

# 鸟类用于环境监测的意义及研究进展\*

赵洪峰 雷富民\*\*

(中国科学院动物研究所 北京 100080)

**摘要:** 对鸟类应用于环境监测的历史和研究方法进行了简要回顾,在种群、种团、群落三个层次上对鸟类用于环境监测的意义进行了综合评述,并对其研究方向予以展望。

**关键词:** 鸟类; 环境监测; 指示物种

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2002)06-74-05

## Birds as Monitors of Environmental Change

ZHAO Hong-Feng LEI Fu-Min

(*Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100080, China*)

**Abstract:** This paper summarizes recent research on birds as monitors of environmental change. A general review is given about the significance of such research at three levels: population, guild and community. The likely direction of future research is assessed.

**Key words:** Birds; Environmental monitoring; Indicator

鸟类与环境的关系十分密切。影响鸟类的环境因子包括两大类:自然因子和非自然因子<sup>[1]</sup>。自然因子包括气候、地质、水文等,但主要影响因子是(1)气候:气候常常决定着某一地区的植被,这些对于鸟类生存和栖息是必须的,生态学家普遍认为鸟类的分布和多度的第一影响因子是植被,而食物、寄生物捕食关系则为第二影响因子。正是由于鸟类与植被有如此密切的联系,常常将其作为植物群落的指示物种(indicator)。(2)演替(succession):演替是一个自然过程,既包括植物随着时间的变化,也包括动物随着时间的变化。但是“动

物演替”这个概念很少被提到,它往往包含在植物演替中。(3)灾害(catastrophe):主要包括地震洪水、干旱和火山爆发等自然灾害,显然灾害的发生常常会引起鸟

---

\* 中国科学院西部创新项目“岷江上游生态系统恢复与重建示范研究(No. KSCX1-07-03-B)”;

\*\* 通讯作者;

第一作者介绍 赵洪峰,男,25岁,博士研究生;研究方向:动物学。

收稿日期:2002-01-25,修回日期:2002-09-10

类群落的突然的剧烈的变化。非自然因子通常是指人为干扰(human disturbance)。人为干扰的直接后果是生境破碎化(fragmentation),严重的生境破碎化常常导致生物多样性的急速丧失,甚至物种灭绝。人为干扰已经成为生物多样性丧失的主要原因。

环境作用于鸟类,鸟类依赖环境又反映环境的变化,由于鸟类对环境变化的高度敏感性,常常被用于监测环境变化。

## 1 研究简史回顾

鸟类用于环境监测由来已久,在古代,人们已经认识到鸟类的行为可以预测天气变化。亚里士多德早在公元前342年就在他的著作中提到鹤类的飞行和天气变化的联系。人们至今仍根据燕子的低空飞翔来判断将有降雨。这些都是鸟类简单、直观的监测应用,而在相当长的一段时间内,鸟类的其它监测作用为人们所忽视。

20世纪50年代以来,由于人口的爆炸式增长,人类对自然资源的过度需求,土地的不合理利用而导致的生态系统严重退化,森林生境严重破碎化,生物多样性丧失等环境问题日益严峻,人类与环境的矛盾日益尖锐。人们越来越认识到保护环境的必要性和迫切性,学者们也充分认识到监测环境的恶性变化的必要性。正式意义上的鸟类应用于环境监测开始发展。70年代,鸟类作为环境污染的指示物种的意义得到了充分肯定。美国早在1972年就确定了鸟类是环境变化的最具普遍意义的指示物种。实际上,鸟类在环境监测中的应用的一个主要方面就是用于监测环境污染。到80年代末,鸟类用于环境污染的研究已经相当完善,构建了相当完整的体系,已经应用于水污染、核辐射污染、大气污染、重金属污染、农药污染的监测。Furness和Greenwood对鸟类用于环境污染的监测进行了综合评价,充分肯定了鸟类作为环境污染的指示物种的监测意义<sup>[2]</sup>。鸟类在环境监测中的应用另一个主要方面是监测环境中的不为人所注意或意想不到的变化(unexpected change)和生境的整体变化<sup>[1,3]</sup>(habitat general change)。本文主要将这些方面的研究作以简述。

## 2 鸟类用于环境监测

鸟类对环境变化甚至对环境微小的波动都很敏感,而且鸟类是动物中很容易观察的类群,分布广泛,居住在各种各样的生境中,且多数鸟类的生物生态学习性已经为人们所了解,调查和研究方法也已相当完善,实际工作中费用较低,因此大多数学者认为鸟类是

理想的生物指示物种(Bio-indicator)。

### 2.1 有关概念

**2.1.1 环境监测** 环境监测是指对代表环境质量的各種标志数据进行长期的不间断的测定过程<sup>[4]</sup>。监测环境的波动和变化,对偏离标准或者目标的变化进行评价分析,收集可以说明这些变化的资料以及对监测客体的清楚完备的了解,构成了环境监测的主要内容。根据监测客体的不同,可以将环境监测分为非生物监测(non-biological monitoring)和生物监测(biological monitoring)。非生物监测主要是对环境中的物理成分和化学成分的检测和评价分析。其优点是对监测对象的评价分析准确度高,其缺点是由于抽样而常常将重要信息遗漏,而且费用较高。生物监测主要是对环境中的生物成分检测和评价分析。生物监测克服了非生物监测的某些缺点,生物常常可以反映出那些利用物化手段不易监测、不易被发现的变化,而且生物对环境变化有高度的敏感性,能够较全面的反映环境变化,其变化较容易监测,费用也较低,因此生物监测越来越得到学者们的关注。

**2.1.2 指示物种** 某一特定的环境中的生物种类和数量是巨大的,不可能对环境中的每个物种或者每个生物个体的变化进行研究,因此学者们常常选择某些对环境有高度敏感性的物种进行监测和研究,这些物种即指示物种。Machael引用韦伯大词典给出了指示物种的定义:与某种特定的环境严格相关的生物个体、种群或者群落,这些生物个体或者生物群落的出现常常可以指示这种特定环境条件的存在<sup>[1]</sup>。实际上,随着监测的发展,指示物种的意义也随之拓宽,不仅仅是生物实体,也包括与生物相关的参数,例如物种丰富度等,而且生物与环境常常是互为监测,环境也可以作为生物变化的指示物,学者们所关心的环境变化常常是人为造成的。

**2.1.3 监测物种和指示物种的选择** 在实际的监测工作中,常常要面临如何选择监测物种和指示物种的困难。Pertti总结了芬兰利用鸟类作为环境监测的物种所取得的经验和成果,提出了选择的标准<sup>[3]</sup>。监测物种选择标准:(1)种群变化必须反映真正的环境变化;(2)监测是基于科学有效的方法和数据分析;(3)自然和人工控制的环境中均可对种群进行监测;(4)结果具代表性;(5)可在同一年内监测种群繁殖成功率、出生率、死亡率和迁移情况;(6)鸟类监测和其它监测相结合。

指示物种的选择标准:(1)居留状态,指示物种一般选择留鸟,能够全面反映不同季节的环境变化;(2)生态位;(3)相关资料详尽全面;(4)容易监测;(5)对环

境变化敏感;(6)对环境波动(fluctuation)敏感,环境波动是指微小的环境变化;(7)一个确定的物种能够指示某种或某些环境条件的存在。指示物种的变化往往是由多种因子影响的,必须清楚引起变化的主要原因,才能够将指示物种应用到实践中。

尽管有很多标准,但在实际工作中,监测物种和指示物种的选择仍有很大的随机性。Claire认为用排序方法选择指示物种是一种较好的方法<sup>[5]</sup>,因为这种方法并不需要对指示物种的种群生物学进行详细了解,而且排序法可以很容易地监测多个种的分布和这些种与环境参数的关系。他利用蝴蝶作为指示物种来分析它与环境的关系以及指示物种的可行性,采用无偏对应分析、典型相关分析两种排序方法得出蝴蝶是地形梯度和温度梯度上的异质性的良好指示物种,但是不能作为植物多样性的指示物种。也有学者认为某一地区的稀有种(rare species)或优势种(dominant species)是良好的监测物种和指示物种<sup>[6]</sup>。

**2.2 鸟类用于环境监测的研究内容** 研究的空间规模一般划分为个体空间(individual space)、当地(local)、地区(regional)和生物地理区划(biogeographic)四个层次,大多数的研究着眼于个体空间和当地生境。普遍意义上的监测主要包括:①监测某一物种的繁殖期和非繁殖期(冬季)种群;②监测不同种的种群动态;③监测整个鸟类区系的种群动态和群落动态。也就是种群及个体(population and individual)、种团(guild)和群落(community)三个层次。常用监测方法是点计数法(point count)和线样带法(line transect),但对水鸟、晨昏性鸟类和夜行性鸟类以及猛禽则用不同的监测方法。

**2.2.1 种群和个体监测** 种群和个体是实际监测工作中监测的主要实体,环境对鸟类的影响直接通过个体表现。监测种群的目的是为了了解限制种群大小的关键因子<sup>[7]</sup>(这些关键因子常常是人为的,导致环境的恶性变化),因为影响鸟类种群的环境因子是多方面的,而且鸟类本身是密度制约种群(density-limited population)。在实际工作中,监测多在夏季进行,因为鸟类在夏季进入繁殖期,在整个繁殖期内,种群的分布相对集中,群落相对稳定,个体的活动空间相对固定,而且对幼雏的监测常常可以获得很重要的而又容易被忽视的信息<sup>[8]</sup>。Stephen给出了在英国和爱尔兰监测繁殖季节的歌鸫的实例<sup>[9]</sup>,监测的目的是了解导致种群衰退的关键环境因子。他在监测繁殖鸟数量时用相邻两年(a pair of years)为一组合,而比较两年的鸟的数量变化的百分数。监测对象既包括成鸟又包括幼鸟和窝卵。他认为监测的指标应尽量详细,在具体监测中,成鸟数

量、幼鸟数量、窝卵数、繁殖力、幼鸟成活率、卵的孵化率等指标都应该考虑,而且分析种群模型的数学方法同样重要。在连续多年监测的基础上,他应用多元分析和回归分析等数学方法得出温度是引起种群衰退的主要原因,但是窝卵数在多年内并无明显变化。Stephen还认为如果可能,监测冬季的种群也很必要,因为许多鸟类的种群在冬季有很大变化,尤其是幼鸟<sup>[9]</sup>。Paul肯定了冬季监测的意义<sup>[10]</sup>。在对破碎化生境(fragmented habitat)中的冬季鸟类的丰富度、密度和生境进行调查后认为,林地面积是影响冬季鸟类物种丰富度和密度的关键因子,而且灌木盖度与小型鸟类的相关关系非常显著,灌木盖度可以指示小型鸟类的存在。

种群和个体作为指示物种主要是在监测环境污染方面。某些有生物毒性的重金属常在许多鸟类(原鸽、野鸭、银鸥、蛎鹬等)不同组织中积累,因此通过对鸟的血液、羽毛、组织、卵中铅、汞、镉等重金属的含量的测定可以监测环境中重金属是否构成污染<sup>[2]</sup>,常用的测定方法有ICP-AES法,原子分光光度法,冷原子吸收法等<sup>[11,12]</sup>。有机农药常常对鸟类的繁殖造成影响。研究表明,DDT和PCBS类化合物可引起鸟卵壳变薄,繁殖力下降,导致种群数量的显著减少。某些鸟(大白鹭、银鸥等)因其卵壳的厚度和体内氯化物含量常常作为有机农药残留量的指示物种<sup>[13]</sup>,两者之间有显著的相关关系。测定有机物含量的常用方法是气相色谱仪检测法和细胞微核检测法<sup>[14]</sup>。许多水鸟(如白鹭)的繁殖力、窝卵数和幼鸟的成活率是良好的水质指示物种<sup>[12]</sup>。鸟类用于环境污染的监测发展很快,在许多国家已经建立了连续的长期的污染监测系统,并且收到很好的效果。

**2.2.2 种团监测** 种团(guild)概念的提出和理论的发展使人们将种团与环境变化联系在一起。种团由Root提出,指以相似方式利用相似资源的物种的集合体<sup>[15]</sup>。根据其概念,常常以食性和筑巢情况来划分种团。Severinghaus提出用种团的理论来监测环境变动,认为影响资源的环境因子,也以相似的方式影响利用这些资源的每一种团和种团中的每一物种,因此种团的变化和种团中每一物种的变化能够反映环境的变化<sup>[16]</sup>。Robert通过实验评价了种团作为指示物种的可行性<sup>[17]</sup>,认为种团对环境变化的反应与种团内每个物种对环境变化的反应很不一致,环境对种团的影响可能导致种团中一些鸟的数量增加,一些鸟的数量减少,一些鸟的数量无明显变动,同一种团中的鸟类对环境的反应并不一致,因此也就不可能反映环境的变化。Verner发展了种团理论,将一群对一系列环境变化有相似反应的物

种归为种团<sup>[18]</sup>,这样的种团其实是指示物种的集合。关于种团的划分无统一标准,因此在实际工作中有很大的随机性,而且种团的界定与环境并无严格的相关关系,因此很多学者对于用种团变化监测环境表示怀疑<sup>[6]</sup>。

**2.2.3 群落监测** 某一生境中的鸟类常常构成有机的群落,而物种的多样性和均匀度是群落的两个重要性质,因此在上世纪 60、70 年代,学者们常常用鸟类群落的物种多样性指数和均匀度指数来监测环境质量。他们认为,许多情况下,生态条件较好的生境常常具有更大的物种多样性和均匀度,反之,物种多样性和均匀度大的生境也应具有较好的生态条件,即物种多样性指数高的生境优于物种多样性指数低的生境,随着研究的深入,这种理论遭到质疑。Schroeder 认为物种多样性指数的高低和环境质量无显著相关关系<sup>[19]</sup>,尽管有时物种多样性指数的变化和环境的变化趋势相同,物种多样性指数和均匀度指数作为环境质量的指示物种有一定的局限性。Schroeder 的观点得到许多学者的普遍接受,之后的群落监测研究逐渐向研究群落内物种间的相互关系,群落、物种与生境的相互关系转移<sup>[3,6]</sup>。

Grant 成功地将鸟类群落和生境结合作为森林状况的指示物种<sup>[20]</sup>。他利用了一种鸟类群落指数,  $\ln(MF + 1) - \ln(SL + FE + 1)$ ,其中  $MF$  表示成熟林中鸟的物种数; $SL$  表示灌木林中鸟的物种数; $FE$  表示林缘鸟的物种数。如果指数结果为正值,则说明在鸟类群落中干扰敏感种 (disturbance-sensitive species) 占优势;若为负值,则说明干扰耐受种 (disturbance-tolerant species) 占优势;若为零,则说明两类鸟比例相近。又根据食性、筑巢情况将所有鸟划分为很多取食种团和筑巢种团,应用数学方法得出在任何一个取食种团内的每一个物种同其他物种之间并无明显相关关系,根据鸟类的栖息活动情况将所有鸟划分为若干集群 (assemblage),发现生境集群 (habitat assemblage) 内的物种相关关系非常显著。他又从每个生境集群中选出四个常见种 (common species),分析它们与树冠冠幅 (canopy cover) 的相关性,曲线反映出灌木集群中四个种的出现概率随树冠冠幅增加而下降,而成熟林集群的四个种出现概率随树冠冠幅增加而增加,林缘集群的出现概率与树冠冠幅无明显相关性,生境广布集群 (habitat generalist assemblage) 中的四个种也无升降趋势。回归曲线反映出灌丛集群和成熟林集群和干扰关系密切,林缘集群与干扰无显著相关性,生境广布集群比灌丛集群和成熟林集群的相关性弱。他通过主分量分析发展了一个生境指数,比较了生境指数和鸟类群落指数,认为生境指数可以

预测鸟类群落指数,而且生境指数与树冠的盖度和树木底面积的相关关系很显著,两种指数可以监测植被的受干扰情况以及与干扰相关的鸟类的变化。

### 3 讨论

总体来说,大多数学者对于鸟类用于环境监测持乐观态度,鸟类用于环境污染的监测已经得到公认,认为对多个物种的监测是较稳妥的手段,但是对于单一物种和种团的监测应用则持怀疑态度。对于鸟类用作环境变化的指示物种,一般认为如果能够确定影响鸟类的关键因子和鸟类与环境的相关关系,那么鸟类可能是良好的指示物种。但也有学者持反对意见。David 曾对单个物种、种群模型和种团结构作为指示物种的实用性和可行性进行评价<sup>[21]</sup>,认为这些都是局限的和不适用的,指示物种的确定有很多影响因素,而且指示物种的敏感性很难确定。即使无脊椎动物对环境有高度的敏感性,但是由于无脊椎动物的分类很困难,因此在实践中应用也很困难。

近些年来,生境破碎化 (habitat fragmentation) 对生物多样性的影响已经成为人们关心的话题之一。生境破碎化对鸟类的影响已经为学者们所关注,鸟类与破碎化生境中植被的相关关系也已得到深入研究<sup>[22-24]</sup>。普遍认为生境破碎化对种群的繁殖力、成活率、群落的组成、物种多样性等有显著影响,而且往往是负面的。某些鸟类对生境破碎化非常敏感 (干扰敏感种),可以作为生境破碎化的指示物种<sup>[20]</sup>。与生境破碎化相对应,生态恢复 (ecological restoration) 是摆在我们面前的新的重要的严峻课题,而对恢复效益的监测和评价也同样重要。生态恢复的基本途径是植被恢复,鸟类与植被有显著联系<sup>[25]</sup>,将鸟类监测和其它监测相结合,建立综合的监测评价体系无疑很有意义。很多新技术的应用,如遥感和地理信息系统的应用,将鸟类监测的空间扩大到更大规模,监测的准确性也大大提高<sup>[26]</sup>。总而言之,用鸟类监测环境是一条经济、方便、实用的途径。

### 参 考 文 献

- [1] Michael M. Bird population as indicators of environmental change. *Current Ornithology*, 1986, 14: 430 ~ 448.
- [2] Furness R W, Greenwood J J D. Birds as Monitors of Environmental Change. London: Chapman Press, 1993.
- [3] Pertti K. Birds as a tool in environmental monitoring. *Annals of Zoological Fennica*, 1989, 26: 153 ~ 166.
- [4] 文桢中, 陆健健 (主编). 应用生态学. 上海: 上海教育出版社, 1995.
- [5] Claire K. Assessing the indicator properties of species assem-

- blages for natural areas monitoring. *Ecological Application*, 1992, 2(2): 203 ~ 217.
- [ 6 ] Mary K C, William B K, Anthony J L. Single species as indicators of species richness and composition in California coastal sage scrub birds and small mammals. *Conservation Biology*, 2000, 14: 474 ~ 487.
- [ 7 ] Newton I (ed). Lifetime Reproduction in Birds. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1989.
- [ 8 ] Robbins C S, Sauer J R. Population declines in North American birds that migrate to the neotropics. *Proceeding of National Academy Science*, 1989, 86: 7 658 ~ 7 662.
- [ 9 ] Stephen R B. Integrated population monitoring of breeding birds in Britain and Ireland. *Ibis*, 1990, 132: 151 ~ 162.
- [ 10 ] Paul F D, Thomas C G. Habitat and landscape correlates of presence, density and species richness of birds wintering in forest fragments in Ohio. *Wilson Bulletin*, 2000, 112(3): 388 ~ 394.
- [ 11 ] Scheuhammer A M. The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury and lead in birds: overview. *Environment Pollution*, 1987, 71: 329 ~ 375.
- [ 12 ] Peakall D B. Animal Biomarkers as Pollution Indicators. London: Chapman & Hall, 1993.
- [ 13 ] Parslow J L F, Jefferies D J. Gannets and toxic chemicals. *British Birds*, 1977, 70: 366 ~ 372.
- [ 14 ] 张恒军. 鸟类在环境监测中的作用. *生物学通报*, 1992, 3: 8 ~ 10.
- [ 15 ] Root R B. The niche exploitation pattern of the blue-gray gnatcatcher. *Ecology Monography*, 1967, 37: 317 ~ 350.
- [ 16 ] Severinghaus W D. Guild theory development as a mechanism for assessing environmental impact. *Environmental Management*, 1981, 5: 187 ~ 190.
- [ 17 ] Robert C S. Guild management: an evaluation of avian guilds as a predictive tool. *Environmental Management*, 1986, 10(5): 681 ~ 688.
- [ 18 ] Verner J. The guild concept applied to management of bird populations. *Environmental Management*, 1984, 8: 1 ~ 14.
- [ 19 ] Schroeder R L. Community model for wildlife impact assessment: a review of concepts and approaches. *USDI Fish and Wildlife Service Biology Report*, 1987, 87(2): 1 ~ 41.
- [ 20 ] David B L, Chris R M, Daniel B B. Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation Biology*, 2000, 14: 941 ~ 950.
- [ 21 ] Grant E C, Thomas E M, Daniel R P *et al.* Bird communities and habitats as ecological indicators of forest condition in regional monitoring. *Conservation Biology*, 2000, 14: 544 ~ 588.
- [ 22 ] Ake B. Diversity and abundance of bird in relation to forest fragmentation, habitat quality and heterogeneity. *Bird Study*, 1997, 44: 355 ~ 366.
- [ 23 ] Alexander A. Effects of selective logging on a bird community the Brazilian Atlantic forest. *The Condor*, 1999, 101: 537 ~ 554.
- [ 24 ] Marcos M C, Miguel A M. Effects of forest fragment size and successional stage on mixed-species bird flocks in southeastern Brazil. *The Condor*, 2000, 102: 585 ~ 594.
- [ 25 ] 余作岳, 彭少麟(主编). 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究. 广州: 广东科技出版社, 1996.
- [ 26 ] Diaz M, Carbonell R T, Santos *et al.* Breeding bird communities in pine plantations of the Spanish plateau: biogeography, landscape and vegetation effects. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 35: 562 ~ 574.