



中国观鸟数据揭示鸟类分布变化

李雪艳^{①②}, 梁璐^③, 宫鹏^{②③*}, 刘阳^④, 梁菲菲^③

① 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875;

② 中国科学院遥感应用研究所, 北京师范大学遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

③ 清华大学地球系统科学研究中心, 北京 100084;

④ 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875

* 联系人, E-mail: gong@irsa.ac.cn

2012-07-13 收稿, 2012-07-27 接受

国家自然科学基金重大项目(30590370)、国家高技术研究发展计划(2009AA122000)和香港观鸟会中国自然保育基金资助

摘要 以《中国观鸟年报》(2003~2007)为数据源, 利用自己开发的球面地理信息系统软件 Global Analyst, 结合鸟类适宜生境信息, 制作完成基于发现点的、具有精确时空信息的中国观鸟数据库. 该数据库较为精确全面地反映了中国观鸟的成果, 为鸟类分布基础数据提供了补充. 5年内收录记录 30936 条, 共 17 目 70 科 1078 种, 占全部鸟类的 80%以上. 到 2007 年, 实现了除香港和台湾外, 所有省级行政单位均有观鸟记录收录. 观鸟数据库记录了一批国家级和省级新纪录, 包括 14 种中国新发现鸟类, 还有 109 种鸟类出现在原有认识分布区之外的省份. 通过与原分布范围的比较, 除了发现有多种鸟类向高纬度和高海拔迁移的趋势外, 还在新疆出现了多种水鸟新纪录, 并有一批内地罕见的海鸟记录. 提交记录的观鸟者以东部经济发达省份居多, 但记录的覆盖范围有向西北地区推进的趋势. 此外, 我们呼吁采取网格式布点的方法, 结合无线传感器网络技术进行观测, 并建立观鸟数据共享平台, 以便全面掌握中国鸟类的分布动态, 为中国鸟类保护提供直接的依据.

关键词

观鸟数据库
鸟类分布变化
鸟类新纪录
Global Analyst

鸟类作为对生态系统状况最敏感的指标物种, 其栖息地范围和迁徙路线都会随着全球环境的变化而改变, 其中以人类活动和气候变暖所产生的影响最为直接^[1]. 鸟类分布的现状 & 变化趋势已成为全球变化领域关注的热点. 但至今, 中国仍没有一个符合上述特点的、便于时空分析应用的鸟类地理分布数据库.

目前广泛应用的鸟类分布数据多数基于专家知识, 这些来源于经验认识、调查监测的鸟类分布描述多以省级行政单位、保护区、生态分区为单元, 如《中国鸟类分类与分布名录》^[2]、《中国鸟类野外手册》^[3]等. 一些在线鸟类数据库也是基于这些数据, 如中国鸟类物种信息检索网络数据库(<http://www.birdnet.cn>)、中国动物主题数据库(<http://www.zoology.csdb.cn>)、中国鸡形目鸟类分布数据库^[4]等. 这些鸟类分布数据能够较全面地反映鸟类的分布情况, 但分布单元较大,

没有地理坐标和时间序列, 难以进行时空变化分析. 由于生境退化和破碎化现象对鸟类分布产生的影响^[5~7], 分布名录往往难以代表真实分布. 此外, 还有众多的地方性、区域性和保护区鸟类调查^[8~10], 这些数据记载准确详细, 但受范围所限, 难以反映物种在全国的分布情况.

近年来, 基于公众参与的观鸟记录数据开始受到鸟类研究者的重视. 国外利用观鸟者提供的记录, 开展长期监测计划, 如 Breeding Bird Survey (<http://www.pwrc.usgs.gov/BBS/>)、Christmas Bird Count (<http://birds.audubon.org/christmas-bird-count>)、BTO (<http://www.bto.org/>)等, 为鸟类调查和研究提供了大量第一手资料, 在探究人类活动影响^[11]、气候变化反馈^[12]、多样性保护中心确定^[13]、保护区建立和保护效果评价^[14,15]等方面取得了进展. 这类数据一般带

有准确的经纬度或较详细的发现地描述,对于细化鸟类分布范围,缩小鸟类分布单元有重要作用。并且有成本低、信息量大、易于获取、时间序列长、地理精度高、利于时空变化分析等优点。但在大陆尚缺少比较全面的、涵盖所有鸟种的、公开的鸟类分布数据库。

《观鸟年报》是迄今为止对中国观鸟爱好者观测结果最完整、时效最新的总结。年报记录的鸟种连续3年在千种之上,约占中国所有鸟种的80%^[16]。每条观鸟记录都经过鸟类专家的整理和审查,以保证准确性。年报记录对于发现地描述详细,有利于提高数据精度。作为对鸟类分布基础数据的补充,能够帮助我们更好、更及时地了解鸟类分布变化情况,特别是受关注鸟类的状况。此外,通过分析观鸟数据的分布和来源,可以更好地指导观鸟者的观鸟活动,还可提高观鸟数据质量和深入的科学利用价值。因此,我们使用遥感科学国家重点实验室与企业界协作开发的基于球面GIS软件Global Analyst (GA)^[17],首次建立了中国观鸟时空分布数据库,并对新发现记录和原有记录进行了比较,初步分析了观鸟记录和观鸟者的时空分布特征。

本文旨在利用中国目前最完善的观鸟记录,建立一个带有地理坐标的鸟类分布数据库,为此类数据的积累和分析打下基础。本文的研究目的为:(1)研究其作为一种新型数据,同以往的传统数据相比,有哪些特点和价值?(2)通过观鸟数据与传统分布的对比,分析国家级和省级新发现鸟类的分布特征;(3)在当前数据的基础上,对中国观鸟数据库的完善和发展提出可行思路和建议。

1 数据

1.1 数据来源与制作方法

本研究的数据源为2004~2008年出版的《中国观鸟年报》(2003~2007),年报中详细记录了观鸟种类、时间、地点、数量和发现者的信息。例如,2007年对于疣鼻天鹅(*Cygnus olor*)的记录如下:

0066# 疣鼻天鹅 Mute Swan *Cygnus olor*

山东:2月6日,黄河三角洲自然保护区,83只[SK];

四川:12月4日,红原瓦切,5只,向若尔盖方向飞[SY];

新疆:7月24日,福海乌伦古湖,1只[GJun];

(注:方括号内为观鸟记录提供者名字的缩写。)

对如此详细而且空间尺度大到中国范围的观鸟记录,利用地形图或有地理编码的数据库进行数字化,不仅费时费力,也难以达到满意的精度。事实上,如何获取不同尺度上地理名称的准确位置,已成为很多历史、生态、环境数据库建设的瓶颈问题。为解决这一问题,我们采用GA软件作为建库工具。该软件采用更新及时且精度较高的Google Earth遥感影像底图,并能支持地名查询,为数据制作人员提供了丰富的鸟类生境和地理信息。观鸟数据库建设工作流程如下:(1)将年报记录电子化,同时设定数据库格式规范。观鸟记录的属性表共有13个字段,分别是:编号、目、科、中文名、英文名、拉丁名、发现年、月、日、发现省、发现地、数量和描述;(2)根据鸟类分布专著^[3,18]所描述的分布状况和习性,提取出鸟类适宜生境类型名录,包括适宜栖息的植被种类、土地利用类型、海拔高度等信息。同时,以鸟名为匹配字段,将每条记录匹配上对应的生境;(3)使用GA搜索发现地点,通过目视判读,在影像中对应生境的区域上标注地点,同时添加属性表信息,生成带有经纬度坐标和其他属性的KML文件,一种鸟类对应一个文件,包括一年中的所有发现记录。整理合并成为观鸟数据库;(4)交叉检查与数据勘误。不同数据处理人员对适宜生境的认知往往不同,数据制作过程中难免产生误差。因此,在数据制作完成以后,将制作人员分成小组,采取交叉检验的方式,找出有争议的地点,查阅相关资料后制定标准,进行统一修改,以尽量减小误差。

1.2 精度评价

观鸟记录在野外观测、记录、编辑和数字化的过程中,都会产生误差。综合来说,数据库精度主要受三方面因素的影响。首先,为防止人们利用年报记录追踪并偷猎鸟类,在记录提交和出版时,志愿者和编辑会模糊鸟类发现地点的详细描述。参考不同鸟类的适宜生境、土地利用类型和海拔高度,能够在最大程度上还原发现位置。其次,志愿者在野外进行观鸟活动时,往往很难准确判断自己所处位置,而以诸如“某地至某地”或者“某地附近”的描述代替。这种情况多发生于青海、新疆、西藏等西北地区,最远的两地间隔有300 km,最近的也有几十公里。这类记录出

现的比例约为 4%。对于这样的记录,数据制作人员在保证地名准确的前提下,在周围寻找适宜鸟类栖息的环境,尽可能提高定位精度。第 3 种情况发生在保护区内的观鸟活动中。尤其对范围较大的保护区,仅以名称来标明发现地点,难以标定确切位置。这类记录的比例约为 16%。对于这种情况,一般采用保护区中心点作为发现点。

1.3 数据库更新

2003~2007 年观鸟数据库的建设,为以后的数据更新工作提供了大量的基础数据。从现有数据库中提取所有曾经出现过的观鸟地名,包括经纬度和海拔信息,整理形成观鸟地名数据库。地理名称和地理坐标一一对应。数据更新时,对于曾经出现过的地名,利用地理信息系统软件 ArcGIS 9.3^[19]进行地名匹配和属性链接,就能够自动生成大量数据。对于未曾出现过的地名,再使用 Global Analyst 进行标定,生成新的观鸟地名文件,并对数据库进行补充。

1.4 数据特点

作为一种新型数据,观鸟年报数据库具有以下几个特点:

(1) 数据以“点”的形式表达。使用球面 GIS 软件 Global Analyst,将鸟类发现记录以“点”的形式表现在 Google Earth 上,数据精度大大提高。Global Analyst 不仅利于展示,更能进行球面分析,相比较常用的二维平面分析方法,在鸟类迁徙、禽流感传播^[20]等大尺度研究应用方面具有一定优势。

(2) 易于更新和维护。不同于以往的静态分布数据,中国观鸟数据库是一个动态更新、方便维护的鸟类分布数据。使用年报作为数据源,保证了数据的时间序列。而 GA 软件则为数据库的管理和维护提供了方便。有了长时间序列的高精度鸟类分布数据,就为鸟类对于气候、环境变化和人类活动的响应的研究提供了支持。

(3) 提供开放数据平台。基于网络的 Global Analyst 可以使广大的观鸟者参与到观鸟记录的更新和维护工作中来。观鸟者可以在 Global Analyst (<http://www.globalanalyst.cn/>)上建立自己的个人账户,在观鸟活动结束后,及时上传和发布自己的观鸟记录、照片等信息,也可以和众多的观鸟者进行讨论和交流。这样就从根本上解决了鸟类数据收集的问题,扩展

了数据来源,为鸟类研究者提供帮助。

2 中国观鸟记录分布现状

2.1 物种组成

5 年间观鸟数据库共有记录 30936 条(图 1),共 17 目 70 科 1078 种。包含国际受胁鸟种“极危(CR)”级 4 种,“濒危(EN)”级 11 种,“易危(VU)”级 44 种(BirdLife International, 2008. <http://www.birdlife.org/datazone>),国家一级保护鸟类 27 种^[21]。到 2007 年,实现了除香港和台湾外,所有省级行政单位均有观鸟记录收录。发现鸟类记录最多的依次是云南省、四川省和新疆维吾尔自治区,这 3 省(自治区)的观鸟记录之和占全国的 30%以上。

2.2 新发现鸟种

2003~2007 年观鸟数据库共收录中国新鸟种 14 种(表 1)。这些新纪录分别出现在云南、西藏、新疆、河北和天津,主要是中国与其他国家交界的省区(云南、新疆、西藏)和沿海省市(天津、河北),以云南最多(7 种),河北次之(3 种)。在这些中国新发现记录中,有的鸟种原有分布区距离我国较远,可能是偶见的迷鸟,如弗氏鸥(*Larus pipixcan*)等;也有的原有分布区接近我国,并在繁殖期被发现,则有可能在我国境内繁殖,如亚历山大鸚鵡(*Psittacula eupatria*)等雀形目鸟类。

2.3 鸟类分布范围变化

2003~2007 年观鸟数据库中,出现了一批省级新纪录,109 种鸟类被发现于原有认识分布区之外(表 S1): (1) 有多种水鸟被发现于新疆,如罕见的鸭科冬候鸟长尾鸭(*Clangula hyemalis*)、小白额雁(*Anser erythropus*)、斑背潜鸭(*Aythya marila*)以及通常见于东部沿海的小杓鹬(*Numenius minutus*)、红颈滨鹬(*Calidris ruficollis*)、长趾滨鹬(*Calidris subminuta*)、彩鹬(*Rostratula benghalensis*)、剑鹬(*Charadrius hiaticula*)、牛背鹭(*Bubulcus coromandus*)、海鸥(*Larus canus*)等; (2) 鸟类分布有向高纬度和高海拔地区移动的趋势,包括罗纹鸭(*Anas falcata*)、斑鱼狗(*Ceryle rudis*)、灰头鸚鵡(*Psittacula finschii*)、红脚苦恶鸟(*Amaurornis skool*)、白喉林鸚(*Rhinomyias brunneatus*)、白头鹎(*Pycnonotus taivanus*)、红腹红

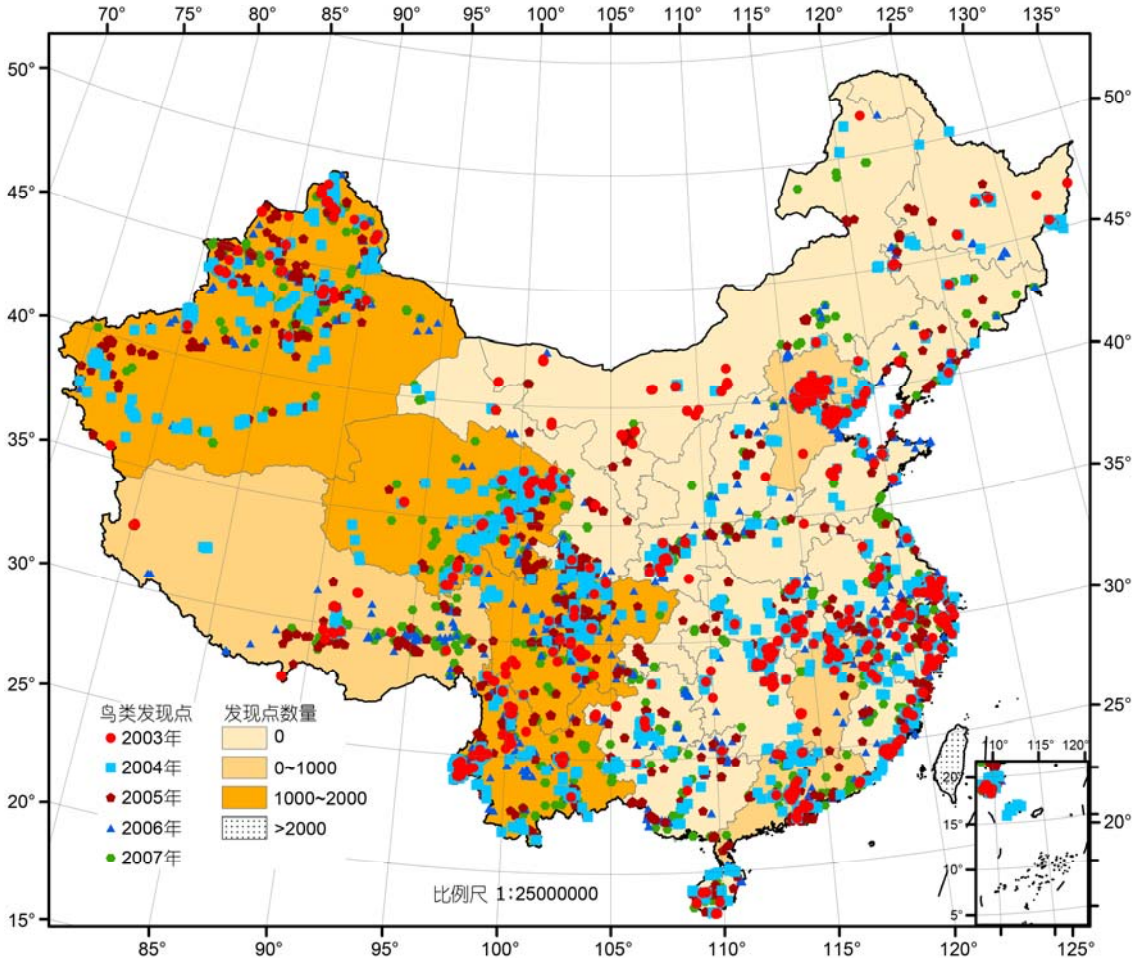


图 1 2003~2007 年中国鸟类发现点分布图

表 1 2003~2007 年观鸟数据库中国新发现鸟类列表

中文名	拉丁名	发现时间	地点
亚历山大鸚鵡	<i>Psittacula eupatria</i>	2004 年 1 月 12 日	云南丽江、瑞丽湖
欧(绿)金翅	<i>Carduelis chloris</i>	2003 年 8 月 16~20 日	新疆伊宁、奎屯至塔城
弗氏鸥	<i>Larus pipixcan</i>	2004 年 9 月 18 日	天津塘沽沿海
斑翅棕鸟	<i>Saroglossa spiloptera</i>	2004 年 11 月 22~23 日	云南瑞丽
线尾燕	<i>Hirundo smuthii</i>	2004 年 1 月 10 日	云南瑞丽生态公园、畹町中缅边境、中缅河
蓝腰短尾鸚鵡	<i>Psittinus cyanurus</i>	2005 年 5 月 4 日	云南思茅莱阳河自然保护区
暗背雨燕	<i>Apus acuticauda</i>	2005 年 11 月 3 日	云南高黎贡山
白颊鹇	<i>Pycnonotus leucogenys</i>	2005 年 12 月 28, 30, 31 日	西藏日喀则
休氏白喉林莺	<i>Sylvia althaea</i>	2005 年 8 月 3 日	新疆喀什以西
欧金鸽	<i>Pluvialis apricaria</i>	2006 年 9 月 28 日	河北昌黎大蒲河
钳嘴鹳	<i>Anastomus oscitans</i>	2006 年 10 月 3 日	云南大理洱海西湖
大长嘴地鸫	<i>Zoothera monticola</i>	2007 年 2 月 4 日, 3 月 6 日	云南瑞丽莫里热带雨林区
梯氏鸫	<i>Turdus unicolor</i>	2007 年 6 月 30 日, 7 月 1 日	西藏樟木
红胸姬鹀	<i>Ficedula parva</i>	2007 年 5 月 19 日	河北乐亭捞鱼尖
弄岗穗鹛	<i>Stachyris nonggangensis</i>	2007 年 2 月 21 日	广西龙州弄岗自然保护区

尾鸥 (*Phoenicurus erythrogastrus*) 以及多种不常见于西藏的猛禽; (3) 出现了一批内地罕见的海鸟记录, 如细嘴鸥 (*Chroicocephalus genei*)、小鸥 (*Hydrocoloeus minutus*)、白斑军舰鸟 (*Fregata ariel*)、三趾鸥 (*Rissa tridactyla*)、小凤头燕鸥 (*Thalasseus bengalensis*)、黑嘴端风头燕鸥 (*Thalasseus bernsteini*)、黑枕燕鸥 (*Sterna sumatrana*)、蓝脸鲣鸟 (*Sula dactylatra*)、白玄鸥 (*Gygis alba*)、短尾贼鸥 (*Stercorarius*

parasiticus) 等. 将《中国鸟类野外手册》中记录的原有分布范围, 同 5 年间发现点进行叠加和比较(其中省级新发现点以绿色标注, 见图 2).

2.4 发现点的时空分布特征

我们统计了 2003~2007 五年各省(自治区)观鸟记录提交志愿者的总人数(图3), 各省观鸟者数量同观鸟记录数并不成正比, 大多集中在经济发展程度高的省

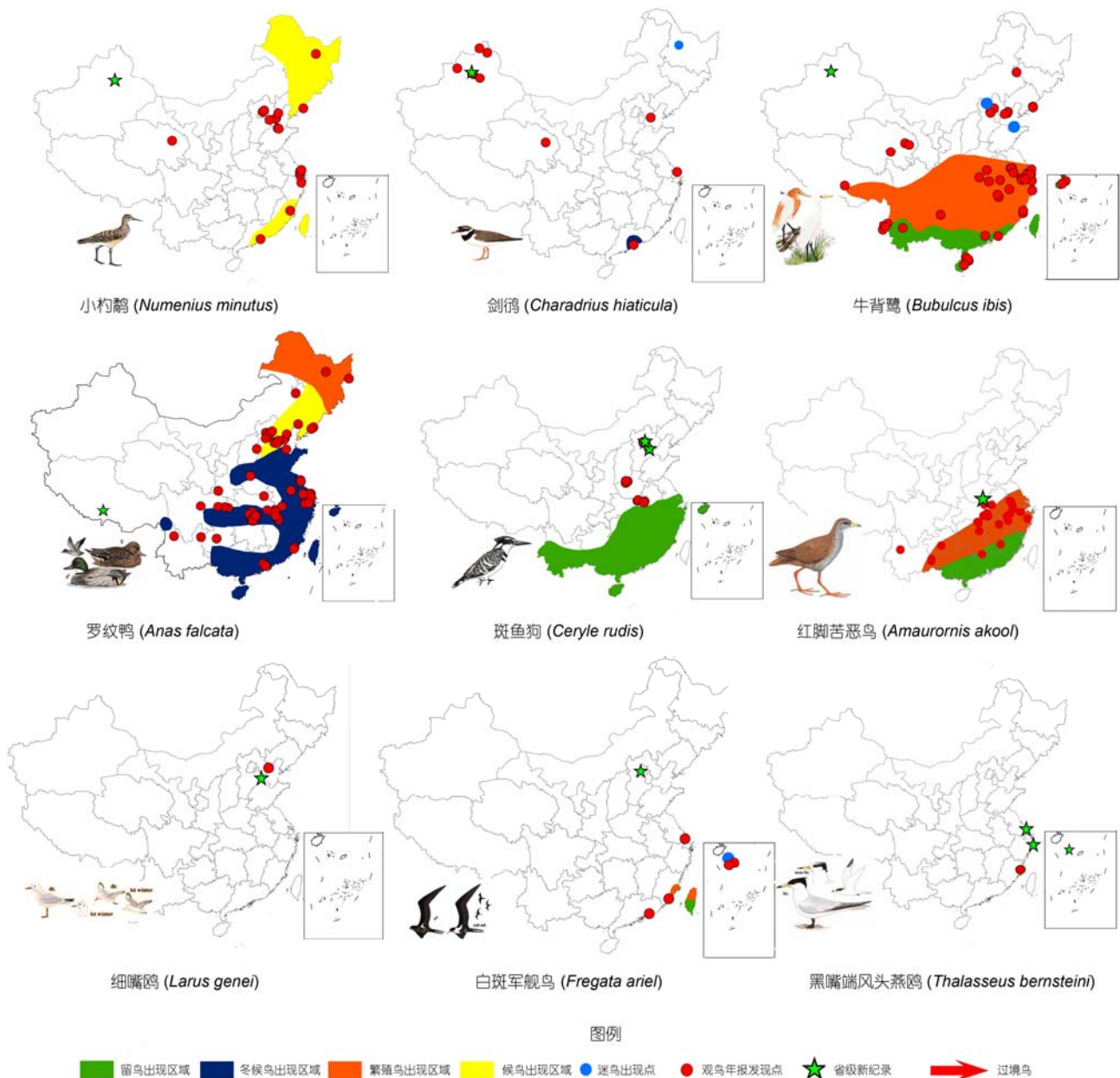


图 2 中国观鸟数据库省级新记录分布图

比例尺为 1: 25000000, 原分布范围和鸟类插图根据《中国鸟类野外手册》数字化制图

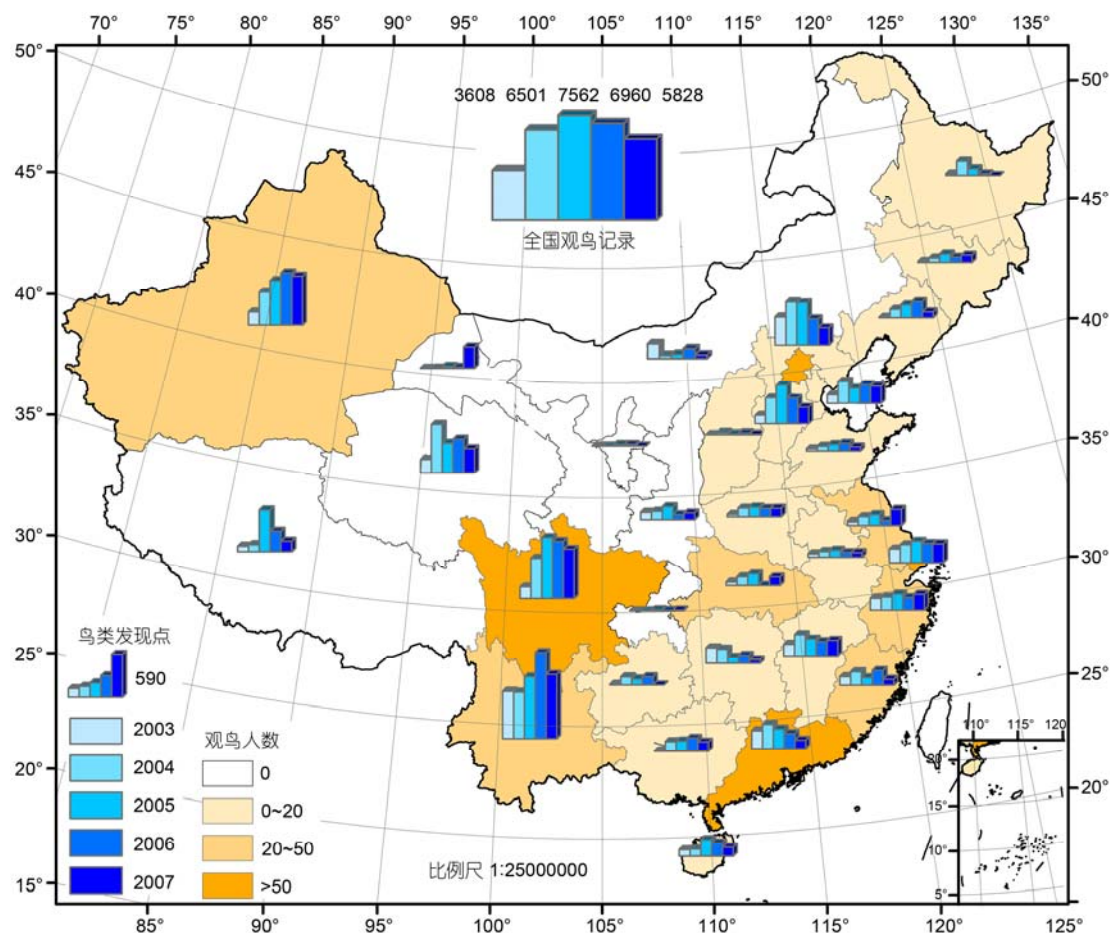


图3 观鸟记录提交者分省(自治区)分布图

市. 北京的观鸟者人数居全国之冠, 年均达到了 50 人左右, 广东、上海和浙江次之. 中西部地区内蒙古、甘肃、宁夏、陕西、青海、西藏、重庆则没有观鸟者. 从鸟类发现点的年际变化上来看, 云南、四川、新疆、青海、北京和河北的鸟类记录数量较多并有稳定增长, 在观鸟人数较少的地区, 数量波动往往比较大.

3 讨论

从 19 世纪末, 美国鸟类学家 Frank M. Chapman 提出“以统计鸟类数量代替猎杀”的建议, 并开展世界最早的鸟类监测计划——圣诞鸟类调查 CBC^[22]以来, 观鸟活动已有 100 多年的历史. 欧美的许多长期鸟类监测计划不仅参与人数众多, 而且观测的系统性也不断增强. 中国观鸟活动起步较晚, 虽然近年来观鸟人数和组织有了迅猛的发展, 但活动普及面仍不够大, 从观鸟数据库的数据组成上来看, 观鸟人群以专业人士居多, 且集中在经济发达省市, 观鸟记录

的数量、典型性和代表性都有待提高. 在分析鸟类分布范围变化方面, 仅利用观鸟者提供的数据, 就难免有所疏漏. 而由于某些鸟类受关注程度较高而导致的重复采样, 受人口分布影响的数据偏差等问题, 也给观鸟数据应用带来了困难. 例如, 北京经济发达、人口稠密, 并非传统知识里水鸟分布的热点地区. 但北京的发现点数量占全国的 7.3%, 集中在密云水库、怀柔水库、昌平沙河水库以及延庆野鸭湖等几个观鸟热点区域. 因此, 如何克服主观性, 使观鸟数据趋于系统分布, 是观鸟组织和参与者在后续工作中需要考虑的问题. 根据国外成功案例和本研究采集、制作、共享数据的经验, 在此提出几点参考建议:

(1) 采取网格式布点的方法, 结合无线传感器网络技术进行观测^[23]. 中国地域宽广, 人口分布不均匀, 要在全中国范围内, 尤其是人口稀疏或环境恶劣的地区, 开展系统采样和调查是很困难的. 无线传感器网络技术是解决数据偏差的可行办法. 可以布设在

任何野外环境下的无线传感器,通过音频传感器和视频传感器对鸟类进行探测、识别、计数与定位^[24],其优点在于可远程操控、无干扰、长期观测、实时获取^[25],且成本低,便于大范围推广。

(2) 建立观鸟数据共享平台.在数据获取的基础上,还应设有数据共享平台.该平台将能提供数据制作、实时显示、整合和共享的功能:志愿者在野外收集的数据或拍摄的照片,能通过手机或电脑快速上传至平台;除观鸟数据外,还应整合国家林业局及其他相关部门,或国际组织获取的鸟类环志和调查数据,各类数据之间相互补充和参考;同时还可观鸟者交流提供便利,以减少重复观测和填补空白.本文用到的制作水鸟数据库的 Global Analyst 软件,已基本具备上述功能.在 4 期(1980, 1990, 2000, 2008)中国遥感湿地数据库的建设过程中^[26],该软件发挥了

较大的作用.应能为鸟类的调查和后续研究提供技术支持和平台保障。

(3) 综合收录其他数据,提高数据库代表性.在今后的数据库建设过程中,将扩充数据来源,例如已经开展 6 年,包含 13 个调查地区的“中国沿海水鸟同步调查”^[27]、长江中下游水鸟调查^[10]等专项研究调查报告以及保护监测网络数据^[28]等,对观鸟数据库进行补充,提高鸟类分布状况的全面性和代表性。

2011~2020 年代正值国际生物多样性年代^[29],中国有必要也有能力建立起一套长期鸟类监测平台,以便全面掌握中国鸟类的现状和动态,分析变化原因,并对变化趋势做出预测.同时,为中国鸟类多样性的保护和研究提供直接依据,以推动保护措施切实有效地开展。

致谢 在数据库资料整理和建设阶段,有以下人员参与了工作:北京师范大学李飞飞、薛晓娟,北京林业大学傅新宇、焦桐、郭春蕾、王瑶、胡雯运,在此表示感谢.同时还感谢北京秀英环境信息技术有限公司的俞靓等在 Global Analyst 软件开发过程中提供的技术支持以及北京师范大学张正旺教授的指导。

参考文献

- 1 Jetz W, Wilcove D S, Dobson A P. Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS Biol*, 2007, 5: e157
- 2 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录. 北京: 科学出版社, 2005
- 3 约翰·马敏能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社, 2000
- 4 张成安, 丁长青. 中国鸡形目鸟类分布数据库及其应用. *动物学杂志*, 2007, 42: 73–78
- 5 Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 2003, 34: 487–515
- 6 Andren H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review. *Oikos*, 1994, 71: 355–366
- 7 郑姚闽, 张海英, 牛振国, 等. 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. *科学通报*, 2012, 57: 207–230
- 8 Bao X, Zhang J, Qu Z, et al. Preliminary investigation on the bird community in Summer at Lahu Wetland, Lhasa. *Chin J Zool*, 2005, 40: 86–89
- 9 Zhang X, Ba M, Zhang K, et al. Investigation of the winterbirds in Dongzhai national nature reserve for birds. *J Henan Agric Univ*, 2002, 36: 334–340
- 10 马克·巴特, 雷刚, 曹垒, 著. 杨琴, 译. 长江中下游水鸟调查报告(2005 年 2 月). 北京: 中国林业出版社, 2006
- 11 Valiela I, Martinetto P. Changes in bird abundance in Eastern North America: Urban sprawl and global footprint? *BioScience*, 2007, 57: 360–370
- 12 Crick H. The impact of climate changes on birds. *Ibis*, 2004, 146(Suppl 1): 48–56
- 13 Buchanan GM, Donald P F, Fishpool L D C, et al. An assessment of land cover and threats in important bird areas in Africa. *Bird Conserv Int*, 2009, 19: 49–61
- 14 Godet L, Devictor V, Jiguet F. Estimating relative population size included within protected areas. *Biodivers Conserv*, 2007, 16: 2587–2598
- 15 Devictor V, Godet L, Julliard R, et al. Can common species benefit from protected areas? *Biol Conserv*, 2007, 139: 29–36
- 16 中国鸟类学会. 中国观鸟年报 2007. 北京: 中国鸟类学会, 2008
- 17 宫鹏, 赵永超, 俞靓, 等. 全球尺度下遥感与地理信息系统一体化软件平台研建进展. *地理信息世界*, 2011, 10: 34–37

- 18 Sibley C G, Monroe B L. *Distribution and Taxonomy of Birds of the World*. New Haven: Yale Univ Press, 1990
- 19 Esri I, ArcGIS9.3. Environmental Systems Research Institute, Redlands, 2008
- 20 Liang L, Bu X, Chen Y L, et al. Combining spatial-temporal and phylogenetic analysis approaches for improved understanding on global H5N1 transmission. *PLoS ONE*, 2010, 5: e13575
- 21 郑光美, 王歧山. *中国珍稀濒危动物红皮书——鸟类卷*. 北京: 科学出版社, 1998
- 22 Dunn E H, Francis C M., Blanche P J, et al. Enhancing the scientific value of The Christmas Bird Count. *Auk*, 2005, 122: 338–346
- 23 沈少青, 宫鹏, 程晓, 等. 陆生动物声音遥感: 定位与误差分析. *遥感学报*, 2011, 15: 1257–1281
- 24 宫鹏. 无线传感器网络技术环境应用进展. *遥感学报*, 2010, 14: 387–395
- 25 宫鹏. 环境监测中无线传感器网络地面遥感新技术. *遥感学报*, 2007, 11: 545–551
- 26 Niu Z G, Zhang H Y, Gong P. More protection for China's wetlands, *Nature*, 2011, 471: 305
- 27 中国沿海水鸟同步调查项目组. *中国沿海水鸟同步调查报告(1.2008~12.2009)*. 香港: 香港观鸟会有限公司, 2011
- 28 Committee A P M W C. *Asia-Pacific migratory waterbird conservation strategy: 2001–2005*. Wetlands International–Asia Pacific. Kuala Lumpur, Malaysia, 2001, 67
- 29 宫鹏. *全球变化研究评论(第二辑)——全球变化与生物多样性*. 北京: 高等教育出版社, 2011