

卫星跟踪河北猎隼的秋季迁徙路线

王鹏华^① 范俊功^① 陈向阳^① 杨俊峰^① 侯建华^{①*} 高立杰^②

① 河北大学生命科学与绿色发展研究院 保定 071002; ② 河北农业大学动物科技学院 保定 071002

摘要: 猎隼 (*Falco cherrug*) 是国家 II 级重点保护野生动物, IUCN 物种红色名录濒危物种。为探究猎隼的迁徙规律, 2018 年 9 月 26 日在河北省保定市成功为 1 只猎隼佩戴了卫星追踪器, 对其迁徙活动进行了跟踪。此猎隼个体的秋季迁徙路线涉及河北省、内蒙古自治区、山西省、陕西省、甘肃省、青海省 6 个省区, 自东向西迁徙, 越冬地为甘肃省白银市平川区。迁飞过程分为三个阶段, 即放飞阶段、游荡期和迁飞期, 三个阶段的飞行距离分别为 297.62 km、1 129.69 km 和 2 040.9 km。此猎隼个体每天的飞行时段为 (7:33 ± 2:01) 时到 (18:12 ± 1:09) 时, 即在白天飞行。平均日飞行时间为 (10.44 ± 1.76) h, 一天中平均飞行速度有三个高峰, 分别为 9:00、14:00 和 18:00 时。迁飞过程中的平均飞行速度为 (45.77 ± 20.88) km/h, 平均日飞行距离 (188.65 ± 113.90) km。此猎隼个体在越冬地晚间没有固定的休息点, 休息地的海拔在 1 500 ~ 2 000 m 的位点较多, 90% 的活动区域面积为 85.5 km²。2019 年 3 月 7 日发现此猎隼个体被电死并悬挂在一根电线杆上, 漏电电线杆是猎隼栖息的死亡陷阱。

关键词: 猎隼; 秋季; 迁徙路线; 卫星追踪

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 04-462-06

Autumn Migration Route of a Saker Falcon by Satellite Tracking in Hebei Province

WANG Peng-Hua^① FAN Jun-Gong^① CHEN Xiang-Yang^①
YANG Jun-Feng^① HOU Jian-Hua^{①*} GAO Li-Jie^②

① College of Life Sciences, Institute of Life Science and Green Development, Hebei University, Baoding 071002;

② College of Animal Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071002, China

Abstract: The Saker Falcon (*Falco cherrug*) is a national level II key protected wild animal, and listed as an endangered species by IUCN. One Saker Falcon was successfully equipped with a satellite tracker on September 26, 2018 in Baoding City, Hebei Province. The bird's migration route involved six provinces and regions of Hebei Province, Inner Mongolia Autonomous Region, Shanxi Province, Shanxi Province, Gansu Province and Qinghai Province, with the direction from east to west, and finally arrived at its wintering area of Pingchuan District, Baiyin City of Gansu Province. The migration process is divided into three stages, namely

基金项目 国家林业局全国第二次陆生野生动物资源调查项目 (2017—2018), 河北大学自然科学研究计划项目 (2014—2019);

* 通讯作者, E-mail: 13633325718@163.com;

第一作者简介 王鹏华, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物保护生物学; E-mail: 947879936@qq.com.

收稿日期: 2019-11-23, 修回日期: 2020-06-11 DOI: 10.13859/j.cjz.202004007

release stage, wandering period and migration period. The flight distances of each stage are 297.62 km, 1 129.69 km and 2 040.9 km respectively (Fig. 1). According to our analysis of the satellite tracking data, the bird flew during daytime and its daily flight time was $7:33 \pm 2:01$ to $18:12 \pm 1:09$, with the average of 10.44 ± 1.76 h. There were three peaks of average flight speeds in a day, being 9:00, 14:00 and 18:00 respectively (Fig. 2). In the whole migration process, the average flight speed was 45.77 ± 20.88 km/h, with the average daily flight distance was 188.65 ± 113.90 km. The bird did not have a fixed place to rest at night in the winter. The altitude of resting place was 1 500 - 2 000 m, and 90 % of the home range size was 85.5 km^2 . On March 7, 2019, it was found that the bird was electrocuted and hung on a telegraph pole. The electric leakage of telegraph poles could be the death traps for the Saker Falcon and other birds (Fig. 3).

Key words: Saker Falcon, *Falco cherrug*; Autumn; Migration route; Satellite tracking

猎隼 (*Falco cherrug*) 是国家 II 级重点保护野生鸟类, IUCN 物种红色名录濒危物种, 在国内主要分布在西北、东北和华北一带 (郑光美 2017)。由于被高压线电击、偷猎、非法贸易、迁徙过程的死亡、栖息地退化、食物减少及繁殖成活率低等原因, 猎隼数量快速减少, 其生存面临着严重威胁 (马鸣等 2007, 吴逸群等 2007, Karyakin et al. 2017)。

Gamauf 等 (2012) 对奥地利的猎隼迁徙路线研究表明, 猎隼秋季向南飞行到西西里区越冬; Prommer 等 (2012) 对匈牙利的猎隼迁徙路线研究表明, 猎隼秋季向西南飞行到地中海中部越冬; Nemcek 等 (2015) 对斯洛伐克的猎隼迁徙路线研究发现, 1 只雌性猎隼秋季向东北方向迁徙到俄罗斯越冬, 另 1 只雌性猎隼秋季向西南方向迁徙到法国越冬。目前猎隼的保护备受关注, 但猎隼迁徙路线的研究相对较少, 使得对猎隼及其迁徙路线缺少相应的保护。2018 年秋季为河北保定救护放飞的 1 只猎隼佩戴了卫星追踪器, 对其迁徙活动进行卫星追踪, 以期揭示猎隼的迁徙路线和迁徙规律, 为我国猎隼的保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 卫星追踪器安装

猎隼为河北省保定市救助中心救助的个体, 通过救护人员的救助, 猎隼身体状态良好, 可自主进食, 且具备飞行能力。该猎隼体重

750.92 g、体长 480.21 mm、翅长 363.15 mm、尾长 230.51 mm、喙长 21.36 mm、嘴裂长 35.42 mm、嘴峰长 17.21 mm、中爪长 20.41 mm、后爪长 21.21 mm。考虑到猎隼的迁徙时间, 于 2018 年 9 月 26 日为其佩戴背负式鸟类卫星追踪器 (湖南环球信士科技有限公司)。卫星追踪器质量为 15 g, 加上绑绳总重约 17 g, 为该猎隼体重的 2.26%, 符合动物遥测技术中追踪器质量小于体重 3% ~ 5% 的经验值 (Barron et al. 2010)。持续观察 1 d 后未发现该猎隼有异常表现, 次日于河北省保定市满城区 ($N 39^{\circ}02'38''$, $E 115^{\circ}09'46''$) 野外放飞, 从救助到野外放飞时间间隔为 3 d。

1.2 跟踪数据的获取与处理

卫星追踪器的数据采集频率一般为 1 次/h, 当电压低于 3.7 V 时, 可人为调整其采集频率。收集的数据有猎隼位置数据 (包括经度、纬度和海拔高度)、卫星追踪器电压、运动航向、运动瞬时速度、追踪器与猎隼身体接触面温度、位置定位等级。位置定位等级分为 A、B、C、D 和无效 5 个等级, 精度依次递减, 从 A 等级至 D 等级的定位误差分别是 0 ~ 5 m、5 ~ 10 m、10 ~ 20 m 和 50 m 以上, 无效数据是指无法定位。

本次跟踪的猎隼在 2018 年 9 月 27 日至 2019 年 3 月 7 日共连续跟踪 164 d, 共获得 3 887 条数据, 其中, A 级 2 672 条 (68.74%)、B 级 1 019 条 (26.22%)、C 级 134 条 (3.45%)、D 级 29 条 (0.75%)、无效 33 条 (0.84%)。

本文采用 A 等级的位点数据对猎隼进行研究。

1.3 数据分析

1.3.1 数据处理 采用 ArcGIS10.4 软件对数据进行处理, 可以得到猎隼的迁徙路线。使用首次通过时间 (first passage time, FPT) 的方法对猎隼迁徙路线进行分割, 该方法在 R 软件中操作。FPT 方法用来评估 1 只动物首次沿着它的路径穿过一个给定半径的最短持续时间 (Edelhoff et al. 2016)。当动物持续移动时, FPT 值较低; 而当动物停留在一个面积有限的区域内时, FPT 值较高。将 FPT 的最优半径选择设置为一个包含 500 个项的从 2.5 km 到 50 km 的等比数列, 使用分层次分割过程, 上至 4 次迭代, 或直到不能进行进一步分割为止 (Lavielle 2005)。利用高 FPT (停歇区域) 以及低 FPT (迁徙过程中) 之间的转换, 可识别出猎隼迁徙过程中的停歇区域和越冬区域 (最后一个高 FPT 区域且时长超过 120 d), 其中, 鉴别出的停歇区域为夜间停歇。由于各地区日出与日落具体时间不同, 根据猎隼停歇时所在地区的日出与日落时间定义日间和夜间。由于猎隼在夜间停歇时及死亡后回传数据的瞬时速度为 0 ~ 5 km/h, 因此, 本文分析猎隼迁徙过程中的飞行速度时, 将瞬时速度在 0 ~ 5 km/h 定义为不飞行, 将瞬时速度在 5 km/h 以上定义为飞行。此外, 采用 BIGEMAP 软件拾取猎隼在越冬区域夜间休息时的位点高程, 可以得到休息地的海拔, 并且将卫星影像以一定的比例放大可识别当地的地物特征, 农田为浅黄色, 草地为绿色 (郭家良等 2015)。采用 ArcGIS10.4 软件中的最小凸多边形法 (minimum convex polygon, MCP), 计算猎隼越冬区域 90% 的活动面积。

1.3.2 数据统计分析 采用 SPSS22.0 软件对各阶段的飞行速度和日飞行距离进行单因素方差分析, 单因素方差分析前提条件为检验数据服从正态分布和方差齐性, 若数据不服从正态分布或者方差齐性, 则采用非参数中的 Kruskal-

Wallis *H* 进行检验分析。单因素方差分析的检验数据采用平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

1.3.3 个体状态判定 卫星跟踪个体的状态一般可分为活动、死亡或者设备脱落、被救助和失联。本文所采用的背负式卫星追踪器大部分隐藏在羽毛中, 温度传感器贴近猎隼身体, 飞行时设备内部温度会冷却到接近环境空气温度, 停留在地面时接近体温, 同时结合追踪位点的聚集程度和速度可有效判定个体状态。当温度持续 72 h 接近设备所在区域的环境温度、位点聚集在 100 m 以内及速度为 0 时, 可认定为个体死亡或者设备脱落。超过 1 年没有信号回传, 且中断联系之前的数据正常, 可认定为个体失联。追踪设备信号正常且能准确记录个体活动轨迹的, 可认定为个体活动 (Pennycuik et al. 1996)。

2 结果与分析

2.1 卫星追踪猎隼的活动轨迹

猎隼放飞后的活动轨迹分为 3 个阶段, 分别为放飞阶段、游荡期和迁飞期 (图 1)。

放飞阶段, 此猎隼个体在放飞地点河北省保定市满城区休息 1 d 后, 于 2018 年 9 月 28 日上午 9 时以 37.2 km/h 的速度离开, 2018 年 10 月 2 日 17 时到达内蒙古乌兰察布市察哈尔右翼前旗 (N 40°58'36", E 112°56'25")。在此期间该猎隼的行程为 297.62 km, 历时 5 d, 平均飞行速度为 (44.65 \pm 21.99) km/h, 最快速度为 109.7 km/h。

游荡期, 10 月 8 日 14 时此猎隼个体以 79.6 km/h 速度离开察哈尔右翼前旗, 向西南方向飞行 414.83 km 后, 10 月 10 日开始向西北飞行, 随后 10 月 11 日折返, 于 10 月 12 日 18 时返回察哈尔右翼前旗。在此期间该猎隼的行程为 1 129.69 km, 历时 5 d, 平均飞行速度为 (49.93 \pm 18.40) km/h, 最快速度为 84.7 km/h。



图 1 猎隼救助放飞后的活动轨迹

Fig. 1 Activity track of the Saker Falcon after rescued and released

迁飞期, 2018 年 10 月 22 日 8 时此猎隼个体再一次迁飞, 途径内蒙古自治区包头市石拐区、内蒙古自治区鄂尔多斯市杭锦旗、内蒙古自治区乌海市海南区、甘肃省平凉市崆峒区、甘肃省白银市会宁县、甘肃省临夏回族自治州东乡族自治县、青海省海南藏族自治州贵德县、青海省西宁市湟中县、甘肃省白银市靖远县, 最终于 2018 年 10 月 31 日 16 时到达越冬地——甘肃省白银市平川区 (N 36°24'52", E 105°21'20")。此期间该猎隼的行程为 2 040.9 km, 历时 10 d, 平均飞行速度为 (43.22 ± 22.05) km/h, 最快速度为 103.9 km/h。2018 年 10 月 31 日以后此猎隼个体在越冬地——甘肃省白银市平川区附近区域活动。

2.2 猎隼迁飞活动规律

猎隼在放飞阶段、游荡期和迁飞期, 每天 (7:33 ± 2:01) 时开始飞行, (18:12 ± 1:09) 时

停止飞行, 即在白天飞行, 平均日飞行时间为 (10.44 ± 1.76) h。全天非匀速飞行, 但各时段飞行速度差异不显著 ($F=1.137, P=0.342$), 全天飞行速度出现 9:00 时、14:00 时和 18:00 时三个高峰值 (图 2)。此外, 猎隼在各阶段的飞行速度差异不显著 ($F=1.808, P=0.169$), 全程平均飞行速度为 (45.77 ± 20.88) km/h。

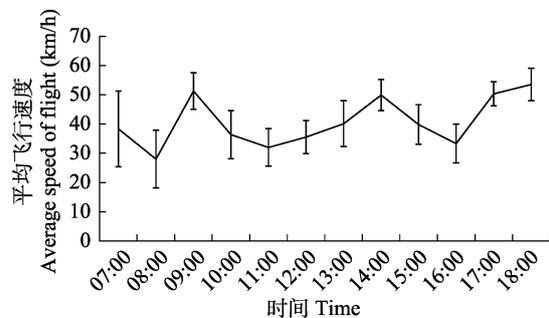


图 2 飞行速度的日节律

Fig. 2 Daily rhythm of flight speed

猎隼放飞阶段、游荡期和迁飞期的平均日飞行距离分别为 (88.20 ± 39.25) km、 (258.20 ± 104.13) km 和 (204.10 ± 115.44) km。放飞阶段的平均日飞行距离显著低于游荡期 ($F = 11.669$, $P = 0.019$) 和迁飞期 ($F = 4.616$, $P = 0.049$)，但游荡期与迁飞期的平均日飞行距离差异不显著 ($F = 0.777$, $P = 0.394$)。全程平均日飞行距离为 (188.65 ± 113.90) km。

2.3 越冬地及活动区域

2018年11月1日至2019年3月7日猎隼在越冬地期间共获得3 060个位点数据，可用位点数据2 088个。数据显示，其在越冬地没有固定休息点，休息地海拔在1 500~2 000 m的位点较多，且生境为开阔草原，90%的活动区域面积为85.5 km²。

3 讨论与建议

卫星追踪研究表明，奥地利 (Gamauf et al. 2012)、匈牙利 (Prommer et al. 2012) 和斯洛伐克 (Nemcek et al. 2015) 的猎隼秋季迁徙路线方向均呈现南北迁徙。苏化龙等 (2001) 对猎隼研究中提到，猎隼在中国繁殖于黑龙江、内蒙古、甘肃、青海、新疆一带，以及山西和陕西的部分地区，河北北部也可能有其繁殖地；冬季部分迁徙到西藏东南部、四川、陕西、山西，少量在河北。本研究跟踪的猎隼个体秋季迁徙路线方向为自东向西迁徙，迁徙路线涉及河北省、内蒙古自治区、山西省、陕西省、甘肃省、青海省6个省区，与欧洲报道的猎隼南北方向迁徙不同。另外，本研究猎隼的越冬地为甘肃省白银市平川区，印证了苏化龙等 (2001) 对甘肃为我国猎隼繁殖地和越冬地的报道。

张延君等 (2019) 对中蒙之间秃鹫 (*Aegypius monachus*) 春季迁徙路线及活动区域的研究发现，秃鹫在白天迁飞，每天的飞行时间为10 h，飞行2 200 km需要52 d。而本次追踪的猎隼白天飞行，日飞行时间为 (10.44 ± 1.76) h，飞行2 040.9 km需要10 d。同秃鹫这种大型猛禽

迁徙相比，猎隼具有更高的迁飞速度，这与体型较小的鸟类在迁徙过程中具有更高迁飞速度的报道一致 (Hedenstrom 1993)。猎隼与秃鹫迁徙时的速度差异可能与翼载荷 (体重与翼展面积之比) 有关，翼载荷越高，迁徙途中消耗的能量越大，需要更长时间休息 (van der Winden et al. 2010)。此外，放飞阶段的平均日飞行距离显著低于游荡期和迁飞期，可能与放飞阶段猎隼体力匮乏有关。

Dixon 等 (2016) 对蒙古国和俄罗斯猎隼的越冬地——青藏高原地区的活动范围进行研究，发现不同猎隼的活动范围为5~18 469 km²，变化很大。本次卫星追踪的猎隼个体在越冬地的活动区域面积为85.5 km²，活动范围相对集中，不同越冬地点猎隼的活动范围不同，可能与当地的环境条件有关。

本次监测猎隼的越冬地为广阔的草原，缺乏高大树木，电线杆是当地鸟类栖息站立的主要高位点。但是一旦电线杆漏电，这个高位栖息点就变成了鸟类的死亡陷阱。本研究猎隼个体于2019年3月7日在宁夏回族自治区中卫市海原县 (N 36°41'16", E 105°26'37") 回传信号异常，作者到达现场后发现猎隼已在电线杆上被电死且悬挂在电线杆上，同时电线杆下还有另1只被电死的猎隼，以及红隼 (*F. tinnunculus*) 和红嘴山鸦 (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*) 等其他死亡鸟类 (图3)。



图3 电线杆 (a) 和其下被电死的猎隼 (b)

Fig. 3 Picture of telegraph pole (a) and the electrocuted Saker Falcon (b)

因此, 从鸟类资源保护角度出发, 为了有效降低鸟类触电死亡事件, 相关部门应该积极倡导和协助当地安装人工栖架, 并且对电杆线路进行漏电保护并安装驱鸟设备等, 以使猎隼等鸟类得到有效保护。

参 考 文 献

- Barron D G, Brawn J D, Weatherhead P J. 2010. Meta-analysis of transmitter effects on avian behavior and ecology. *Methods in Ecology & Evolution*, 1(2): 180–187.
- Dixon A, Xinhai L I, Rahman M L, et al. 2016. Characteristics of home range areas used by Saker Falcons (*Falco cherrug*) wintering on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Bird Conservation International*, 26(3): 1–12.
- Edelhoff H, Signer J, Balkenhol N. 2016. Path segmentation for beginners: an overview of current methods for detecting changes in animal movement patterns. *Movement Ecology*, 4(1): 21.
- Gamauf A, Dosedel R. 2012. Satellite telemetry of Saker Falcons (*Falco cherrug*) in Austria: juvenile dispersal at the westernmost distribution limit of the species. *Aquila*, 119(106): 65–78.
- Hedenstrom A. 1993. Migration by soaring or flapping flight in birds: The relative importance of energy cost and speed. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 342(1302): 353–361.
- Karyakin I V, Zinevich L S, Rozhkova D N, et al. 2017. The first results of the project on restorations of genetic diversity of the Saker Falcon populations in the Altai-Sayan Region. *Raptors Conservation*, 35: 176–192.
- Lavielle M. 2005. Using penalized contrasts for the change-point problem. *Signal Processing*, 85(8): 1501–1510.
- Nemcek V, Chavko J, Deutschová L. 2015. Movement of satellite-tracked juvenile saker falcons (*Falco cherrug*) in SW Slovakia. *Slovak Raptor Journal*, 8(2): 97–103.
- Pennycuik C J, Einarsson O, Bradbury T A, et al. 1996. Migrating Whooper Swans *Cygnus cygnus*: Satellite tracks and flight performance calculations. *Journal of Avian Biology*, 27(2): 118–134.
- Prommer M, Bagyura J, Chavko J, et al. 2012. Migratory movements of Central and Eastern European Saker Falcons (*Falco cherrug*) from juvenile dispersal to adulthood. *Aquila*, 119(110): 111–134.
- van der Winden J, Poot M J M, van Horssen P W. 2010. Large birds can migrate fast: the post-breeding flight of the Purple Heron *Ardea purpurea* to the Sahel. *Ardea*, 98(3): 395–402.
- 郭家良, 刘雪华, 杨萍, 等. 2015. 豆雁在中国的春季迁徙路线及迁徙停歇地. *动物学杂志*, 50(2): 288–293.
- 马鸣, 梅宇, Potapov E, 等. 2007. 中国西部地区猎隼繁殖生物学与保护. *干旱区地理*, 30(5): 654–659.
- 苏化龙, 陆军. 2001. 猎隼、阿尔泰隼和矛隼的研究与保护. *动物学杂志*, 36(6): 62–67.
- 吴逸群, 马鸣, 刘迺发, 等. 2007. 新疆准噶尔盆地东缘猎隼的繁殖生态. *动物学研究*, 28(4): 362–366.
- 张延君, 贾茹, 孟维悦, 等. 2019. 卫星跟踪中蒙之间秃鹫春季迁徙路线及活动区域. *动物学杂志*, 54(2): 159–164.
- 郑光美. 2017. 中国鸟类分类与分布名录. 3 版. 北京: 科学出版社, 124–125.