificial nestboxes are widely used in ecological research and conservation practices. However, we know little about the effects of nestboxes on breeding bird communities and their actual conservation value to bird communities. We chose two sample plots with similar plant communities in Xiaolongmen National Forest Park, Beijing. Fifty artificial nest-boxes were hung in the experimental plot and the other plot as a control. From March to August in 2007, we monitored artificial nestbox use by secondary cavity-nesting birds, reproductive rates of birds in nestboxes, and breeding bird and plant communities in the two sample plots. Twenty of 50 boxes were used by secondary cavity-nesting birds, such as the songar tit (*Parus songarus*), yellow-rumped flycatcher (*Ficedula zanthopygia*), Eurasian nuthatch (*Sitta europaea*) and great tit (*Parus major*). We found that the density of yellow-rumped flycatcher was greater in experimental plot with nestboxes. Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) and  $PIE$  were higher in experimental plot while dominance index ( $\lambda$ ) were lower. Indices of total breeding bird communities changed in the same way. Because secondary cavity-nesting bird and breeding bird communities are interrelated, these results may be attributed to the use of artificial nest-boxes. We conclude that nestboxes changed the distribution patterns of some secondary nesting birds and increased the population density and diversity of secondary nesting birds. So, in our study, artificial nest-boxes made good conservation sense for breeding bird communities.

**Key words:** artificial nest-box, secondary cavity-nesting birds, bird community

收稿日期: 2008-05-27; 接受日期: 2008-11-18

基金项目: 国家基础科学人才培养基金(J0630642)和国家自然科学基金面上项目(30670343)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: dengwh@bnu.edu.cn

随着人类活动对自然生态环境的影响,华北地区原始森林逐渐减少,大部分林木以次生林为主(陈灵芝, 1996)。多数次生林树龄低,天然树洞较少,这就造成次生林内次级洞巢鸟巢洞资源相对匮乏。在次生林中悬挂人工巢箱可以为次级洞巢鸟提供洞巢资源(王海涛和高玮, 2002),从而降低种内及种间竞争(Loeb & Hooper, 1997)。以往的研究表明在添加人工巢箱后,次级洞巢鸟种群密度会有所增加(Purcell *et al.*, 1997; White & Seginak, 2000; Bull, 2003)。同时,这些鸟类种群密度的增长可能会影响到其他鸟类的分布模式。Hogstad(1975)和Bock等(1992)发现在使用人工巢箱后,洞巢型鸟类丰富度增加而开放型巢鸟类丰富度减少(引自Purcell *et al.*, 1997),而左斌(2005)的研究则认为人工巢箱短期内对繁殖鸟类群落结构没有明显影响<sup>①</sup>。可见,人工巢箱在鸟类保护过程中尤其是鸟类群落层面的保护中所起的作用仍然需进一步研究。根据以往的工作经验及调查结果,我们预测人工巢箱会对鸟类群落产生一定影响,通过影响次级洞巢鸟的分布模式、物种多样性及种群密度而对繁殖鸟类群落的结构发生作用。

## 1 研究区概况

实验在北京西郊门头沟区东灵山小龙门林区(115°26'–115°30' E, 40°00'–40°02' N)进行。本地区海拔1,070–1,763 m,属太行山小五台山余脉,暖温带半湿润季风性气候,昼夜温差大,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温4.8℃,年均降水量611.9 mm,降水主要集中在夏季。植被类型以次生天然落叶阔叶林、人工针叶林和天然灌丛为主。优势乔木种类主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、华北落叶松(*Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、棘皮桦(*Betula dahurica*);灌木层以二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)和绣线菊属(*Spiraea*)等为主。

我们选择小龙门林区两条邻近且海拔和植被情况相似的自然沟的部分区域作为研究样地。其中在南沟选取实验样地(平均海拔1,135 m,面积约12 ha),在狗食槽选取对照样地(平均海拔1,110 m,面

积约10 ha)。

## 2 研究方法

### 2.1 人工巢箱的制作、悬挂与调查

人工巢箱按照宋杰(1994)所描述的木板式制作,洞口直径3 cm,巢深8.5 cm,底面积11×11 cm<sup>2</sup>。

2007年2月底,我们在实验样地内共悬挂50个人工巢箱,高度3–6 m,巢向以东南方向(Ardia *et al.*, 2006)或背向山坡(宋杰, 1994)为主,巢箱间隔50–100 m,树种任意选取。2007年3–6月期间,每隔3–4 d检查1次巢箱,记录入住巢箱的鸟种、窝卵数及雏鸟的生长状况,清理被隐纹花松鼠(*Tamias swinhoi*)占用的巢箱。若有至少一只雏鸟出飞即认为鸟类在巢箱内繁殖成功。

### 2.2 鸟类调查方法

2007年6月,采用样线法(Bibby *et al.*, 1992)对实验样地和对照样地的鸟类群落进行调查,每块样地设置3条样带,每条长约500 m,调查行进速度1.5 km/h,每次调查时间为早晨5:30–8:00。调查过程中记录两侧观察到的鸟类及其到样带中线的垂直距离。调查共持续两周,两块样地各调查5次。

### 2.3 植被调查方法

为比较两块样地的植被群落及鸟类对人工巢箱的选择,在实验样地选取悬挂人工巢箱的23棵乔木作为样圆圆心(空巢5个、隐纹花松鼠巢1个、白眉姬鹀(*Ficedula zanthopygia*)巢6个、褐头山雀(*Parus songarus*)巢6个、大山雀(*P. major*)巢3个和普通鵙(*Sitta europaea*)巢3个,其中有1个巢箱先后被白眉姬鹀和褐头山雀利用)。在对照样地,每隔约300 m选择1棵适宜悬挂巢箱的乔木为样圆圆心(共5棵)。以10 m为半径做样圆,记录样圆内乔木种类、数量、高度、胸径、树冠高度和乔木盖度,以中心点四分法收集乔木和倒木的散布指数;记录灌木密度和盖度;记录草本植物盖度(楚国忠和郑光美, 1993)。

### 2.4 数据处理

计算样圆内树种异质性、乔木密度、树木平均胸径、乔木平均高度、乔木高度异质性、乔木胸径异质性、乔木盖度和灌木盖度等变量作为衡量栖息地生境的标准。

计算次级洞巢鸟及繁殖鸟类群落的多样性指数( $H'$ )(Shannon, 1948)、均匀性指数( $J'$ )(Pielou,

<sup>①</sup> 左斌 (2005) 人工巢箱作用下天然次生林繁殖鸟类的群落结构初步研究. 东北师范大学硕士学位论文.

1960)、物种丰富度指数( $d_{Ma}$ ) (Margalef, 1958)、优势度指数( $\lambda$ ) (Simpson, 1949)和群落种间相遇率( $PIE$ ) (Hurlbert, 1971)。计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S (P_i)(\ln P_i) \quad (1)$$

$$J' = H' / H'_{\max} \quad (2)$$

$$d_{Ma} = (S - 1) / \ln N \quad (3)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n (P_i)^2 \quad (4)$$

$$PIE = \sum_{i=1}^S (N_i / N)[(N - N_i) / (N - 1)] \quad (5)$$

以上公式中,  $P_i$ 为物种相对丰度,  $H'_{\max}$ 为最大均匀性条件下的物种多样性指数,  $S$ 为物种数,  $N$ 为所有物种个体数之和,  $N_i$ 为某一物种的个体数。

鸟类种群密度用Distance 5.0计算(Thomas *et al.*, 2006)。

### 3 结果

#### 3.1 鸟类对人工巢箱的利用

本次研究悬挂巢箱50个, 共20个被次级洞巢鸟所利用, 其中褐头山雀利用了9个, 白眉姬鹀利用了6个(其中1个先后被褐头山雀和白眉姬鹀利用), 普通鸺利用了3个, 大山雀利用了3个, 隐纹花松鼠利用了13个, 未被利用巢箱14个, 还有3个巢箱情况不明。利用人工巢箱的次级洞巢鸟的繁殖成功率存在一定的差异, 结果见图1。

鸟类入住巢箱与空巢箱周围的生境独立样本 $t$ 检验, 结果表明白眉姬鹀、大山雀和普通鸺巢箱周围的生境与空巢附近生境无显著性差异, 仅褐头山雀巢海拔显著性低于空巢海拔( $P < 0.05$ )。

#### 3.2 实验样地和对照样地植被群落分析

通过独立样本 $t$ 检验, 比较树种异质性指数、乔木高度异质性、乔木平均胸径、乔木平均高度、乔木密度、乔木盖度、草本盖度和枯木数量, 结果显示两样地各指标无显著性差异( $P$ 值均大于0.05), 即两样地植被群落间无显著性差异。

#### 3.3 鸟类群落

##### 3.3.1 鸟类群落组成

两块样地共记录到鸟类7目17科40种, 其中实验样地6目16科38种, 对照样地4目12科25种(表1)。两样地次级洞巢鸟及繁殖鸟类群落的多

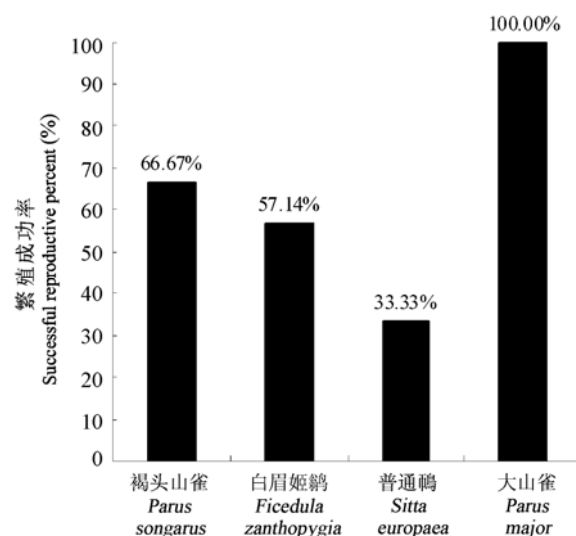


图1 4种利用人工巢箱鸟类的繁殖成功率

Fig. 1 Successful reproductive percentage of four nest-box using birds

性指数( $H'$ )、群落均匀性指数( $J'$ )、物种丰富度指数( $d_{Ma}$ )、优势度指数( $\lambda$ )和群落种间相遇率( $PIE$ )见表2。

实验样地次级洞巢鸟群落的多样性指数( $H'$ )和群落种间相遇率( $PIE$ )显著高于对照样地( $P < 0.05$ ), 优势度指数( $\lambda$ )显著低于对照样地( $P < 0.05$ ), 群落均匀性指数( $J'$ )和物种丰富度指数( $d_{Ma}$ )在实验样地与对照样地之间无显著差异。

实验样地繁殖鸟类群落的多样性指数( $H'$ )、物种丰富度指数( $d_{Ma}$ )和群落种间相遇率( $PIE$ )均显著高于对照样地( $P < 0.05$ ), 优势度指数( $\lambda$ )显著低于对照样地( $P < 0.05$ ), 而群落均匀性指数( $J'$ )在实验样地与对照样地之间无显著性差异。

对次级洞巢鸟及繁殖鸟类群落的多样性指数( $H'$ )、优势度指数( $\lambda$ )和群落种间相遇率( $PIE$ )进行Pearson相关性分析, 结果表明繁殖鸟类群落指标与对应的次级洞巢鸟类群落指标显著相关。

##### 3.3.2 8种次级洞巢鸟种群密度比较

实验样地白眉姬鹀种群密度显著高于对照样地( $P < 0.01$ ), 褐头山雀种群密度之间的差异接近显著水平 ( $0.05 < P < 0.1$ ), 其他次级洞巢鸟的种群密度均无显著差异(图2)。

实验样地次级洞巢鸟种群密度单因素方差分析表明, 褐头山雀的种群密度显著高于大山雀( $P <$

表1 实验样地与对照样地鸟类种群密度比较\*  
Table 1 Comparison of bird population density (inds./ha) in experimental and control plots \*

目 Order	科 Family	种 Species	实验样地 Experimental plot	对照样地 Control
隼形目 Falconiformes	鹰科 Falconidae	松雀鹰 <i>Accipiter virgatus</i>	0.714	—
		毛脚鵟 <i>Buteo lagopus</i>	0.816	—
鸡形目 Galliformes	雉科 Phasianidae	褐马鸡 <i>Crossoptilon mantchuricum</i>	0.588	1.813±1.476
		勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	0.817±0.023	0.400
		环颈雉 <i>Phasianus colchicus</i>	0.665±0.203	0.550±0.071
鹃形目 Cuculiformes	杜鹃科 Cuculidae	大鹰鹃 <i>Cuculus sparveriioides</i>	0.785±0.544	—
		中杜鹃 <i>C. saturatus</i>	0.446±0.063	0.400±0.000
鸮形目 Strigiformes	鸱鸺科 Strigidae	红角鸮 <i>Otus sunia</i>	0.500	—
鸽形目 Columbiformes	鸠鸽科 Columbidae	山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>	0.400	—
鴿形目 Piciformes	啄木鸟科 Picidae	灰头绿啄木鸟 <i>Picus canus</i>	1.278±1.021	—
		星头啄木鸟 <i>Piciodes canicapillus</i>	0.714	—
		大斑啄木鸟 <i>P. major</i>	0.764±0.609	1.667
雀形目 Passeriformes	山椒鸟科 Corvidae	长尾山椒鸟 <i>Pericrocotus ethologus</i>	0.476	—
	卷尾科 Dicruriade	发冠卷尾 <i>Dicrurus hottentottus</i>	—	2.603±1.233
	鸦科 Corvidae	大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>	0.580±0.179	0.683±0.491
		松鸦 <i>Garrulus glandarius</i>	0.825±0.601	1.059±0.704
		红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	1.624	—
	鸫科 Turdidae	寿带 <i>Terpsiphone paradisi</i>	0.494±0.133	—
		宝兴歌鸫 <i>Turdus mupinensis</i>	1.874±0.544	—
		白喉矶鸫 <i>Monticola gularis</i>	0.400	—
	鸫科 Turdidae	斑鸫 <i>Turdus eunomus</i>	0.909	—
		蓝歌鸫 <i>Luscinia cyane</i>	0.722±0.277	0.400±0.000
		北红尾鸫 <i>Phoenicurus aureus</i>	2.210±1.953	1.387±1.372
	莺科 Sylviidae	鳞头树莺 <i>Urosphena squameiceps</i>	0.976±0.370	1.241±0.384
		冠纹柳莺 <i>Phylloscopus reguloides</i>	0.654±0.108	1.352±0.497
		冕柳莺 <i>P. coronatus</i>	1.132±0.493	1.542±0.773
	鹎科 Muscicapidae	黄眉姬鹎 <i>Ficedula narcissina</i>	1.095±0.401	0.843±0.315
		白眉姬鹎 <i>F. zanthopygia</i>	2.430±0.802	0.598±0.189
		白腹蓝鹎 <i>Cyanoptila cyanomelana</i>	1.490±1.013	0.952±0.240
	山雀科 Paridae	大山雀 <i>Parus major</i>	1.630±0.339	1.582±0.357
		黄腹山雀 <i>P. venustulus</i>	2.909±1.365	4.339±2.037
		褐头山雀 <i>P. songarus</i>	3.271±1.067	1.767±1.225
	长尾山雀科 Aegithalidae	煤山雀 <i>P. ater</i>	0.667	—
		银喉长尾山雀 <i>Aegithalos caudatus</i>	1.459±0.295	2.143
	鹎科 Sittidae	普通鹎 <i>Sitta europaea</i>	1.495±0.602	1.500±0.707
		黑头鹎 <i>S. villosa</i>	2.417±2.240	1.025±0.318
	雀科 Fringillidae	金翅雀 <i>Carduelis sinica</i>	0.400	—
	鹀科 Emberizidae	黄喉鹀 <i>Emberiza elegans</i>	1.000	1.667
		灰眉岩鹀 <i>E. godlewskii</i>	1.430	0.955±0.064
		三道眉草鹀 <i>E. cioides</i>	—	0.998±0.222

\*一些鸟类仅在调查中出现一次 Some birds were recorded only once

0.05)、普通鹎( $P < 0.05$ )及黄眉姬鹎( $P < 0.01$ ), 黄腹山雀种群密度显著高于黄眉姬鹎( $P < 0.05$ )。而在对照样地, 仅黄腹山雀的种群密度极显著地高于其他次级洞巢鸟( $P < 0.01$ )。

4 讨论

4.1 人工巢箱对次级洞巢鸟类分布模式及物种多

样性的影响

在分布模式上, 人工巢箱为一些次级洞巢鸟提供了可用的巢址, 因此使得一些次级洞巢鸟更多地选择实验样地作为栖息地, 如白眉姬鹎, 其在对照样地的种群密度就显著低于实验样地, 而对于那些本次研究中未利用人工巢箱的次级洞巢鸟, 如黄眉姬鹎及黄腹山雀, 在对照样地与实验样地的分布没

表2 实验样地与对照样地鸟类群落多样性指标比较  
Table 2 Diversity indices of bird communities in experimental and control plots

样地 Sample area	多样性指数 Shannon-Wiener index ( $H'$ )	均匀性指数 Pielou's index ( $J'$ )	丰富度指数 Margalef's index ( $d_{Ma}$ )	优势度指数 Simpson's index ( $\lambda$ )	群落种间相遇率 $PIE$
繁殖鸟类群落 Breeding bird					
实验样地 Experimental plot	2.249 ± 0.175*	0.699 ± 0.040	3.505 ± 0.437*	0.137 ± 0.022*	0.901 ± 0.016*
对照样地 Control	1.737 ± 0.140*	0.610 ± 0.094	2.436 ± 0.420*	0.257 ± 0.056*	0.803 ± 0.057*
次级洞巢鸟类群落 Secondary cavity-nesting bird					
实验样地 Experimental plot	1.425 ± 0.266*	0.523 ± 0.084	1.492 ± 0.348	0.285 ± 0.087*	0.769 ± 0.085*
对照样地 Control	1.002 ± 0.365*	0.433 ± 0.190	1.205 ± 0.500	0.452 ± 0.211*	0.584 ± 0.052*

\*指标在实验样地与对照样地间存在显著差异 ( $P<0.05$ ) Indices have significant difference between experimental plot and control ( $P<0.05$ ).

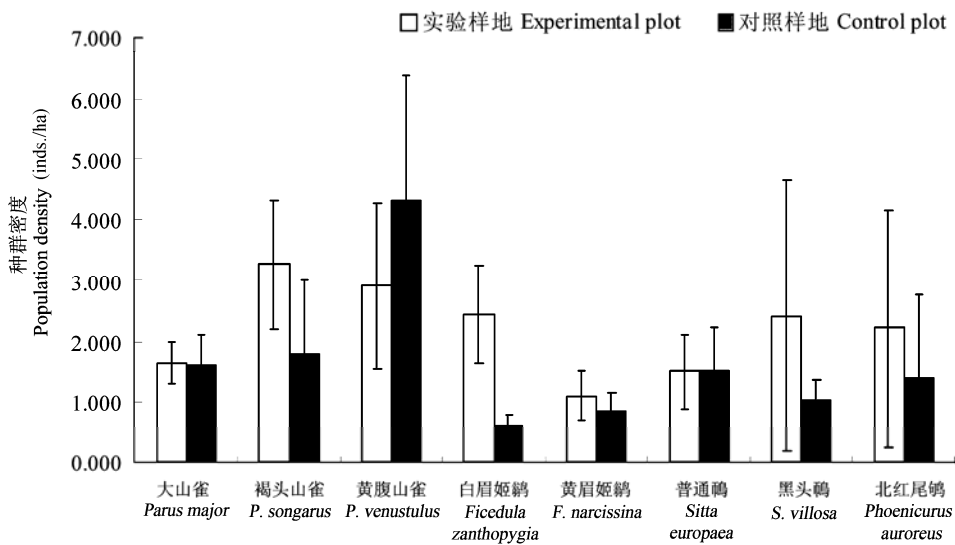


图2 实验样地与对照样地次级洞巢鸟种群密度比较  
Fig. 2 Population density of secondary cavity-nesting birds in experimental and control plots

有显著差异。因此, 人工巢箱能够影响一部分巢箱利用鸟的分布模式。

实验样地次级洞巢鸟群落的多样性指数( $H'$ )和群落种间相遇率( $PIE$ )显著高于对照样地, 而研究中所涉及的次级洞巢鸟在两样地均有分布, 因此多样性的差异是由次级洞巢鸟在两样地中相对丰度的不同造成的。单因素方差表明, 对照样地中黄腹山雀的相对丰度远高于其他次级洞巢鸟, 使得多样性指数较低; 但在实验样地中, 人工巢箱使褐头山雀和白眉姬鹀的相对丰度与黄腹山雀相似, 从而提高了多样性指数。因此, 人工巢箱在一定程度上通过增加其他次级洞巢鸟类的相对丰度提高了实验样地次级洞巢鸟的物种多样性。

4.2 人工巢箱对次级洞巢鸟种群密度的影响

在本次研究中, 实验样地白眉姬鹀的种群密度显著高于对照样地, 对照样地内显著少于黄腹山雀的褐头山雀在实验样地内达到了与黄腹山雀大小相似的种群密度, 支持了人工巢箱能够使巢箱利用鸟种群密度增加的观点(Semel & Sherman, 2001; Lohmus & Remm, 2005), 但大山雀及普通鸫在两样地种群密度并没有差异, 考虑不同巢箱利用鸟的巢箱利用率及繁殖成功率并不相同, 支持不同鸟类对于人工巢箱的反应并不相同的观点(Purcell *et al.*, 1997)。由此可见, 人工巢箱对次级洞巢鸟种群密度的影响是复杂多样的。

### 4.3 人工巢箱对繁殖鸟类群落结构的作用

本研究中次级洞巢鸟群落与繁殖鸟类群落具有显著的相关性。实验样地繁殖鸟类群落的多样性指数( $H'$ )、群落种间相遇率( $PIE$ )和优势度指数( $\lambda$ )发生了与次级洞巢鸟群落指标相应的变化,表明这些变化应归因于人工巢箱对次级洞巢鸟群落的影响进而影响了繁殖鸟类群落。而对繁殖鸟类群落来说,物种丰富度指数( $d_{Ma}$ )主要取决于鸟类的种数,实验样地显著高于对照样地更可能归因于栖息地本身的一些差异,如山沟的走向等。

综上所述,本研究中人工巢箱影响了一部分次级洞巢鸟的分布模式,并通过影响鸟类相对丰度影响了次级洞巢鸟的多样性,增加了一部分鸟类的种群密度,使得实验样地鸟类多样性增加。因此在本次实验中巢箱的悬挂对次生林鸟类群落保护起到了积极的影响。

**致谢:** 感谢北京师范大学生命科学院郭冬生老师提供的调查器材;感谢北京师范大学生命科学院曹晏宁、朱桂敏、闫旭飞、顾海峰、王鹏、石峰和北京大学蔡磊等在野外调查中的帮助。

### 参考文献

- Ardia DR, Perez JH, Clotfelter ED (2006) Nest box orientation affects internal temperature and nest site selection by tree swallows. *Journal of Field Ornithology*, **77**, 339–344.
- Bibby CJ, Burgess ND, Hill DA (1992) *Bird Census Techniques*. London Academic Press, London.
- Bull EL (2003) Use of nest boxes by vaux's swifts. *Journal of Field Ornithology*, **74**, 394–400.
- Chen LZ (陈灵芝) (1996) Forest recovery in northern China. In: *Conservation of Biodiversity in China* (保护中国的生物多样性)(ed. China Council for International Cooperation on Environment and Development (中国环境与发展国际合作委员会)), pp. 176–184. China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Chu GZ (楚国忠), Zheng GM (郑光美)(1993) The methods of sampling and investigation for bird's habitat. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), **28** (6), 47–52. (in Chinese)
- Hurlbert SH (1971) The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, **52**, 577–586.
- Loeb SC, Hooper RG (1997) An experimental test of inter-specific competition for red-cockaded woodpecker cavities. *Journal of Wildlife Management*, **61**, 1268–1280.
- Lohmus A, Remm J (2005) Nest quality limits the number of hole-nesting passerines in their natural cavity-rich habitat. *Acta Oecologica*, **27**, 125–128.
- Margalef R (1958) Information theory in ecology. *International Journal of General Systems*, **3**, 36–71.
- Pielou EC (1960) A single mechanism to account for regular, random and aggregated populations. *Journal of Ecology*, **48**, 575–584.
- Purcell KL, Verner J, Oring LW (1997) A comparison of the breeding ecology of birds nesting in boxes and tree cavities. *Auk*, **114**, 646–656.
- Semel B, Sherman PW (2001) Intraspecific parasitism and nest-site competition in wood ducks. *Animal Behaviour*, **61**, 787–803.
- Shannon CE (1948) A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, **27**, 623–656.
- Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature*, **163**, 688.
- Song J (宋杰) (1994) The facture and use of artificial nest-box. *Bulletin of Biology* (生物学通报), **29**(4), 25–27. (in Chinese)
- Thomas L, Laake JL, Strindberg S, Marques FFC, Buckland ST, Borchers DL, Anderson DR, Burnham KP, Hedley SL, Pollard JH, Bishop JRB, Marques TA (2006) Distance 5.0. Release 2. *Research Unit for Wildlife Population Assessment*. University of St. Andrews, UK. <http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/>
- Wang HT (王海涛), Gao W (高玮) (2002) Utilization of natural cavities by secondary cavity-nesting birds in secondary forest. *Zoological Research* (动物学研究), **23**, 136–140. (in Chinese with English abstract)
- White DH, Seginak JT (2000) Nest box use and productivity of Great Crested Flycatchers in prescribed-burned longleaf pine forests. *Journal of Field Ornithology*, **71**, 147–152.

(责任编辑: 张正旺 责任编辑: 闫文杰)