

doi: 10.11707/j.1001-9130.20200214

# 白鹤东部种群迁徙模式与重要中途停歇地的变化\*

杨 1, 江红 1, 邹畅林 2, 王 永 2, 林宝庆 3, 李连山 3

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所森林生态与保护研究所 国家林业和草原局森林保护学重点实验室 北京 100091;  
2. 吉林森林草原国家级自然保护区管理局 镇赉 132000; 3. 吉林向海国家级自然保护区管理局 通榆 137215)

**摘要:**【目的】探究白鹤的迁徙模式,并识别 20 年来中国境内白鹤中途停歇地的分布变化,评价不同尺度下其重要中途停歇地保护空缺和管理建议。【方法】利用 2016—2017 年 10 只卫星跟踪白鹤的定位数据,根据中途停歇天数,将中途停歇地划分为 4 种类型,通过权重赋值进行综合评价,同时利用 ArcGIS 10.2 的空间分析功能,绘制迁徙路线图,并开展保护空缺分析。【结果】春、秋迁徙季节白鹤往返于繁殖地和越冬地之间的飞行距离、停留天数、中途停歇次数等迁徙参数均不存在差异显著性。春、秋迁徙期分别识别中国境内中途停歇地 62 处和 77 处,分别属于 5 停歇区域中的 23 处和 27 处停歇单元。重要中途停歇地春、秋季节仅为 1 处,包括西松嫩平原的黑龙扎龙、吉林莫莫格和向海国家级自然保护区及其周边地区,以及黄河三角洲的东营黄河三角洲国家级自然保护区。一般中途停歇地春、秋季节分别为 2 处和 3 处,包括西松嫩平原的科尔沁沙地东部湿地、内蒙古的科尔沁沙地东部湿地。重要、一般、临时中途停歇地和休整地分别有 13 处、24 处和 27 处。重要、一般、临时中途停歇地均无保护体系之外。总之,西松嫩平原春、秋季节都是白鹤最重要的停歇地区;春季迁徙期重要、一般、临时中途停歇地依次分别为西松嫩平原、黄河三角洲第三、秋季迁徙期,正好相反。长江中下游平原秋季比春季重要,对白鹤春、秋迁徙均符合能量消耗最小对策,迁徙路线呈现“8”字形,是中国东北西松嫩平原、黄河三角洲和长江中下游平原迁徙通道的瓶颈位置。白鹤的迁徙模式为兼性迁徙,在食物匮乏的丰富的迁徙节段上采用轻跳式迁徙。近 20 年来,白鹤在中国境内的重要中途停歇地,如黄河三角洲、西松嫩平原、辽河三角洲已不再是白鹤重要中途停歇地,但位于西辽河平原的科尔沁沙地东部湿地和黄河三角洲的东营黄河三角洲国家级自然保护区仍为白鹤的重要中途停歇地。为确保白鹤的迁徙安全和长久生存,建议对已建保护区的周边重要中途停歇地,如科尔沁沙地东部湿地,建议成立保护区,构建跨部门和跨区域的联合保护管理机制。

**关键词:** 白鹤; 迁徙模式; 中途停歇地; 保护空缺

**中图分类号:** S732.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7488(2020)02-0123-11

**收稿日期:** 2019-04-15 **修回日期:** 2020-02-27

Yang X. <sup>1</sup>, Jiang Hong <sup>1</sup>, Zou Changlin <sup>2</sup>, Wang Yong <sup>2</sup>, Lin Baoqing <sup>3</sup>, Li Lianshan <sup>3</sup>  
(1! R%, \$0>#)0#), #, +#3/#1 #' 90+ (%\*), 014 F)0\*\*\$014 24: /1/\*)0+/#1 D%\*0)38 11\*+/+-% #' (#)\*+ T3#&, , T16/)#1: %1+ 014 ;)#%3/#1, "8/ %: , #' (#)\*+), & 100091; 2! U#: #8% 90+/#10\$ 90+-) D%\*)6% #' b/\$1 ; )#6/13% [8%1\$/ 132000; 3! X/01&80 10\$ 90+-) D%\*)6% #' b/\$1 ; )#6/13% B#1&, - 137215)

**Abstract:** 【Objective】 This study aimed to explore the importance of stopover sites of Siberian cranes at different spatial scales , and identify conservation gaps and propose management recommendations , based on the analysis of migration strategy and distribution pattern of Siberian cranes in the past 20 years. 【Method】 Using the satellite tracking data of ten Siberian Cranes in 2016 and 2017 , four types of stopover sites were divided based on the different stopping days. The rank of each staging area was evaluated synthetically with the weighted assignment. The conservation gaps were identified and migratory routes were mapped using the spatial analysis function of ArcGIS 10.2. 【Result】 There was no significant

收稿日期: 2019-04-15; 修回日期: 2020-02-27-11。  
基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0505100), 国际鹤类基金会白鹤东部种群保护项目。  
\* 江红星为通讯作者。



国齐齐哈尔—白城地区、辽河三角洲和黄河三角洲是其重要的中途停歇地。在过去的 20 多年间, 中国政府加强了湿地保护管理, 但随着工农业发展和城镇化进程, 湿地仍呈现萎缩趋势。2003—2013 年中国湿地减少 3 390 万  $\text{hm}^2$ , 平均每年消失率为 0.94% (Meng 等, 2017)。在这种情况下, 白鹤是否还能在传统的中途停歇地补充能量来完成迁徙过程, 迁徙通道上是否存在适宜的潜在栖息地, 白鹤的迁徙行为, 如停歇次数与时间, 是否随着环境变化也会发生相应的改变, 还缺乏相关研究。

卫星跟踪技术可以准确地得到跟踪对象的迁徙时间、地点和迁徙路径, 具有跟踪范围广、时间长等优点 (Seegar 等, 1996; 关鸿亮等, 2000; Microwave Telemetry Inc, 2018)。随着太阳能板替代锂电池, 以及全球定位系统 (global positioning system, GPS) 和全球移动通信系统 (global system for mobile communications, GSM) 的应用, 显著减小了跟踪器的体积和质量, 延长了续航能力, 提高了定位精度, 缩短了定位间隔和数据传输时间, 降低了使用成本, 在鸟类迁徙规律和种群生态学中得到广泛应用 (Berthold 等, 2004; Meyburg 等, 2012; Microwave Telemetry Inc, 2018)。2014—2015 年, 李秀明等 (2016) 采用中国湖南环球信士生产的 HQBP3622 型号 GPS/GSM 卫星跟踪器 (22 g), 对 6 只白鹤进行了跟踪, 以 20 天为分界点区分了长期和短期中途停歇地, 但未对识别的中途停歇地进行综合分析。本研究利用 2016—2017 年 10 只卫星跟踪白鹤的定位数据, 根据停歇天数不同将中途停歇地划分为 4 种类型, 结合 ArcGIS 10.2 的空间分析功能, 主要目的是: 1) 对比春、秋迁徙参数, 分析白鹤的迁徙对策是否存在季节性差异, 迁徙模式是否为兼性迁徙 (facultative migration); 2) 对比分析近 20 年来白鹤在中国境内中途停歇地的分布变化, 评价不同尺度下其重要性的优先次序; 3) 结合现有保护体系, 提出白鹤中途停歇地保护空缺和管理建议。

## 1 研究方法

### 1.1 白鹤捕捉与卫星跟踪设备

2016—2017 年, 在中国东北松嫩平原 4 个保护区卫星跟踪 10 只白鹤个体 (表 1)。卫星跟踪器为湖南环球信士科技有限公司生产, 型号分别为 HQBG3621 和 HQBG5037S, 质量分别为 24、40 g, 均小于白鹤质量的 1%, 满足跟踪器质量不超过鸟类体质量 3% 的国际标准 (关鸿亮等, 2000)。跟踪器

采用 GPS/GSM 系统、太阳能供电装置, 采用背负式的佩戴方式 (Nagendran 等, 1994)。每台设备采集数据时间间隔 1~3 h 不等, 定位精度等级分为 A (误差 < 5 m)、B (5 m < 误差 < 10 m)、C (10 m < 误差 < 20 m)、D (20 m < 误差 < 100 m)、E (100 m < 误差 < 2 000 m) 和无效 (误差 >



AB F 中途停歇地类型与权重

为对比分析 2017 年中国境内的白鹤中途停歇地的变化,本研究用 Kanai 等 (2002) 将停歇天数 > 7 天的地点界定为重要中途停歇地。其次,将停歇时间为 7 天的中途停歇地划分为一般中途停歇地 (7 天 > 停歇时间 \* 3 天 > 临时停歇地 (3 天 > 停歇时间 \* 2 h) 3 种类型。

中途停歇单元 (stop unit/arc) 基于生态和保护价值,从保护地、现有保护体系和水文地貌单元,将中途停歇地对应的单元划分为中途停歇单元 (Wang et al., 2010)。识别不同中途停歇单元对白鹤迁徙过程的重要性,考虑到 4 类中途停歇地的权重,是基于倍数来划分的,依次将 4 类中途停歇地权重赋值 16、8、4、2。将春季迁徙季中途停歇地重要性权重累加,即得到该单元的分值,公式如下:

式中: < 为停歇单元的分值, < 为停歇单元中不同停歇地类型的数量, < 为重要中途停歇地数量。比如,在 1 个重要中途停歇地,其权重为 16, 1 个一般中途停歇地,其权重为 4, 1 个临时停歇地,其权重为 2, 1 个非停歇地,其权重为 1。单元 A 和 B 对于白鹤迁徙的重要性,这与 2 种类型停歇地划分一致。

区域尺度上,分析中途停歇地在不同迁徙区域中所占比例。结合保护地分析白鹤重要中途停歇地的保护。

2 结果与分析

CB A 迁徙路线

本研究识别出俄罗斯科雷马低地 (Kolyma Lowland) 以及亚纳河-因迪吉尔卡河低地 (Yana River-Indi Gilka Lowland) 2 处繁殖地,其纬度基本一致,经度相差 12°, 相距约 500 km; 识别出中国江西鄱阳湖是其重要越冬地 (13 只次/15 只), 其次湖北网湖和山东黄河三角洲分别有 1 只白鹤越冬。湖北网湖与江西鄱阳湖盆地相距仅 120 km, 但这只 SC03 于 2017 年 2 月 16 日以后没有地点返回。SC08 于 2018 年 11 月 24 日抵达山东黄河三角洲, 直到 12 月 25 日信息消失, 于 1 月 14 日再次通过彩环 S24 在野鸭湖越冬, 迁徙路线相差 9°, 相距约 1 020 km。

总体上,白鹤的春、秋迁徙路线基本相似,均沿着比较狭窄的通道往返迁徙。春季从越冬地到渤海北端,迁徙路线相对离散,而秋季从繁殖地到中国国境,迁徙路线相对离散。春季识别出中国境内辽河平原的卧龙湖 (1 个) 和科尔沁沙地部湿地 (1 个)、西松嫩平原的向海 (1 个)、莫莫格 (3 个) 保护区及其周边地区 (2 个)、扎龙保护区 (1 个) 等 6 处重要中途停歇单元的 9 个重要中途停歇地 (表 2)。秋季识别出中国境内西松嫩平原图牧吉保护区 (3 个重要中途停歇地) 及其周边区域 (1 个)、莫莫格保护区 (2 个) 及其周边区域 (3 个) 以及向海保护区 (2 个)、山东黄河三角洲 (1 个) 及其周边地区 (1 个) 等 7 处重要停歇单元的 13 个重要中途停歇地 (表 2)。

CB C 迁徙模式

春季迁徙季节,白鹤平均于 3 月 25 日 (3 月 9 日—4 月 12 日, 7) 离开越冬地,历时 (3.7±0.76) 天,于 3 月 28 日 (3 月 12 日—4 月 16 日) 抵达渤海北端,在松辽平原停歇 (43.03±16.09) 天后,于 5 月 10 日 (5 月 8 日—5 月 15 日, 1=7) 迁离出境,历时 (16.8±3.97) 天后,于 5 月 27 日 (5 月 21 日—6 月 4 日, 1=6) 抵达俄罗斯西伯利亚苔原带繁殖。

秋季迁徙季节,白鹤平均于 9 月 26 日 (9 月 20 日—10 月 9 日, 1=6) 从西伯利亚繁殖地离开,历时 (16.7±8.38) 天后,于 10 月 13 日 (10 月 4 日—11 月 10 日) 抵达中国境内,在东北松辽平原停歇 (30.3±10.05) 天后,于 11 月 10 日 (10 月 25 日—11 月 22 日, 1=15) 抵达渤海北端,历时 (8.7±8.12) 天后,于 11 月 17 日 (10 月 29 日—12 月 17 日, 1=15) 抵达越冬地。

从迁徙时间来看,越冬地与繁殖地春季迁徙时间为 (62.6±21.2) 天 (40~81 天, 1=5), 秋季迁徙时间为 (55.2±10.4) 天 (40~70 天, 1=6), 两者之间差异不显著。与李秀明等 (2016) 春、秋迁徙时间也无显著差异 [(57.5±8.81) 天和 (51.3±9.84) 天]。在俄罗斯境内春、秋迁徙时间分别为 16.8±4.0 天 (12~21 天, 1=6) 和 16.7±8.4 天 (10~33 天, 1=6); 在中国境内春、秋迁徙时间分别为 (45.8±15.8) 天 (28~64 天, 1=6) 和 (42.2±9.4) 天 (15~56 天, 1=6)。

从停歇时间来看,繁殖地停歇时间为 (124.2±5.5) 天 (117~132 天, 1=6), 越冬地停歇时间为 (134.9±22.9) 天 (111~166 天, 1=7), 两者之间差异不显著。春、秋迁徙期在松嫩平原和辽河平原停歇时间分别为 (43.03±16.1) 天 (23~60 天, 1=6) 和 (30.3±10.1) 天 (10~39 天, 1=6), 占全年时间的 1/5。



从停歇次数来看,在越冬地与渤海北端(辽东湾北部)长达 1 400 km 的距离中,春、秋季节仅停歇 ( $1.9 \pm 1.1$ ) 次(0~3 次,  $n=7$ ) 和 ( $2.5 \pm 1.8$ ) 次(0~6 次,  $n=15$ ); 而中国境内迁徙距离长达 2 700 km 总停歇次数分别达到 ( $10.3 \pm 6.4$ ) 次(1~19 次,  $n=6$ ) 和 ( $7.8 \pm 5.4$ ) 次(

徙( Flapping flight) 行为。从卫星跟踪的数据来看, 超过 80% 的白鹤跟踪个体在辽东湾北部和越冬地之间均存在明显的夜间迁徙行为。其中 SC07 号白鹤连续迁飞时间最长达 32 h, 迁飞距离达 1 299 km。这种长距离和夜间迁徙行为, 消耗的能量需要在迁徙途中花费较长时间进行补充( Newton, 2008)。

白鹤的春、秋迁徙路线基本相似, 呈现“8”字形。中国东北的松嫩平原( Kanai 等, 2002; 李秀明等, 2016) 和辽河平原是其狭窄迁徙通道的瓶颈位置。从不同迁徙节段的时间占比来看, 松嫩平原和辽河平原迁徙跨度不足整个迁徙路线的 1/10, 而此区域内春、秋停歇时长占整个迁徙时间的 69% (  $66\% \pm 7\%$ ,  $n=5$ ) 和 59% (  $53\% \pm 17\%$ ,  $n=5$ )。从不同年份跟踪白鹤迁离、迁到繁殖地、中途停歇地和越冬时间来看, 如果迁徙季节比往年更寒冷或更温暖, 它们的具体迁徙时间可能会略微调整几天甚至几周( Kanai 等, 2002; 李秀明等, 2016)。结合不同迁徙季节中途停歇地分布变化, 进一步证实白鹤属于兼性迁徙的鸟类, 迁徙时间相对更为灵活。专性迁徙( obligate migration) 鸟类的迁徙时间由其本能所决定, 异常温暖或凉爽的季节变化均不会让它们改变出发日期( Newton, 2008)。

实际上, 任何鸟类所采用的特定迁移模式一定程度上取决于种群所经过的地形类型、潜在觅食地点的分布以及被捕食的风险( Newton, 2008)。白鹤在越冬地与渤海北侧( 辽东湾北侧) 之间的迁徙符合中等距离的蹦跳式迁徙( skip migration), 在辽河平原和松嫩平原之间符合短距离的轻跳式迁徙( hop migration)。离开松嫩平原至繁殖地期间调整

随着全球气候变暖, 一些鸟类的越冬地会向高纬度地点迁移, 同时到达繁殖地时间更早、离开更晚( Alonso 等, 1991; Berthold, 1996; Fiedler, 2003)。灰鹤( *F. -\* & -\**) 西欧亚种群历史上在西班牙—摩洛哥一带越冬, 由于气候变暖, 现主要在法国、西班牙和德国东部一带越冬, 越冬地北移 1 500 km( Alonso 等, 1991)。白鹤也存在这种现象 SC08 于 2018 年 11 月 17 日抵达山东黄河三角洲越冬, 该处比传统越冬地鄱阳湖北移了约 1 000 km。实际上, 自 2015/2016 越冬期至今, 连续 4 年的 1 月中旬在黄河三角洲分别统计到越冬白鹤个体 29 只、10 只、6 只( 刘昌景等, 2018) 和 90 只( 笔者

调查)。随着气候变暖是否会有更多的白鹤越冬地北移有待于进一步观察和验证。

#### FB C 白鹤中途停歇地的变化

Kanai 等( 2002) 揭示出 1994—1995 年秋季白鹤在中国的重要中途停歇地包括齐齐哈尔—白城地区、辽河三角洲, 以及黄河三角洲等 3 处。本研究识别的重要中途停歇单元秋季未包括黑龙江齐齐哈尔地区的扎龙湿地, 这与李秀明等( 2016) 研究结果一致。历史上, 扎龙保护区是白鹤重要中途停歇地的记录都是基于春季迁徙季节的统计( 李方满, 1998; 仇福臣等, 2005; 黄方等, 2007), 1987 年春季白鹤最高日统计数达到 1 108 只。从这一点来看, 秋季从俄罗斯迁到的白鹤有良好的能量储备, 进入中国境内后能直接迁飞到松嫩平原重要停歇地补充能量; 而春季迁离中国之前, 需要在扎龙湿地进行最后的休整和能量补给, 为完成下一阶段的中长距离迁徙做好准备。

辽河平原是本研究新识别的白鹤重要中途停歇区, 特别是康平卧龙湖省级自然保护区和科尔沁沙地东部湿地。李鑫等( 2010) 等 2008 年秋季和 2009 年春季在卧龙湖最高日统计量分别达到 1 559 只( 11 月 14 日)

0 Tr 10.285715 0 0 10.285715 0 -8.742857 Tm 40.754719 59.709436



都是其重要休整地。这可能是白鹤春季跨大别山区后的第一处停歇地,秋季飞越大别山前最后一处停歇地。淮河中游在秋季界定一般停歇地,随着中国湿地保护工作的推进,淮河中游是否能成为白鹤重要中途停歇地,有待于进一步地面核查和评估。

白鹤中途停歇地保护成效取决于大尺度下栖息地需求是否得到了保护 (Rundel et al., 2015)。自然保护区是对生物多样性、珍稀濒危动植物和自然遗迹等进行就地保护的主要途径 (Jenkins et al., 2009; 马建波等, 2012)。中国政府十分重视自然保护区建设,2015 年底,全国已建立 2 697 处自然保护区,占中国陆地国土面积的 14.8%,平均每年增加 2% (王静等, 2016)。尽管自然保护区保护地理单元仍存在保护空缺或保护效率问题,这也是全球自然保护区面临的主要问题 (Jenkins et al., 2009; Sang et al., 2018)。

研究发现近 20 年中途停歇地分布格局发生了明显变化。在 9 个白鹤春季重要中途停歇地保护体系之中,其中 2 个位于莫莫格自然保护区周边,1 个位于科尔沁沙地东部,春季重要中途停歇地中有 5 个位于保护体系,分别位于吉林莫莫格、内蒙古图牧吉、黄河三角洲国家级自然保护区周边。1 个位于保护体系之外,春季分别有 1 个 (16.7%) 和 3 个 (33.3%) 位于保护体系之外; 秋季均有 8 个位于保护体系,分别位于莫莫格和向海、内蒙古图牧吉、黄河三角洲及自然保护区周边、科尔沁沙地东部。休整地春、秋各有 71.8% 和 100% 的地点位于保护体系之外。

总体来看,白鹤迁徙通道上的众多保护区为白鹤安全停歇和能量补充起到了至关重要的作用,但保护区外依然分布着许多重要的中途停歇地,如莫莫格保护区外的管仲子、三家子、三岔子、白音套海等 (相桂权等, 2010)。为确保白鹤迁徙安全和物种的长续生存,建议: 1) 定期评估现有保护区的管理成效,采取针对性干预措施和监管方式,确保保护区及其周边白鹤得到有效保护,如吉林莫莫格、内蒙古图牧吉、黄河三角洲保护区周边的白鹤重要中途停歇地。

地面积小而相互分散的重要停歇单元,成立保护小区,满足白鹤生命周期中特定阶段的生态需求,如内蒙古通辽科尔沁沙地东部湿地; 3) 除了保护关键地点和重要地点外,加强或发展更广泛的政策工具,如构建跨部门和跨区域的联合保护机制、信息共享平台等,推动华北平原和长江中下游平原的一些停歇地和休整地的有效管理。

由于跟踪个体数量有限,本研究未能识别同属辽河平原的辽宁法库獾子洞国家湿地公园、吉林双辽白鹤和长岭龙凤湖省级自然保护区等 3 处已知的白鹤重要中途停歇单元 (丁长青等, 2006; 刘晓强等, 2008; 于晶晶等, 2013)。在今后的研究中,随着白鹤跟踪个体和跟踪周期的增加,结合地面监测数据,将更加全面地反映白鹤东部迁徙种群的迁徙模式与停歇地选择,更好地为白鹤保护提供科学支撑。

#### 4 结论

白鹤春、秋迁徙均符合能量消耗最小对策,迁徙路线呈现“8”字形,中国东北西松嫩平原和辽河平原是其狭窄迁徙通道的瓶颈位置。白鹤的迁徙模式为兼性迁徙,白鹤的迁徙模式为兼性迁徙,在食物匮乏的迁徙节段上采用蹦跳式迁徙,而在食物丰富的迁徙节段上采用轻跳式迁徙。近 20 年来白鹤在中国境内的重要中途停歇地分布发生了明显变化。历史上,辽河三角洲已不再是白鹤重要中途停歇地,但辽河平原中北部辽宁、吉林和内蒙古 3 省交界区域是其新发现的重要停歇区域。为确保白鹤的迁徙安全和长久生存,建议对已建保护区的周边重要中途停歇地,依托现有保护管理机构加强监管; 对湿地面积小而分散的重要停歇地,如内蒙古科尔沁沙地东部湿地,成立保护小区; 对华北平原和长江中下游平原的一些停歇地和休整地,构建跨部门和跨区域的联合保护管理机制。

#### 参 考 文 献

崔国发, 郭子良, 王清春, 等. 2018. 自然保护区建设和管理关键技术. 北京: 中国林业出版社, 355.  
 (Cui G F, Guo Z L, Wang Q C, et al. 2018. Key technologies for the construction and management of nature reserves. Beijing: China Forestry Publishing House, 355. [in Chinese])  
 丁长青, 王岐山. 2006. 辽宁发现白鹤等水鸟的重要迁徙停歇地. 动物学杂志, 41(3): 84.  
 (Ding C Q, Wang Q S. 2006. The important stopover site of Siberian crane was found in Liaoning Province. Chinese Journal of Zoology, 41(3): 84. [in Chinese])  
 谷红亮, 林宝庆, 李连山. 2018. 向海保护区白鹤春秋迁徙停歇期数

量及生境选择. 吉林林业科技, 47( 1) : 14-17. [in Chinese]

( Gu H L , Lin B Q , Li ... 2018. Migration patterns and habitat choice in spring and autumn of Siberian Crane in the Xianghai Conservation Area. Journal of Jilin Forestry Science and Technology , 47( 1) : 14-17. [in Chinese ]

关鸿亮, 通口广芳. 2000. 卫星跟踪技术在鸟类研究中的应用及展望. 动物学研究, 21( 4) : 412-415. [in Chinese]

( Guan H L , Higuchi H. ... 2000. A review on satellite tracking of migratory birds and its prospect. Zoological Research , 21( 4) : 412-415. [in Chinese ]

黄方, 王平, 王永清. 2007. 扎龙湿地环境变化及其对白鹤迁徙的影响. 东北师大学报: 自然科学版, 39( 2) : 106-111. [in Chinese]

( Huang F , Wang P , Wang ... 2007. Environmental change and its effect on white crane migration in Zhalong Nature Reserve. Journal of Northeast Forestry University: Natural Science Edition , 39( 2) : 106-111. [in Chinese ]

李方满. 1998. 白鹤越冬地的生态学. 动物学研究, 19( 1) : 38, 52. [in Chinese]

( Li F M. 1998. Ecological characteristics of Siberian Crane wintering migration in Lindian stopover. Zoological Research , 19( 1) : 38, 52. [in Chinese ]

李鑫, 吴建平, 朱成伟. 2001. 莫莫格湿地保护区水鸟迁徙研究. 野生动物, 31( 3) : 135-138. [in Chinese]

( Li X , Wu J P , Zhu C W. ... 2001. Waterfowl in Wolong Nature Reserve. Chinese Journal of Zoology , 31( 3) : 135-138. [in Chinese ]

李秀明, 徐家慧, 钱法文. 2001. 扎龙湿地白鹤越冬和秋季迁徙路线. 湿地科学, 14( 3) : 135-138. [in Chinese]

( Li X M , Xu J H , Qian ... 2001. Migration routes of Siberian Crane ( Grusleucogeranus ) and autumn migration in Zhalong Wetland Science , 14( 3) : 135-138. [in Chinese ]

刘昌景, 周用武. 2018. 国家级自然保护区越冬鹤类调查及受胁因素分析. 黑龙江兽医, 15( 2) : 180-183. [in Chinese]

( Liu C J , Zhou Y W. ... 2018. Investigation of wintering cranes and analysis of the risk factors in the Yellow River National Nature Reserve. Heilongjiang Veterinary Science and Medicine , 15( 2) : 180-183. [in Chinese ]

刘春悦, 江红星, 孙效维. 2013. 白鹤中途停歇地主要食物藨草球茎密度的空间插值分析. 动物学杂志, 43( 3) : 382-390. [in Chinese]

( Liu C Y , Jiang H X , Sun ... 2013. Comparison of the spatial interpolation methods for the tuber density of Cyperus species: the main food of Siberian Crane at stopover site. Chinese Journal of Zoology , 48( 3) : 382-390. [in Chinese ]

刘晓强, 朱成伟, 赵玉海. 2008. 沈阳獾子洞湿地白鹤及其停歇地生境调查. 野生动物学报, 29( 4) : 184-186. [in Chinese]

( Liu X Q , Zhu C W , Zhao ... 2008. Survey of wintering habitat of Siberian crane in Shenyang, Shenyang. Chinese Journal of Wildlife , 29( 4) : 184-186. [in Chinese ]

马建章, 戎可, 程鲜. 2012. 中国生物多样性就地保护的研究与实践. 生物多样性, 15( 5) : 55-59. [in Chinese]

( Ma J Z , Rong K , Cheng ... 2012. In situ conservation of biodiversity in China. Biodiversity Science , 20( 5) : 55-59. [in Chinese ]

仇福臣, 林宝庆, 蔡勇军, 等. 2005. 扎龙保护区春季白鹤迁徙观察. 东北林业大学学报, 33( 1) : 103-105. [in Chinese]

( Qiu F C , Lin B Q , Chai ... 2005. Observation on Siberian white crane migration in spring in Zhalong Nature Reserve. Journal of Northeast Forestry University , 33( 1) : 103-105. [in Chinese ]

单凯. 2002. 黄河三角洲2002年鹤类调查. 中国鹤类通讯, 16-19. [in Chinese]

( Shan K. 2002. Crane survey of Yellow River Delta in 2002. China Crane News , 16-19. [in Chinese ]

邵明勤, 龚浩林, 戴年华, 等. 2018. 鄱阳湖围垦区藕塘越冬白鹤的时间分配与行为节律. 生态学报, 38( 14) : 287-293. [in Chinese]

( Shao M Q , Gong H L , Dai ... 2018. Study on time budgets and behavioral rhythm of wintering Siberian Cranes in a lotus pond reclamation area in Poyang Lake. Acta Ecologica Sinica . 38( 14) : 287-293. [in Chinese ]

相桂权, 张洪岩, 吴景才, 等. 2010. 莫莫格湿地景观格局变化对白鹤停歇种群动态的影响. 东北师大学报: 自然科学版, 42( 3) : 126-131. [in Chinese]

( Xiang G Q , Zhang H Y , Wu ... 2010. Effects of changing landscapes on stopover population in Siberian Crane at Momoge wetland. Journal of Northeast Forestry University: Natural Science Edition , 42( 3) : 126-131. [in Chinese ]

肖笃宁, 李晓文, 王连平. 2001. 辽东湾滨海湿地资源景观演变与可持续利用. 资源科学, 23( 2) : 31-36. [in Chinese]

( Xiao D N , Li X W , Wang ... 2001. Landscape dynamics and sustainable use of coastal wetland resources in Liaohe delta. Resources Science , 23( 2) : 31-36. [in Chinese ]

王静, 孙军平, 石磊, 等. 2016. 中国自然保护区建设的现状、存在问题及展望. 中国人口·资源与环境, 26( 5) : 270-273. [in Chinese]

( Wang J , Sun J P , Shi L , ... 2016. Natural reserve system of China: current status' problems and prospect. China Population , Resources and Environment , 26( 5) : 270-273. [in Chinese ]

王岐山, 马逸清. 1987. 中国鹤类研究现状. 野生动物学报, 8( 2) : 7-11. [in Chinese]

( Wang Q S , Ma Y Q. 1987. Crane research status in China. Chinese Journal of Wildlife , ( 2) : 7-11. [in Chinese ]

王岐山, 杨兆芬. 2000. 中国鹤类研究进展 + 黑龙江省林业厅. 中国鸟类学研究( 第4届海峡两岸鸟类学术研讨会论文集) , 56-63. [in Chinese]

( Wang Q S , Yang Z F. 2000. Progress of crane research in China + Heilongjiang Forestry Department. Ornithology Research in China ( Proceedings of the 4th cross-strait symposium on ornithology in China ) , 56-63. [in Chinese ]

杨长志, 刘海防, 李建文. 2015. 不同时期鹤类在黄河三角洲的分布及其生境选择. 山东林业科技, 45( 3) : 70-72. [in Chinese]

( Yang C Z , Liu H F , Li J W. 2015. Distribution and habitat selection of cranes in the Yellow River delta in different periods. Shandong Forestry Science and Technology , 45( 3) : 70-72. [in Chinese ]

杨帆. 2007. 基于RS和GIS的辽东湾滨海湿地景观动态变化研究. 大连: 大连海事大学硕士学位论文. [in Chinese]

( Yang F. 2007. The study on dynamic of wetland landscape at Liaohe Bay based on RS and GIS technology. Dalian: MS thesis of Dalian Maritime University. [in Chinese ]

于晶晶, 吴建平, 苏丽英. 2013. 辽宁獾子洞湿地水鸟春秋迁徙研究. 野生动物学报, 34( 3) : 159-162. [in Chinese]

- ( Yu J J , Wu J P , Su L Y. 2013. The comparison of migration of waterflow between spring and autumn in Huangzidong Wetland. Chinese Journal of Wildlife , 34 ( 3 ) : 159-162. [in Chinese ]
- Alerstam T , Lindström A. 1990. Optimal bird migration: the relative importance of time , energy , and safety + Gwinner E. Bird migration: Physiology and ecophysiology. Berlin: SpringerVerlag , 331-351.
- Alonso J C , Alonso J A , Bautista L M. 1991. Carrying capacity of staging areas and facultative migration extension in Common Cranes. Journal of Applied Ecology , 31: 212-222.
- Berthold P , Kaatz M , Querner U. 2004. Long-term satellite tracking of White Stork ( *Ciconia ciconia* ) migration: constancy versus variability. Journal of Ornithology , 145: 356-359.
- Berthold P. 1996. Control of bird migration. London , Chapman & Hall.
- Burnham J , Barzen J , Pidgeon A M , et al. 2017. Novel foraging by wintering Siberian cranes (*Grus leucurus*) at China's Poyang Lake indicates broader changes in the ecosystem and raises new challenges for a critically endangered species. Bird Conservation International , 1-20.
- BirdLife International. [ 2018-11-13 ]. Species factsheet: *Grus leucurus*. <http://www.birdlife.org>.
- Chen B , Cui P , Xu H G , et al. 2016. Assessing the suitability of h