

全球大型鸟类持续增加背景下 应加强中国鸟击防范工作

谷德海^{①②} 黄筑^{①③} 赵青山^{①*} 张贝西^{①④}
陈艺雯^{①⑤} 曹垒^{①②*}

① 中国科学院生态环境研究中心, 区域与城市生态安全全国重点实验室 北京 100085; ② 中国科学院大学 北京 100049;
③ 重庆大学建筑城规学院 重庆 400030; ④ 华南师范大学生命科学学院 广州 510631;
⑤ 中国科学技术大学生命科学学院 合肥 230027

摘要: 随着北美和欧洲生态保护工作推进, 大型迁徙水鸟(体重 1.2 kg 以上)和猛禽数量大幅增加, 并成为鸟击事故及征候的主要原因。研究表明, 鸟类体重是北美鸟击危险程度的重要预测指标。2008 至 2020 年期间, 东亚 6 个类群的大型越冬水鸟数量从 65 万只增加到 113 万只, 其中, 我国从 42 万只增加到 53 万只。大型水鸟增加的主要原因包括机械化收割增加了农田可利用的食物、水产养殖业扩张和保护区面积增加, 随着生态文明建设不断推进, 我国大型水鸟的数量预计将进一步增长。在亚洲, 每年有数以亿计的迁徙鸟类经过中国空域, 水鸟等大型鸟类可能在迁徙和繁殖季节成为影响飞行安全的重大隐患。基于美国民航 1990 年至 2019 年和中国民航 1990 年至 2021 年鸟击数据, 我国民航每万架次鸟击事件低于美国(我国 1.60 起, 美国 3.73 起), 但鸟击事故及征候数量高于美国(我国 0.269 起, 美国 0.155 起)。美国采取的航线鸟击预警和机场栖息地管控等措施成功控制了鸟击事件及征候的增长率。我国需要开展长期的鸟情监测, 完善鸟击数据库, 结合国际先进经验优化风险评估和防控策略, 最大限度降低鸟击飞机风险。

关键词: 鸟击; 大型鸟类; 鸟击事件; 鸟击事故及征候; 防范

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2025) 02-190-11

Enhancing Bird Strike Prevention Measures in China Amidst Continued Increase of Large Bird Population Worldwide

GU De-Hai^{①②} HUANG Zhu^{①③} ZHAO Qing-Shan^{①*} ZHANG Bei-Xi^{①④}
CHEN Yi-Wen^{①⑤} CAO Lei^{①②*}

① *State Key Laboratory of Regional and Urban Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085*; ② *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*; ③ *College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030*; ④ *School of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631*;
⑤ *School of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China*

基金项目 中国科学院生态环境研究中心自主部署项目(No. RCEES-NJ-2022-1), 中国科学院生物多样性监测与研究网络(Sino BON);

* 通讯作者, E-mail: qszhao@rcees.ac.cn, leicao@rcees.ac.cn;

第一作者介绍 谷德海, 男, 博士研究生; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: gu_dehai@163.com.

收稿日期: 2024-05-20, 修回日期: 2024-09-24 DOI: 10.13859/j.cjz.202524121 CSTR: 32109.14.cjz.24121

Abstract: [Objectives] Approximately 10 billion birds of 1 800 species migrate globally. From 1970 to 2020, ecological conservation efforts in North America and Europe have resulted in a significant increase in the population of large migratory waterbirds and raptors, gradually becoming the primary cause of bird strike accidents and symptoms. Data from the US civil aviation sector indicate a significant correlation between the average weight of birds and the frequency of accidents, with bird weight serving as a predictive indicator of bird strike risk. **[Methods]** We conducted a comparative analysis of large waterbird population estimates across China and East Asia from 2008 to 2020, and examined the population trends in China and the underlying drivers of these ecological changes. Moreover, we compared the number and characteristics of birdstrike accidents in civil aviation between China and the United States, using one-way ANOVA. **[Results]** From 2008 to 2020, the number of large overwintering waterfowls in six groups in East Asia increased from 650 000 to 1 130 000, of which China experiencing an increase from 420 000 to 530 000 (Appendix 1). The factors contributing to this increase include increased utilization of farmland by birds, strengthened bird conservation efforts and the expansion of protected areas, as well as the prohibition of certain chemical substances and the expansion of aquaculture. Over the past 30 years, the number of civil aviation takeoffs and landings in the United States has increased by 1.1 times, leading to a 7.3-fold increase in bird strike incidents. In China, there has been a 4.6-fold increase in civil aviation takeoffs and landings over the past 20 years, resulting in a 14.3-fold increase in bird strike incidents and a 9.3-fold increase in accidents and incidents (Figs. 1, 2). Although the rate of bird strike incidents per ten thousand flights in China is lower than that in the United States, the number of accidents and incidents is higher, attributed to measures such as bird strike warnings and airport habitat management adopted in the United States (Figs. 1, 2, Table 1). **[Conclusion]** China serves as crucial stopover and wintering grounds for large wintering waterbirds, with millions of migratory birds pass through Chinese airspace annually. International trend analysis suggests that large birds, such as waterbirds, may pose significant flight safety hazards during their migration and breeding seasons. Therefore, China needs to conduct long-term bird monitoring, identify hotspots of bird activity and their spatiotemporal variations, and continuously strengthen proactive prevention efforts. This will help to reduce the reliance on traditional passive interventions, and minimizing the risk of bird strikes on aircraft.

Key words: Bird strike; Large birds; Bird strike incidents; Bird strike accidents and symptoms; Prevention

鸟击，又称鸟撞，指由于飞行器在起飞、飞行或降落过程中，因与鸟类发生碰撞，导致的飞行安全事件（尚帅等 2019）。全球现有超过一万个鸟种，约 500 亿只（Callaghan et al. 2021），其中迁徙鸟类约 1 800 种，100 亿只（Rolland et al. 2014）。鸟类数量多、速度快、活动范围大，使其成为威胁航空安全的重要因素。全球军、民航每年约发生 1 万次鸟击事件（指航空器运行阶段或机场活动区内发生的航空器损伤、人员伤亡或其他影响安全的情况），造成经济损失约 100 亿美元（尚帅等 2019），

尤其是机毁人亡的重大飞行事故，20% 因鸟击造成。自 1912 年以来，全球已有超过 240 人死于鸟击事故（指航空器运行阶段或者在机场活动区内发生的与航空器有关的下列事件：人员死亡或者重伤；航空器严重损坏；航空器失踪或者处于无法接近的地方），损失 300 余架民用或军用飞机（Cai et al. 2019）。

研究表明，大型鸟类（如迁徙水鸟和猛禽）由于体型较大和活动范围广，与重大鸟击事故密切相关（Dekker et al. 2008, Richard et al. 2021）。1970 至 2020 年期间，北美和欧洲虽然

鸟类总数量下降(Rolland et al. 2014, Burns et al. 2021), 但大型水鸟和猛禽的数量大幅上升(Rosenberg et al. 2019, Dolbeer 2020, Burns et al. 2021)。例如, 雁鸭类数量增加了 56%, 从 6 200 万只上升至 9 700 万只(Rolland et al. 2014); 黑兀鹫(*Sarcogyps calvus*, 体重为 3.6 ~ 5.4 kg)数量增加了 5 倍, 达到 500 万只(Dolbeer et al. 2021)。

我国处于全球 4 大候鸟迁飞区的中间位置, 这一趋势进一步加剧了鸟击风险, 每年有数以亿计的候鸟在我国领空迁徙或停留, 这对我国的航空飞行安全提出了严峻的挑战(曹垒等 2021)。但目前我国大型水鸟和猛禽的增长趋势尚不明确, 尤其是近 10 年来我国将保护环境纳入基本国策, 鸟类的生存条件得到极大改善, 此时亟需探讨我国大型水鸟和猛禽的增长趋势, 以及对我国航空飞行安全的影响。

2008 年研究者首次联合“湿地国际”对中国和东亚水鸟种群数量进行了系统评估(Cao et al. 2008, Delany et al. 2008)。2013 年中国科学院建立了“中国生物多样性监测与研究网络(Chinese Biodiversity Observation Network, Sino BON)——鸟类多样性监测专项网”。通过和保护区合作, 对我国水鸟的重要越冬区域开展了监测工作; 并联合了东亚其他位于迁徙候鸟越冬地的国家(此处主要指日本和韩国), 以及负责全球水鸟数量评估的国际组织“湿地国际”于 2020 年更新了我国以及整个东亚地区大型水鸟的种群估值(Cao et al. 2020, Damba et al. 2020, Deng et al. 2020, Fang et al. 2020, Li et al. 2020, Meng et al. 2020, Sawa et al. 2020, Yan et al. 2020, Zhang et al. 2020), 但猛禽等林鸟的种群数量估值仍比较缺乏, 这一领域亟需进一步研究和完善。

本文比较了 2008 和 2020 年中国和东亚大型水鸟的估值数据, 分析了我国大型水鸟的数量变化趋势及其背后的驱动因素。同时, 基于 1990 年至 2020 年中国民用航空安全信息网(http://aviationsafety.caac.gov.cn/index_dqhb.jsp) 与美

国运输部联邦航空管理局(<https://www.faa.gov>) 定期更新的鸟击数据, 使用单因素方差分析(one-way ANOVA)对中美两国民航鸟击飞机事故的数量和特点进行了对比研究。这些分析揭示了中美在鸟击防控方面的差异, 并进一步强调了中国在加强鸟类监测、完善鸟击数据库以及提升航空安全防范能力方面的紧迫性和重要性, 为我国航空安全管理提供了科学依据。统计分析及作图使用 Microsoft Excel 软件。

1 2008 至 2020 年中国及东亚大型水鸟数量增加

1.1 大型水鸟增幅情况

我国位于亚洲候鸟迁徙路线的中间位置, 是重要的中途停歇地和越冬地。迁徙季节, 数以亿计的鸟类经过我国。水鸟春季和秋季迁徙时大都要经过我国东北和东部沿海地区, 并停留 1 ~ 3 个月; 同时, 约 200 多万只水鸟在我国东部越冬(通常为每年 10 月至次年 3 月), 主要分布在长江中下游和东南沿海湿地(曹垒等 2021)。

在这些候鸟中, 常见的大型水鸟(平均体重在 1.2 kg 以上)有 6 类, 包括鹈鹕类(鹈鹕属 *Pelecanus*)、鹤类(鹤科 *Gruidae*)、鸕类(鸕属 *Ciconia*)、天鹅类(天鹅属 *Cygnus*)、雁类(雁属 *Anser*)和琵鹭类(琵鹭属 *Platalea*), 共 19 种(附录 1)。这些大型水鸟主要分布在东亚, 它们在俄罗斯远东、蒙古高原和中国东北繁殖, 大多数在中国东北停歇, 在中国、朝鲜、韩国和日本越冬。

2008 至 2020 年, 我国及东亚的大型水鸟总数呈明显上升趋势。19 种大型水鸟在我国的数量从 42 万只增加到 53 万只, 增幅达 26%; 同期, 在东亚的数量从 65 万只增加到 113 万只, 增幅达 74%(附录 1)。其中 2020 年, 天鹅[疣鼻天鹅(*C. olor*)、大天鹅(*C. cygnus*)和小天鹅(*C. columbianus*)]和雁类[(鸿雁(*A. cygnoides*)、豆雁(*A. fabalis*)、白额雁(*A. albifrons*)、小白额雁(*A. erythropus*)、灰雁(*A.*

anser)]数量为 98 万只, 占总数量绝对优势(约占 87%)。有些物种数量增加非常迅速, 如我国越冬灰雁(体重约 2.9 kg)数量从 1.3 万只增加到 3 万只; 东亚的豆雁(体重约 3.2 kg)从 19 万只增加到 35 万只, 白额雁(体重约 2.8 kg)从 13 万只增加到 38 万只。需要说明的是, 在朝鲜、韩国和日本越冬的很多物种, 如豆雁和白额雁等, 在春/秋季节都要利用我国东北的湿地停歇, 时间长达 2 至 3 个月。

1.2 大型水鸟数量增加原因

在北美、欧洲, 以及东亚的日本和韩国, 导致大型水鸟数量增加的主要原因有以下两方面: 1) 鸟类对农田的利用显著增加。通过在农田中觅食高质量食物, 鸟类可轻易满足其迁徙和繁殖等活动对高能量的需求, 其生存概率和后代出生率也相应提高(Deng et al. 2021); 2) 保护力度的增加及湿地生态环境的改善。湿地水质明显改善, 湿地面积增加, 水生生物大量增加, 鸟类食物更为丰富, 水鸟(尤其是雁鸭类等)增加较多(Rosenberg et al. 2019)。

目前, 我国大型水鸟数量增加主要归因于以下三个因素: 1) 农田资源利用增加。由于机械化收割程度提高, 遗落在农田中的作物数量增多, 如每年仅稻谷就约有 570 万吨(黄东等 2018)(不计玉米等其他作物)。雁鸭类和鹤类等植食性物种, 在迁徙停歇地和越冬地利用农田的比例提高。如 2015 至 2020 年, 灰雁在越冬地利用农田的比例从 15% 增加到 40%(Zhang et al. 2023); 2) 水产养殖的广泛分布及持续扩张。在我国, 目前有 116 种(占我国水鸟种类总数的 69%)水鸟被记录到利用水产养殖场所。与之对应的, 62% 的水鸟物种数量保持稳定或上升趋势(Cheng et al. 2022); 3) 自然保护区面积的扩大及生态修复工作的推进。全国自然保护区面积增加, 由 2000 年的 98 万 km^2 增加到现在的 147 万 km^2 , 数量由 1 227 处增加到现在的 2 750 处(Xu et al. 2019)。通过建立保护区, 开展生态修复工程, 使部分物种得到了有效保护, 其种群数量大幅增加。如全球受胁

物种东方白鹳(*Ciconia boyciana*, 体重约 5.0 kg), 由于保护区提供人工巢等原因, 其种群数量也在 10 年内增加了一倍(嘎日迪 2021)。

北美、欧洲以及东亚的日本和韩国, 其鸟类保护政策和措施从 1970 年起步, 多数物种从那时开始数量开始稳步增加: 如日本的小天鹅(体重约 5.8 kg)数量, 1970 年为 500 只, 目前是 4 万只(Fang et al. 2020)。虽然我国鸟类保护措施近 10 年才上升到国家战略层面, 但生态文明建设步子越来越快, 大型水鸟的数量有望持续增长。

2 中美民航鸟击特点

近 40 多年来, 全球民航鸟击事件不断增加(European Parliament and of the Council 2014, Australian Transport Safety Bureau 2017, Metz et al. 2020, Richard et al. 2021, Birdstrikes Civil Aviation Authority 2024)。1980 至 1996 年, 平均每年 4 588 起(李卫东 2005); 2008 至 2015 年, 平均每年 12 219 起(International Civil Aviation Organization 2017)。大型水鸟和某些种类的猛禽是造成北美(Dolbeer 2020)和欧洲(Dekker et al. 2008)鸟击事故及征候(指对飞机造成损害的鸟击)数量显著增加的主要原因。

基于美国民航 1990 至 2019 年的鸟击数据和报告(Dolbeer 2020)、中国民航 1990 至 2021 年的鸟击数据(中国民用航空安全信息网 2024), 以及亚洲 2008 至 2020 年鸟类运动生态数据库, 我们对鸟击事件的增长趋势, 以及导致鸟击事故及征候的主要鸟类类群进行了综合分析。

2.1 美国民航鸟击情况

美国民航鸟击数据统计始于 1990 年, 考虑到疫情对航空的影响, 我们只统计了 1990 至 2019 年的基本情况(Richard et al. 2021)。1990 年, 美国民航运输机场商用航空航班起降为 2 322 万架次, 鸟击事件 1 347 起, 事故及征候 219 起; 2019 年为 2 621 万架次, 鸟击事件 9 774

起, 事故及征候 406 起 (Dolbeer 2020)。2019 年航班次数是 1990 年的 1.1 倍, 但鸟击事件是其 7.3 倍, 事故及征候是其 1.9 倍, 显示了鸟击风险的显著上升 (图 1, 2), 每万架次鸟击事件数量 ($F_{1,28} = 422, P < 0.001$) 和事故及征候数量 ($F_{1,28} = 17, P < 0.001$) 均呈显著上升趋势

势, 年平均增长率分别为 18.5% 和 1.7%, 事故及征候增长率远低于鸟击事件的增长率 (图 1, 2)。

1990 至 2019 年, 美国民航在航班次数增长极为有限的情况下, 鸟击事件大幅增长。其中, 航线鸟击 (包括爬升、巡航和下降阶段) 虽仅占事故及征候总量的一半, 但风险更高, 经济损失更大 (Dolbeer 2020)。针对造成事故的主要类群 (大型水鸟和猛禽), 美国航空管理局建议采用多种管控方式, 包括航线鸟击预警、机场探鸟雷达实时报警, 结合机场及周边鸟类栖息地治理等, 取得了较好的效果, 使得事故及征候增长率远低于鸟击事件增长率 (Dolbeer 2020)。

2.2 我国民航鸟击情况

中国民用航空安全信息网自 1989 年开始有鸟击记录, 2002 年, 我国民航航班架次 211 万, 鸟击事件数量为 94 起, 鸟击事故及征候为 36 起; 2021 年, 航班架次 978 万, 鸟击事件数量为 1 344 起, 事故及征候为 335 起。2021 年航班次数是 2002 年的 4.6 倍, 但鸟击事件增长了 14.3 倍, 事故及征候增长了 9.3 倍。每万架次鸟击事件数量 ($F_{1,28} = 28, P < 0.001$) 和事故及征候数量 ($F_{1,16} = 19, P < 0.001$) 均呈显著上升趋势, 年平均增长率分别为 35.0% 和 5.8% (图 1, 2)。2009 年国务院颁布《民用机场管理条例》, 此后机场鸟击记录逐步迈入正轨。但是由于缺少鸟击记录的统一规范标准, 造成了鸟击记录的较大波动, 尤其是运输航空公司的记录变化较大。

与美国航班架次增长幅度有限相反, 我国民航航班架次增长幅度远大于美国。选择 2002 至 2019 年的同期数据比较美国航班与我国民航每万架次鸟击事故及征候率 (图 1, 2), 发现 2002 年美国民航每万架次的鸟击事件数量为 1.55 起, 我国为 0.44 起; 美国鸟击事故及征候为 0.163 起, 我国为 0.170 起。而 2019 年美国每万架次的鸟击事件数量为 3.73 起, 我国为 1.60 起; 美国事故及征候为 0.155 起, 我国为 0.269 起。这表明,

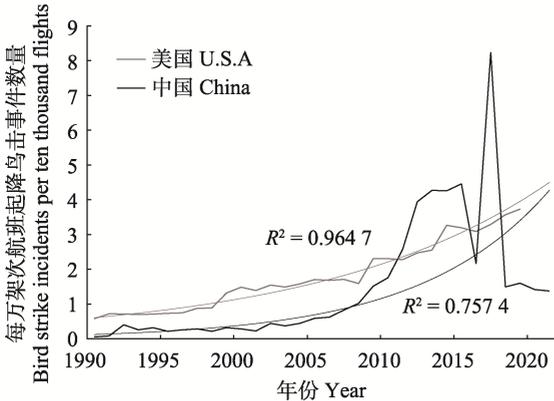


图 1 美国 (1990 至 2019 年) 与中国民航 (1990 至 2021 年) 每万架次航班起降鸟击事件数量变化趋势

Fig. 1 The trend in the number of bird strike incidents per ten thousand flights in the United States (1990—2019) and China’s civil aviation (1990—2021)

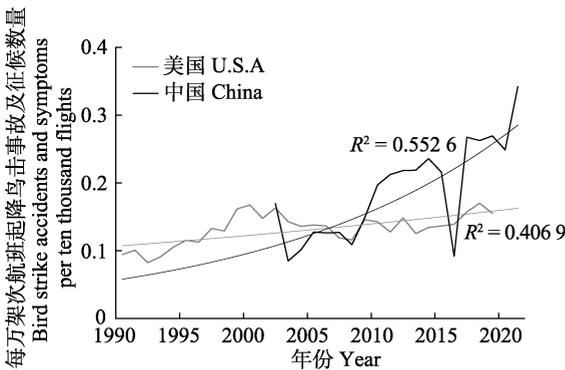


图 2 美国 (1990 至 2019 年) 与中国民航 (2001 至 2021 年) 每万架次航班起降鸟击事故及征候数量变化趋势

Fig. 2 Trends in the number of bird strike incidents and warning signs per ten thousand flights in the United States (1990—2019) and China’s civil aviation (2001—2021)

尽管我国每万架次鸟击事件数量低于美国, 但鸟击事故及征候数量却高于美国。部分管理者为了免责对没有产生损害的鸟击选择不记录或不报, 这可能导致鸟击事件被低估; 但是, 鸟击事故及征候涉及飞机修理与相关费用支出, 一般不会有疏漏, 因此我们认为鸟击事故及征候的数据统计是准确的。这表明我国需要进一步加强鸟击事件的监测和记录工作, 特别是建立统一规范的记录标准, 为航空安全管理提供更全面和可靠的数据支持。

2.3 中美民航鸟击事故及征候高发季节

中美两国的鸟击事故及征候高发时段均在迁徙季节, 其次是繁殖季节。1990 至 2019 年, 美国有记录的鸟击事件为 23 万余起(包括通用航空), 其中 53% 发生在 7 ~ 10 月($n = 231\ 457$, 数据来源: 美国联邦航空管理局野生动物数据

库, FAA Wildlife Strike Database, 简称 FAA, www.airporttech.tc.faa.gov)。鸟击事故及征候 17 382 起(占鸟击事件的 7.5%), 其中 45% 发生在 8 ~ 11 月, 在每个月份比较均匀(表 1)。

与美国情况类似, 中国民航鸟击事件也主要集中于迁徙季节, 但分布更为明显。2001 至 2019 年, 中国民航共统计鸟击事件 31 659 起, 其中 59% 发生在 7 ~ 10 月。鸟击事故及征候 2 192 起(占鸟击事件的 6.9%), 其中 60% 发生在迁徙季节, 包括春季(27% 在 4 和 5 月)和秋季(33% 在 9 和 10 月)。

综上, 美国民航鸟击主要发生在夏季(繁殖季节)和秋季(迁徙季节)。中国鸟击高发季节比较明显, 鸟击事故及征候主要发生在迁徙季节, 秋季鸟击月均数量比春季略高, 其次是繁殖季节, 这可能是由于幼鸟出飞后数量增加

表 1 美国和中国的民航鸟击事件和事故及征候在各月份发生的次数和占比

Table 1 Number and proportion of bird strike incidents and accidents & symptoms to civil aviation in the United States and China by month

| 月份 Month | 美国 United States | | | | 中国 China | | | |
|----------|----------------------------|--------------|--|--------------|----------------------------|--------------|--|--------------|
| | 鸟击事件 Bird strike incidents | | 鸟击事故及征候 Bird strike accidents and symptoms | | 鸟击事件 Bird strike incidents | | 鸟击事故及征候 Bird strike accidents and symptoms | |
| | 发生次数 Frequency | 占比 Ratio (%) | 发生次数 Frequency | 占比 Ratio (%) | 发生次数 Frequency | 占比 Ratio (%) | 发生次数 Frequency | 占比 Ratio (%) |
| 1 | 7 625 | 3 | 934 | 5 | 398 | 1 | 27 | 1 |
| 2 | 7 257 | 3 | 866 | 5 | 431 | 1 | 65 | 3 |
| 3 | 11 146 | 5 | 1 527 | 9 | 1 122 | 4 | 157 | 7 |
| 4 | 16 498 | 7 | 1 520 | 9 | 2 788 | 9 | 334 | 15 |
| 5 | 22 652 | 10 | 1 329 | 8 | 3 383 | 11 | 254 | 12 |
| 6 | 18 969 | 8 | 1 011 | 6 | 2 141 | 7 | 84 | 4 |
| 7 | 28 961 | 13 | 1 216 | 7 | 3 488 | 11 | 112 | 5 |
| 8 | 32 222 | 14 | 1 624 | 9 | 4 349 | 14 | 226 | 10 |
| 9 | 30 973 | 13 | 1 918 | 11 | 6 046 | 19 | 415 | 19 |
| 10 | 29 436 | 13 | 2 305 | 13 | 4 712 | 15 | 314 | 14 |
| 11 | 16 334 | 7 | 1 964 | 11 | 2 066 | 7 | 146 | 7 |
| 12 | 9 384 | 4 | 1 168 | 7 | 735 | 2 | 58 | 3 |
| 总计 Total | 231 457 | 100 | 17 382 | 100 | 31 659 | 100 | 2 192 | 100 |

鸟击事件: 航空器运行阶段或机场活动区内发生的航空器损伤、人员伤亡或其他影响安全的情况; 鸟击事故及征候: 航空器运行阶段或者在机场活动区内发生的与航空器有关事件, 并产生相应的经济损失。

Bird strike incidents: Aircraft damage, casualties or other conditions affecting safety occurred during aircraft operation or within the airport activity area; Bird strike accidents and symptoms: Aircraft related events occurred during aircraft operation or within the airport activity area, and corresponding economic losses were incurred.

表 2 美国民航鸟击事件最多的 5 个鸟类类群以及对应的鸟击事故及征候记录 (1990 至 2019 年)

Table 2 The top five avian species groups with the highest number of bird strike incidents to civil aviation in the United States, along with corresponding bird strike accident and hazard records (1990—2019)

| 物种类群 Species groups | 鸟击事件 Bird strike incidents | | 鸟击事故及征候 Bird strike accidents and symptoms | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---|-----------------|
| | 30 年总数 Total number for 30 Years | 占比 Ratio (%) | 30 年总数 Total number for 30 Years | 占比 Ratio (%) |
| 雁鸭类 Anatidae | 6 183 | 5 | 2 411 | 28 |
| 猛禽类 Falconiformes & Strigiformes | 15 363 | 12 | 1 941 | 23 |
| 其他已知类群总数 Other known groups | 62 438 | 50 | 1 902 | 22 |
| 鸥类 Laridae | 12 442 | 10 | 1 580 | 18 |
| 鸠鸽类 Columbidae | 16 819 | 14 | 583 | 7 |
| 鸮鹞类 Charadriidae & Scolopacidae | 11 142 | 9 | 197 | 2 |
| 已知总数 Total | 124 387 | 100 | 8 614 | 100 |

表中数据包括美国注册的飞机在其他国家的鸟击记录。

The data in the table includes bird strike records for aircraft registered in the United States occurring in other countries.

导致的。这种差异可能与我国在亚洲迁徙网络中的关键位置有关。我国位于 4 条迁徙路线的中心位置,除了本国的鸟类,亚洲 20 多个国家和地区、数以亿计的鸟类季节性出现在我国境内(曹垒等 2021),这可能是季节-地理特征差异明显的原因。因此,中国应利用亚洲迁徙网络的关键地位,加强国际合作,优化鸟击管理,并结合春秋季节特点完善监测与预警机制。

2.4 水鸟和猛禽对民航飞行安全的影响

1990 至 2019 年,美国民航鉴定了 591 种鸟击物种,占北美鸟类物种总数量(1 100 种)的 54%(Dolbeer 2020)。我国民航仅 804 起鸟击事件(2001 至 2017 年)有鸟击物种记录,涉及 139 个物种,不到我国鸟类物种总数(约 1 500)的 10%。这说明,我国可能只记录了少数的鸟击物种,需要尽快完善鸟击物种数据库。

美国近 30 年来大型水鸟和猛禽数量持续增加,导致鸟击事件显著增加。如,1990 至 2019 年,加拿大雁(*Branta canadensis*, 体重约 2.4 ~ 9.0 kg)的数量从 110 万只增加到 440 万只,发生鸟击 1 854 起;同期,鸮(*Pandion haliaetus*, 体重 1.4 ~ 2.0 kg)数量增加为原来的 2 倍多,达到 50 多万只,由其引起的鸟击事件由每年不

足 10 起增加至 40 多起(表 3, Dolbeer 2020)。

在美国的研究发现,鸟类体重是鸟击危险程度的预测指标(Richard et al. 2021)。1990 至 2020 年间,导致美国鸟击事件发生最多的 33 个鸟种中,平均体重与事故的发生之间存在很强的相关性($R^2 = 0.82$, $P < 0.01$),鸟类体重每增加 100 g,事故发生的可能性就增加 1.22%(Dolbeer 2020)。

大型水鸟和猛禽在鸟击事故中占比突出。在美国,这两类鸟击事故及征候占总数的 70%,其中雁鸭类占比最高(28%,表 2),而高危鸟种的总数量从 5 500 万只增长至 9 000 万只(Dolbeer 2020)。相比之下,我国 2001 至 2017 年间记录的 20 374 起鸟击事件涉及 139 种鸟类,事故及征候 63 起,仅 50 起有具体物种记录,涉及 30 种鸟类。其中,人工放飞的家鸽(*Columba livia domestica*)导致 12 起事故及征候,野生鸟类导致 38 起,水鸟和猛禽占比约 55%(黄尚等 2022)。由于我国鸟击物种记录不足,详细的物种比例分析仍存在局限。

综上所述,中美数据均表明大型水鸟和猛禽是民航鸟击的主要风险源,而鸟类体重是鸟击危险程度的关键预测指标。然而,中国仅记录了少量鸟击物种,可能因信息收集不完整导

表 3 1990 至 2018 年北美民航鸟击物种的种群变化

Table 3 Population changes of bird species struck by civil aviation in north America from 1990 to 2018

| 物种 Species | 物种数量 Number of species | 1990 年种群数量 Population in 1990 (ind) | 2018 年种群数量 Population in 2018 (ind) | 1990 至 2018 年种群数量 增长比例 (%) Population growth rate (1990—2018) |
|---------------------------------|---------------------------|---|---|--|
| 雁类雁属 <i>Anser</i> | 4 | 8 685 000 | 24 509 000 | 182.2 |
| 雉类雉属 <i>Phasianus</i> | 3 | 21 949 000 | 24 108 000 | 9.8 |
| 猛禽 Falconiformes & Strigiformes | 11 | 12 473 000 | 22 299 000 | 78.8 |
| 鸭类鸭属 <i>Anas</i> | 3 | 8 162 000 | 13 132 000 | 60.9 |
| 鸬鹚类鸬鹚属 <i>Phalacrocorax</i> | 1 | 460 000 | 2 259 000 | 391.1 |
| 鹈鹕类鹈鹕属 <i>Pelecanus</i> | 3 | 181 000 | 1 044 000 | 476.8 |
| 鸥类 Laridae | 5 | 2 099 000 | 761 000 | -63.7 |
| 潜鸟类潜鸟属 <i>Gavia</i> | 1 | 548 000 | 698 000 | 27.4 |
| 鹤类 Gruidae | 1 | 473 000 | 609 000 | 28.8 |
| 鹤类鹤属 <i>Ciconia</i> | 1 | 196 000 | 248 000 | 26.5 |
| 鸕鹚类 Podicedidae | 1 | 101 000 | 137 000 | 35.6 |
| 鹭类 Ardeidae | 1 | 74 000 | 96 000 | 29.7 |
| 天鹅类天鹅属 <i>Cygnus</i> | 1 | 16 000 | 56 000 | 250.0 |
| 总计 Total | 36 | 55 417 000 | 89 956 000 | 62.3 |

数据引自 Dolbeer 2020. The data are from Dolbeer 2020.

致。为提高鸟击防控效果, 中国需完善鸟击物种数据库, 加强人工放飞鸟类的管理, 特别是针对机场周边的监控与治理。此外, 优化风险评估工具和监测技术, 将为精准防范鸟击提供更有力的支持。

3 结论与展望

基于完善的鸟击事故数据库, 发现鸟类体重是鸟击危险程度的关键指标, 大型水鸟和猛禽是导致鸟击事故及征候的主要类群, 占事故总数的 70%。然而, 我国的鸟击物种记录覆盖率不足, 仅为 10%, 亟需建立更为完善的鸟击数据库, 以便针对高风险物种制定有效的防控策略。

在全球大型水鸟和猛禽数量持续增加的背景下, 2008 至 2020 年我国和东亚大型越冬水鸟数量也明显增加。随着我国生态文明建设步子越来越大, 大型水鸟的数量很可能持续增长。未来, 我国需要开展长期鸟情监测, 通过卫星追踪和自动化监测技术, 掌握鸟类利用的热点

区域及其时空变化; 同时, 应逐步从传统的人工被动干预转变为主动预防, 优化鸟击风险管理策略, 最大限度降低航空安全隐患。此外, 加强国际合作, 借鉴北美和欧洲的成功经验, 将为我国鸟击防控提供更多科学依据。

参 考 文 献

- Ao P R, Wang X, Meng F J, et al. 2020. Migration routes and conservation status of the Whooper Swan *Cygnus cygnus* in East Asia. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 43–72.
- Ao P R, Wang X, Solovyeva D, et al. 2021. Rapid decline of the geographically restricted and globally threatened Eastern Palearctic Lesser White-fronted Goose *Anser erythropus*. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 206–243.
- Australian Transport Safety Bureau. 2017. Australian aviation wildlife strike statistics: 2006-2015. [AR-2016-063]. https://www.atsb.gov.au/sites/default/files/media/5772313/ar_2016-063_final.pdf.
- Burns F, Eaton M A, Burfield I J, et al. 2021. Abundance decline in the avifauna of the European Union reveals cross-continental

- similarities in biodiversity change. *Ecology and Evolution*, 11(23): 16647–16660.
- Cai J, Bao H, Zuo H F, et al. 2019. Safety evaluation of airworthiness requirement of bird-strike on aeroplane. *Engineering Failure Analysis*, 102: 407–416.
- Callaghan C T, Nakagawa S, Cornwell W K. 2021. Global abundance estimates for 9,700 bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(21): e2023170118.
- Cao L, Barter M, Lei G. 2008. New Anatidae population estimates for eastern China: Implications for current flyway estimates. *Biological Conservation*, 141(9): 2301–2309.
- Cao L, Deng X Q, Meng F J, et al. 2020. Defining flyways, discerning population trends and assessing conservation challenges of key Far East Asian Anatidae species: an introduction. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 1–12.
- Chen Y W, Yu Y T, Meng F J, et al. 2021. Migration routes, population status and important sites used by the globally threatened Black-faced Spoonbill (*Platalea minor*): a synthesis of surveys and tracking studies. *Avian Research*, 12: 74.
- Cheng C Y, Liu J J, Ma Z J. 2022. Effects of aquaculture on the maintenance of waterbird populations. *Conservation Biology*, 36(5): e13913.
- Damba I, Fang L, Yi K P, et al. 2021. Flyway structure, breeding, migration and wintering distributions of the globally threatened Swan Goose *Anser cygnoides* in East Asia. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 97–123.
- Dekker A, van Gasteren H, Bouten W, et al. 2008. The European Space Agency's FlySafe project, looking at the bird strike problem from another perspective // International Bird Strike Committee. *Proceedings of the International Bird Strike Committee Meeting, Brasilia*, 1–16.
- Delany S, Scott D, Helms A. 2006. *Waterbird Population Estimates*. 4th ed. Wageningen: Wetlands International.
- Deng X Q, Zhao Q S, Solovyeva D, et al. 2020. Contrasting trends in two East Asian populations of the Greater White-fronted Goose *Anser albifrons*. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 181–205.
- Deng X Q, Zhao Q S, Zhang J J, et al. 2021. Contrasting habitat use and conservation status of Chinese-wintering and other Eurasian Greater White-fronted Goose (*Anser albifrons*) populations. *Avian Research*, 12(1): 71.
- Dolbeer R A. 2020. Population increases of large birds in North America pose challenges for aviation safety. *Human-Wildlife Interactions*, 14(3): 345–357.
- Dolbeer R A, Begier M J, Miller P R, et al. 2021. *Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States, 1990-2019*. [2024-05-10]. [EB/OL]. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/58293/dot_58293_DS1.pdf.
- European Parliament and of the Council. Regulation (EU) No 376/2014. (2014-04-03). [2024-05-10]. [EB/OL]. <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/376/oj/eng>.
- Fang L, Zhang J J, Zhao Q S, et al. 2020. Two distinct flyways with different population trends of Bewick's Swan *Cygnus columbianus bewickii* in East Asia. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 13–42.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 2017. *2008-2015 Wildlife Strikes Analyses (IBIS)*. [2024-05-10]. [EB/OL]. <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/4069.pdf>.
- Li C, Zhao Q S, Solovyeva D, et al. 2020. Population trends and migration routes of the East Asian Bean Goose *Anser fabalis middendorffii* and *A. f. serrirostris*. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 124–156.
- Meng F J, Chen L D, Zhang B X, et al. 2020. The migratory Mute Swan *Cygnus olor* population in East Asia. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 73–96.
- Metz I, Ellerbroek J, Mühlhausen T, et al. 2020. The Bird Strike Challenge. *Aerospace*, 7(3): 26.
- Mundkur T, Langendoen T. 2022. *Report on the conservation status of migratory waterbirds of the east Asian-Australasian flyway. First Edition // Wetlands International. Report to the East Asian-Australasian Flyway Partnership*. [2024-05-10]. [EB/OL]. <https://www.wetlands.org/eaaf-conservation-status-review1>.
- Rolland J, Jiguet F, Jønsson K A, et al. 2014. Settling down of seasonal migrants promotes bird diversification. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1784): 20140473.
- Rosenberg K V, Dokter A M, Blancher P J, et al. 2019. Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461): 120–124.
- Sawa Y, Tamura C, Ikeuchi T, et al. 2020. Migration routes and population status of the Brent Goose *Branta bernicla*

- nigricans* wintering in East Asia. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 244–266.
- Shi H Q, Liu N F, Cao L, et al. 2008. Status of the East Asian population of the Dalmatian Pelican *Pelecanus crispus*: the need for urgent conservation action. *Bird Conservation International*, 18(2): 181–193.
- Xu W H, Pimm S L, Du A, et al. 2019. Transforming protected area management in China. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(9): 762–766.
- Yan M, Yi K P, Zhang J J, et al. 2021. Flyway connectivity and population status of the Greylag Goose *Anser anser* in East Asia. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 157–180.
- Zhang B X, Wang X, Meng F J, et al. 2020. Contrasting changes in abundance of Falcated Duck *Mareca falcata* wintering in the Yangtze River floodplain and on the eastern coast of China. *Wildfowl*, (Special Issue 6): 267–292.
- Zhang J J, Li X H, Batbayar N, et al. 2023. Exploring potential reasons for the increase in the East Asian Greylag Goose *Anser anser* population by assessing habitat use and use of protected areas. *Bird Conservation International*, 33: e22.
- 曹垒, 孟凡娟, 赵青山. 2021. 基于前沿监测技术探讨“大开发”对鸟类迁徙及其栖息地的影响. *中国科学院院刊*, 36(4): 436–447.
- 陈利红. 2016. 山西灵丘唐河黑鹈越冬生态学研究. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文, 13–16.
- 嘎日迪. 2021. 东方白鹳 (*Ciconia boyciana*) 分布范围和种群数量及渤海湾群体栖息地选择研究. 呼和浩特: 内蒙古师范大学硕士学位论文, 21–24.
- 高怀郎, 张军平, 高玉喜. 2022. 石家庄市黑鹳种群分布与保护措施探究. *河北林业*, (9): 30–32.
- 黄东, 姚灵, 武拉平, 等. 2018. 中国水稻收获环节的损失有多高?——基于 5 省 6 地的实验调查. *自然资源学报*, 33(8): 1427–1438.
- 黄尚, 史大伟, 吴永涛, 等. 2022. 机场周边家鸽飞行行为的潜在鸟击风险初步研究. *动物学杂志*, 57(6): 821–835.
- 李卫东. 2005. 中国民航飞机鸟击事件统计分析与研究. 西安: 西北工业大学硕士学位论文, 7–12.
- 陕西省林业科学院, 陕西汉中朱鹮国家级自然保护区管理局. 2021. 《朱鹮保护蓝皮书》. 西安.
- 尚帅, 任加云, 王彦美, 等. 2019. 鸟击风险防范研究现状. *绿色科技*, 21(22): 132–134.
- 王昱熙. 2021. 长江中下游湿地 10 种水鸟种群动态研究. 合肥: 中国科学技术大学硕士学位论文, 30–36.
- 喜吉热, 赵格日乐图, 赵青山, 等. 2021. 中国越冬白琵鹭 (*Platalea leucorodia*) 的分布与种群趋势研究. *环境保护科学*, 47(6): 21–28.

附录 1 2008 年和 2020 年 19 种大型水鸟在中国和东亚的种群变化对比

Appendix 1 Population trends of 19 species of large waterbirds in China and East Asia from 2008 to 2020

| 物种 Species | 体重 (kg) Weight | 中国越冬数量 Wintering population in China (ind) | | 东亚种群数量 Population in East Asia (ind) | | 鸟击 Bird strike |
|--|-------------------|--|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | | 2008 | 2020 | 2008 | 2020 | |
| 1 卷羽鹈鹕 <i>Pelecanus crispus</i> | 11.5 | 50 (Shi et al. 2008) | 60 (Mundkur et al. 2022) | 50 (Shi et al. 2008) | 60 (Mundkur et al. 2022) | |
| 2 黑鹇 <i>Ciconia nigra</i> | 2.9 | 473 (陈利红等 2016) | 1 000 (高怀邵等 2022) ↑ | 10 500 (Delany et al. 2008) | 10 250 (Mundkur et al. 2022) | Y |
| 3 东方白鹳 <i>C. boyciana</i> | 5.0 | 3 000 (Delany et al. 2008) | 6 000 (嘎日迪 2021) ↑ | 3 000 (Delany et al. 2008) | 6 300 (嘎日迪 2021) ↑ | |
| 4 白琵鹭 <i>Platalea leucorodia</i> | 1.5 | 7 000 (喜吉热等 2021) | 19 500 (喜吉热等 2021) ↑ | 10 000 (喜吉热等 2021) | 20 000 (喜吉热等 2021) ↑ | Y |
| 5 黑脸琵鹭 <i>P. minor</i> | 1.2 | 1 700 (Chen et al. 2021) | 4 220 (Chen et al. 2021) ↑ | 2 000 (Chen et al. 2021) | 4 900 (Chen et al. 2021) ↑ | |
| 6 疣鼻天鹅 <i>Cygnus olor</i> | 10.8 | 830 (Cao et al. 2008) | 400 (Meng et al. 2020) | 1 000 (Cao et al. 2008) | 1 000 (Meng et al. 2020) | |
| 7 大天鹅 <i>C. cygnus</i> | 11.4 | 5 900 (Cao et al. 2008) | 24 400 (Ao et al. 2020) ↑ | 39 000 (Cao et al. 2008) | 58 000 (Ao et al. 2020) ↑ | |
| 8 小天鹅 <i>C. columbianus</i> | 5.8 | 81 000 (Cao et al. 2008) | 65 000 (Fang et al. 2020) ↓ | 110 000 (Cao et al. 2008) | 105 000 (Fang et al. 2020) ↓ | |
| 9 鸿雁 <i>Anser cygnoides</i> | 3.5 | 78 000 (Cao et al. 2008) | 54 400 (Damba et al. 2020) ↓ | 78 000 (Cao et al. 2008) | 54 400 (Damba et al. 2020) ↓ | Y |
| 10 豆雁 <i>A. fabalis middendorffi</i> | 3.2 | 150 000 (Cao et al. 2008) | 24 100 (Li et al. 2020) — | 190 000 (Cao et al. 2008) | 41 200 (Li et al. 2020) ↑ | Y |
| 11 短嘴豆雁 <i>A. f. serratirostris</i> | 3.2 | | 229 000 (Li et al. 2020) ↑ | | 310 500 (Li et al. 2020) ↑ | |
| 12 白额雁 <i>A. albifrons</i> | 2.8 | 33 000 (Cao et al. 2008) | 48 000 (Deng et al. 2020) ↑ | 130 000 (Cao et al. 2008) | 375 500 (Deng et al. 2020) ↑ | |
| 13 小白额雁 <i>A. erythropus</i> | 2.1 | 21 000 (Cao et al. 2008) | 6 600 (Ao et al. 2020) ↓ | 21 000 (Cao et al. 2008) | 68 000 (Ao et al. 2020) ↓ | |
| 14 灰雁 <i>A. anser</i> | 2.9 | 13 000 (Cao et al. 2008) | 30 000 (Yan et al. 2020) ↑ | 13 000 (Cao et al. 2008) | 30 000 (Yan et al. 2020) ↑ | |
| 15 白鹳 <i>Leucogeranus leucogeranus</i> | 6.8 | 3 200 (Delany et al. 2008) | 3 100 (王昱熙 2021) — | 3 200 (Delany et al. 2008) | 3 100 (王昱熙 2021) — | |
| 16 白枕鹤 <i>Antigone vipio</i> | 5.6 | 3 000 (Delany et al. 2008) | 1 000 (Mundkur et al. 2022) ↓ | 6 500 (Delany et al. 2008) | 7 500 (Mundkur et al. 2022) ↑ | |
| 17 灰鹤 <i>Grus grus</i> | 5.6 | 18 500* (Delany et al. 2008) | 13 000* (Mundkur et al. 2022) ↑ | 18 500 (Delany et al. 2008) | 13 000 (Mundkur et al. 2022) ↓ | Y |
| 18 白头鹤 <i>G. monacha</i> | 4.1 | 1 460 (Delany et al. 2008) | 1 000 (Mundkur et al. 2022) ↓ | 10 200 (Delany et al. 2008) | 16 700 (Mundkur et al. 2022) ↑ | |
| 19 丹顶鹤 <i>G. japonensis</i> | 8.5 | 1 000 (Delany et al. 2008) | 580 (Mundkur et al. 2022) ↓ | 2 650 (Delany et al. 2008) | 3 500 (Mundkur et al. 2022) ↑ | |
| 总计 Total | | 422 110 | 531 360 | 648 600 | 1 128 910 | |

* 中国的实际数量小于该值, 该数据中包括了越南和缅甸的越冬数量。↑ 表示鸟类种群数量呈上升趋势; ↓ 表示鸟类种群数量呈下降趋势; — 表示鸟类种群数量平稳。Y 表示该物种发生过鸟击事件

* The actual number in China is less than this value, which includes the overwintering number in Vietnam and Myanmar. ↑ indicates that the number of bird populations is on the rise; ↓ indicates that the number of bird populations is declining; — indicates that the bird population is stable. Y indicates that bird strike has occurred in this species