

分类号 Q958.1

密级 公开

UDC \_\_\_\_\_

# 学 位 论 文

基于卫星跟踪技术的白鹤(*Grus leucogeranus*)

活动区及栖息地研究

Home Range and Habitat Study of the Satellite-tracked

Siberian Cranes (*Grus leucogeranus*)

徐家慧

指导教师姓名 钱法文 副研究员

申请学位级别 硕士

专 业 名 称 野生动植物保护与利用

研 究 方 向 鸟类生态学

论文提交日期 2019年4月

论文答辩日期 2019年6月

学位授予日期 2019年6月

答辩委员会主席 刘世荣

北京·中国林业科学研究院

# 中国林业科学研究院

## 学位论文

基于卫星跟踪技术的白鹤(*Grus leucogeranus*)

活动区及栖息地研究

学位论文作者	徐家慧
指导教师姓名	钱法文 副研究员
指导小组成员	陆 军 研究员
申请学位级别	硕士
专业名称	野生动植物保护与利用
研究方向	鸟类生态学
论文答辩日期	2019年6月



中国·北京

# Dissertation for the Degree

## Home Range and Habitat Study of the Satellite-tracked Siberian Cranes (*Grus leucogeranus*)

**Candidate:** Xu Jiahui

**Supervisor:** Associate Prof. Qian Fawen

**Associate Supervisor:** Prof. Lu Jun

**Academic Degree Applied for:** Master Degree

**Speciality:** Wildlife Conservation and Utilization

**Date of Defence:** June 2019

**Degree-conferring-institution:** Chinese Academy of Forestry

# 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得本研究生培养单位或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：

2019年6月15日

## 学位论文版权使用授权书

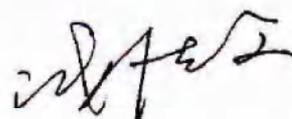
本学位论文作者完全了解中国林业科学研究院有关保留、使用学位论文的规定，中国林业科学研究院有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权中国林业科学研究院可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：

2019年6月21日

导师签名：



2019年6月21日

学位论文作者毕业联系方式：

工作单位：

联系电话：

电子邮件：

通讯地址、邮编：

## 摘要

白鹤 (*Grus leucogeranus*) 是我国国家 I 级重点保护野生动物, 被 IUCN 红色名录列为极危 (CR) 物种, 世界种群数量估计为 3800~4000 只, 是全球 15 种鹤中唯一属于极危的鹤类, 同时也是特定依赖浅水沼泽生存的 3 种鹤类之一。全球白鹤种群可分为东部、中部和西部 3 个种群, 其中东部种群数量最多, 达到世界种群数量的 99% 以上。东部种群在中国迁徙季节时主要分布于东北地区的松嫩平原西部, 越冬于长江中下游的鄱阳湖盆地, 在鄱阳湖越冬的种群数量达到了白鹤东部种群的 95% 以上。目前白鹤这一物种面临的威胁主要为由于自然和人为因素共同引起的中途停歇地和越冬地栖息地退化和丧失以及食物缺乏等。本研究应用卫星跟踪技术, 通过对 9 只白鹤的卫星跟踪, 确定了东部种群迁徙路线上的白鹤重要的中途停歇地和越冬地, 并开展了栖息地研究。根据卫星跟踪的位点数据, 我们从宏观和微观两个角度分析白鹤中途停歇地和越冬地的栖息地特征和栖息地选择, 以期为白鹤及其栖息地的科学保护提供可靠的理论依据。

2015 年~2017 年, 对 9 只白鹤进行环志和卫星跟踪, 运用跟踪技术获得的白鹤在我国中途停歇地和越冬地的跟踪信息 (包括经纬度、海拔、瞬时速度、定位时间、定位精度等), 结合野外观测和栖息地采样数据, 整理、统计并分析白鹤在中途停歇地和越冬地的空间分布、活动区面积、重叠指数、停留时间和活动区面积, 以及栖息地类型、植被特征和白鹤可能的食源植物。主要研究结果如下:

### 1. 跟踪白鹤空间分布及活动区

跟踪白鹤活动区跟踪白鹤中途停歇地主要位于莫莫格保护区、图牧吉保护区及两个保护区之间的湿地和向海保护区, 2015 年~2017 年春季和秋季中途停歇地活动区面积有所差别, 但均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 3 年中 MCP 面积、KDE 90% 面积、KDE 50% 面积均呈现出先上升后下降的趋势, 而核心活动区占主要活动区的比例则呈现出先下降后上升的趋势, 造成这种差异的原因与不同个体到达中途停歇地的时间、食物资源分布情况有关。跟踪白鹤越冬区在保护区之内的有鄱阳湖保护区、南矶湿地保护区和康山保护区 (位点占比 50%), 保护区范围外的越冬地点个数占比为 50%, 主要为铁河乡和犁头洲 (越冬时长 42.47d)。2015 年~2017 年冬季, 白鹤不同个体和不同年份间活动区的 MCP

面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积以及 KDE 50%和 KDE 90%比例之间都存在不同程度的差别，MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积均呈现出先下降后上升的趋势，KDE 50%/KDE 90%面积则为先上升后减少的趋势。

本研究发现跟踪白鹤个体在中途停歇地和越冬地的活动区都存在不同程度的重叠现象，其中，白鹤在中途停歇地活动区春季重叠程度大于秋季；白鹤在越冬地活动区重叠程度有所不同，KDE 90%活动区重叠指数为 2016 年冬季>2017 年冬季>2015 年冬季，KDE 50%活动区重叠指数为 2015 年冬季>2016 年冬季>2017 年冬季。

## 2.跟踪白鹤中途停歇地和越冬地栖息地

白鹤中途停歇地栖息地类型有淡水湖泊、草本沼泽和农田，淡水湖泊和草本沼泽植被群落物种组成共计 7 目 9 科 11 种，淡水湖泊有植物 7 科 9 种，草本沼泽 8 科 11 种，以莎草科植物为主；淡水湖泊和草本沼泽栖息地植被中，扁秆蔗草的重要值均为最高，淡水湖泊、草本沼泽中多样性指标 Simpson 指数、Shannon-wiener 指数、Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数表明草本沼泽中群落物种分布较淡水湖泊中更均匀、群落的多样性更高；样地内发现的白鹤可能的食源植物有三江蔗草、扁秆蔗草、花蔺、鹅绒委陵菜的和玉米，食物为食源植物的根茎或颗粒，对食物理化分析发现，主要有硼、锌、铁、磷、钙、钠、钾、镁等微量元素以及蛋白质、脂肪和淀粉等能量物质，淡水湖泊、草本沼泽和农田 3 种栖息地可为白鹤提供的能量值分别为 591.06 kJ/m<sup>2</sup>、1348.51 kJ/m<sup>2</sup>和 51.60 kJ/m<sup>2</sup>。

白鹤在越冬地利用湖泊、浅滩和农田 3 种类型的栖息地，其中湖泊类型在所有具有核心活动区的栖息地数量中占比最高，农田次之，2016 年冬季和 2017 年冬季之间在湖泊 ( $Z=0.114$ ,  $P=0.909$ )、浅滩 ( $Z=1.026$ ,  $P=0.383$ ) 和农田 ( $Z=0.800$ ,  $P=0.517$ ) 中的越冬时间均无显著差异。越冬地采样得到白鹤的主要食物为苦草冬芽块茎、稻谷及莲藕 3 种，年际间的各种食物类型的块茎/颗粒/节数及食物干重间均无显著差异。

**关键词：**卫星跟踪，白鹤，中途停歇地，越冬地，活动区，栖息地

## Abstract

Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) is listed as the national first class protected wild animal and a flagship species of wetland conservation and listed as critically endangered (CR) species on the IUCN Red List. The world population is estimated to be 3800 ~ 4000, the Siberian Crane is the only crane that listed as CR among the 15 kind of cranes in the global. At the same time, it is one of the three types of cranes who rely on wetland habitat. The global population can be divided into three populations that of eastern population, middle population and western population, among which the eastern one counted most and almost 95% of total Siberian Crane. They stopover at northeast of China in spring and fall, and winter at Poyang Lake. At present, the main threats facing this species are the degradation and loss of suitable habitats and food shortage caused by both natural and man-made factors. Migration routes, spatial distribution at stopover sites and wintering area, habitat characteristic, food plants and nutrient components are recognized. In this paper, using satellite tracking technology, the home range and habitat at stopover sites and wintering area have been studied, 2 stopover sites are newly found. We detected the nutritional composition analysis and energy of food plants at stopover sites, which aims to explain the habitat selection mechanism and habitat utilization from macro and micro perspectives, and then provide scientific evidence for Siberian Crane and their habitat protecting.

### 1. Study of home range of tracked Siberian Crane

Stopover sites are mainly in Momoge reserve, Tumuji reserve, the area between them, Xianghai reserve, Tongliao City and Hinggan League in east of Inner Mongolia. The home range area at spring stopover sites and fall stopover sites are different, but with no significant difference ( $P > 0.05$ ). The home range area in 3 years showed the tendency of increase first and then decrease for MCP area, KDE 90% area and KDE 50% area, while the proportion of core area to major area decreased first then increased, which may be caused by reaching time to stopover sites of each tracked individual and the food distribution. The main wintering areas

are Poyang Lake reserve, Nanji Wetland Reserve, and Kangshan reserve, the areas out of reserves are Tiehe County and Litou Islet. During 2015 ~ 2017, there exist differences in MCP area, KDE 90% area and KDE 50% area among different individuals and years, among which MCP area, KDE 90% area and KDE 50% area have a tendency of decreasing and then rising, while the area of KDE 50%/KDE 90% has the opposite trend.

We also found that overlapping phenomenon among the home ranges at stopover sites and wintering area, in which the overlapping degree in springs is higher than that of in falls; the overlapping index of KDE 90% area in wintering area showed the Winter 2016 > Winter 2017 > Winter 2015, and the overlapping index of KDE 50% area is Winter 2015 > Winter 2016 > Winter 2017.

## 2. Habitat study in stopover sites and wintering area of Siberian Crane

The stopover sites belonged to fresh lakes, herb marshes and farm lands located in Momoge, Tumuji National Nature Reserves and the area around the reserves in west Songnen Plain, in addition, the herb marshes in Keerqin area in Xiliaohe Plain. There are 3 habitat types in stopover sites: fresh water, herb marshes and farm lands, and we identified 11 plant species belonging to 7 orders and 9 families all over the plant types, in fresh water 9 species belonging to 7 orders, while that of herb marsh 11 species in 8 orders, in which main plants from Cyperaceae occupied highest. Important value of *Scirpus nipponicus* ranked highest among the vegetation in fresh water and herb marshes, in fresh water and herb marsh, Simpson index are 0.59 and 0.68, Shannon-Wiener index 5.10 and 6.73, Margalef index 22.87 and 79.12, Pielou index 0.67 and 1.90 respectively, which indicated that herb marshes have higher heterogeneity and diversity of community species than fresh water; Conceivable food plants are *S. nipponicus*, *S. planicumis*, *B. umbellatus*, *P. chinensis* and corn. Physico-chemical analysis was carried out in root tubers of food plants, the results showed that there was mainly micro element such as B, Zn, Fe, P, Ca, Na, K and Mg, besides, energy materials such as protein, fat and starch. The energy that 3 habitat types fresh water, herb marsh and farm lands provided to Siberian cranes is 591.06 kJ/m<sup>2</sup>, 1348.51 kJ/m<sup>2</sup> and 51.60 kJ/m<sup>2</sup> respectively.

Lakes, shoal patches and farm lands are used by Siberian Crane, in which lakes has the highest proportion, secondly farm lands. The wintering duration in lakes ( $Z=0.114$ ,  $P=0.909$ ), shoal patches ( $Z=1.026$ ,  $P=0.383$ ) and farm lands ( $Z=0.800$ ,  $P=0.517$ ) has no significance. The samples taken in wintering area are *Vallisneria spp.* root tubers, rice and lotus roots, the number of food roots and dry weight have no significant difference among different years.

**Key words:** satellite tracking, stopover site, wintering area, home range, habitat

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪 论.....	1
1.1 鸟类栖息地研究进展.....	1
1.1.1 鸟类栖息地研究方法.....	1
1.1.2 鸟类栖息地研究尺度.....	4
1.2 白鹤栖息地研究进展.....	7
1.2.1 白鹤繁殖栖息地研究.....	7
1.2.2 白鹤中途停歇地研究.....	8
1.2.3 白鹤越冬地研究.....	10
1.3 本研究的科学问题、研究目的及意义和技术路线.....	11
1.3.1 科学问题.....	11
1.3.2 研究目的及意义.....	11
1.3.3 技术路线.....	12
第二章 研究地概况和研究方法.....	13
2.1 研究地概况.....	13
2.1.1 白鹤中途停歇地概况.....	13
2.1.2 白鹤越冬地概况.....	14
2.2 研究方法.....	16
2.2.1 白鹤环志及卫星跟踪.....	16
2.2.2 数据处理与分析.....	17
第三章 跟踪白鹤活动区研究.....	18
3.1 研究方法.....	19
3.2 数据处理与分析.....	19
3.3 结果.....	20

3.3.1 中途停歇地和越冬地环志白鹤个体特征差异.....	20
3.3.2 跟踪白鹤中途停歇地活动区.....	21
3.3.3 跟踪白鹤越冬地栖息地活动区.....	25
3.3.4 跟踪白鹤中途停歇地和越冬地活动区重叠.....	28
3.4 讨论.....	31
3.4.1 环志白鹤个体特征的地区差异.....	31
3.4.2 新发现 2 处保护区之外的中途停歇地.....	32
3.4.3 跟踪白鹤活动区面积差异分析.....	32
3.4.4 跟踪白鹤活动区重叠率差异分析.....	34
第四章 跟踪白鹤栖息地研究.....	35
4.1 研究方法.....	36
4.1.1 跟踪白鹤中途停歇地和越冬地栖息地研究.....	36
4.2 结果.....	39
4.2.1 跟踪白鹤中途停歇地栖息地.....	39
4.2.2 跟踪白鹤越冬地栖息地.....	45
4.3 讨论.....	47
4.3.1 跟踪白鹤中途停歇地栖息地.....	47
4.3.2 跟踪白鹤越冬地栖息地.....	50
4.3.3 保护建议.....	51
4.3.4 救护白鹤野外放归可能性.....	52
第五章 结 论.....	53
5.1 跟踪白鹤活动区研究.....	53
5.1.1 跟踪白鹤空间分布.....	53
5.1.2 白鹤活动区面积的差异.....	53
5.1.3 白鹤活动区重叠指数的差异.....	53
5.2 跟踪白鹤栖息地研究.....	54
5.2.1 天然栖息地为白鹤主要利用的栖息地类型及特征.....	54
5.2.2 食源植物及能量值.....	54

参考文献.....	55
在读期间的学术研究.....	74
致 谢.....	75

## 图目录

图 1-1 技术路线.....	12
图 2-1 研究区概况.....	15
图 3-1 跟踪白鹤在西辽河平原中途停歇地.....	22
图 3-2 不同年份春季和秋季跟踪白鹤各项活动区面积比较.....	23
图 3-3 2015~2017 年春季和秋季跟踪白鹤中途停歇地活动区利用变化.....	30
图 3-4 2015~2017 年冬季跟踪白鹤活动区重叠区变化.....	31
图 4-1 不同栖息地类型植被群落的多样性指数.....	43

## 表目录

表 2-1 跟踪白鹤的环志及跟踪器数据.....	16
表 2-2 2014 年~2017 年跟踪白鹤情况.....	17
表 3-1 不同环志地点白鹤个体特征之间差异.....	20
表 3-2 2015~2017 年白鹤中途停歇地栖息地类型、停留地点及停留时间.....	21
表 3-3 2015~2017 年春季白鹤中途停歇地活动区面积.....	24
表 3-4 2015~2017 年秋季白鹤中途停歇地活动区面积.....	25
表 3-5 2015~2017 年冬季白鹤越冬栖息地类型、越冬地点及越冬时间.....	26
表 3-6 2015~2017 年白鹤越冬地活动区面积.....	27
表 3-7 2015~2017 年跟踪白鹤春季、秋季和冬季活动区重叠指数比较.....	28
表 3-8 白鹤中途停歇地活动区变化程度统计.....	29
表 3-9 白鹤越冬地活动区变化程度统计.....	31
表 4-1 白鹤中途停歇地和越冬地取样地点及样方数量.....	37
表 4-2 白鹤食源植物根茎微量元素和有机物含量测定结果.....	38
表 4-3 2016 年和 2017 年春季和秋季跟踪白鹤不同栖息地停留时间占比.....	40
表 4-4 白鹤中途停歇地不同类型的栖息地植被组成.....	41
表 4-5 不同白鹤栖息地类型植被群落物种的重要值.....	42
表 4-6 跟踪白鹤中途停歇地不同栖息地类型食源植物和地下生物量.....	43
表 4-7 不同栖息地类型中微量元素、有机物含量及能量值.....	44
表 4-8 2016 年和 2017 年冬季跟踪白鹤不同栖息地越冬时间占比.....	45
表 4-9 跟踪白鹤越冬地不同栖息地食物类型和地下生物量.....	47

# 第一章 绪论

## 1.1 鸟类栖息地研究进展

### 1.1.1 鸟类栖息地研究方法

在鸟类学研究的发展过程中，鸟类栖息地的调查方法大致经历了3个发展阶段，即名录阶段、自然史阶段和生态学阶段（楚国忠等，1993）。名录阶段（Catalog Stage）主要是识别鸟类并找出种系和生物地理间关系，此阶段只对栖息地做出粗略地定性描述。自然史阶段（Nature History Stage）更注重物种的一般生物学或生活史，如物种巢的形状和地点、食性、窝卵数和栖息地的一般性质。生态学阶段（Ecology History Stage）既研究鸟类物种（常是群落形式），也研究鸟类的栖息地（主要是植被类型）。这3个阶段同时也反映了鸟类栖息地研究由定性到定量的发展过程。

#### 1.1.1.1 传统调查方法在鸟类栖息地研究中的应用

鸟类因其活动范围较大，占据环境类型较多，加大了对特定鸟种或类群栖息地的研究的难度。一般来说，鸟类栖息地类型的一般调查方法基于鸟类的数量（杨勇等，2011）。现代陆地鸟类调查方法通常采用标图法（Spot Mapping Method）（Verner，1985）、样线法（Line Transect Methods）（楚国忠等，1993；郑光美，1995）和样点法（Point Counts Methods）、标记重捕法（Marking-recapture Method）、鸣声回放法（Bird Sing Playback）（韩联宪等，1988；姜仕仁等，1996；雷富民等，1999；Deecke，2006）、聚集地调查法（Rallying Point Method）（Sutherland *et al.*，2004），其中标图法被认为是最为精确的方法（Verner，1985），但其对观察者的经验要求较高（Billy *et al.*，2000），且仅适用于生境条件较为简单的环境，投入成本过大，所以只在少数欧美国家中应用（吴飞等，2008）。目前我国比较成熟的鸟类数量调查方法主要有样线法和样点法（朱献恩等，1994；郑光美，1995；邓文洪等，2003；张国钢等，2004），样线法不受季节限制、灵活多样（许龙等，2013），样点法易于实施，具有随机性和系统性，适

合复杂生境及斑块化生境 (Billy *et al.*, 2000; Buckland *et al.*, 2001), 在实际应用时, 若将两种方法结合使用, 可以提高调查的准确性 (吴忠荣等, 2008)。

关于鸟类栖息地调查的取样方法有随机取样、系统取样和分层取样等 (Sutherland, 1996; 杨勇等, 2011), 一般将随机取样和已经确定的鸟类取样地相结合。对森林类型栖息地可采用 0.04hm<sup>2</sup> 圆形地块法进行取样。相应地, 对于非森林环境, 可通过条带取样法来确定取样地点 (楚国忠等, 1993), 并且取样的条带上应穿过不同等高线, 随机确定起点后按照平均间隔分布在整个调查地地块内, 沿条带两侧或其他随机选择的取样地进行点估计及植被结构估计 (杨勇等, 2011)。

#### 1.1.1.2 卫星跟踪技术在鸟类栖息地研究中的应用

20 世纪 80 年代末, 科学家开始利用人造卫星跟踪技术研究包括候鸟在内的大型迁徙性野生动物的迁徙 (吴建东等, 2001; 马鸣等, 2004; 高立波等, 2006; 叶明彬等, 2015)。卫星跟踪技术的应用极大地促进了鸟类迁徙的研究进程, 在鹤类 (Higuchi *et al.*, 1992, 1996; Tamura *et al.*, 2000)、雁鸭类 (Kanai *et al.*, 1997; Lorentsen *et al.*, 1998; Javed *et al.*, 2000)、猛禽 (Ueta *et al.*, 1998, 2000; Meyburg *et al.*, 2000) 等的研究中都取得了显著的成果 (Kanai *et al.*, 2000; Higuchi *et al.*, 2000)。卫星跟踪技术因其跟踪范围广、定位精度高、跟踪实时性强、时间跨度长等特点, 得到学者们的普遍认可, 并广泛地应用于候鸟的迁徙研究中 (伍和启等, 2008)。卫星跟踪技术可以获取传统候鸟研究方法难以得到的生物学资料, 如鸟类精确的停歇位点, 迁徙路线、迁徙停歇地和越冬地的位点 (钱法文, 2005)。这和研究候鸟的传统方法有所不同, 如鸟类环志, 虽然简单快捷, 但是只能通过后期的人为观察、环志回收等方法判断其迁徙路线及中途停歇地, 位点准确性较低, 回收率低, 要获取完整的迁徙路线耗时长, 在短期内难以取得较为明显的研究结果 (Zhang *et al.*, 1997)。

2004 年冬季, 中国科学院昆明动物研究所和全国鸟类环志中心等单位在中国首次利用卫星跟踪技术开展了黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 的迁徙研究 (伍和启等, 2008)。通过卫星跟踪技术的应用, 张会格 (2007) 和钱法文 (2009) 掌握了黑颈鹤东部种群的迁徙路线和中途停歇地, 认为黑颈鹤东部种群春季和秋季迁徙路线基本相同, 黑颈鹤选择人为干扰较少的高山草甸、高原湿地 (河流、湖泊等) 作为其中途停歇地。

Kanai (2002a) 和李秀明等 (2016) 通过对白鹤东部种群的迁徙路线和中途停歇地研究, 认为白鹤的春季和秋季迁徙路线基本一致, 我国松嫩平原地区 (齐齐哈尔-白城区域)、辽宁辽河口和山东黄河三角洲的湿地是白鹤迁徙路线上的重要中途停歇地, 同时 Williams M. (2000) 和丁长青等 (2006) 又发现了新的白鹤中途停歇地, 如辽宁北部法库县的獾子洞水库和康平县的卧龙湖保护区。楚国忠等 (2008) 对青海湖繁殖地渔鸥的迁徙路线和中途停歇地进行了研究, 成功跟踪的 4 只渔鸥 (*Larus ichthyaetus*) 中有 3 只个体的春季和秋季迁徙路线有很大不同, 重要中途停歇地多为溪流湿地、湖泊、池塘和水库。张国钢等 (2000) 对西藏夯措斑头雁 (*Anser indicus*) 繁殖活动区的变化进行了研究, 认为斑头雁在繁殖前期、繁殖中期和繁殖后期对繁殖活动区利用面积的大小有所不同, 繁殖前期最大, 繁殖中期较繁殖前期小, 繁殖后期离开繁殖地活动区面积逐渐增大。由于遥感影像具有覆盖范围广、信息量大、更新时间快等特点 (江红星等, 2010), Morrison (1997) 认为利用卫星遥感的方法来评估栖息地和统计某一区域内繁殖鸟类的数量有很大的应用前景。很多学者开展了卫星跟踪鸟类迁徙和卫星遥感技术相结合的鸟类迁徙栖息地分析, Gratto-Trevor (1996) 对麦肯齐三角洲外 (Outer Mackenzie Delta) 的海滨鸟类栖息地进行了研究, 认为红颈瓣蹼鹬 (*Phalaropus lobatus*) 和沙锥 (*Gallinago gallinago*) 在繁殖期多选择芦苇长势好和低洼的山地苔原作为其繁殖栖息地。

#### 1.1.1.3 生态模型在鸟类栖息地研究中的应用

鸟类栖息地的研究最初是从定性描述和具有描述性的数学参数 (如主成分分析) 分析开始的, 这些方法只能对鸟类的栖息地进行粗浅的描述和分析, 无法完成多元定量分析和鸟类栖息地预测研究 (汪清雄, 2008)。Morrison (1987) 应用多元线性回归分析方法研究鸟类栖息地, 将该领域的研究水平提升到了数学模型统计分析和预测的水平。通过数学建模的方法预测鸟类栖息地的潜在分布和评价其生境适宜性, 可以获取准确度较高的结果, 借此对保护和恢复生物多样性提出科学有效的理论依据 (周海涛, 2016)。鸟类的分布具有地理区域空间跨度大、受干扰因素多等特点, 若使用传统的野外调查方法, 虽然检测结果真实有效, 但是存在成本高、耗时长等局限, 在大的时空尺度上分析鸟类栖息地选择和利用近乎不可能。随着鸟类栖息地研究和数学建模的结合, 最大熵模型 (MaxEnt) 在物种栖息地预测方面脱颖而出 (Booth T.H. *et al.*, 2014)。MaxEnt 模型

是基于物种可获取的位点结合其关联的环境因子等信息，并根据物种出现位点的环境变量得出约束条件，进而分析得出在此约束条件下的可能性分布 (Phillips *et al.*, 2006)。用刀切法 (Jackknife) 来判断环境因子的重要性，甚至能够定量描述环境因子对鸟类栖息地的影响程度 (朱耿平等, 2013)，也就是说最大熵模型可以规避研究人员的主观性，更加符合环境客观性，这使该模型广泛应用于物种栖息地预测和适宜性评价中 (Phillips *et al.*, 2008; Elith *et al.*, 2011; 朱耿平等, 2013)。周海涛 (2016) 对扎龙湿地丹顶鹤 (*Grus japonensis*) 的栖息地进行适宜性评价，结果表明丹顶鹤的适宜区域主要分布在水深 0~50cm，植被盖度约为 47.5%~74.5%，距离人为干扰大于 1500m 的芦苇沼泽湿地中。王伟等 (2017) 利用 MaxEnt 模型对东洞庭湖湿地优势鹬类栖息地适宜性进行了研究，得出土地利用因子是影响东洞庭湖鸟类栖息地质量最重要的环境因子。林源等 (2017) 预测和分析了广西黑颈长尾雉 (*Syrnaticus humiae*) 潜在栖息地和保护空缺，认为已建立的保护区仅仅覆盖了黑颈长尾雉适宜生境的 16.7%，需要对保护空缺区域进行填补。此外最大熵模型还被应用到野生朱鹮适宜繁殖地研究中 (颜文博等, 2015)。

影响动物生境选择的因素多种多样，主要为生境之间的差异、动物个体间的差异、食物丰富度与可获得性的差异以及捕食与竞争的关系。将诸多因素进行测定，以期得出动物选择生境的要求和标准存在较高难度 (Ward P.I. *et al.*, 1993; 魏辅文等, 1998; 颜忠诚等, 1998)。相较于传统调查方法，最大熵模型需要较少的样本数据，便可以得出较好的预测结果 (Phillips *et al.*, 2006)。对于仅仅占据部分区域栖息地的物种来讲，应用最大熵模型来预测物种的潜在栖息地和分布，具有很大的优势和应用前景 (Engler *et al.*, 2004)。

### 1.1.2 鸟类栖息地研究尺度

从广义上来说，栖息地就是动物所生活的环境，指动物个体、种群或者群落生活在历史的各个阶段中各种生态因子的总和 (孙儒泳等, 1993)。栖息地研究主要集中在栖息地选择、栖息地利用和栖息地评估三个方面，其中栖息地选择研究是进行珍稀濒危物种保护生物学研究以及生物多样性保护研究的基础 (Johnson, 1980)。鸟类栖息地选择的影响因子与时间和空间尺度相关，任何一个单一尺度都不能完全准确的反映鸟类的栖息

地选择方式 (Wiens J.A., 1986; Kotliar N.B., 1990; 黄慧琴等, 2018)。在进行鸟类栖息地研究中, 不能将时间和空间因素割裂开来独立研究。

### 1.1.2.1 空间尺度

Johnson (1980) 将动物对栖息地的选择划分为四个自然等级 (natural ordering), 第一等级的选择是指一个物种在地理区划上的分布; 第二等级的选择是指在某一个地理分布区内的动物个体或者动物群体的活动区 (home range); 第三等级的选择是指在动物活动区内对各种环境组分的利用情况; 第四等级的选择是指第三等级中确定的动物活动地点的实际环境条件。在以上 4 种动物对栖息地的选择尺度中, 前两个等级的栖息地可被称为宏栖息地 (macro-habitat), 后两个等级的栖息地可被称为微栖息地 (micro-habitat)。

国内外有大量关于不同空间尺度栖息地选择的研究 (Bergin, 1992; Engel *et al.*, 1992; 张国钢等, 2005; 赵锦霞, 2008; 吴庆明等, 2013; 童玉平等, 2018; 刘旭等, 2018)。童玉平等 (2018) 对白尾地鸦 (*Podoces biddulphi*) 繁殖期巢址选择进行研究, 得出其偏好在植被物种较多、盖度较高的区域筑巢, 同时对道路和居民点有一定的规避, 这属于白尾地鸦微栖息地尺度的选择。邵明勤 (2002) 对繁殖于新疆准噶尔盆地东部木垒波斑鸨 (*Otis undulata macqueenii*) 的栖息地进行了研究, 结果表明繁殖波斑鸨的巢区为黄土基质砾石荒漠, 大多数巢位于地势微起伏的开阔地, 植被高度、盖度均较低, 并靠近条块状木本猪毛菜或驼绒藜灌丛。张国钢等 (2005) 研究了褐马鸡在越冬期对 10m、100m、300m 三个空间尺度上栖息地选择的主要因子差异, 认为褐马鸡在 300m 尺度上偏好于选择针叶林较多的区域而避免针阔混交林, 在 100m 尺度上, 更倾向于选择针叶林, 主要目的是为了获取丰富的食物, 所以对针阔混交林和草丛也有所利用。研究表明, 在微栖息地尺度上, 115m 尺度和 250m 尺度也会影响白冠长尾雉越冬栖息地的选择, 并且各种选择因子之间还存在相互作用, 其中 115m 尺度上, 主要影响因子是灌木林、阔叶林和针叶林的面积, 250m 尺度上, 主要因子是针叶林-阔叶林面积和两种类型林地面积的相互作用 (徐基良等, 2006)。在不同区域越冬的大天鹅选择的栖息地类型也有所差别, 如在青海湖越冬的大天鹅偏好于视野开阔、有活水注入, 且水草丰富的水池 (廖炎发, 1985), 在山东滨州渤海湾越冬的大天鹅则倾向于地势平坦、平均

水深为 0.6m、人为干扰少的盐场蒸发圈（刘体应等，1987），在新疆巴音布鲁克越冬的大天鹅更容易选择不冻河或不冻湖中水深集中在 0.3~1.5m 的区域（井长林等，1992）。

帕特里克·穆尼等（2011）对加拿大下弗雷泽河盆地除了美洲知更鸟（*Turdus migratorius*）、歌带鸫（*Melospiza melodia*）、和斑唧鸫（*Pipilo maculatus*）3 种常见鸟类之外的 62 种鸟类的栖息地使用情况进行研究后发现，海岸地区、落叶林、混交林和弃耕地是利用程度最高的栖息地类型，同时鸟类在各自偏爱栖息地的出现频率达到了 70%，说明大多数共位群鸟类都具有自己优势的首选栖息地。

#### 1.1.2.2 时间尺度

从不同时空尺度对栖息地进行研究的必要性已经被大多数该领域的学者所接受（Johnson, 1980; Miler D.A., 1999），由于植被和景观异质性均具有时空尺度的等级特征，动物的栖息地选择也存在差异（Kotliar N.B. *et al.*, 1990; Orians G.H. *et al.*, 1991），其中，鸟类栖息地在时间尺度上的研究多集中在不同季节、生活史、昼间和夜间栖息地等几个角度。

苏化龙等（1989）对山西省管涔山地区和太白山地区繁殖的黑鹳（*Ciconia nigra*）的栖息地进行观察，发现黑鹳选择的栖息地多位于森林外缘的灌丛草坡山和耕种丘陵地，且存在不冻泉的浅水区，而越冬生境位于灵丘县东南部唐河主流的不冻泉发源地。赵雪冰等（2008）通过比较在贝加尔湖地区繁殖、在云南滇池越冬的红嘴鸥（*Larus ridibundus*）的栖息地环境，发现其在越冬期和繁殖地的栖息地选择差异显著，越冬区主要选择城区及城区周边的湖区活动，在繁殖区则偏好于湖泊、池塘、河流的草本沼泽。张婷婷等（2019）通过分析丹顶鹤在繁殖期、迁徙期和越冬期的栖息地选择和生境适宜性，得出了丹顶鹤在以上 3 个时期的偏好生境均为人为干扰小的芦苇沼泽。程雅畅（2015）通过分析越冬期白枕鹤在活动区内昼间和夜间栖息地类型的选择，认为白枕鹤在昼间偏好在泥滩和稀疏草洲活动，而夜间栖息地类型则不具有明显的选择性。在上海崇明东滩越冬的白头鹤通常选择海堤外的潮间带滩涂中栖息（马强，2017）。在进行鸟类生态学研究，必须将时间和空间两个维度的栖息地选择有机结合，才能全面、深刻地揭示鸟类栖息地的内在规律（杨勇等，2011）。

## 1.2 白鹤栖息地研究进展

自 20 世纪 90 年代以来, 卫星跟踪与遥测技术已广泛应用于濒危迁徙鸟类的研究中, 根据此技术发现了鸟类的迁徙路线、重要中途停歇地及其繁殖地和越冬地, 其栖息地也通过卫星影像得以准确描述 (Higuchi *et al.*, 1992, 1994, 1996; Kanai *et al.*, 1994; CCRT, 1999; Ueta *et al.*, 2000, 2002)。目前国内学者对白鹤栖息地的研究多集中在中途停歇地和越冬地的栖息地选择 (李鑫, 2010; 范巍巍, 2012; 贾亦飞等, 2013) 和栖息地利用 (张笑辰, 2014; 陈冰, 2014)。

白鹤作为世界濒危物种之一, 是湿地保护的旗舰物种, 保护旗舰物种的意义并不仅限于保护这一物种本身, 也在于保护白鹤所栖息的生态环境, 以及依赖这种生境生存的其他物种。白鹤东部种群在鄱阳湖越冬的种群数量已经达到了白鹤东部种群的 98% 以上, 因此在鄱阳湖开展白鹤栖息地研究和保护极为重要 (钱法文, 2009)。

### 1.2.1 白鹤繁殖栖息地研究

繁殖是鸟类生活史中的一个非常重要的阶段, 繁殖的成功率可以直接影响种群动态和物种的延续 (杨维康等, 2000)。早在上世纪 60 年代初期, Flint V.E. 等 (1981) 就对白鹤的繁殖地进行了研究, 白鹤东部种群的繁殖区域主要位于俄罗斯西伯利亚雅库特 (Yakutia) 共和国的亚纳河 (Yana) 与柯雷马河 (Kolyma) 之间的北极苔原沼泽湿地, 繁殖区域的面积达 82 000km<sup>2</sup> (Flint *et al.*, 1982; Labutin *et al.*, 1982; Degtyaryev *et al.*, 1991)。白鹤繁殖期对其栖息地的要求, 尤其是筑巢、觅食等环境要求较为独特, 常在浅水区域 (水深约为 30cm) 游荡和觅食 (Meine *et al.*, 1996)。在雅库特地区繁殖的白鹤东部种群偏好在低寒的北极苔原 (苔藓-地衣群落和莎草-芦苇为优势群落的湿地) 活动 (Flint *et al.*, 1981)。白鹤的巢址在繁殖区域内较为分散, 偏好浅水区域且视野开阔的地方 (Meine *et al.*, 1996)。营巢时期白鹤的活动区没有详细的报道, 育雏期的白鹤曾被观察到距其巢址 2000m 左右的地方活动 (Tsuyoshi, 2006)。白鹤的巢由草堆和芦苇堆积而成, 距离水面 12~15cm (Meine *et al.*, 1996)。繁殖期非繁殖个体活动范围相对较大, 曾在俄罗斯-蒙古-中国的交界处被观察到 (Meine *et al.*, 1996; 伊国良等, 2003; 李晓民等, 2005)。Watanabe T. (2006) 在雅库特地区的开大力克资源保护

区 (Kytalyk Resource Reserve) 对白鹤繁殖栖息地选择模式和微栖息地的利用情况进行了研究, 结果表明白鹤偏好在藁草属 (*Carex.spp*) 植物长势良好的浅水区域觅食, 藁草覆盖率达到了调查区域总面积的 25%。此外, 研究还发现, 白鹤倾向于选择北极苔原中莎草 (*Cyperus rotundus L*) 的嫩芽和根茎丰富的栖息地停留 (Flint *et al.*, 1981; Meine *et al.*, 1996)。之前唯一已知的白鹤西部种群的繁殖地位于乌拉尔山脉东侧鄂毕河附近的库诺瓦特河谷, 此处繁殖的白鹤到印度的 Keoladeo 国家公园越冬 (Meine *et al.*, 1996)。直到 1996 年, Kanai 等 (2002a) 在伊朗越冬地对一个家庭中的成年雄性白鹤进行诱捕并安装卫星信号发射器, 通过卫星跟踪, 成功发现了被跟踪白鹤的迁徙路线和它的繁殖地点, 这个繁殖地点距离库诺瓦特河谷正南方 650km, 有众多的湖泊、沼泽、山丘和草地。

关于白鹤在中国的繁殖地的研究存在争议, 邢莲莲等 (2005) 认为内蒙古为白鹤 (*G.leucogeramus*)、丹顶鹤 (*G. japonensis*)、白头鹤 (*G. monacha*)、灰鹤 (*G. grus*)、白枕鹤 (*G. vipio*) 以及蓑羽鹤 (*Anthropoides virgo*) 的繁殖地之一, 白鹤在内蒙古的繁殖地为中俄界河额尔古纳河沿岸的沼泽湿地, 因为曾有学者在位于内蒙古呼伦贝尔市的扎赉诺尔拍摄到了白鹤当年幼鸟的照片, 成为白鹤在内蒙古东北部繁殖的证据 (邢莲莲等, 2005)。李晓民等 (2005) 通过对图牧吉保护区白鹤夏季群体的调查, 发现 8 只白鹤个体在图牧吉泡子活动, 但是并未观察到当年的幼鸟、白鹤巢和卵, 认为观察到的度夏白鹤可能是非繁殖个体。内蒙古有适合鹤类栖息的多种生境, 如森林湿地、牛轭湖、构造湖以及湖周湿地、河岸湿地、沙湖和湿草甸 (邢莲莲等, 2005)。

### 1.2.2 白鹤中途停歇地研究

中途停歇地是迁徙鸟类在繁殖地和越冬地之间联系的枢纽, 对于迁徙性鸟类补充能量以便顺利完成迁徙并在繁殖地成功繁殖至关重要 (马志军等, 2005)。鸟类在迁徙过程中会花费大量的时间在中途停歇地补充能量 (Hedenström A. *et al.*, 1997), 其能量的补充速度影响着鸟类的迁徙速度和迁徙方式, 并决定着鸟类能否顺利完成迁徙活动 (Schaub M. *et al.*, 2000)。同时, 不同类型的中途停歇地对鸟类的迁徙具有不同的作用, 根据鸟类对中途停歇地的利用方式, 马志军等 (2005) 将鸟类中途停歇地分为补给地、休息场所、飞跃生态屏障前的停歇地和临时停歇地 4 种类型, 其中补给地是鸟类最

常见的中途停歇地类型，也是目前中途停歇地研究的主要对象，可以为迁徙鸟类提供更多的能量以便继续迁徙。李秀明（2016）根据中途停歇地的停留时间和功能，将白鹤的中途停歇地划分为长期迁徙停歇地、短期迁徙停歇地和休息地 3 种类型。通常情况下，在鸟类的迁徙路线上分布着许多可利用的中途停歇地，然而由于受到各种环境因素（如严寒、食物缺乏等）的影响，鸟类对中途停歇地的利用并不均匀，而是具有明显的选择性（舒晓莲等，2013）。例如，一些鸟类在迁徙途中仅在少数几个中途停歇地停留，而在中途停歇地之间进行长距离的飞行；一些鸟类在迁徙途中有很多中途停歇地，它们在各个中途停歇地之间只需要进行短距离的飞行（Schaub M. *et al.*, 2000）。

白鹤在中国关键性的中途停歇地有黑龙江扎龙国家级自然保护区（下称扎龙保护区）、吉林莫莫格国家级自然保护区（下称莫莫格保护区）、吉林向海国家级自然保护区（下称向海保护区）、内蒙古科尔沁国家级自然保护区（下称科尔沁保护区）、辽宁辽河口国家级自然保护区（下称辽河口保护区）、山东黄河三角洲国家级自然保护区（下称黄河三角洲保护区）和安徽升金湖国家级自然保护区（下称升金湖保护区）（Jiang Zhigang *et al.*, 1991; James H., 1992）；其中黑龙江扎龙湿地和吉林莫莫格湿地均属于白鹤重要中途停歇地（王里等，1989；李方满，1997；钱法文，2005；黄方等，2007）。但是流域中上游水土资源的开发利用和大型的水利工程建设等，使扎龙湿地的生态环境发生了很大的变化，表现为沼泽斑块的数量增加，栖息地破碎化程度加剧，保护区内的生态环境逐渐恶化，此地停歇白鹤的数量急剧减少，停留时间缩短，迁徙种群数量已不足 500 只（黄方等，2007）。相反，吉林莫莫格保护区在 2010 年春季迁徙的白鹤数量达到了 3128 只，2012 年鹅头泡集群白鹤数量达到了 3600 只（江红星，2010，2012）。

白鹤在不同的空间尺度上对栖息地的选择是一个非常复杂的过程，它是多层次的各种生态环境综合作用的结果，其中栖息地植物群落的区系组成和空间结构等植被因子是重要方面（孙维尧等，2010）。秋季迁徙时，白鹤偏好的生境特征为距离人为干扰较少、水深为 40~60cm 的生境（孙维尧等，2010）。白鹤在莫莫格中途停歇地的主要食物是扁秆蔗草（*Scirpus planiculmis*）、三江蔗草（*S.nipponicus*）、野稗、虎尾草、芦苇、荆三棱、水葱、酸模叶蓼、东方蓼、慈姑的块状根茎及植物嫩芽等（范巍巍，2012；刘春悦等，2013；于晶晶，2013）。白鹤等鸟类对食物表现的选择性与地表的水位、食物资

源、种内和种间竞争、有限的栖息地以及自然和环境的变化有关（马志军等，2005；黄方，2007；刘晓强等，2008；范巍巍，2012；姜海波，2016）。姜海波（2016）发现扁秆蔗草的正常生长水位范围为-0.05~3m，并且当水位为0.1m左右时，扁秆蔗草地上和地下生物量可以达到最大值，而白鹤喜欢在扁秆蔗草和三江蔗草植被密度较低的区域觅食（范巍巍，2012）。此外，由于受到生态和生理因素的影响，不同性别和不同年龄的个体会表现出不同的行为特征，使栖息地的选择的偏好发生改变，这对进一步深入了解鸟类的迁徙行为以及迁徙栖息地的保护具有重要意义（Ralph C.J., 1981）。

### 1.2.3 白鹤越冬地研究

中国的长江中下游地区是白鹤东部种群的越冬地，其中在鄱阳湖越冬的白鹤数量约占东部种群的99%，是全球最大的白鹤越冬地（IUCN, 2012）。鄱阳湖以其独特的水文环境和丰富的食物资源，成为许多水鸟的重要的越冬地，同时也是白鹤、白头鹤、白枕鹤、灰鹤重要的越冬栖息地。自从1983年以来，相继建立了江西鄱阳湖国家级自然保护区、南矶湿地国家级自然保护区和湖南东洞庭湖国家级自然保护区（Gui, 1991, 1993, 1995; Harris J., 1992a），极大增强了白鹤东部种群越冬栖息地的保护。

目前，越冬地白鹤的研究集中在分布（Sauey, 1985）、迁徙（王宇嘉，2014；李秀明，2016）、栖息地的利用情况、越冬习性（周福璋，1982；吴建东等，2013）、行为（袁芳凯，2014；张琼，2014）、异常取食行为（Harris J., 2013; Burnham J. *et al.*, 2017）以及白鹤种群数量和水位波动以及食物的关系（贾亦飞，2013）等方面。

在印度越冬的白鹤主要食物是香附子（*Rhizoma cyperi*）的块茎（Sauey R.T., 1979, 1985; Spitzer, 1979），而白鹤在鄱阳湖越冬期间的主要食物为苦草（*Vallisneria spp.*）、眼子菜（*Potamogeton spp.*）、野荸荠（*Heleocharis plantagineiformis*）等的地下球茎（熊炳红等，2002；钱法文，2009；王磊等，2009；胡振鹏等，2012）。白鹤的分布与食物密度和水深密切相关，吴建东等（2013）发现在鄱阳湖越冬的白鹤几乎全部在以苦草块茎和眼子菜为优势的沉水植物区域（水深5~27cm）活动。近年来发现在江西鄱阳湖观察到越冬白鹤的食性和对栖息地的选择有所反常，白鹤的栖息地选择模式发生了转变，白鹤的觅食地由通常情况下的浅水湿地，转变为草地生境，大群白鹤在草洲上取食下江委陵菜来代替苦草冬芽，其原因是鄱阳湖子湖中苦草冬芽的密度过低导致白鹤倾

向于选择次优栖息地 (Jia YF *et al.*, 2013; Burnham J. *et al.*, 2017)。此外, 根据近年来对白鹤的观察, 发现鄱阳湖边的南昌市五星垦殖场的藕塘吸引了大群白鹤在此觅食, 有时觅食集群数量超过千只, 上述现象都表明鄱阳湖区作为白鹤传统的越冬栖息地, 其越冬食物已经出现问题, 相关机制有待进一步的科学研究。

## 1.3 本研究的科学问题、研究目的及意义和技术路线

### 1.3.1 科学问题

本研究将侧重于白鹤东部种群在松嫩平原和西辽河平原的中途停歇地和长江中下游平原的主要越冬地栖息地方面的研究, 尤其是微栖息地尺度的研究。主要围绕以下几个关键科学问题: (1) 卫星跟踪的白鹤东部种群迁徙路线上的中途停歇地中是否存在新的中途停歇地? (2) 中途停歇地和越冬地的主要食物来源是什么, 以及食物的营养成分有哪些, 是否可以反映白鹤的栖息地利用情况? (3) 近年来白鹤对人工栖息地利用频繁, 针对这种现象可以提出哪些建议?

### 1.3.2 研究目的及意义

本研究基于 2015 年~2017 年的卫星跟踪数据, 结合野外的实际观测及采样数据, 主要对跟踪白鹤在中途停歇地和越冬地的主要活动区、核心活动区面积及不同年份间各个活动区的重叠指数进行统计分析和计算。通过整理中途停歇地和越冬地采样数据, 对白鹤在中国东北地区和鄱阳湖区的栖息地选择和栖息地利用情况, 详细分析了白鹤在中途停歇地的栖息地类型、栖息地物种组成、重要值及群落多样性指数 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数, 检测了 5 种食源植物的 12 种营养成分, 并且计算食源植物能量值及白鹤利用的不同种栖息地可为其提供的能量值。同时对白鹤在越冬地主要利用的栖息地类型以及各种栖息地内的食物情况进行了研究, 本研究将从宏观和微观角度来揭示白鹤迁徙路线上在我国的中途停歇地和越冬地的栖息地选择和栖息地利用机制, 以为白鹤及其合理保护提供科学建议。

### 1.3.3 技术路线

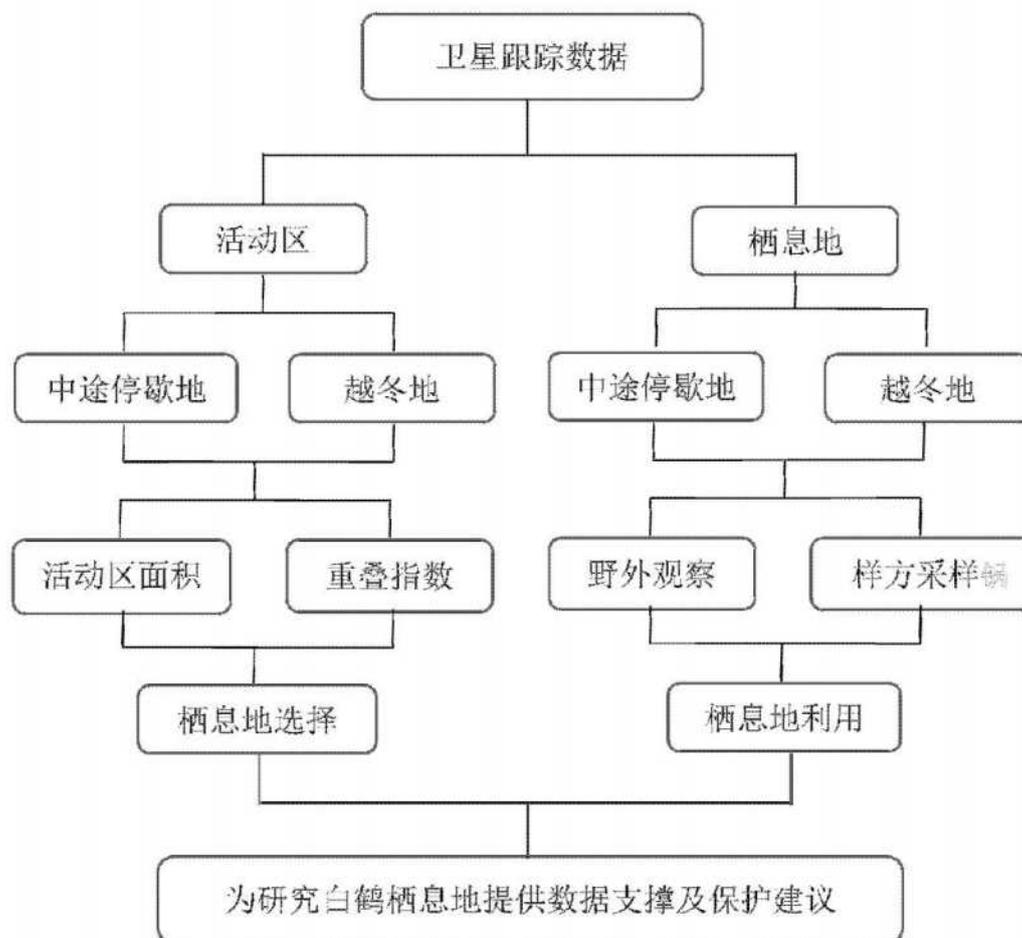


图 1-1 技术路线

Figure 1-1 Technical route

## 第二章 研究地概况和研究方法

### 2.1 研究地概况

#### 2.1.1 白鹤中途停歇地概况

##### 2.1.1.1 松嫩平原西部

###### (一) 内蒙古图牧吉国家级自然保护区

图牧吉保护区，位于内蒙古自治区兴安盟扎赉特旗的南端，地理坐标：东经 $122^{\circ}44'$ ~ $123^{\circ}10'$ ，北纬 $46^{\circ}04'$ ~ $46^{\circ}25'$ ，全区总面积为 $94\ 830\text{hm}^2$ 。该区属于温带大陆性季风气候区，春季干旱多风，秋季干燥凉爽。年平均降水量 $400\text{mm}$ ，蒸发量约为降水量的4倍。受半干旱气候和水文状况的影响，图牧吉保护区内分布着大面积草原和湿地，动植物种类繁多（刘金成等，2008），也曾有过白鹤在此地度夏的记录（李晓民等，2005）。

###### (二) 吉林莫莫格国家级自然保护区

莫莫格保护区位于吉林省镇赉县境内，地处松辽沉降带北段松嫩平原西部边缘。地理坐标：东经 $123^{\circ}27'$ ~ $124^{\circ}04'$ ，北纬 $45^{\circ}42'$ ~ $46^{\circ}18'$ 。保护区的总面积为 $144\ 000\text{hm}^2$ 。该区属于温带大陆性季风气候，四季变化明显，春季干燥多沙，秋季凉爽温差较大。年降雨量约为 $400\text{mm}$ ，蒸发量在 $800\text{mm}$ ~ $1000\text{mm}$ 之间（杨兵兵等，2006）。该区是白鹤东部种群迁徙路线上的重要的中途停歇地之一，在2010年和2012年在区内观察到迁徙白鹤的数量分别为3128只和3600只（江红星，2010，2012）。

###### (三) 吉林向海国家级自然保护区

向海自然保护区位于吉林省西部通榆县境内，保护区南部有霍林河贯穿东西，北部引洮儿河水注入水库。地理坐标：东经 $122^{\circ}05'$ ~ $122^{\circ}31'$ ，北纬 $44^{\circ}55'$ ~ $45^{\circ}09'$ ，全区总面积 $105\ 467\text{hm}^2$ 。该区属于北温带大陆性季风气候，春季多风干旱，夏季温暖，冬季严寒少雪。年平均降雨量为 $400\text{mm}$ ，蒸发量约为降雨量的5倍（谷红亮等，2018），向海保护区在保护湿地生态环境、拯救濒危大型湿地禽类方面发挥着重要作用。

### 2.1.1.2 西辽河平原

#### (一) 内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼中旗

内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼中旗(科右中旗)属于中温型半干旱大陆性气候,具有寒暑剧变的特点,春季多风,秋季凉且短促。年平均降水量为 383mm,蒸发量约为降水量的 6 倍之多。该地区内的科尔沁保护区是鹤类等珍禽的重要栖息地,天然物种基因库,也是白鹤迁徙途径地之一(杨勇等, 2005)。本研究中跟踪的白鹤将科右中旗作为重要中途停歇地之一。

#### (二) 内蒙古通辽市科尔沁左翼后旗

内蒙古通辽市科尔沁左翼后旗(科左后旗)位于内蒙古自治区通辽市东南部,地理坐标:东经 121°30'~123°42',北纬 42°40'~43°42',该区属于温带大陆性季风气候,四季分明。春季干旱,夏季炎热,秋季短暂,冬季寒冷。年平均降水量为 350~400mm,蒸发量约为降水量的 5 倍。在本文的研究中,该处是跟踪白鹤的重要中途停歇地之一。

## 2.1.2 白鹤越冬地概况

### 2.1.2.1 长江中下游盆地

#### (一) 江西鄱阳湖国家级自然保护区

鄱阳湖位于长江中游与下游交界处南岸,是中国第一大淡水湖。鄱阳湖保护区位于鄱阳湖的西北部、赣江和修河的交汇处,地理坐标:东经 115°54'~116°12',北纬 29°02'~29°19'。全区总面积为 22 400hm<sup>2</sup>。该区属于亚热带湿润季风气候,夏季炎热,冬季湿冷,降水充沛。年降雨量 1340~1780mm,蒸发量 800~1200mm,2006 年至 2012 年间,在保护区内越冬的白鹤数量基本稳定在 2000 只以上(吴建东, 2012),且在鄱阳湖越冬的白鹤东部种群数量达到了白鹤东部种群数量的 98%左右(钱法文, 2009)。

#### (二) 江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区

南矶湿地保护区地处赣江北支、中支和南支汇入鄱阳湖开放水域冲击形成的三角洲前缘,地理坐标:东经 116°10'~116°23',北纬 28°52'~19°06'。全区总面积为 33 300hm<sup>2</sup>。该区属于亚热带暖湿季风气候,雨量充沛,四季分明。年降雨量为 1358~1823mm,蒸发量和降雨量相当,南矶湿地保护区是白鹤在鄱阳湖主要的越冬地之一,在区内发现的白鹤最多数量达到了 1017 只(胡斌华, 2013)。

### (三) 江西南昌五星垦殖场

五星垦殖场创建于1962年，位于南昌市高新区，与鄱阳湖相邻，属于鄱阳湖冲击平原带，地理坐标：东经 $116^{\circ}11' \sim 116^{\circ}19'$ ，北纬 $28^{\circ}43' \sim 28^{\circ}48'$ ，该区内属于亚热带季风性湿润气候，雨量充沛，年平均降雨量大约1520mm。江西日报记者蔡颖辉在2016年12月29日的报道中说道：“监测人员告诉记者，从2012年起，就有白鹤来到五星垦殖场栖息，但当时只有100多只。从10月底开始，我们监测到五星垦殖场内的白鹤最多时有1000多只，可以说是数量最多的一年。”（website: [http://jx.ifeng.com/a/20161229/5276991\\_0.shtml](http://jx.ifeng.com/a/20161229/5276991_0.shtml)）

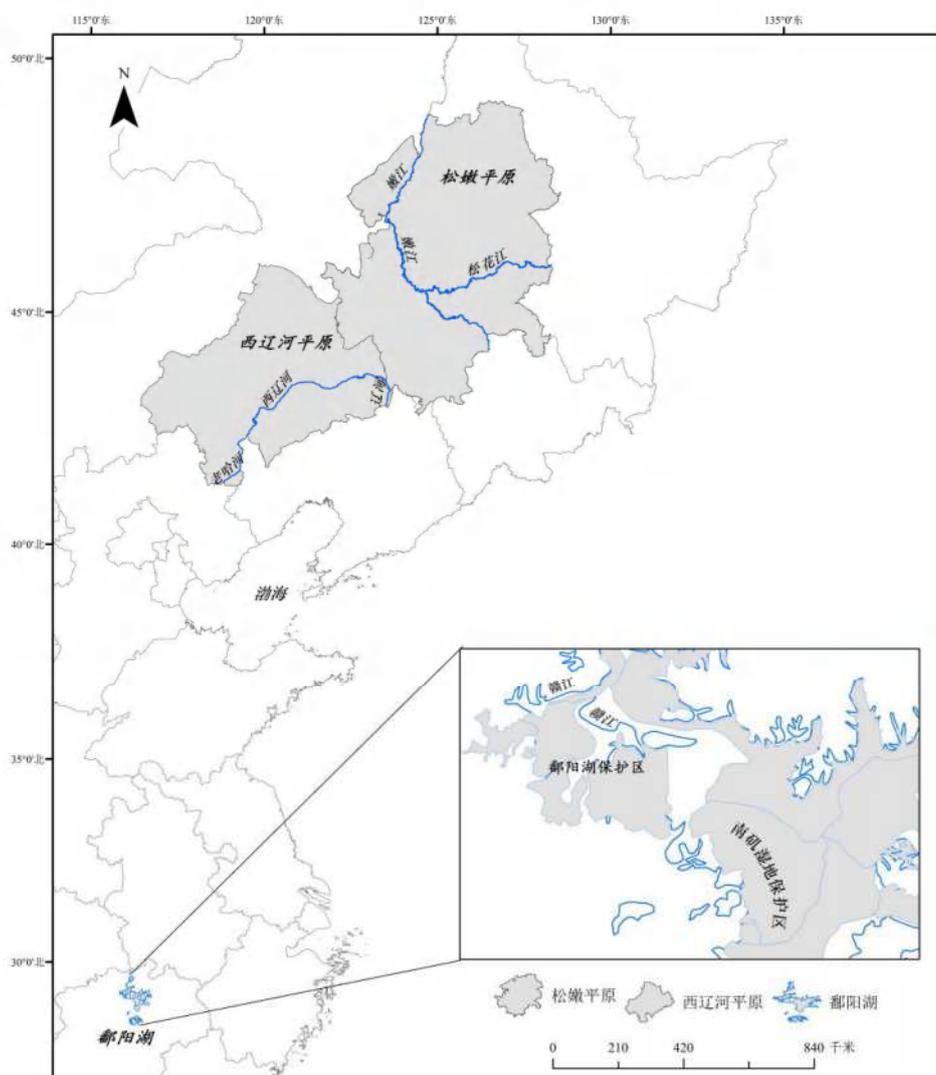


图 2-1 研究区概况

Figure 2-1 Study area

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 白鹤环志及卫星跟踪

2014年~2017年,我们对9只救护的白鹤个体开展环志并佩戴卫星跟踪器,本研究中的9只白鹤除白鹤956外均为在中途停歇地和越冬地救护的白鹤,白鹤956为南矾湿地保护区在2015年开展疫源疫病检测时夜晚误捕的个体。所有的白鹤名称均以红底白字的彩环编号命名。根据环志年份的不同,分别采用湖南环球信士科技有限公司生产的HQBP3527、HQBP3622和HQLN三种型号跟踪器,重量从22~31g不等,前两种为背负式跟踪器,最后一种为腿环式跟踪器(白鹤环志及跟踪器数据见表2-1)。卫星跟踪器采用全球卫星定位系统(GPS)定位和太阳能供电,并兼容我国的北斗卫星导航系统和俄罗斯的格洛纳斯卫星导航系统。每小时传回1个定位信息,包括经度和纬度、运动瞬时速度、位点海拔高度、鸟体与跟踪器接触面温度以及跟踪器电压和定位精度。跟踪器可提供A( $\pm 5\text{m}$ )、B( $\pm 10\text{m}$ )、C( $\pm 20\text{m}$ )、D( $\pm 50\text{m}$ )和无效(无法定位)5种精度定位等级。

表 2-1 跟踪白鹤的环志及跟踪器数据

Table 2-1 Banding and tracker data of tracked Siberian Cranes

彩环	来源	环志地点	金属环	跟踪器型号	跟踪器类型	跟踪器重量(g)	成/幼	体重(g)
Color bands	Source	Banding sites	Metal bands	Tracker models	Tracker types	Tracker weight	Ad./Juv.	Weight
951	救护	向海保护区	Q02-1711	HQBP3527	背负式	27	成	6200
953	救护	莫莫格保护区	Q02-1713	HQBP3527	背负式	27	成	7000
955	救护	莫莫格保护区	Q02-1715	HQBP3622	背负式	22	成	7800
956	误捕	南矾湿地保护区	Q02-1717	HQBP3622	背负式	22	幼	5000
958	救护	南矾湿地保护区	Q02-1719	HQBP3622	背负式	22	成	5050
L08	救护	莫莫格保护区	Q02-1835	HQLN	腿部	31	成	6450
R00	救护	莫莫格保护区	Q02-1973	HQBP3622	背负式	22	成	6000
R02	救护	莫莫格保护区	Q02-1972	HQBP3622	背负式	22	成	6100
R03	救护	九江市武宁县	Q02-1974	HQBP3622	背负式	22	幼	4300

在2014年~2017年对白鹤的卫星跟踪结果中,平均跟踪时长为 $591.56 \pm 367.42$  d ( $236 \sim 1272$  d),平均接收位点 $11004.44 \pm 9884.3$ 个( $1401 \sim 3178$ 个),平均有效位点

10012.89±9101.05 个 (375~30464 个)。根据跟踪器本身的电压情况、野外实际情况以及跟踪时长的不同, 每只白鹤的跟踪数据都有所不同, 白鹤跟踪情况见表 2-2。

表 2-2 2014 年~2017 年跟踪白鹤情况

Table 2-2 Tracking information of Siberian Cranes in 2014~2017

彩环	跟踪开始时间	跟踪结束时间	跟踪时长(d)	接收位点个数	有效位点个数
Color bands	Start time	End time	Tracking duration(d)	Total loci	Effective loci
951	2014.10.19	至今	>1272	>31788	>30464
953	2014.10.22	2018.02.11	1208	23700	18648
955	2014.10.22	2016.05.10	566	12945	12271
956	2015.02.03	2016.01.17	348	7104	7802
958	2015.12.14	2017.05.10	513	10851	10729
L08	2015.10.17	2017.01.21	431	1409	1128
R00	2016.10.12	2017.05.02	202	2818	2593
R02	2016.10.12	至今	>548	>7024	>6106
R03	2016.11.23	2017.07.17	236	1401	375

## 2.2.2 数据处理与分析

(1) 白鹤栖息地样方调查数据、食源植物营养成分检测数据, 以及每种植物的重要值、多样性指数均在 Excel 2016 中进行整理和计算。利用 ArcView 3.3 中 Animal Movement 工具进行白鹤活动区 KDE 90%和 KDE 50%的分析; 在图牧吉保护区、莫莫格保护区、鄱阳湖保护区和南矶湿地保护区功能区划图的基础上, 结合实地考察, 对中途停歇地栖息地类型进行矢量化处理, 并划分为淡水湖泊、草本沼泽和农田 3 种栖息地类型; 越冬地划分为湖泊、浅滩和农田 3 种类型。在 ArcGIS 10.2 软件中将矢量化图层与白鹤的活动位点进行叠加, 进而对其栖息地特征进行分析。

(2) 统计分析采用 Mann-Whitney 检验, 分别检验了 2017 年春季淡水湖泊和草本沼泽的植被密度、植被盖度和植被高度, 2016 年和 2017 年春季、秋季食源植物的根茎密度和根茎干重, 以及 2016 年和 2017 年冬季间植被高度、植被密度、地下球茎密度和干重, 差异显著性水平设定为 0.05。以上分析在 SPSS 24.0 软件中进行操作。

### 第三章 跟踪白鹤活动区研究

由于白鹤具有相对固定的繁殖地和越冬地，导致国内外对白鹤的研究的地理位置相对固定，主要集中于俄罗斯和中国，俄罗斯的科学研究人员主要针对白鹤的繁殖地及生态习性进行系统研究（Tsuyoshi, 2006; Bragina E.V. *et al.*, 2010; Gomcharova M.V. *et al.*, 2015），而中国的科学研究人员主要针对白鹤的迁徙路线以及越冬地行为进行研究（李言阔等, 2014; 袁芳凯等, 2014）。

中途停歇地是连接繁殖地和越冬地的枢纽，对鸟类的繁殖成功起着重要作用（马志军, 2005）。以往的研究通常认为，白鹤东部种群的中途停歇地主要位于中国东北地区松嫩平原西部地区，其中在莫莫格保护区、向海保护区、图牧吉保护区及其周边湿地均有分布，邹畅林等（2008）统计到莫莫格保护区鹅头泡附近湿地中白鹤停留数量为 1156 只，到 2010 年增长到了 3128 只（江红星, 2010），且春秋停留时间甚至延长到了近 2 个月。此外，在 20 世纪 80 年代末期，扎龙湿地保护区境内也有白鹤停留。

白鹤东部种群越冬区位于长江中下游地区，白鹤东部种群数量达到了白鹤世界种群总数的 99% 左右（马克·巴特等, 2004, 2005; 钱法文, 2005）。每年迁徙期都有大量的白鹤越冬于鄱阳湖保护区大湖池、蚌湖、大汉湖等 7 个自然湖泊、南矶湿地保护区及保护区周边鄱阳县、都昌县、星子县的湿地和人工栖息地中，在鄱阳湖越冬的白鹤数量占世界越冬种群的 95% 以上（钱法文, 2005），鄱阳湖保护区的大湖池历史上白鹤数量较多，越冬数量由 1985 年的 1482 只上升到 2000 年的 3000 只，沙湖在 2006 年和 2008 年曾有过白鹤数量在 500 只左右的记录。据统计，在安徽升金湖、湖南洞庭湖也有所分布，在 1998 年分别统计到了 14 只和 207 只。

本章中阐述了卫星跟踪白鹤春季和秋季在中国东北地区中途停歇地、冬季在长江中下游鄱阳湖盆地越冬区的空间分布，分别对其春季、秋季和冬季活动区面积、核心活动区面积、不同年份、不同季节和不同个体间的重叠指数进行了对比分析。此外，根据外业调查，本文还新发现了跟踪白鹤 2 处位于西辽河平原的中途停歇地，同样对其活动区面积进行分析。本章主要期望从宏栖息地尺度对跟踪白鹤个体的活动区进行分析，并进

一步筛选出跟踪白鹤主要利用的栖息地，进而揭示白鹤在中途停歇地和越冬地的栖息地选择机制。

### 3.1 研究方法

依据跟踪白鹤在 2015 年~2017 年春季、秋季和冬季所获得的位点信息，通过最小凸多边形法（Minimum Convex Polygon, MCP）和核密度估计法（Kernel Density Estimation, KDE）来确定跟踪白鹤的活动范围并计算其活动区面积。选取 KDE 90%和 KDE 50%两个概率水平来确定白鹤的范围，将 KDE 50%白鹤的活动范围定义为核活动区，KDE 90%为主要活动区。分析跟踪白鹤在活动区内的分布情况，将分析得到的活动区面积、分布及其重叠指数在中途停歇地和越冬地加以比较，分别分析 2015 年~2017 年的春季、秋季和冬季跟踪个体活动区的变化，并比较不同年份和季节之间的空间变化，分析 3 年内春季和秋季活动区面积、空间变化及重叠指数的差异。

### 3.2 数据处理与分析

(1) 白鹤卫星跟踪数据、环志数据、活动区面积均在 Excel 2016 中进行整理。利用 ArcView 3.3 中的 Animal Movement 工具进行白鹤活动区 MCP、KDE 90%和 KDE 50%的分析（是否选择合适的平滑指数）。在 ArcGIS 10.2 软件中叠加白鹤活动区图层，计算活动区面积。

(2) 统计分析采用 Mann-Whitney 检验（ $U$  检验）对中途停歇地和越冬地环志白鹤的个体特征（喙长、翅长、跗跖长、体长和体重）进行了差异分析，差异显著性水平设定为 0.05，置信区间为 95%。数据采用  $\text{Mean} \pm \text{SD}$  表示，Mean 表示算数平均值，SD 表示标准差。以上分析在 SPSS 24.0 软件中完成。

(3) 重叠率是指中途停歇地或越冬区的白鹤个体中发生重叠的只数占个体总数的百分比。

(4) 重叠指数：由于不同跟踪白鹤个体间活动区及活动区面积每年的变化较大，若只计算不同个体间活动区重叠区域的面积大小，无法体现出不同跟踪个体间活动区及活动区的重叠程度，所以引入重叠指数（Overlap Index）来衡量不同跟踪白鹤之间活动区

及其重叠程度 (Atwood *et al.*, 2003), 将白鹤在中途停歇或越冬区的活动区重叠面积 (KDE 90%) 两两配对, 应用指数  $I$  计算活动区重叠比例, 计算公式 (徐基良, 2005):

$$I = \frac{200S_{ab}}{(S_a + S_b)}$$

式中  $I$  为活动区重叠指数,  $S_{ab}$  为跟踪个体  $a$  和个体  $b$  共同占据的活动区面积,  $S_a$  和  $S_b$  分别代表跟踪个体  $a$  和跟踪个体  $b$  各自的活动区面积。通常来说,  $I$  的波动范围 0~100 之间。 $I=0$  当时, 表示两个跟踪个体活动区之间无重叠, 相应地, 当  $I=100$  时, 两个跟踪个体活动区之间完全重叠。

### 3.3 结果

#### 3.3.1 中途停歇地和越冬地环志白鹤个体特征差异

通过 Mann-Whitney 检验对不同环志地点的白鹤的身体指标如喙长、翅长、跗跖长、体长和体重进行分析 (表 3-1), 结果表明, 中途停歇地环志个体的喙长、翅长和跗跖长 3 个方面与越冬区的环志个体间均无显著差异 ( $P>0.05$ ), 体长和体重差异显著 ( $Z=-2.066$ ,  $P=0.048$ ;  $Z=-0.324$ ,  $P=0.024$ ), 中途停歇地环志白鹤的体长和体重均大于越冬地环志白鹤。

表 3-1 不同环志地点白鹤个体特征之间差异

Table3-1 Individual features difference between different banding sites

个体特征 Individual feature	中途停歇地 (n=6) Stopover sites	越冬地 (n=3) Wintering area	Z	P
喙长 Bill (mm)	164.67±8.40	167.33±9.29	0.130	1.000
翅长 Plumage (mm)	592.50±12.16	575.67±11.44	-1.815	0.095
跗跖长 Tarsus (mm)	254.167±17.42	251.67±18.41	0.000	1.000
体长 Body length (mm)	1193.33±55.58	1070.00±58.88	-2.066	0.048
体重 Weight (g)	6591.67±631.41	4783.33±342.38	-0.324	0.024

注: 显著性水平为 0.05, 置信区间为 95%。

Note: The significant level is 0.05 and the confidence interval is 95%.

### 3.3.2 跟踪白鹤中途停歇地活动区

#### 3.3.2.1 跟踪白鹤中途停歇地空间分布

根据白鹤 2015 年~2017 年春季和秋季的跟踪位点情况,统计和整理每个具有核心活动区的地点共 25 处(表 3-2),其中在莫莫格保护区、向海保护区和图牧吉保护区范围内的地点个数占比为 60%,保护区外停留地点个数占比为 40%,在莫莫格保护区内明嘎屯西部的湿地中停留时间最长,达到了 36.25d,其次为万宝山东部的农田中停留了 34d,再次为少力泡子(22.83d)。

表 3-2 2015 年~2017 年白鹤中途停歇地栖息地类型、停留地点及停留时间

Table 3-2 Habitat types, stopover sites and duration in 2015~2017 springs and falls

栖息地类型	停留地点	所属区域	年份+季节	停留只次	平均停留时间(d)
Habitat types	Sampling sites	Area	Year+Season	Times	Mean stopover duration
淡水湖泊	少力泡子	莫莫格保护区	15-17F、17S	4	22.83
	大苇塘	莫莫格-图牧吉	16S、16F	2	9.42
	图牧吉泡子	图牧吉保护区	17F	1	21.71
	三道泡子	图牧吉保护区	16S	1	8
	白鹤湖	莫莫格保护区	16S	1	7.96
草本沼泽	明嘎屯西	莫莫格保护区	15F	2	36.25
	新发屯南	莫莫格-图牧吉	15S、16S	2	18.54
	格力吐泡	莫莫格-图牧吉	15S	2	15.67
	岔台乡南	莫莫格保护区	15S、16F	2	14.25
	西碱铺西	向海保护区	17S	1	12.46
	二道泡子	图牧吉保护区	16S	2	2
	乌拉草泡子	莫莫格保护区	16S	2	7.92
	兴隆中学窝棚	向海保护区	15F	1	9.08
	利民泡	向海保护区	15F	1	24.5
	珠日很淖尔	内蒙通辽科右中旗	15S	1	20.63
	哈布哈嘎查	内蒙通辽科左后旗	17S	1	8.29
	长沟村南	齐齐哈尔富裕县	17F	1	1.79
	后二道营子	齐齐哈尔富裕县	17F	1	1.13
	农田	万宝山东	莫莫格保护区	15S、16F	2
谢胡岗子		莫莫格保护区	17S	1	4.58
聚宝山村		大庆市杜尔伯特县	16F	1	19.79

注: 15、16、17 分别代表停留年份 2015 年、2016 年和 2017 年; “S”和“F”分别为“Spring”和“Fall”的缩写,表示停留季节为春季和秋季。

Note: 15, 16, 17 refer to the stopover year of Year 2015, Year 2016 and Year 2017; “S” and “F” refer to “Spring” and “Fall” respectively.

## 3.3.2.1.1 新发现两处新的中途停歇地

通过分析跟踪白鹤在 2015 年~2017 年的活动位点,发现跟踪白鹤除利用松嫩平原西部的传统栖息地外,新发现 2 处白鹤中途停歇地,分别为内蒙古兴安盟科右中旗珠日很淖尔和通辽市科左后旗哈布哈嘎查,两者均位于内蒙古东部地区,属于我国东北地区,均位于保护区外围(图 3-1)。其中白鹤 956 于 2015 年春季将科右中旗珠日很淖尔作为其中途停歇地之一,共停留 491h,白鹤 958 于 2017 年春季迁徙期在科左后旗哈布哈嘎查停留 695h,计算以上 2 处中途停歇地白鹤的主要活动区和核心活动区面积,其中哈布哈嘎查活动区面积(MCP 200.83km<sup>2</sup>, KDE 90% 27.83km<sup>2</sup>, KDE 50% 5.12km<sup>2</sup>)大于其在珠日很淖尔的活动区面积(MCP 15.22km<sup>2</sup>, KDE 90% 2.71km<sup>2</sup>, KDE 50% 0.65km<sup>2</sup>),由此可见,跟踪白鹤在该 2 处中途停歇地核心活动区面积较小,说明此处白鹤环境容纳量较小,食物资源较为集中,分布较窄,无法满足迁徙期大量白鹤的活动和取食,只能作为其短期补给的地方,便于下一阶段的迁徙。

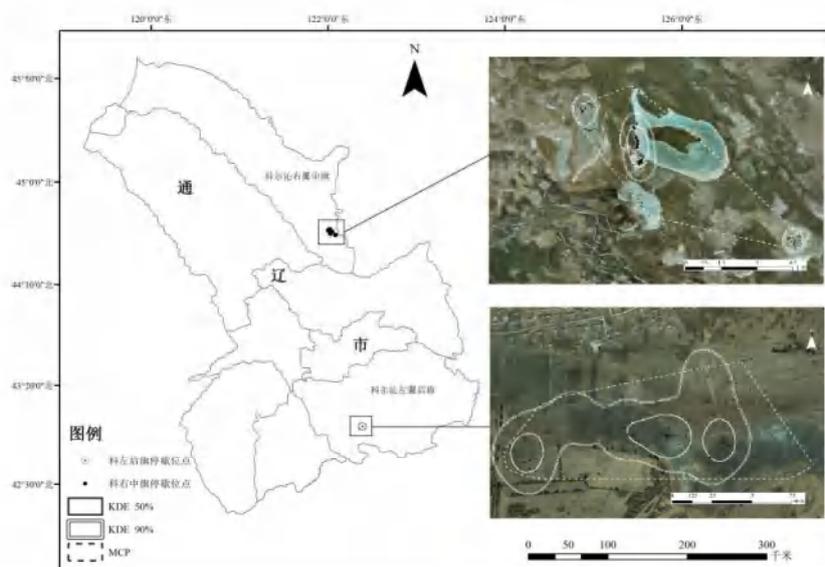


图 3-1 跟踪白鹤在西辽河平原中途停歇地

Figure 3-1 Two Stopover sites in Xiliaohe Plain of tracked individuals

## 3.3.2.2 跟踪白鹤个体中途停歇地活动区面积

## (1) 跟踪白鹤春季和秋季活动区面积

Mann-Whitney 检验表明: 2015 年春季和秋季间的 MCP ( $Z=-1.061$ ,  $F=0.400$ )、KDE 90% ( $Z=-0.354$ ,  $P=0.857$ )、KDE50% ( $Z=-0.354$ ,  $P=0.857$ ) 以及 KDE 50%/KDE 90% ( $Z=-1.061$ ,  $P=0.400$ ) 面积间均无显著差异; 2016 年春季和秋季之间各项活动区面

积间差异不显著 (MCP  $Z=-1.936$ ,  $P=0.095$ ; KDE 90%  $Z=-1.549$ ,  $P=0.190$ ; KDE 50%  $Z=-1.549$ ,  $P=0.190$ ; KDE 50%/KDE 90%  $Z=0.387$ ,  $P=1.000$ ); 同样, 2017 年春季和秋季间各项活动区面积差异也不显著 (MCP  $Z=-1.061$ ,  $P=0.400$ ; KDE 90%  $Z=1.414$ ,  $P=0.229$ ; KDE 50%  $Z=1.768$ ,  $P=0.114$ ; KDE 50%/KDE 90%  $Z=-1.061$ ,  $P=0.400$ )。

从图 3-2 可以看出, MCP 面积、KDE 90%面积以及 KDE 50%的面积在连续 3 年的春季和秋季的变化趋势有所不同, 其中 MCP 面积呈现出下降-上升-下降-上升-下降的趋势, KDE 90%和 KDE 50%的面积均表现为下降-上升-下降-下降-上升的趋势。

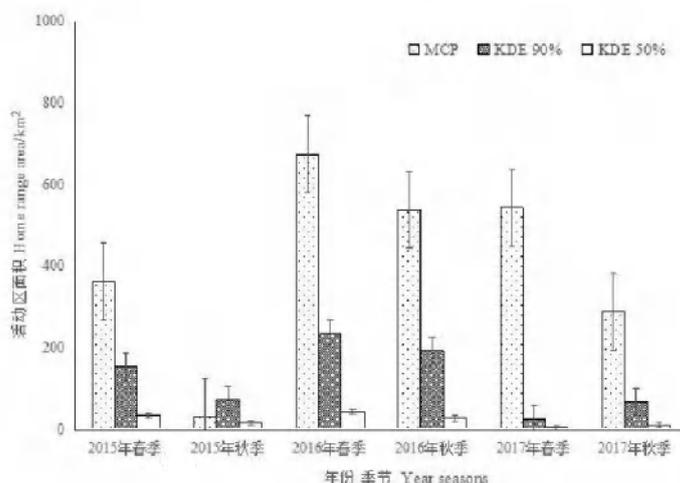


图 3-2 不同年份春季和秋季跟踪白鹤各项活动区面积比较

Figure 3-2 Comparison of each home range area in springs and falls in different years

## (2) 春季活动区面积差异

2015 年~2017 年春季, 跟踪白鹤个体在 MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%及核心活动区和主要活动区比间都存在一定程度的差别 (表 3-3), 其中 MCP 面积在  $1.75\sim 1882.56\text{km}^2$  之间, KDE 90%面积为  $0.44\sim 556.94\text{km}^2$ , KDE 50%面积区间为  $0.10\sim 124.84\text{km}^2$ , 而 KDE 50%和 KDE 90%的比例则差别较小, 比例在  $12.18\sim 27.79\%$  之间。不同年份不同跟踪个体间 MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积和 KDE 50%和 KDE 90%比例也存在差异, 其中, 2015 年 MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积差异较大 (MCP  $SD=350.13\text{km}^2$ , KDE 90%  $SD=233.17\text{km}^2$ , KDE 50%  $SD=51.90\text{km}^2$ ); 2016 年 MCP 面积、KDE 90%面积差异较大 (MCP  $SD=617.70\text{km}^2$ , KDE 90%  $SD=88.02\text{km}^2$ ), KDE 90%面积、KDE 50%面积 (KDE 50%  $SD=27.04\text{km}^2$ ) 之

间差异较小；2017年MCP面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积差异较大（MCP  $SD=354.09\text{km}^2$ ，KDE 90%  $SD=34.30\text{km}^2$ ，KDE 50%  $SD=4.71\text{km}^2$ ）。造成这种差异的原因也许和不同白鹤个体春季到达中途停歇地的时间、食物资源分布情况有关。

表 3-3 2015~2017 年春季白鹤中途停歇地活动区面积

Table 3-3 Home range area of stopover sites in 2015~2017 springs

年份 Year	彩环 Color bands	MCP 面积( $\text{km}^2$ ) MCP area	KDE 90% 面积( $\text{km}^2$ ) KDE 90% area	KDE 50% 面积( $\text{km}^2$ ) KDE 50% area	KDE 50%/KDE 90% (%)
2015 n=4	951	420.45	20.30	5.45	26.85
	953	908.36	556.94	124.84	22.42
	955	119.79	34.22	9.51	27.79
	956	1.75	2.71	0.65	23.99
	Mean±SD	362.59±350.13	153.54±233.17	35.11±51.90	25.26±2.16
2016 n=5	951	572.80	192.01	25.52	13.29
	953	231.49	86.05	10.48	12.18
	955	1882.56	282.92	89.33	31.57
	958	448.07	332.07	41.14	12.39
	L08	238.05	289.74	55.27	19.08
	Mean±SD	674.59±617.70	236.56±88.02	44.35±27.04	17.70±7.38
2017 n=3	951	822.84	73.53	10.17	13.83
	953	763.46	0.44	0.10	22.73
	R02	43.79	1.09	0.27	24.77
	Mean±SD	543.36±354.09	25.02±34.30	3.51±4.71	20.44±4.75

不同年际间春季，白鹤个体活动区MCP面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积以及核心活动区与主要活动区占比都有所差别，但均无显著差异（ANOVA MCP面积  $F=0.351$ ， $P=0.713$ ；KDE 90%面积  $F=0.284$ ， $P=1.454$ ；KDE 50%面积  $F=0.405$ ， $P=1.001$ ；KDE 50%/KDE 90%  $F=1.604$ ， $P=0.254$ ）。3年中MCP面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积均呈现出先增加后减少的趋势，而核心活动区占主要活动区的比例则呈现出先减少后增加的趋势。由表 3-3 可知，3年中不同个体间的活动区面积相差较大。

### （3）秋季活动区面积差异

2015年~2017年秋季，跟踪白鹤个体在MCP面积、KDE 90%面积、KDE 50%及核心活动区和主要活动区比间都存在一定程度的差别（表 3-4），其中MCP面积在  $3.32\sim 1409.71\text{km}^2$  之间，KDE 90%面积为  $3.33\sim 455.41\text{km}^2$ ，KDE 50%面积区间为  $0.53\sim 63.06\text{km}^2$ ，而KDE 50%/KDE 90%的比例则差别较小，比例在  $13.27\sim 25.54\%$  之间。不同年份不同跟踪个体间MCP面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积和KDE 50%/KDE

90%比例也存在差异, 其中, 2015 年 MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积异较小 (MCP  $SD=4.40\text{km}^2$ , KDE 90%  $SD=88.37\text{km}^2$ , KDE 50%  $SD=18.67\text{km}^2$ ); 2016 年和 2017 年之间 MCP 面积、KDE 90% 面积、KDE 50% 面积差异较大 (2016 年: MCP  $SD=619.37\text{km}^2$ , KDE 90%  $SD=191.72\text{km}^2$ , KDE 50%  $SD=26.20\text{km}^2$ ; 2017 年: MCP  $SD=251.83\text{km}^2$ , KDE 90%  $SD=13.23\text{km}^2$ , KDE 50%  $SD=2.98\text{km}^2$ )。

表 3-4 2015~2017 年秋季白鹤中途停歇地活动区面积

Table 3-4 Home range area of stopover sites in 2015~2017 falls

年份 Year	彩环 Color bands	MCP 面积( $\text{km}^2$ ) MCP area	KDE 90% 面积( $\text{km}^2$ ) KDE 90% area	KDE 50% 面积( $\text{km}^2$ ) KDE 50% area	KDE 50%/KDE 90% (%)
2015 n=3	951	21.47	16.52	4.22	25.54
	953	9.19	5.59	1.26	22.54
	956	65.99	198.27	42.26	21.31
	Mean±SD	32.22±24.40	73.46±88.37	15.91±18.67	23.13±1.78
2016 n=3	951	19.32	3.33	0.53	15.92
	953	188.77	119.30	19.24	16.13
	958	1409.71	455.41	63.06	13.85
	Mean±SD	539.27±619.37	192.68±191.72	27.61±26.20	15.30±1.03
2017 n=3	951	615.89	85.36	11.83	13.86
	953	246.67	67.24	14.20	21.12
	R02	3.32	53.04	7.04	13.27
	Mean±SD	288.63±251.83	68.55±13.23	11.02±2.98	16.08±3.57

对比不同年际间秋季, 跟踪白鹤的活动区 MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积之间差异不显著 (ANOVA MCP  $F=0.862$ ,  $P=0.469$ ; KDE 90%  $F=0.663$ ,  $P=0.550$ ; KDE 50%  $F=0.417$ ,  $P=0.676$ ), KDE 50%/KDE 90% 比例差异显著 ( $F=3.580$ ,  $P=0.031$ )。连续 3 年的秋季中, MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积均呈现出先增加后减少的趋势, 而核心活动区占主要活动区的比例则呈现出先减少后增加的趋势。由表 3-4 可知, 3 年中不同个体间的活动区面积相差较大。

### 3.3.3 跟踪白鹤越冬地栖息地活动区

#### 3.3.3.1 跟踪白鹤越冬区空间分布

通过白鹤 2015 年~2017 年冬季的跟踪位点, 共统计出白鹤在越冬区的 45 个越冬地点, 发现白鹤在某越冬地越冬时间 $\geq 90\text{h}$ 的比例共占据 66.67%, 又根据白鹤在某越冬地点的越冬只次 $\geq 2$ 只次, 将该地定义为跟踪白鹤的主要越冬地点, 共筛选出 30 个白鹤的

主要越冬地点，其中位于鄱阳湖保护区、南矶湿地保护区及康山保护区范围内的越冬地点占比为 50%，保护区范围外的越冬地点个数占比为 50%（表 3-5）。在主要越冬地点中，越冬活动时间在 4.00~54.13d 之间，越冬时间最长的地点为保护区外的铁河乡，其次为康山保护区的南湖（45.46d），再次为保护区外的犁头洲（42.47d）。

表 3-5 2015~2017 年冬季白鹤越冬栖息地类型、越冬地点及越冬时间

Table 3-5 Habitat types, wintering sites and duration of wintering area in 2015~2017 winters

栖息地类型	越冬地点	所属区域	越冬年份	越冬只次	平均越冬时间(d)	
Habitat types	Wintering area	Area	Years	Times	Mean duration	
湖泊	西湖	非保护区	15W	1	6.21	
	三洲湖	康山保护区	16-17W	4	5.63	
	三湖	康山保护区	15W	3	17.82	
	鄱阳湖主湖区	鄱阳湖保护区	15-16W	6	32.69	
	宕下尾	南矶湿地保护区	15-16W	4	35.89	
	鄱阳湖	鄱阳湖主湖区	16W	2	21.83	
	南湖	康山保护区	16W	1	45.46	
	磨盘洲	非保护区	16-17W	4	22.95	
	金溪湖	非保护区	16W	1	5.88	
	大湖池	鄱阳湖保护区	16-17W	2	6.50	
	池州湖	鄱阳湖保护区	16W	2	4.77	
	程家池	康山保护区	16W	1	13.79	
	常湖	南矶湿地保护区	15W	1	6.21	
	浅滩	远霞东	鄱阳湖保护区	16W	1	11.92
		牛头洲南	非保护区	15W	1	7.08
菱角湖		鄱阳湖保护区	17W	1	14.96	
李家港		康山保护区	15-17W	5	6.99	
茶叶港		非保护区	16W	1	6.71	
官沙河		非保护区	17W	1	17.96	
水稻田		五星农场	非保护区	15-16W	2	24.04
	铁河乡	非保护区	16W	1	54.13	
	陶家港	非保护区	15、17W	2	6.79	
	双岭洲	非保护区	17W	1	4.58	
	深泥湖东	非保护区	17W	1	4.96	
	联圩乡	非保护区	17W	1	4.58	
	犁头洲	非保护区	16W	2	42.27	
	红旗岗	鄱阳湖保护区	17W	1	3.29	
	成新农场	非保护区	16W	1	4.00	
	百步港	非保护区	16W	1	4.54	
藕塘	三角圩	鄱阳湖保护区	17W	1	9.21	

注：15、16、17 分别代表越冬年份 2015 年、2016 年和 2017 年；“W”为“Winter”的缩写，表示越冬。

Note: 15, 16, 17 refer to the wintering year of Year 2015, Year 2016 and Year 2017; “W” means to “Winter”.

## 3.3.3.2 跟踪白鹤个体越冬活动区面积的差异

2015年~2017年冬季,跟踪白鹤个体活动区的MCP面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积以及KDE 50%/KDE 90%之间都存在不同程度的差别(表3-6),其中MCP面积在8.45~1172.21km<sup>2</sup>之间,KDE 90%面积(5.04~295.08km<sup>2</sup>)、KDE 50%面积(1.15~63.8km<sup>2</sup>),KDE 50%占KDE 90%比例区间为6.89~32.96%。不同年份不同跟踪个体的各项活动区面积之间差异不同,2015年MCP面积、KDE 90%面积之间差异较大(MCP *SD*=397.63km<sup>2</sup>,KDE 90% *SD*=111.27km<sup>2</sup>),而KDE 50%(*SD*=24.41km<sup>2</sup>)和KDE 50%/KDE 90%(*SD*=8.14)差异较小。2016年各项活动区面积差异较小(MCP *SD*=59.3km<sup>2</sup>,KDE 90% *SD*=49.32km<sup>2</sup>,KDE 50% *SD*=9.57km<sup>2</sup>,KDE 50%/KDE 90% *SD*=8.05km<sup>2</sup>);2017年各项活动区面积差异较大(MCP *SD*=125.01km<sup>2</sup>,KDE 90% *SD*=13.41km<sup>2</sup>,KDE 50% *SD*=5.89km<sup>2</sup>,KDE 50%/KDE 90% *SD*=7.05km<sup>2</sup>)。

由表3-6可知,2015年~2017年白鹤在越冬地的活动区MCP面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积均呈现出先下降后上升的趋势,KDE 50%/KDE 90%面积则为先上升后下降的趋势。

表3-6 2015~2017年白鹤越冬地活动区面积

Table 3-6 Home range area of wintering area in 2015~2017

年份	彩环	MCP 面积(km <sup>2</sup> )	KDE 90% 面积(km <sup>2</sup> )	KDE 50% 面积(km <sup>2</sup> )	KDE 50%/KDE 90%
Year	Color bands	MCP area	KDE 90% area	KDE 50% area	(%)
2015 n=5	951	120.54	21.05	1.45	6.89
	953	88.41	21.9	3.64	16.62
	955	1172.21	295.08	37.47	12.70
	956	514.36	205.95	63.8	30.98
	958	287.5	53.24	6.64	12.47
	Mean± <i>SD</i>	436.60±397.63	119.44±111.27	22.60±24.41	15.93±8.14
2016 n=7	951	105	82.75	7.13	8.62
	953	206.79	146.07	30.57	20.93
	958	86.88	14.3	1.86	13.01
	L08	44.72	11.47	3.78	32.96
	R00	61.05	15.4	4.12	26.75
	R02	8.45	5.04	1.15	22.82
	R03	45.38	14.35	4.16	28.99
	Mean± <i>SD</i>	79.75±59.36	41.34±49.32	7.54±9.57	22.01±8.05
2017 n=3	951	70.42	67.37	7.14	10.60
	953	339.9	40.18	5.71	14.21
	R02	79.21	69.75	18.85	27.03
	Mean± <i>SD</i>	163.18±125.01	59.10±13.41	10.57±5.89	17.28±7.05

### 3.3.4 跟踪白鹤中途停歇地和越冬地活动区重叠

跟踪白鹤个体不论是在中途停歇地还是在越冬地的活动区都存在不同程度的重叠现象(表 3-7), 2015 年、2016 年和 2017 年春季, 不同白鹤跟踪个体活动区平均重叠指数均存在差异(2015 年春季: KDE 90%  $SD=15.23\%$ , KDE 50%  $SD=17.95\%$ ; 2016 年春季: KDE 90%  $SD=16.39\%$ , KDE 50%  $SD=48.00\%$ ; 2017 年春季: KDE 90%  $SD=0.00$ , KDE 50%  $SD=0.00\%$ ), 连续 3 年秋季平均重叠指数(2015 年秋季: KDE 90%  $SD=2.52$ , KDE 50%  $SD=3.01\%$ ; 2016 年秋季: KDE 90%  $SD=1.74\%$ , KDE 50%  $SD=1.96\%$ ; 2017 年秋季: KDE 90%  $SD=39.15\%$ , KDE 50%  $SD=36.87\%$ ) 差异较小。对不同年份不同季节间的活动区重叠指数进行 Kruskal-Wallis 检验, 结果表明 2015 年~2017 年春季间, KDE 90%和 KDE 50%活动区重叠指数均不存在显著差异(KDE 90%  $H=2.195$ ,  $P=0.334$ ; KDE 50%  $H=1.345$ ,  $P=0.510$ ), 秋季间活动区重叠指数差异不显著(KDE 90%  $H=4.456$ ,  $P=0.108$ ; KDE 50%  $H=3.468$ ,  $P=0.177$ )。

2015 年~2017 年, 跟踪白鹤个体在越冬地 KDE 90%活动区平均重叠指数 2016 年冬季>2017 年冬季>2015 年冬季; KDE 50%活动区平均重叠指数 2015 年冬季>2016 年冬季>2017 年冬季。白鹤在越冬地活动区重叠指数有所差别, 但无显著差异(Kruskal-Wallis  $H$  检验  $H=0.015$ ,  $P=0.903$ )。

表 3-7 2015~2017 年跟踪白鹤春季、秋季和冬季活动区重叠指数比较

Table 3-7 Comparison of overlap index of springs, falls and winters in 2015~2017

年份 Year	季节 Seasons	重叠指数 Overlap index/%	
		KDE 90%	KDE 50%
2015	春季	19.62±15.23	26.00±17.95
	秋季	1.51±2.52	2.08±3.01
	冬季	4.39±79.82	25.99±17.26
2016	春季	9.06±16.39	33.59±48.00
	秋季	1.23±1.74	1.39±1.96
	冬季	28.04±90.81	14.63±34.91
2017	春季	0	0
	秋季	27.68±39.15	26.07±36.87
	冬季	7.65±10.82	1.35±1.92

## 3.3.4.1 跟踪白鹤中途停歇地活动区重叠

2015年春季跟踪白鹤活动区面积为237.31km<sup>2</sup>，2016年春季活动区面积为612.97km<sup>2</sup>，活动区域增加较多（表3-8），将2015年和2016年春季活动区叠加，重叠区面积、面积增长量、缩小量面积分别为98.38km<sup>2</sup>、514.59km<sup>2</sup>、138.93km<sup>2</sup>，分别占2016年春季活动区总面积的41.45%、216.84%和58.55%；2017年春季活动区面积为109.96km<sup>2</sup>，重叠区面积、面积增长量、缩小量面积分别为22.89km<sup>2</sup>、87.07km<sup>2</sup>、590.07km<sup>2</sup>，分别占2017年春季活动区总面积的3.74%、14.20%和96.26%。

2015年秋季跟踪白鹤活动区面积为17.17km<sup>2</sup>，2016年秋季活动区面积为1227.54km<sup>2</sup>，活动区域增长极大，将2015年和2016年秋季活动区叠加，其中2015年和2016年无重叠区面积增长量、缩小量面积分别为1227.54km<sup>2</sup>、17.17km<sup>2</sup>，分别占2016年春季活动区总面积的7148.29%和1.00%；2017年秋季活动区面积为527.74km<sup>2</sup>，重叠区面积、面积增长量、缩小量面积分别为101.12km<sup>2</sup>、426.63km<sup>2</sup>、1126.42km<sup>2</sup>，分别占2017年春季活动区总面积的8.24%、34.75%和91.76%。

表3-8 白鹤中途停歇地活动区变化程度统计

Table 3-8 Home range change statistics in stopover sites of Siberian Crane

季节 Seasons	年份 Years	主要活动区	重叠区	重叠区/主要活	面积增长量 (km <sup>2</sup> ) Area growth	所占比例%	面积减少量(km <sup>2</sup> ) Area derement	所占比例%
		面积(km <sup>2</sup> ) KDE 90% area	面积(km <sup>2</sup> ) Overlap area	动区(km <sup>2</sup> ) Overlap/KDE 90%				
春季	2015	237.31	—	—	—	—	—	—
	2016	612.97	98.38	41.45	514.59	216.84	138.93	58.55
	2017	109.96	22.89	3.74	87.07	14.20	590.07	96.26
秋季	2015	17.17	—	—	—	—	—	—
	2016	1227.54	0.00	0.00	1227.54	7148.29	17.17	1.00
	2017	527.74	101.12	8.24	426.63	34.75	1126.42	91.76

2015年~2017年春季、秋季跟踪白鹤的活动区重叠情况显示，春季主要活动区（KDE 90%）重叠区域为莫莫格保护区与图牧吉保护区之间新发屯的西南部、大苇塘、格力吐泡东部以及莫莫格保护区内少力泡子（图3-3a）；核心活动区（KDE 50%）重叠区域为莫莫格保护区与图牧吉保护区之间新发屯的西南部以及莫莫格保护区内少力泡子（图3-3b）。秋季KDE 90%重叠区主要位于图牧吉保护区青龙山嘎查和莫莫格保护区的套什吐西部区域（图3-3c）；KDE 50%则无重叠，白鹤分布在图牧吉保护区图牧吉水

库、青龙山嘎查、莫莫格保护区内的套什吐西部以及保护区外的聚宝山区区域（图 3-3d）。

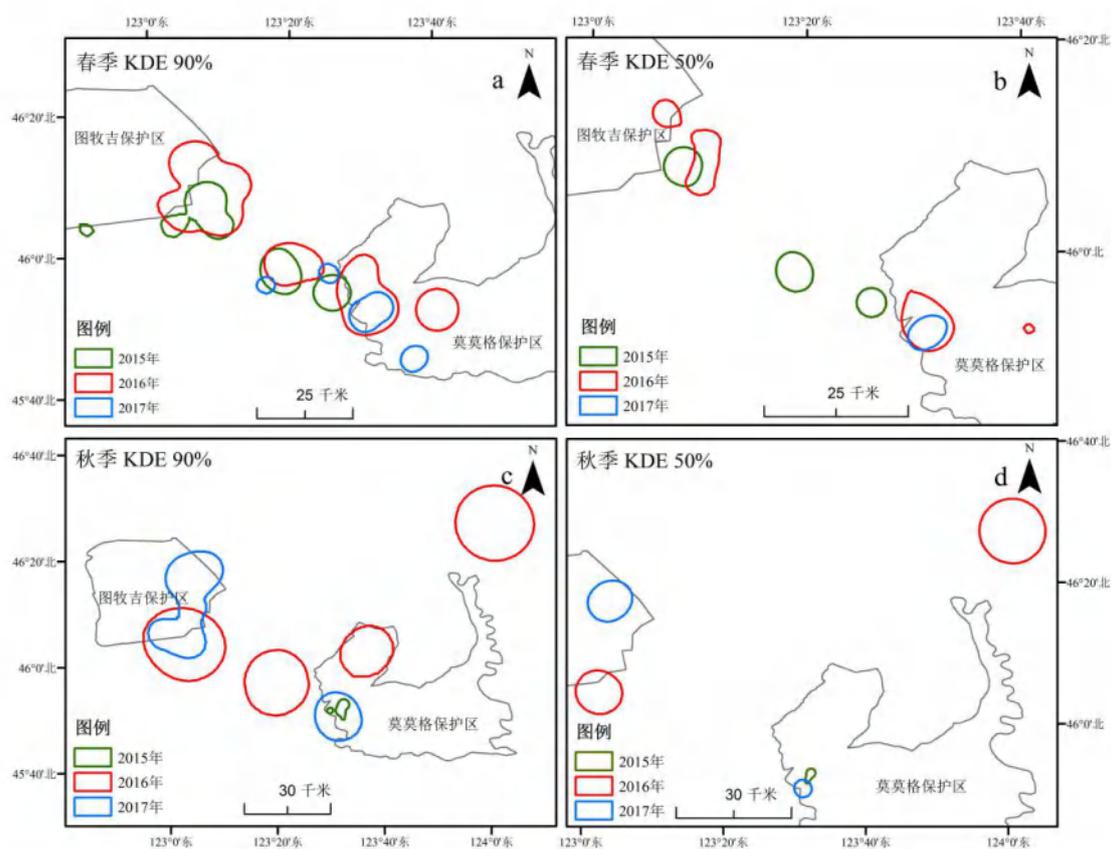


图 3-3 2015~2017 年春季和秋季跟踪白鹤中途停歇地活动区利用变化

Figure 3-3 Home range overlapping changes in 2015~2017 springs and falls of Siberian Crane

### 3.3.4.2 跟踪白鹤越冬地活动区重叠

2015 年冬季跟踪白鹤活动区面积为 429.43km<sup>2</sup>，2016 年冬季活动区面积为 535.16km<sup>2</sup>，活动区域增长较小，将 2015 年和 2016 年冬季活动区叠加，其中 2015 年和 2016 年重叠区面积、面积增长量、面积缩小量分别为 26.02km<sup>2</sup>、423.44km<sup>2</sup> 和 317.71km<sup>2</sup>，分别占 2016 冬季活动区总面积的 26.02%、98.61%和 73.98%；2017 年冬季活动区面积为 162.98km<sup>2</sup>，与 2016 年冬季活动区面积相比有所减少，重叠区面积、面积增长量、缩小量面积分别为 91.61km<sup>2</sup>、71.37km<sup>2</sup>、443.55km<sup>2</sup>，分别占 2017 年春季活动区总面积的 17.12%、13.34%和 82.88%。

表 3-9 白鹤越冬地活动区变化程度统计

Table 3-9 Home range change statistics in wintering area of Siberian Crane

季节	年份	主要活动区	重叠区	重叠区/主要活	面积	所占比例%	面积减少量	所占比例%
Seasons	Years	面积(km <sup>2</sup> )	面积(km <sup>2</sup> )	动区(km <sup>2</sup> )	增长量(km <sup>2</sup> )	Proportion	(km <sup>2</sup> )	Proportion
		KDE 90%	Overlap area	Overlap/KDE	Area growth		Area derement	
	2015	429.43	—	—	—	—	—	—
冬季	2016	535.16	111.72	26.02	423.44	98.61	317.71	73.98
	2017	162.98	91.61	17.12	71.37	13.34	443.55	82.88

2015 年~2017 年冬季，跟踪个体 KDE 90%的重叠区域主要分布在鄱阳湖保护区蚕豆湖、南矶湿地保护区岩下尾、康山保护区以及保护区外赣江铁河口段、磨盘洲、南山河、犁头洲、严家河（图 3-4a）；KDE 50%重叠区域较少，是位于保护区外围的磨盘洲（图 3-4b）。

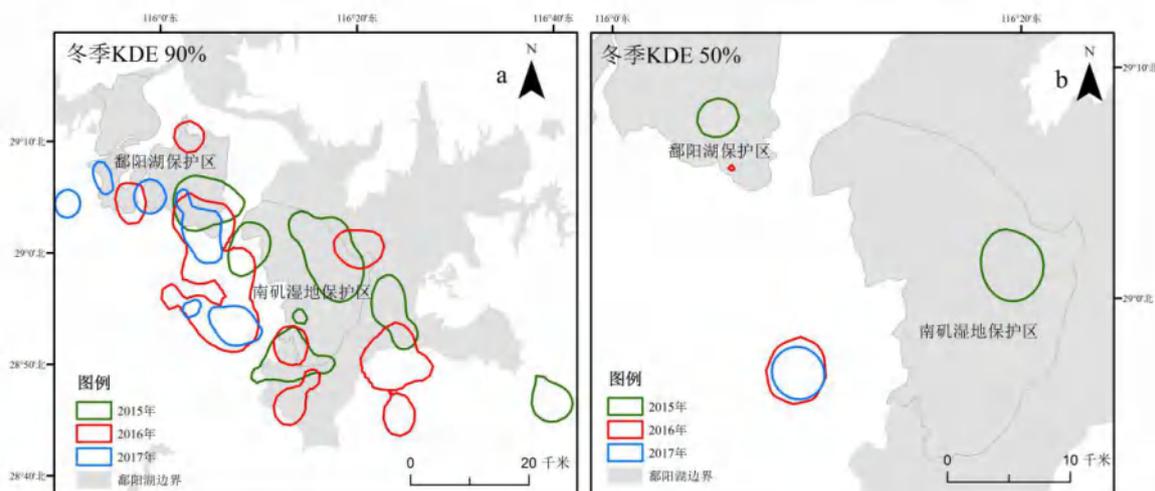


图 3-4 2015~2017 年冬季跟踪白鹤活动区重叠区变化

Figure 3-4 Home range overlapping changes in 2015~2017 winters of tracked Siberian Crane

### 3.4 讨论

#### 3.4.1 环志白鹤个体特征的地区差异

环志白鹤的喙长、翅长、跗跖长与环志地点无相关性，不会因为环志地点不同而产生差异，造成其体长和体重的原因可能是由于环志白鹤个体的年龄、中途停息地或越冬地食物情况所造成，白鹤春季到达中途停歇地的时间一般为 4 月中上旬，秋季为 10 月中上旬，到达越冬地的时间一般为 11 月~12 月之间。中途停歇地白鹤一般在 10 月中下旬

环志，冬季环志时间为 11 月下旬到 2 月上旬，结合环志个体体重差异，白鹤到达中途停歇地之前经过了其由繁殖地到中途停息地的迁徙，能量消耗较大，体重迅速下降（马志军等，2005）；越冬地白鹤环志时间为白鹤到达鄱阳湖的一段时间，摄取了大量的食物，进行了能量积累，体力得到恢复，体重明显增加（马志军等，2005）。鸟类在中途停歇地或越冬地的食物丰富度是影响鸟类体重的直接原因。

### 3.4.2 新发现 2 处保护区之外的中途停歇地

对于新发现了 2 处非保护区内的白鹤中途停歇地，即通辽市科左后旗哈布哈嘎查和兴安盟科右中旗珠日很淖尔，虽然对以上 2 处中途停歇地利用时间相对于莫莫格保护区和图牧吉保护区时间较短，但每年都会利用，较为频繁，不可忽略其重要意义。同时可以说明保护区外的个别区域仍然具有适宜白鹤生存和觅食的栖息地，应该加强对白鹤在此地的保护，减少科左后旗附近的放牧、耕地行为和人为干扰，可在白鹤觅食和栖息区域建立一个缓冲带或建立保护小区，加强白鹤的就地保护（罗金明等，2012）。

### 3.4.3 跟踪白鹤活动区面积差异分析

以往观察某一物种在某一地点的居留天数通常以第一次见到和最后一次见到某一物种的日期计算，通过白鹤在中国东北地区的各个中途停歇地的观察得知，2003 年春季，白鹤在扎龙保护区的停留时间为 57d（仇福臣等，2005）；自 2015 年秋季开始到 2017 年秋季，沈阳獾子洞湿地共停歇迁徙白鹤 218~512 只，但未有研究说明停留时间，刘晓强等在 2008 年记录到的白鹤在獾子洞湿地的停留时间为 21~32d 不等。考虑到种群迁徙具有动态性和不确定性，个体实际停留时间的理论值应小于种群停留时间值（王岐山等，2002）。本文应用的卫星跟踪技术可以准确地获取每只跟踪个体到达中途停歇地/越冬地以及离开中途停歇地/越冬地的时间。本研究中跟踪白鹤春季一般四月中旬达到中途停歇地，5 月下旬至 6 月上旬离开；秋季一般 9 月下旬到达中途停歇地，11 月中旬离开，春季和秋季在中途停歇地的停留时间在 36d~50d 左右。跟踪白鹤冬季一般 12 月上旬到达越冬地，次年 4 月上旬离开越冬地。

最小凸多边形法（MCP）是完全根据外围的位点生成活动区，可以直观地勾勒出研究的动物个体活动区域，所以在许多野生动物活动区中被广泛应用（Seaman D.E.，

1999; Kernohan B.J., 2001; Powell R.A., 2004), 但也因其容易受到边缘位点的影响, 不能够准确反映活动区内部位点和动物对活动区内空间资源的利用强度而饱受质疑 (Kernohan B.J., 2001; Powell R.A., 2004; Laver P.N., 2008)。但是有学者认为在分析动物活动区时采用包括 MCP 法在内的 2 种估算方法是一种合适且合理的选择 (Harris S. *et al.*, 1990; Liu XQ *et al.*, 2010)。在本研究中估算白鹤在中国东北地区的中途停歇地和鄱阳湖的越冬区面积时, MCP 法对白鹤活动位点中的边缘点异常敏感, 通常包括了白鹤未利用的栖息地以及两个保护区之间的大片村庄等人为活动密集区域, 因此选用了核密度估计法 (KDE) 来和 MCP 法互相对应, 既可以反应白鹤在活动区的理论面积, 也可以反应其对活动区的利用强度。

目前针对在中国东北地区停歇的白鹤数量调查研究表明白鹤主要分布在莫莫格保护区、图牧吉保护区及保护区周边湿地、向海保护区, 早年间也有过在扎龙湿地停留的记录 (仇福臣等, 2005; 黄方等, 2007), 其中在扎龙保护区内的分布点主要位于南山湖周围浅水区、老马场、军马场-狐狸芯周围的苇塘; 在莫莫格保护区主要分布区域为三门王家、后各力吐、古鲁台、白音套海 (Chun Guang He *et al.*, 2002; 孔维尧等, 2013)、鹅头泡 (江红星, 2010)、东胡不台、岔台等地 (李秀明, 2016); 在图牧吉保护区内的图牧吉水库中心的小岛边缘的浅水区域, 距离路边较远 (崔茂欢等, 2006), 经野外实地考察, 白鹤在 2017 年~2018 年在图牧吉水库的停留只次达到了 2800 只左右, 为图牧吉保护区历年停留数量最高; 在莫莫格保护区和图牧吉保护区之间湿地主要分布在大苇塘、格力吐泡、乌拉草泡子等地 (李秀明, 2016); 在向海保护区主要分布于付老文泡周边、团结屯东甸子边苇点、小塔甸子北侧等 33 个分布点以及海力营子西部, 白鹤停留数量在 1~86 只不等 (李秀明, 2016; 谷红亮等, 2018); 在辽宁沈阳獾子洞区域, 白鹤主要集中在獾子洞湿地南岸的浅水区域 (刘晓强等, 2008)。本研究中白鹤分布情况同以上研究一致, 卫星跟踪个体主要停留在莫莫格保护区内的少力泡子、白鹤湖、明嘎屯西部、岔台乡南部、万宝山东部和谢胡岗子; 图牧吉保护区内的图牧吉泡子、二道泡子、三道泡子; 两个保护区之间的大苇塘、格力吐泡、新发屯南部等地; 向海保护区内的西碱铺西侧, 以及内蒙古东部通辽科左后旗和科右中旗。

在鄱阳湖区越冬白鹤的数量调查表明白鹤主要分布在鄱阳湖保护区的主湖区、大湖池、池州湖等地; 南矶湿地保护区的常湖及宕下尾、康山保护区的南湖、李家岗、程家

池等地；其余分布在保护区范围之外的磨盘洲、官沙河、铁河乡等地。此外跟踪白鹤连续3年的主要活动区内会利用南矾湿地保护区南部边界浅滩、湖泊，在鄱阳湖水文条件变化而导致鸟类栖息地发生变化的背景下，鄱阳湖南部区域对白鹤、白枕鹤等鹤类的生存具有重要意义（Harris J. *et al.*, 2000），遗憾的是该三省交界的区域未被列入保护区的范围内，属于“三不管”地带，所以该区域未得到足够的重视与保护。不同跟踪白鹤个体年际间活动范围变化较大，白鹤951和白鹤953的跟踪时间较长，故其活动区变化可以反映跟踪个体年际间的变化，如白鹤951除2015年活动区范围较小之外，2016年和2017年的活动区和核心活动区的变化均比较稳定，同时连续3年的核心活动区范围较小也可说明食源资源较为集中导致白鹤位点集中，核心活动区面积较小。

#### 3.4.4 跟踪白鹤活动区重叠率差异分析

动物活动区重叠指数在一定程度上可以表示跟踪个体的集群状态和资源分配，若食物等环境资源均匀分布，则物种间活动区重叠指数较小，可以说明重叠区域内资源分布较集中，不同跟踪个体会重点利用，这时就形成了核心区域重叠现象（刘晓庆，2010）。且重叠现象也可以代表野生动物对某个区域的忠诚度，所谓忠诚度是指当野生动物倾向回到或留在一个特定范围或者与原有区域完全重叠的行为（官天培等，2015）。本研究中的跟踪个体在2015年~2017年的春季、秋季和冬季主要活动区和核心活动区的重叠指数都有所不同，且每年的重叠情况都有所差别，2015年和2016年春季，跟踪个体的核心活动区重叠指数均大于其主要活动区的重叠指数，2017年春季则无重叠现象，这说明2015年和2016年白鹤活动区内的食物资源、隐蔽环境及水环境均较集中，成为跟踪白鹤利用较多的区域，2017年区内环境也许发生变化，适宜白鹤生存的栖息地分布不均匀，使得白鹤出现了明显的选择性。2015年~2017年秋季，白鹤主要活动区重叠指数和核心活动区重叠指数相当，但都不高，说明秋季活动区内的白鹤需要的食物资源等必须环境因子分布相对来说比较分散。2015年~2016年冬季，白鹤核心活动区重叠指数远远大于其在主要活动区内重叠指数，更加说明重叠区内的食物资源特别集中，这与鄱阳湖活动区当年的水深、食物、人为干扰都有一定的关系。2017年白鹤在活动区内的出现了栖息地选择现象，可以推断当年核心活动区内食物资源分配不均，白鹤并没有重点利用。

## 第四章 跟踪白鹤栖息地研究

扁秆蔗草 (*Scirpus planicumis*) 和三江蔗草 (*Scirpus nipponicus*) 是白鹤东部种群在中途停歇地主要的食源植物 (惠淑荣等, 2009; 范巍巍等, 2012; 刘春悦等, 2013)。谷红亮等 (2018) 对向海保护区内白鹤迁徙停歇区生境选择的研究, 发现白鹤春季多栖息于湖泊 (水深 $\leq 30\text{cm}$ )、有香蒲 (*Typha angustifolia*) 和扁秆蔗草等植被的沼泽湿地和草甸生境; 秋季时通常在草甸休息和农田觅食。白鹤在莫莫格保护区内的栖息地植被主要以东方香蒲 (*Typha orientalis*)、扁秆蔗草、碱蓬 (*Suaeda glauca*) 等湿地植物为主, 东方香蒲和扁秆蔗草的根茎、碱蓬的茎叶以及蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*) 的嫩芽是白鹤的可能的食物来源。

白鹤在越冬地主要食源植物的根状茎、块状茎、鳞状茎、嫩芽以及水生植物的茎, 但是在底栖动物及水生动物较易获得时, 也会食用贝类、鱼类、蜗牛、蚯蚓和其他水生动物 (Meine *et al.*, 1996)。苦草是鄱阳湖水生植物的优势物种之一 (官少飞等, 1987), 分布在鄱阳湖常见的苦草有 2 种, 分别为苦草 *Vallisneria spiralis* (Lonn.) Hara 和刺苦草 *V. spinulosa* Yan (孙祥钟, 1991)。

为了进一步研究白鹤在中国东北地区中途停歇地和长江中下游鄱阳湖区的栖息地选择和栖息地利用机制, 本文以松嫩平原西部及内蒙古东部和江西鄱阳湖区鄱阳湖保护区、南矶湿地保护区为研究区, 应用卫星跟踪技术, 结合野外观测和地面采样, 对白鹤在中途停歇地的栖息地特征开展了研究, 以期从宏观和微观角度解揭示白鹤栖息地的选择和栖息地利用机制, 为白鹤及其栖息地的科学保护提供可靠的理论依据。

## 4.1 研究方法

### 4.1.1 跟踪白鹤中途停歇地和越冬地栖息地研究

#### 4.1.1.1 中途停歇地和越冬地取样地点的确定及栖息地取样

依据跟踪白鹤在 2015 年~2017 年春季、秋季和冬季所获得的位点信息，通过核密度估计法（Kernel Density Estimation, KDE）确定白鹤的活动范围及计算其活动区面积。选取 KDE 90% 和 KDE 50% 两个概率水平来确定白鹤的活动范围，将 KDE 50% 白鹤的活动范围定义为核心活动区，KDE 90% 为主要活动区，栖息地取样在 KDE 50% 的范围内完成，核密度估计结果显示，中途停歇地和越冬地分别有 21 个和 45 个地点具有核心活动区，结合保护区功能区划图及实地考察确定白鹤中途停歇地和越冬地的栖息地类型（表 4-1）。根据栖息地类型不同，将其分为天然栖息地和人工栖息地，前者包括我国湿地分类系统中的草本沼泽和淡水湖泊（中途停歇地）以及湖泊（越冬地），后者为农田，主要是玉米地（中途停歇地）、水稻田和藕塘（越冬地）。

野外调查时间为 2016 年和 2017 年春季、秋季和冬季，春季调查时间为 5 月~6 月，秋季调查时间为 9 月~10 月，冬季调查时间为 12 月至次年 3 月。在白鹤核心活动区域内进行随机取样，样方为 1m×1m，选取样方的 4 个角进行小样方取样，取样面积为 25cm×25cm。先记录样方表面的植物总盖度、植物种类、数量、每种植物的盖度和数量、水深等因子，然后用铁锹（长 30cm×宽 25cm）（中途停歇地）垂直下挖 30cm 和取样器（长 25cm×宽 25cm）（越冬地）将样方下泥土全部挖出，以筛选土样中每种植物的根茎。对于越冬区人力无法到达的区域，采用船只取样的方式，用采样夹（45cm×30cm）分别在船的左前、右前、左后和右后方进行采样。对小样方取样所获得的植物地上和地下部分分种类进行数量统计，并进行湿重和干重的测量。由于跟踪白鹤在越冬地的活动区多为人力、物力难以到达的区域，所以在活动区分析的基础上，结合野外观测数据，确定采样地点。栖息地取样情况如表 4-1。

表 4-1 白鹤中途停歇地和越冬地取样地点及样方数量

Table 4-1 Sampling sites and samples number of stopover sites and wintering area

分布地点 Distribution area	栖息地 类型 Habitat types	所属区域 Area	取样地点 Sampling sites	样方个数 Samples number						样方 总计 Total
				2016 年			2017 年			
				春季 Spring	秋季 Fall	冬季 Winter	春季 Spring	秋季 Fall	冬季 Winter	
中途停歇地	淡水湖泊	莫莫格保护区	少力泡子	0	0	—	0	10	—	145
		莫莫格-图牧吉	大苇塘	31	10	—	10	10	—	
		图牧吉保护区	图牧吉泡子	0	20	—	20	0	—	
		图牧吉保护区	三道泡子	0	10	—	10	4	—	
		莫莫格保护区	白鹤湖	5	0	—	5	0	—	
	草本沼泽	莫莫格保护区	明嘎屯西	20	22	—	0	20	—	190
		莫莫格-图牧吉	新发屯南	0	8	—	17	17	—	
		莫莫格-图牧吉	格力吐泡	10	0	—	19	0	—	
		莫莫格保护区	岔台乡南	0	0	—	20	0	—	
		向海保护区	西碱铺西	0	0	—	5	0	—	
		图牧吉保护区	二道泡子	0	0	—	5	0	—	
		莫莫格保护区	乌拉草泡子	—	—	—	—	—	—	
		向海保护区	兴隆中学窝棚	—	—	—	—	—	—	
		向海保护区	利民泡	—	—	—	—	—	—	
		通辽科右中旗	珠日很淖尔	0	0	—	10	0	—	
		通辽科左后旗	哈布嘎查	0	0	—	17	0	—	
		齐齐哈尔富裕县	长沟村南	—	—	—	—	—	—	
		齐齐哈尔富裕县	后二道营子	—	—	—	—	—	—	
		农田	莫莫格保护区	万宝山东	0	15	—	0	25	
莫莫格保护区	谢胡岗子		0	5	—	0	0	—		
大庆市杜尔伯特县	聚宝山村		—	—	—	—	—	—		
越冬地	湖泊	鄱阳湖保护区	大湖池	—	—	20	—	—	19	70
		鄱阳湖保护区	大汉湖	—	—	15	—	—	16	
	农田	江西南昌市	恒湖垦殖场	—	—	21	—	—	32	68
		江西南昌市	五星垦殖场	—	—	5	—	—	10	

## 4.1.1.2 中途停歇地栖息地食源植物的营养成分和能量值分析

依据 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准食品中多元素的测定》中的电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)、GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法、GB5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》中的酸水解法和 GB 5009.9-2016《食品安全国家标准食品中淀粉的测定》中的酸水解法对白鹤食源植物根茎中的微量元素和有机物含量以及能量值进行检测(表 4-2)。

表 4-2 白鹤食源植物根茎微量元素和有机物含量测定结果

Table 4-2 Inspection results of trace elements and organic compounds of the rhizomes of food plants used by Siberian Crane

项目	单位	三江蔗草	扁秆蔗草	花蔺	鹅绒委陵菜	玉米
Term	Unit	<i>S.nipponicus</i>	<i>S.planiculmis</i>	<i>B.umbellatus</i>	<i>P.anserina</i>	<i>Zea mays Linn.</i>
硼	10 <sup>-3</sup> mg/g	0.016	0.001	0.023	0.029	—
锌	10 <sup>-3</sup> mg/g	0.007	0.012	0.080	0.029	0.002
铁	10 <sup>-3</sup> mg/g	2.030	0.697	1.180	1.210	0.002
磷	10 <sup>-3</sup> mg/g	0.171	1.270	3.320	0.297	0.218
钙	10 <sup>-3</sup> mg/g	4.790	1.160	5.420	2.200	0.014
钠	10 <sup>-3</sup> mg/g	2.310	1.080	2.200	0.494	0.003
钾	10 <sup>-3</sup> mg/g	0.719	2.330	3.590	0.319	0.300
镁	10 <sup>-3</sup> mg/g	1.760	0.728	3.860	1.290	0.096
蛋白质	10 <sup>-3</sup> g/g	0.016	0.055	0.152	0.033	0.087
脂肪	10 <sup>-3</sup> g/g	0.017	0.022	0.038	0.020	0.038
淀粉	10 <sup>-3</sup> g/g	0.236	0.182	0.421	0.112	0.073
能量	kJ/g	13.650	13.120	14.700	13.890	13.650

## 4.1.1.3 数据处理与分析

(1) 统计分析采用 Mann-Whitney 检验, 分别检验了 2017 年春季淡水湖泊和草本沼泽的植被密度、植被盖度和植被高度, 2016 年和 2017 年春季、秋季食源植物的根茎密度和根茎干重, 差异显著性水平设定为 0.05。以上分析在 SPSS 24.0 软件中进行操作。

(2) 重要值 (Important value, IV) 是评价某一植物种群在群落中作用的综合性数量指标, 采用重要值对 2017 年春季跟踪白鹤的 15 个中途停歇地栖息地植物群落进行分析, 计算公式 (钱法文等, 1993; 严慧玲等, 2015):

$$V_{IV} = (C' + F' + D') / 3$$

即,

$$V_{IV} = \left( \frac{c}{C} + \frac{f}{F} + \frac{d}{D} \right) / 3$$

其中  $V_{IV}$  表示植物的重要值,  $C'$  为相对盖度,  $F'$  为相对频度,  $D'$  为相对密度;  $c$  为该物种的盖度,  $C$  为群落中所有种的盖度和;  $f$  为该物种的频度,  $F$  为群落中所有种的频度和;  $d$  为该物种的密度,  $D$  为群落中所有种的密度和。

(3) 物种优势度选用 4 个指标, 其中包括 2 个综合多样性指数, 1 个丰富度指数和 1 个均匀度指数, 各指标计算公式如下 (赵小雷等, 2010):

$$\text{Simpson 多样性指数 } D = 1 - \sum_{i=1}^S [N_i(N_i - 1) / N(N - 1)];$$

$$\text{Shannon-wiener 多样性指数 } H = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \ln p_i);$$

$$\text{Margalef 丰富度指数 } R = (S - 1) / \ln N。$$

$$\text{Pielou 均匀性指数 } J = H / \ln S$$

式中,  $P_i$  表示第  $i$  种个体数占群落个体总数的比例, 即  $P_i = N_i / N$ ;  $N_i$  表示物种  $i$  的个体数;  $N$  表示所有种的个体总数;  $S$  表示群落物种数。

## 4.2 结果

### 4.2.1 跟踪白鹤中途停歇地栖息地

#### 4.2.1.1 中途停歇地栖息地类型和停留时间

根据 2015 年~2017 年跟踪位点信息, 共确定了 21 个白鹤春季和秋季中途停歇地 (表 4-1)。统计结果显示, 共有淡水湖泊 (占有中途停歇地类型的 23.81%)、草本沼泽 (61.90%) 和农田 (14.29%) 3 种类型的栖息地, 每只跟踪个体在 3 种栖息地中的平均停留时间分别为 15.08d、12.99d 和 18.73d。

计算 2016 年和 2017 年所有跟踪个体在 3 种栖息地中的停留时间占比 (表 4-3), 春季 (淡水湖泊: 14.48%, 草本沼泽: 77.28%, 农田: 8.39%) 与秋季 (淡水湖泊: 23.88%, 草本沼泽: 55.44%, 农田: 20.83%) 对比发现, 春季跟踪个体在草本沼泽中的停留时间较秋季为长, 淡水湖泊和农田停留时间较秋季短。Mann-Whitney 检验结果表明春季和秋季之间在淡水湖泊 ( $Z=0.148$ ,  $P=1.000$ )、草本沼泽 ( $Z=-1.188$ ,  $P=0.284$ ) 和农田 ( $Z=0.586$ ,  $P=0.622$ ) 中的停留时间均无显著差异。

表 4-3 2016 年和 2017 年春季和秋季跟踪白鹤不同栖息地停留时间占比

Table 4-3 Duration proportions at different habitats in springs and autumns of 2016 and 2017

彩环 Color bands	年份 Year	季节 Seasons	停留时间占比/% Duration proportion/%		
			淡水湖泊 Fresh lake	草本沼泽 Herb marsh	农田 Farm land
951	2016	春季	17.04	59.3	23.66
	2016	秋季	0	0	100
	2017	春季	39.61	33.45	26.91
	2017	秋季	72.11	0.10	27.81
953	2016	春季	9.13	0	90.87
	2016	秋季	20.70	60.34	18.97
	2017	春季	0	75.67	24.33
	2017	秋季	57.80	42.21	0
955	2016	春季	22.91	75.18	1.91
958	2016	春季	10.40	56.57	33.00
	2016	秋季	0	83.59	16.41
R02	2017	春季	74.07	0	25.93
	2017	秋季	0	0	100

#### 4.2.1.2 中途停歇地栖息地植物群落特征

依据 2017 年春季的采样结果对白鹤栖息地植物群落进行分析。在 138 个样方中采集到 11 种植物，隶属 7 目 9 科。淡水湖泊类型的栖息地中共有植物 7 目 7 科 9 种，以莎草科 (Cyperaceae) 植物最多，有扁秆藎草、三江藎草和水葱 (*Schoenoplectus tabernaemontani*) 3 种，其次为伞形科 (Apiaceae)、蓼科 (Polygonaceae)、天南星科 (Araceae)、花蔺科 (Butomaceae) 和茨藻科 (Najadaceae) 和禾本科 (Gramineae) 植物各 1 种，分别为蛇床 (*Cnidium monnieri*(L.) Cuss.)、酸模叶蓼 (*Polygonum hunbergii*)、菖蒲 (*Acorus calamus*)、花蔺 (*Botomus umbellatus*)、小茨藻 (*Najas minor*) 和芦苇 (*Phragmites communis*)。草本沼泽中植物种类共有 7 目 8 科 11 种，较淡水湖泊植物种类多 1 科 2 种，分别为禾本科的水稗 (*Echinochloa phyllopogon*) 和蔷薇科 (Rosaceae) 的鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)。农田类型栖息地主要为玉米地。

由表 4-4 可知，淡水湖泊植被群落优势种为扁秆藎草，伴生种有三江藎草、小茨藻和花蔺，其植被平均高度为  $24.46 \pm 15.78 \text{cm}$ ，植被盖度为 65%，植株密度为  $240.59 \pm 123.77 \text{棵/m}^2$ ；草本沼泽植被群落较淡水湖泊丰富，有扁秆藎草、水稗、鹅绒委陵菜和三江藎草为优势种的 4 种植被群落类型。在草本沼泽的 4 种植被群落中，按照植

被盖度从大到小为鹅绒委陵菜群落>水稗群落>三江蔗草群落>扁秆蔗草群落；植株密度排序为扁秆蔗草>鹅绒委陵菜群落>水稗群落>三江蔗草群落；植株平均高度排序为三江蔗草群落>扁秆蔗草群落>鹅绒委陵菜群落>水稗群落。淡水湖泊和草本沼泽栖息地植被盖度间差异显著（Mann-Whitney 检验  $Z=-2.951$ ,  $P=0.003$ ），密度间显著不差异（ $Z=0.525$ ,  $P=0.600$ ），平均高度间差异极显著（ $Z=-8.374$ ,  $P=0.000$ ）。

表 4-4 白鹤中途停歇地不同类型的栖息地植被组成

Table 4-4 Plant species composition of different habitat types at stopover sites

栖息地类型 Habitat types	优势种 Dominant species	伴生种 Companion species	盖度/% Coverage	密度(株/m <sup>2</sup> ) Density	平均高度(cm) Mean height
淡水湖泊	扁秆蔗草	三江蔗草、小茨藻、花蔺	65	240.59±123.77	26.46±15.78
草本沼泽	扁秆蔗草	三江蔗草、鹅绒委陵菜、水稗、酸模叶蓼、芦苇、水葱、花蔺、菖蒲、蛇床	40	331.43±316.12	13.56±5.71
	水稗	扁秆蔗草、鹅绒委陵菜、芦苇、水葱、蛇床、菖蒲、酸模叶蓼	60	219.25±158.90	3.10±1.84
	鹅绒委陵菜	水葱	70	237.50±114.24	12.59±5.92
	三江蔗草	扁秆蔗草、芦苇	45	152.80±96.74	22.75±18.70

#### 4.2.1.3 中途停歇地栖息地植物组成种特征

#### 4.2.1.4 中途停歇地栖息地群落组成种的重要性分析

表 4-5 显示，白鹤栖息地淡水湖泊的 4 种植物中，扁秆蔗草的重要值最大，其次为三江蔗草、花蔺和小茨藻，其中扁秆蔗草、三江蔗草和花蔺的根茎是白鹤在栖息地中可能的食物来源。草本沼泽中各种植物的重要值从大到小分别为扁秆蔗草、水稗、水葱、鹅绒委陵菜、三江蔗草、芦苇、酸模叶蓼、菖蒲、花蔺和蛇床，其中水稗、水葱和芦苇是松嫩平原湿地中的常见物种，分布广泛，可以为白鹤的栖息提供一定的隐蔽条件，而扁秆蔗草、鹅绒委陵菜和三江蔗草的重要值占比达到 70.7%，充分说明了这 3 种植物在白鹤栖息地中的重要性。

表 4-5 不同白鹤栖息地类型植被群落物种的重要值

Table 4-5 Important value of the plants of vegetation communities of different habitats of Siberian Crane

栖息地类型 Habitat types	种名 Species	F'	C'	D'	V <sub>IV</sub>
淡水湖泊	扁秆蔗草	50.16	45.45	55.68	50.43
	三江蔗草	34.86	23.64	24.96	27.82
	小茨藻	7.62	14.55	4.48	8.88
	花蔺	7.37	16.36	14.88	12.87
	合计	100.00	100.00	100.00	100.00
草本沼泽	扁秆蔗草	47.73	34.12	47.88	43.25
	三江蔗草	6.87	7.11	4.62	6.20
	鹅绒委陵菜	16.10	11.37	6.90	11.46
	花蔺	0.96	1.90	1.07	1.31
	芦苇	2.36	7.11	1.13	3.53
	水葱	6.66	9.48	29.07	15.07
	水稗	17.80	20.85	8.82	15.82
	蛇床	0.15	0.95	0.08	0.39
	菖蒲	0.64	3.32	0.20	1.38
	酸模叶蓼	0.74	3.79	0.23	1.59
	合计	100.00	100.00	100.00	100.00

#### 4.2.1.5 中途停歇地植被群落多样性指数

跟踪白鹤在研究区内天然栖息地的植被群落主要为位于淡水湖泊和草本沼泽，故本研究仅对研究区内淡水湖泊和草本沼泽内各植被群落的 4 个多样性测度指标分别进行计算（图 4-1），2 种栖息地类型的群落结构多样性指标间存在一定的差别。具体表现为草本沼泽的群落的多样性指数均大于淡水湖泊，这表明草本沼泽内的植被组成物种最丰富、群落结构最稳定，对维持群落结构与稳定起着关键作用。

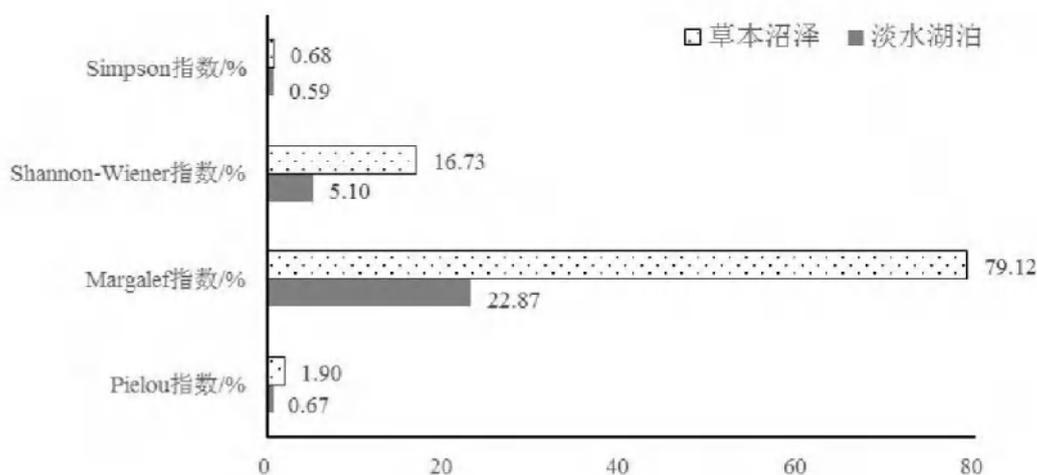


图 4-1 不同栖息地类型植被群落的多样性指数

Figure 4-1 Diversity index of community between different habitat types/%

#### 4.2.1.6 中途停歇地食源植物及其根茎

依据对跟踪白鹤栖息地的采样结果，白鹤可能的食源植物有扁秆蔗草、三江蔗草、花蔺、鹅绒委陵菜和玉米 5 种。淡水湖泊中食源植物主要为扁秆蔗草，草本沼泽中食源植物有扁秆蔗草、三江蔗草、花蔺和鹅绒委陵菜，农田全部为玉米（表 4-6）。经 Mann-Whitney 检验，作为淡水湖泊和草本沼泽中共有的食源植物，扁秆蔗草在 2 种栖息地类型中的根茎密度和根茎个数之间差异不显著（ $Z=-1.173$ ， $P=0.241$ ）。

表 4-6 跟踪白鹤中途停歇地不同栖息地类型食源植物和地下生物量

Table 4-6 Food plants and underground biomass in different habitats of Siberian Crane

栖息地类型	食源植物种类	根茎颗粒密度 (个/m <sup>2</sup> )	根茎颗粒干重 (克/m <sup>2</sup> )
Habitat types	Food plants	Tuber density	Dry weight
淡水湖泊	扁秆蔗草	161.68±154.47	45.05±43.49
草本沼泽	扁秆蔗草	142.83±146.61	33.49±37.93
	三江蔗草	14.00±42.44	3.64±10.64
	花蔺	46.00±2.92	44.60±22.91
	鹅绒委陵菜	52.00±0.92	14.50±4.05
农田	玉米	44.64±37.67	7.03±5.73

#### 4.2.1.7 中途停歇地食源植物根茎中微量元素、能量物质及能量比较

以表 3 种微量元素和有机物的测定结果为标准，根据野外实际采样情况，计算白鹤跟踪白鹤中途停歇地 5 种食物的 8 种微量元素及 3 种有机物的含量（表 4-7）。草本沼泽中每平方米内的微量元素均为最高，包括对鸟体最重要的 P 元素和 Ca 元素，其次为淡水湖泊，农田中含量最低。说明草本沼泽在为鸟类补充这 2 种最重要微量元素的作用中

贡献最大。有机物含量方面，每平方米蛋白质、脂肪和淀粉含量排序依次为草本沼泽>淡水湖泊>农田。通过能量值计算，草本沼泽可提供的能量最多（1348.57kJ/g），其次为淡水湖泊（591.06kJ/g），农田中最少（51.60kJ/g），总体来说，草本沼泽是白鹤在中途停歇地偏好的生境类型。

通过计算食源植物能量值可知，三江蔗草、扁秆蔗草、花蔺、鹅绒委陵菜和玉米分别可为鸟体提供能量 16.93kJ/m<sup>2</sup>、326.64kJ/m<sup>2</sup>、72.05kJ/m<sup>2</sup>、11.10kJ/m<sup>2</sup>、和 3.83kJ/m<sup>2</sup>。而草本沼泽栖息地中均含有以上食源植物的根茎，说明其食物资源最为丰富，可以为白鹤提供最多的营养物质和能量，淡水湖泊次之，农田最少。检测结果表明虽然扁秆蔗草单位质量内的微量元素、有机物的含量不是最多的，但是因其在白鹤觅食生境中分布广泛，可获得性最高，每平方米为白鹤提供的总能量最多，同时也符合白鹤在中途停歇地的食物选择和取食习性，因此是白鹤可选择的最优食源植物；玉米地中玉米颗粒具有较高的可获得性，且春季未耕种和秋季收割完的农田中人为干扰较少，白鹤可以进行一定的能量补充，也是白鹤较为理想的觅食地之一。

表 4-7 不同栖息地类型中微量元素、有机物含量及能量值

Table 4-7 Content of trace elements and organic compounds and energy value in different habitat types

项目 Items	单位 Unit	不同栖息地类型中的含量/m <sup>2</sup> Content in different habitat types/m <sup>2</sup>		
		淡水湖泊 Fresh water	草本沼泽 Herb marsh	农田 Farmland
硼	10 <sup>-3</sup> mg/g	0.06	1.57	-
锌	10 <sup>-3</sup> mg/g	0.54	4.43	0.01
铁	10 <sup>-3</sup> mg/g	31.40	101.24	0.01
磷	10 <sup>-3</sup> mg/g	57.21	195.57	0.82
钙	10 <sup>-3</sup> mg/g	52.26	330.67	0.05
钠	10 <sup>-3</sup> mg/g	48.65	150.20	0.01
钾	10 <sup>-3</sup> mg/g	104.97	245.50	1.13
镁	10 <sup>-3</sup> mg/g	32.80	221.95	0.36
蛋白质	10 <sup>-2</sup> g/g	2.50	9.17	0.33
脂肪	10 <sup>-2</sup> g/g	0.99	2.79	0.14
淀粉	10 <sup>-2</sup> g/g	8.20	27.39	0.28
能量	kJ/g	591.06	1348.57	51.60

## 4.2.2 跟踪白鹤越冬地栖息地

### 4.2.2.1 越冬地栖息地类型和越冬时间

根据 2015 年~2017 年跟踪位点信息,共确定了 45 个白鹤越冬地点(表 4-1)。统计结果显示,共有湖泊(占有越冬地类型的 46.67%)、浅滩(17.78%)、农田(35.55%) 3 种类型的栖息地,其中农田分为水稻田(33.33%)和藕塘(2.22%),每只跟踪个体在 4 种栖息地中的平均越冬时间分别为 26.23d、16.74d 和 18.04d。

计算 2016 年和 2017 年所有跟踪个体在 3 种栖息地中的越冬时间占比(表 4-8),2016 年(湖泊: 46.50%; 浅滩: 21.87%; 农田: 31.63%)与 2017 年(湖泊: 36.60%; 浅滩: 37.60%; 农田: 25.80%)对比发现,2016 年冬季跟踪个体在湖泊和农田中越冬时间较 2017 年长,浅滩较 2017 年短, Mann-Whitney 检验结果表明 2016 年冬季和 2017 年冬季之间在湖泊 ( $Z=0.114$ ,  $P=0.909$ )、浅滩 ( $Z=1.026$ ,  $P=0.383$ ) 和农田 ( $Z=0.800$ ,  $P=0.517$ ) 中的越冬时间均无显著差异。

表 4-8 2016 年和 2017 年冬季跟踪白鹤不同栖息地越冬时间占比

Table 4-8 Duration proportions at different habitats in winters of 2016 and 2017

彩环 Color bands	年份 Year	越冬时间占比% Duration proportion/%		
		湖泊 Lake	浅滩 Shallows	农田 Farm land
951	2016	15.69	41.91	42.40
	2017	18.80	55.65	25.55
953	2016	84.27	2.53	13.20
	2017	22.13	27.35	50.52
958	2016	51.34	7.50	41.16
R00	2016	0.85	0.15	0.00
R02	2016	23.31	46.19	30.51
	2017	70.97	9.62	19.41
R03	2016	0.65	0.35	0.00
L08	2016	23.97	23.14	52.89

### 4.2.2.2 越冬地栖息地食物资源

由于白鹤越冬地核心活动区内多为人力、物力难以到达的栖息地类型,于是结合野外观测数据进行栖息地采样,湖泊类型栖息地中选择大湖池和大汉湖,农田类型栖息地分别选择恒湖垦殖场(水稻田)和五星垦殖场(藕塘),以上采样地点除被跟踪白鹤利用外,在野外考察中也观测到 50~500 只不等的白鹤群体。在湖泊、水稻田和藕塘中分

别采样 70 个、32 个和 10 个，其中在湖泊中并未发现植被地上部分，只能根据湖泥中的根茎判断植株类型；水稻田中长有水稻，藕塘中为人工种植的莲藕。

在对跟踪白鹤核心活动区的采样结果的基础上，确定白鹤在研究区内的主要食物，其主要原则是：（1）野外直接观察白鹤进食；（2）观察周围环境有白鹤啄痕及脚印；（3）参考白鹤及其他鹤类在鄱阳湖越冬觅食的相关文献；（4）根据植物种类及其根茎的性质进行判断，例如白鹤对于某些具有膨大根茎且含有淀粉的植物，极有可能是白鹤喜食的食物。以上原则作为标准，在样地符合白鹤食物特征的植物有苦草冬芽、水稻颗粒、莲藕 3 种。

对于采样地只有位于恒湖垦殖场的水稻田中生有植被（表 4-9），其中 2016 年和 2017 年植株密度之间无显著差异（2016 年：植株密度  $SD=5.4$  棵/ $m^2$ ；2017 年：植株密度  $SD=2.38$  棵/ $m^2$ ），植株高度之间差异不显著（2016 年：植株高度  $SD=2.53$ cm；2017 年：植株高度  $SD=1.71$ cm），说明在 3 月下旬至 4 月上旬，水稻田中的水稻生长情况在年际间没有明显变化，水稻高度不高，对白鹤觅食的隐蔽作用不大。水稻颗粒个数之间差异不显著（2016 年  $SD=15.10$  颗/ $m^2$ ，2017 年  $SD=6.47$  颗/ $m^2$ ），干重间也无显著差异（2016 年  $SD=0.45$ g/ $m^2$ ，2017 年  $SD=1.06$ g/ $m^2$ ）。采样结果表明，2016 年和 2017 年大湖池和大汉湖内苦草冬芽密度无显著差异（2016 年：大湖池  $SD=5.12$  颗/ $m^2$ ，大汉湖  $SD=1.58$  颗/ $m^2$ ；2017 年：大湖池  $SD=2.14$  颗/ $m^2$ ，大汉湖  $SD=0.42$  颗/ $m^2$ ），苦草冬芽干重之间无显著差异（2016 年：大湖池  $SD=1.59$ g/ $m^2$ ，大汉湖  $SD=1.21$ g/ $m^2$ ；2017 年：大湖池  $SD=0.55$ g/ $m^2$ ，大汉湖  $SD=0.23$ g/ $m^2$ ），说明两个湖区内苦草冬芽分布不均匀，食物资源较少，无法满足野外大群白鹤的取食。藕塘中白鹤主要取食莲藕，2016 年和 2017 年莲藕密度无显著差异（2016 年  $SD=0.75$  节/ $m^2$ ，2017 年  $SD=1.65$  节/ $m^2$ ），莲藕干重之间差别较大（2016 年  $SD=6.42$ g/ $m^2$ ，2017 年  $SD=48.99$ g/ $m^2$ ）。

表 4-9 跟踪白鹤越冬地不同栖息地食物类型和地下生物量

Table 4-9 Food plants types and underground biomass in different habitats of Siberian Crane

年份	采样地点	食物类型	植株密度 (棵/m <sup>2</sup> )	植株高度 (cm)	地上部分干重 (g)	食物密度 (个/m <sup>2</sup> )	食物干重 (g/m <sup>2</sup> )
Years	Sampling sites	Food types	Plant density	Plant height	Plant dry weight	Food density	Food dry weight
2016	大湖池	苦草冬芽	0	0	0	4.09±5.12	0.98±1.59
	大汉湖	苦草冬芽	0	0	0	3.4±1.58	0.80±1.21
	恒湖垦殖场	水稻	12.53±5.40	5.1±2.53	3.2±1.58	23.47±15.10	0.70±0.45
	五星垦殖场	莲藕	0	0	0	0.8±0.75	7.04±6.42
2017	大湖池	苦草冬芽	0	0	0	3.37±2.04	0.80±0.55
	大汉湖	苦草冬芽	0	0	0	2.4±0.42	0.74±0.23
	恒湖垦殖场	水稻	11.92±2.38	4.25±1.71	2.6±1.23	33.25±6.47	0.96±1.06
	五星垦殖场	莲藕	0	0	0	3.02±1.65	72.18±48.99

## 4.3 讨论

### 4.3.1 跟踪白鹤中途停歇地栖息地

#### 4.3.1.1 中途停歇地栖息地类型及栖息地特征

以往的研究通常根据对白鹤在某地的种群数量及停留时间长短对白鹤中途停歇地的重要性进行描述,如 2003 年春季扎龙保护区内白鹤数量为 464 只,停歇时间为 20d (仇福臣等, 2005);自 2015 年秋季开始到 2017 年秋季,沈阳獾子洞湿地共停歇迁徙白鹤 218~512 只,停留时间为 21~32d 不等 (刘晓强等, 2008)。李秀明 (2016) 将白鹤停歇时间超过 20d 的地点定义为白鹤长期补给停歇地,即白鹤的重要中途停歇地。本研究虽然未对跟踪白鹤重要中途停歇地进行定义,但是在其研究基础上,又根据白鹤在某种栖息地内的停留只次情况,实际上已经涵盖了重要中途停歇地,所以在跟踪白鹤核心活动区内的采样情况在某种程度上可以代表白鹤在重要中途停歇地栖息地概况。

本研究中白鹤主要利用天然栖息地,可以直接反映出白鹤的取食偏好。草本沼泽是白鹤在中途停歇地的主要栖息地类型,每年的 4~5 月,松嫩平原西部沼泽中的冰面已经融化,草本沼泽内有适当的水、萌发的植物和甲壳动物及软体动物,为白鹤提供了良好的栖息环境和丰富的食物储备 (谷红亮等, 2016),可以满足白鹤在春季迁徙时的能量补充。9~10 月之间,松嫩平原气温处于零上,草本沼泽中有些植被地上部分已经凋零或被牛羊啃食,但地下根茎仍旧丰富,可以为白鹤提供很好的食物来源,为白鹤自中途

停歇地至越冬地的迁徙进行能量补充。谷红亮等(2018)对向海白鹤春、秋季生境选择研究表明:白鹤在迁徙期偏好利用沼泽、湖泊、草甸和农田类型的栖息地,且多在秋季利用玉米地和高粱地,这和本研究中结果相一致,白鹤春季和秋季均会在玉米地停留较长时间,但秋季停留时间明显高于春季,主要原因可能是秋季收割之后至次年春季未播种前,农田中残留散落的玉米颗粒可供白鹤取食。野外调查发现,白鹤在秋季收割前会直接取食玉米棒上的玉米,此时农田中人为干扰较少、环境隐蔽且食物量较大,也可以作为白鹤的食物来源。此外,白鹤对人工栖息地的利用并非只有玉米地,在其位于图牧吉保护区南部的核心活动区中有一块水稻田,地上部分已经残缺不全,但是地下有着丰富的扁秆藨草根茎,说明水稻田因扁秆藨草入侵也成为白鹤觅食栖息地之一(杨玲等,2010)。实际上,近年来关于鸟类利用人工栖息地的研究并不少见,次仁等(2009)通过研究黑颈鹤与林周县澎波河谷地区农业的关系,发现黑颈鹤会高频利用未秋翻地,冬小麦地次之。此外,扎龙湿地丹顶鹤孵化期和春季觅食期利用农田(吴庆明等,2009;吴庆明等,2017)、白鹤、白枕鹤在越冬地利用藕塘等人工栖息地方面也有相关研究(邵明勤等,2018),这也许是鸟类为了适应环境改变而做出的选择(谷红亮等,2018; Burnham J. *et al.*, 2017)。

一些研究结果表明鸟类的分布不仅受到环境因子的作用,还与栖息地中植被结构具有显著相关性(James F.C., 1971; James F.C. *et al.*, 1982)。春季白鹤在莫莫格保护区偏好选择生有扁秆藨草和野稗群落,并伴生有虎尾草(*Chloris virgata Swartz*)和荆三棱(*Scirpus yagara Ohwi*)等植物的环境(范巍巍等,2012),这与本研究中的结果一致。在白鹤重要中途停歇地的15个采样地点中,白鹤偏好于扁秆藨草群落、三江藨草群落、水稗群落和鹅绒委陵菜群落4种群落,选择植被盖度40%~70%,植被密度 $\leq 331$ 棵/ $m^2$ 、植被平均高度 $\leq 26.5$ cm的栖息地活动。姜维军等(2007)通过对春季图牧吉白鹤栖息地特征的研究表明,白鹤倾向于在植被密度 $\geq 70$ 棵/ $m^2$ 的生境中下觅食,远离过高的植被密度和植被盖度,这和本研究中的结果部分一致,这可能和研究区内不同气候条件、水位等因素有关。种群的群落结构分布除受到物种本身的生态学特性外,还与物种的生长环境有关。淡水湖泊中,物种淹水时间相对较长,土壤含水量较高,使得植物生长和分布受到一定程度的影响,在小尺度上物种相对单一,所以生物多样性指数较低。草本沼泽中植物种类较多,但受限于营养和生存空间,导致其植被平均高度低于淡水湖

泊，所以其多样性指数、丰富度指数以及均匀度指数较淡水湖泊高。此外，重要性分析结果说明了扁秆藨草、三江藨草和鹅绒委陵菜在跟踪白鹤栖息地植被中占据重要地位，其植物高度和密度为白鹤提供了一定的隐蔽条件，其地下根茎还是白鹤的主要食物。

#### 4.3.1.2 食源植物及能量值

白鹤东部种群迁徙时会途径辽宁省盘锦、河北省北戴河沿海地区、吉林省向海和莫莫格区域、黑龙江省乌裕尔河的下流和扎龙等地（李方满，1997；何春光等，2002），并且以中途停歇地栖息地中植物的根、茎、嫩芽为食（吕宪国，2004），其中在辽宁法库獾子洞的主要食物为香蒲和三棱草（*Sparganium coreanum*）；在松嫩平原西部主以扁秆藨草和三江藨草等根茎类植物（惠淑荣等，2009；范巍巍等，2012；刘春悦等，2013）为食；在扎龙地区一般取食沉水植物的根、茎及嫩芽（仇福臣等，2005）。本研究中跟踪白鹤在松嫩平原西部主要以扁秆藨草根茎为食，其次为花蔺、鹅绒委陵菜、三江藨草和玉米颗粒，与以上研究结果部分一致，扁秆藨草分布最广，对于白鹤来说可获得性最高，且主要生长在草本沼泽中，这不仅符合白鹤的栖息环境，也有白鹤的食物资源。外业调查发现，相较于扁秆藨草适宜生长水位的 0~30cm（姜维军等，2007；姜海波，2016；谷红亮等，2018），三江藨草更能适应水深较深的环境，植株高度可达到 1m 以上，且并非所有的三江藨草都长有地下根茎，其在研究区内分布范围较扁秆藨草窄。此外，三江藨草当年生根茎质地更加柔软，淀粉含量要高于扁秆藨草，这和孔维尧等（2013）的研究也保持一致，三江藨草无法满足中途停歇地中大群白鹤的高强度取食。

通常认为水深、食物和隐蔽条件是影响鸟类栖息地利用的重要因素（Reynolds M.H. *et al.*, 2010; Austin J.E. *et al.*, 2016），有研究表明食物的营养成分也是影响野生动物取食的因素之一，水、矿质元素、碳水化合物、蛋白质、脂类和维生素是其重要的营养来源（罗旭等，2012），动物尽可能地选择高质量（高 N、P 含量）食物（史海涛等，2000）。以食源植物中微量元素、有机物及能量为标准，计算白鹤栖息地实际提供的能量值，结果显示在淡水湖泊、草本沼泽和农田 3 种栖息地中，草本沼泽可以提供最多的微量元素、有机物及能量，其次为淡水湖泊和农田，同时结合 4 种食源植物的物种特征、营养成分及重要值，本研究认为扁秆藨草以其分布广、可获得性高、供能高、隐蔽性强等特点，成为白鹤中途停歇栖息地中最优势的物种。扁秆藨草群落既为白鹤提供安全的栖息场所，又可提供充足的食物来源，所以在中途停歇地应尽量保证扁秆藨草的优

势种地位，以便为白鹤提高更好的栖息条件。此外，张琼（2014）对秋季莫莫格保护区内的扁秆蔗草根茎的营养成分进行了分析，得出每克扁秆蔗草根茎可为白鹤提供的能量为 16.43 kJ，这与本研究的检测结果相近。

### 4.3.2 跟踪白鹤越冬地栖息地

#### 4.3.2.1 越冬地栖息地类型及栖息地特征

鄱阳湖保护区是白鹤东部种群在鄱阳湖区最主要的越冬地，其水位会根据长江水位高低及鄱阳湖内各个内河注入量而具有明显的季节性变化，通常来说，每年的 10 月至次年 3 月是鄱阳湖的枯水期，此时各个湖泊的周围会出现大面积的湖滩、草洲等生境类型（严丽等，1988）。自 1981 年开始，鄱阳湖保护区的蚌湖、大湖池、中湖池、象湖、大汉湖等就是白鹤在鄱阳湖越冬的主要湖区（周福璋等，1982；严丽等，1988；钱法文，2009；单继红等，2012），这与本研究中对白鹤数量的统计保持部分一致，不同的是在蚌湖内未统计到白鹤，这说明大汉湖、大湖池多年来食物资源相对丰富，白鹤数量比较稳定。

越冬白鹤在鄱阳湖一般选择浅水区域、泥滩等天然湿地，贾亦飞等（2010）首次观察到白鹤在草洲上觅食，认为造成这种现象的原因由洪涝引起的食物短缺，待次年水位波动恢复正常后，白鹤则继续利用浅水生境（Jia *et al.*, 2013; Burnham *et al.*, 2017）。孙志勇等（2010）对白鹤觅食地栖息地的植被群落特征进行了调查和研究，并按照白鹤不同的越冬时期将白鹤觅食地群落分为 4 种类型，分别为湿生植物：主要为蓼子草（*Polygonum criopolitanum*）、荸荠（*Eleocharis tuberosa*）群落，并伴生有牛毛毡（*Eleocharis yokoscensis*）、芫荽菊（*Cotula anthemoides*）、肉根毛茛（*Ranunculus polii*）及少量苔草，是白鹤在鄱阳湖越冬前期的觅食地，此时水位下降，生境中发生大面积的挺水植物；挺水植物和沉水植物：主要是以苔草、菱和苦草为主的挺水植沉水混合植物生境，并伴有菱角等浮水植物，以及以苦草、黑藻和眼子菜等沉水植物为主的生境，并伴有金鱼藻（*Ceratophyllum demersum*）等植物，这种类型的觅食地为白鹤越冬中期及中后期所利用，其中沉水植物生境是白鹤最主要的觅食栖息地。最后为浅水或砂质的滩涂，白鹤在这种生境中可食用沉水植物根茎及泥沙中的泥鳅、螺等软体动物，一般为白鹤越冬后期所利用。根据卫星跟踪白鹤的位点以及野外观察，明确了近两年在越冬地较

为反常的觅食行为，对经常利用的沼泽、浅滩等环境的利用减少，对水稻田、藕塘和草甸利用强度增大（雷小勇，2018；李言阔，2018；邵明勤等，2018；侯谨谨等，2019）。通过白鹤越冬活动区的统计，50%活动区域位于保护区之外，这说明保护区内的环境和食物情况已经不能完全满足白鹤栖息，使得白鹤的栖息地向水稻田、草洲和藕塘转移。此外，在本研究中发现了一只跟踪白鹤 R03，在2017年6月在离开鄱阳湖之后，在湖北省的龙感湖停歇，距离鄱阳湖不足30km，怀疑该白鹤在此度夏，2017年7月17信号消失。

#### 4.3.2.2 越冬地食物资源

白鹤在不同的栖息地类型中的食物也有所差别，其中在浅水区域主要的食物为苦草冬芽等植物性食物（胡振鹏等，2012；吴建东等，2013）；在草洲上取食的食物为下江委陵菜（*Potentilla imprichtii*）根茎及老鸦瓣（*Tulipa edulis*）的球茎（Jia *et al.*, 2013）；在农田中主要取食水稻（*Oryza sativa*）、看麦娘（*Alopecurus aequalis*）、紫云英（*Astragalus sinicus*）、藨草（*Phalaris arundinacea*）、莲藕（*Nelumbo nucifera*）等10科15种植物，其中水稻为白鹤最主要的食物，其次为莲藕和紫云英（侯谨谨等，2019），水稻田中冬季收割后的水稻和藕塘中成片的莲藕容易获得，可以满足其基本的生存需要，还有一个原因可能是因为越冬地鄱阳湖的水质下降，造成湿地中沉水植物被水生植物所替代（Fox *et al.*, 2010）。白鹤对越冬地栖息地的利用选择越来越少，所以鄱阳湖的生境质量对白鹤种群的生存起着至关重要的作用（Jim Harris, 2013）。除白鹤外，在鄱阳湖越冬白枕鹤、鸿雁等其他植食性鸟类的觅食栖息地由天然湿地向农用地转移（Harris J. *et al.*, 2000；刘观华等，2014；程雅畅，2015）。

#### 4.3.3 保护建议

保护区功能都是以其特定的保护对象和生态系统为基础（孔颖，2016），如莫莫格保护区保护对象是白鹤及其所需要的湿地环境；图牧吉保护区保护对象是大鸨（*Otis tarda*）、鹤类及其生态环境；鄱阳湖保护区和南矶湿地是以白鹤及其浅水湿地为保护对象的。因此应针对松嫩平原西部及鄱阳湖区的主要的保护区，针对白鹤这一物种及其赖以生存的湿地环境进行有目的、有规划地人工干预。如白鹤在其中途停歇地内主要利用的是草本沼泽类型的栖息地，若要满足其所依赖的草本植物群落和其取食的食源植

物等一系列要求，必须采取一定的保护措施，如适当适时调节水位、减少开垦湿地行为、栽种食源植物等，以便维持草本沼泽类型栖息地及其草本群落的优势地位。对保护区外白鹤频繁利用的栖息地，也应该加以保护，如减少白鹤栖息地附近的放牧、耕地行为和人为干扰，并可在白鹤觅食和栖息区域建立一个缓冲带或建立保护小区，加强白鹤的就地保护，为白鹤提供适宜的觅食地及相应地隐蔽场所（罗金明等，2012；林峰等，2019）。对于建立保护小区，在江西鄱阳湖五星垦殖场白鹤保护小区是一个积极的例子，人工种植莲藕，为大量白鹤提供了可觅食的环境和充足的食物，但是也有其缺点，保护小区靠近居民区，存在一定的人为干扰，对白鹤的正常觅食也有一定的影响。此外，针对白鹤在鄱阳湖区利用的天然栖息地，也需要作出一定的改变来优化越冬白鹤的栖息地质量，天然栖息地中主要为水生植物，是湖泊生态系统的初级生产者，对水生生态系统的稳定起着重要作用（Zhang YL, 2017），面对鄱阳湖区水生植被退化、湖泊生态环境质量下降的现状，应及时采取相应措施，恢复水生植被，以便为依赖以水生植被为食的鸟类提供良好的生存空间（侯谨谨等，2019）。

#### 4.3.4 救护白鹤野外放归可能性

本研究中研究的白鹤除 956 外，其他 8 只个体均在中途停歇地或越冬地救护，结合卫星跟踪数据及野外观察对救护白鹤的野外放归是否具有可行性进行了论证。2015 年 10 月、2016 年 12 月和 2017 年 12 月，分别在莫莫格保护区岔台、南矾湿地保护区白沙湖以及江西五星垦殖场藕塘观察到白鹤 955，当时共同活动的鹤群数量分别为 200 只、355 只和 800 只左右，觅食行为正常，虽然信号已经消失，但经观察背部跟踪器依然完好；2015 年 10 月和 2017 年 4 月，分别在辽宁獾子洞国家湿地公园和南矾湿地保护区常湖观察到白鹤 953，与其共同活动的白鹤数量分别为 100 只和 13 只左右，觅食行为正常；2015 年 10 月，在向海保护区海力营子观察到白鹤 956，当时白鹤个体数量在 15 只左右；此外，结合卫星跟踪位点数据观察到白鹤 R02 一直在南矾湿地保护区西部的独头洲活动，在放飞白鹤 R03 之后的几天里，观察到白鹤 R03 的活动位点与白鹤 R02 活动位点重叠，表示 R03 已经融进其他白鹤群。以上证据说明救护白鹤放飞后会经过一段适应阶段，该阶段过后会尽可能融进鹤群，并非长时间处于孤单状态，说明救护白鹤的野外放归具有一定的可行性，可以为基础科学研究提供真实可靠的资料。

## 第五章 结 论

### 5.1 跟踪白鹤活动区研究

#### 5.1.1 跟踪白鹤空间分布

跟踪白鹤中途停歇地主要位于松嫩平原西部及西辽河平原，前者主要为向海保护区、莫莫格保护区、图牧吉保护区及莫莫格-图牧吉周边湿地；后者为新发现的 2 处中途停歇地，即内蒙古通辽市科左后旗哈布哈嘎查和兴安盟珠日很淖尔。越冬地主要位于鄱阳湖保护区、南矾湿地保护区、康山保护区，保护区外越冬时长最长的为铁河乡和犁头洲（42.47d），保护区内、外位点个数各占总位点数量的 50%。

#### 5.1.2 白鹤活动区面积的差异

2015 年~2017 年春季和秋季中途停歇地活动区面积均有所差别，但均无显著差异 ( $P>0.05$ )，3 年中 MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积均呈现出先增加后减少的趋势，而核心活动区占主要活动区的比例则呈现出先减少后增加的趋势。2015 年~2017 年冬季，跟踪白鹤不同个体和不同年份间活动区的 MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积以及 KDE 50%和 KDE 90%比例之间都存在不同程度的差别，MCP 面积、KDE 90%面积、KDE 50%面积均呈现出先下降后上升的趋势，KDE 50%/KDE 90%面积则为先上升后下降的趋势。

#### 5.1.3 白鹤活动区重叠指数的差异

跟踪白鹤中途停歇地和越冬地的活动区都存在不同程度的重叠现象，其中，白鹤在中途停歇地活动区春季重叠程度大于秋季；白鹤在越冬地活动区 KDE 90%活动区重叠指数为 2016 年冬季>2017 年冬季>2015 年冬季，KDE 50%活动区重叠指数为 2015 年冬季>2016 年冬季>2017 年冬季。

## 5.2 跟踪白鹤栖息地研究

### 5.2.1 天然栖息地为白鹤主要利用的栖息地类型及特征

跟踪白鹤在中途停歇地主要利用淡水湖泊、草本沼泽和农田 3 种类型栖息地，无论春季还是秋季，白鹤均利用草本沼泽最多。Mann-Whitney 检验结果表明春季和秋季之间在淡水湖泊 ( $Z=0.148$ ,  $P=1.000$ )、草本沼泽 ( $Z=-1.188$ ,  $P=0.284$ ) 和农田 ( $Z=0.586$ ,  $P=0.622$ ) 中的停留时间均无显著差异。采样得到其栖息地内共有植物 7 目 9 科 11 种植物，其中以莎草科植物最多，淡水湖泊和草本沼泽栖息地植被盖度间差异显著 (Mann-Whitney 检验  $Z=-2.951$ ,  $P=0.003$ )，密度间显著不差异 ( $Z=0.525$ ,  $P=0.600$ )，平均高度间差异极显著 ( $Z=-8.374$ ,  $P=0.000$ )。群落组成种重要性分析表明在人工栖息地中，扁秆蔗草的重要值均为最高；草本沼泽中 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数及 Pielou 均匀度指数均大于淡水湖泊，说明其植被组成种丰富、群落结构稳定。

白鹤在越冬地利用湖泊、浅滩和农田 3 种类型的栖息地，其中湖泊占比最高，农田次之，2016 年冬季和 2017 年冬季之间在湖泊 ( $Z=0.114$ ,  $P=0.909$ )、浅滩 ( $Z=1.026$ ,  $P=0.383$ ) 和农田 ( $Z=0.800$ ,  $P=0.517$ ) 中的越冬时间均无显著差异。

### 5.2.2 食源植物及能量值

白鹤中途停歇地可能的食源植物有扁秆蔗草、三江蔗草、花蔺、鹅绒委陵菜和玉米 5 种，扁秆蔗草在 2 种栖息地类型中的根茎密度和根茎个数之间差异不显著 ( $Z=-1.173$ ,  $P=0.241$ )。草本沼泽可提供的能量最多 (1348.57kJ/g)，其次为淡水湖泊 (591.06kJ/g)，农田中最少 (51.60kJ/g)，说明草本沼泽是白鹤在中途停歇地偏好的生境类型。

越冬地采样得到白鹤的主要食物为苦草冬芽块茎、稻谷及莲藕 3 种，年际间的各种食物类型的块茎/颗粒/节数及食物干重间均无显著差异。

## 参考文献

- Aebischer N.J., Robertson P.A., Kenward R.E. Compositional Analysis of Habitat Use from Animal Radio-Tracking Data. *Ecology*, 1993, 74(5): 1313~1325.
- Alldredge J.R., Ratti J.T. Comparison of Some Statistical Techniques for Analysis of Resource Selection. *The Journal of Wildlife Management*, 1986: 157~165.
- Alldredge J.R., Ratti J.T. Further Comparison of Some Statistical Techniques for Analysis of Resource Selection. *The Journal of wildlife management*, 1992: 1~9.
- Atwood T.C., Jr H.P. W. Spatial Home-range Overlap and Temporal Interaction in Eastern Coyotes: the Influence of Pair Types and Fragmentation. *Revue Canadienne De Zoologie*, 2003, 81(81):1589~1597.
- Austin J.E., O'Neil S.T., Warren J.M. Habitat Selection by Postbreeding Female Diving Ducks: Influence of Habitat Attributes and Conspecifics. *Journal of Avian Biology*, 2017(48):295~308.
- Baasch D.M., Farrell P.D., Howlin S. *et al.* Whooping Crane Use of Riverine Stopover Sites. *Plos One*, 2019,14(1):e0209612.
- Baltimore M.D., Boise I.D. Center for Conservation Research and Technology(CCRT). Resource managers' Technical Review: Advanced Technologies for Conservation of Biodiversity, Habitats and Ecosystems. 1999.
- Block W.M., Brennan L.A. The Habitat Concept in Ornithology. *Curr Ornithol*, 1993, 11:35~91.
- Block W.M., With K.A., Morrison M.L. On Measuring Bird Habitat: Influence of Observer Variability and Sample Size. *Condor*, 1987: 241~251.
- Booth T.H., Nix H.A., Busby J.R. *et al.* Bioclim: the First Species Distribution Modelling Package, its Early Applications and Relevance to most Current MaxEnt Studies. *Diversity & Distributions*, 2014, 20(1):1~9.
- Boyce M.S., Vernier P.R., Nielsen S.E. *et al.* Evaluating Resource Selection Functions. *Ecological Modelling*, 2002, 157:281~300.
- Brotons L., Thuiller W., Araújo M.B. *et al.* Presence-absence versus Presence-only Modelling Methods for Predicting Bird Habitat Suitability. *Ecography*, 2004, 27(4): 437~448.

- Brown D.R., Sherry T.W. Food Supply Controls the Body Condition of a Migrant Bird Wintering in the Tropics. *Oecologia*, 2006, 149(1): 22~32.
- Buckland S.T.I., Anderson D.R.I., Burnham K.P.I. *et al.* Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. *Biometrics*, 2001, 50(3):763~764.
- Burnham J., Barzen J., Pidgeon A.M. *et al.* Novel foraging by wintering Siberian Cranes *Leucogeranus leucogeranus* at China's Poyang Lake Indicates Broader Changes in the Ecosystem and Raises New Challenges for a Critically Endangered Species. *Bird Conservation International*, 2017, 27(2):1~20.
- Caughley G, Gunn A. *Conservation Biology in Theory and Practice*. Cambridge, MA: Blackwell Science, 1996.
- Caughley G. Directions in conservation biology. *Journal of animal ecology*, 1994: 215~244. Caughley G. Directions in Conservation Biology. *Journal of Animal Ecology*.1994, 63:215~244.
- Chun Guang He, Yu Jun Song, Hui Qing Lang. Migratory Dynamics of Siberian Crane and Environmental Conditions at its Stopover Site. *Biodiversity Science*, 2002, 10(3):286~290.
- Cody M.L. *Habitat Selection in Birds*. Academic Press, London. 1985.
- Cody M.L. Avian Ecology. (Book Reviews: *Habitat Selection in Birds*). *Science*, 1985, 230(4728):933.
- Collar N.J. *Threatened Birds of the Americas*. Smithsonian Institution Press in cooperation with International Council for Bird Preservation, 1992.
- Deecke V.B. Studying Marine Mammal Cognition in the Wild: a Review of four Decades of Playback Experiment. *AquatMamm*, 2006, 32(22):461~482.
- Degtyarev A.G., Labutin Y.V. Siberian Crane in Yakutia: Range, Migration, Numbers. *Zool. Zh*, 1991, 70(1): 63~75.
- Dickey T, Marra J, Sigurdson D.E. *et al.* Seasonal Variability of Bio-optical and Physical Properties in the Arabian Sea: October 1994-October 1995. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1998, 45(10-11): 2001~2025.
- Douglas H.J. The Comparisons of Usage and Availability Measurements for Evaluating Resource Preference. *Ecology*, 61(1):65~71.
- Duck W, Goose T.B. Birds of Kazakhstan: New and Interesting Data, part 7. *Dutch Birding*, 2016, 38: 388~392.

- Elith J, Phillips S.J., Hastie T. *et al.* A Statistical Explanation of MaxEnt for Ecologists. *Diversity & Distributions*, 2011, 17(1):43~57.
- Ellis D.H., Gee G.F., Miranda C.M. *Cranes: Their Biology, Husbandry and Conservations*. U.S Department of the Interior, National Biological Service, Washington DC and International Crane.
- Engler R., Guisan A., Rechsteiner L. An Improved Approach for Predicting the Distribution of Rare and Endangered Species from Occurrence and Pseudo-absence Data. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(2):263~274.
- Enright M.J., Newton J. Tourism Destination Competitiveness: a Quantitative Approach. *Tourism management*, 2004, 25(6): 777~788.
- Feng Jiang, Shuhua Qi, Fuqiang Liao *et al.* Vulnerability of Siberian Crane Habitat to Water Level in Poyang Lake Wetland, China. *GIScience & Remote Sensing*, 2014, 51(6): 662~676.
- Fengshan LI, Jiandong WU, Harris J *et al.* Number and Distribution of Cranes Wintering at Poyang Lake, China during 2011-2012. *Chinese Birds*, 2012, 3(3):180~190.
- Flint V.E., Kistchinski A.A. The Siberian Crane in Yakutia. *Crane Research around World* (JC Lewis, and H. Masatomi, Eds.). International Crane Foundation, Baraboo, Wisconsin, 1981: 136~145.
- Flint V.E., Sorokin A.G. The Modern Status of the Yakutia Population of Siberian White Crane. NM Litvinenko and IA Neufeldt, eds, 1982: 60~65.
- Franco A.M.A., Brito J.C. Almeida J. *et al.* Modeling Habitat Selection of Common Cranes *Grus grus* Wintering in Portugal Using Multiple Logistic Regression. *Ibis*, 2000, 142(3):351~358.
- Garshelis D.L. *Delusions in Habitat Evaluation: Measuring Use, Selection, and Importance*. *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences*. Columbia University Press, New York, New York, USA, 2000: 111~164.
- Gates J.E., Evans D.R. Cowbirds Breeding in the Central Appalachians: Spatial and Temporal Patterns and Habitat Selection. *Ecological Applications*, 1998, 8(1): 27~40.
- Germogenov N.I. Siberian White Crane on Protected Territories of Yakutia (Russian Northeast). *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-4*, 1998: 55~59.
- Germogenov N.I., Pshennikov A.E., Kanai Y. On Territorial Conservatism of Siberian crane (*Grus leucogeranus*). *Zoologicheski Zhurnal*, 2009, 88(7):860~870.

- Gilbert M., Buuveibaatar B., Fine A.E. *et al.* Declining Breeding Populations of White-naped Cranes in Eastern Mongolia, a Ten-year Update. *Bird Conservation International*, 2016, 26: 490~504.
- Gratto-Trevor C.L. Use of Landsat TM Imagery in Determining Important Shorebird Habitat in the Outer Mackenzie Delta, Northwest Territories. *Arctic*, 1996, 49(1):11~22.
- Gui X.J. Cranes Wintering at East Dongting Lake. *Proceedings of 1987 International Crane Workshop*. China Forestry Press, Beijing, China. 1991:113~114.
- Guisan A., Zimmermann N.E. Predictive Habitat Distribution Models in Ecology. *Ecological Modelling*, 2000,135(2-3):147~186.
- Harris J, Mirande C. A Global Overview of Cranes: Status, Threats and Conservation Priorities. *Chinese Birds*, 2013, 4(3):189~209.
- Harris J. *Managing Nature Reserves for Cranes in China*. 1992.
- Harris J., Mirande C.A. Global Overview of Cranes: Status, Threats and Conservation Priorities. *Chinese Birds*, 2013, 4(3):189~209.
- Hedenström A, Alerstam T. Optimum Fuel Loads in Migratory Birds: Distinguishing between Time and Energy Minimization. *Journal of Theoretical Biology*, 1997, 189(3): 227~234.
- Herr A.M., Queen L.P. Crane Habitat Evaluation Using GIS and Remote Sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1993, 59(10): 1531~1538.
- Higuchi H, Minton J. 3 Migratory Routes across the Himalayas Used by Demoiselle Cranes. *Bird Migration across the Himalayas: Wetland Functioning amidst Mountains and Glaciers*, 2017: 45.
- Higuchi H., Ozaki K., Golovuskin K. *et al.* The Migration Routes and Important Rest-sites of Cranes Satellite Tracked from South-central Russia. *The Future of Cranes and Wetlands*, 1994, 15~25.
- James F.C. Ordinations of Habitat Relationships among Breeding Birds. *Wilson Bulletin*, 1971, 83(3):215~236.
- James F.C., Wamer N.O. Relationships between Temperate Forest Bird Communities and Vegetation Structure. *Ecology*, 1982, 63(1):159~171.
- Jia Y, Jiao S, Zhang Y *et al.* Diet Shift and its Impact on Foraging Behavior of Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) in Poyang Lake. *PloS one*, 2013, 8(6): e65843.

- Jiang H, Wen Y, Zou L *et al.* The Effects of a Wetland Restoration Project on the Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) Population and Stopover Habitat in Momoge National Nature Reserve, China. *Ecological Engineering*, 2016, 96:170~177.
- Johnsgard P.A. *Cranes of the World*. Indiana University Press, 1983.
- Johnson M.D. Measuring Habitat Quality: a Review. *The Condor*, 2007, 109(3): 489~504.
- Jones J. Habitat Selection Studies in Avian Ecology: a Critical Review. *The Auk*, 2001, 118(2): 557~562.
- Kanai Y., Nagendran M., Ueta M. *et al.* Discovery of Breeding Grounds of a Siberian Crane *Grus leucogeranus* Flock that Winters in Iran, via Satellite telemetry. *Bird Conservation International*, 2002, 12(04): 327~333.
- Kanai Y., Ueta M., Germogenov N. *et al.* Migration Routes and Important Resting Areas of Siberian Cranes (*Grus leucogeranus*) between Northeastern Siberia and China as Revealed by Satellite Tracking. *Biological Conservation*, 2002, 106(3):339~346.
- Knight C.M., Kenward R.E., Gozlan R.E. *et al.* Home-range Estimation within Complex Restricted Environments: Importance of Method Selection in Detecting Seasonal Change. *Wildlife Research*, 2009, 36(3):213~224.
- Kotliar N.B., Wiens J.A. Multiple Scales of Patchiness and Patch Structure: a Hierarchical Framework for the Study of Heterogeneity. *Oikos*, 1990: 253~260.
- Labutin Y.V., Leonovitch V.V., Vepintsev B.N. The Little Curlew *Numenius Minutus* in Siberia. *Ibis*, 1982, 124(3): 302~319.
- Liu J, Linderman M., Ouyang Z. *et al.* Ecological Degradation in Protected Areas: the Case of Wolong Nature Reserve for Giant Pandas. *Science*, 2001, 292(5514):98~101.
- Ma Y. The Population and Habitat of Cranes in China's Nature Reserves. *Future of Cranes & Wetlands*, 1994: 141~145.
- MacArthur R.H., MacArthur J.W., Preer J. On Bird Species Diversity. II. Prediction of Bird Census from Habitat Measurements. *The American Naturalist*, 1962, 96(888): 167~174.
- Madden E.M., Murphy R.K., Hansen A.J. *et al.* Models for Guiding Management of Prairie Bird Habitat in Northwestern North Dakota. *The American Midland Naturalist*, 2000, 144(2): 377~392.
- Magurran, Anne E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton:Princeton University Press, 1988.

- Martin T.E., Roper J.J. Nest Predation and Nest-site Selection of a Western Population of the Hermit Thrush. *Condor*, 1988, 90: 51~57.
- Miler, D.A., Hurst, G.A. Habitat Use of Eastern Wild Turkeys in Central Mississippi. *J. Wild. Manage.* 1999, 63(1):210~222.
- Morrison J.L., Mcmillian M., Cohen J.B. *et al.* Environmental Correlates of Nesting Success in Red-shouldered Hawks. *Condor*, 2007, 109(3):648~657.
- Morrison M.L., Timossi I.C., With K.A. Development and Testing of Linear Regression Models Predicting Bird-Habitat Relationships. *Journal of Wildlife Management*, 1987, 51(1):247~253.
- Morrison R.I.G. The Use of Remote Sensing to Evaluate Shorebird Habitats and Populations on Prince Charles Island, Foxe Basin, Canada. *Arctic*, 1997, 50(1):55~75.
- Mudrik E.A., Kashentseva T.A., Politov D.V. Long-term Sperm Storage in the Siberian Crane (*Grus leucogeranus pallas*): Analysis of Paternity and Relatedness under Artificial Insemination. *Russian Journal of Developmental Biology*, 2016, 47(3): 103~108.
- Orians G.H., Wittenberger J.F. Spatial and Temporal Scales in Habitat Selection. *The American Naturalist*, 1991, 137: S30~S49.
- Parsons P.A. Ecobehavioral Genetics: Habitats and Colonists. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1983, 14(1): 35~55.
- Phillips S.J. Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3):231~259.
- Phillips S.J., Dudik M. Modeling of Species Distributions with Maxent: New Extensions and a Comprehensive Evaluation. *Ecography*, 2008, 31(2):161~175.
- Qian F, Jiang H, Yu G *et al.* Survey of Breeding Populations of the Red-Crowned Crane (*Grus japonensis*) in the Songnen Plain, Northeastern China. *Chinese Birds*, 2012, 3(3):217~224.
- Ralph C.J. Age Ratios and Their Possible Use in Determining Autumn Routes of Passerine Migrants. *The Wilson Bulletin*, 1981, 93(2): 164~188.
- Rappole J.H., Helm B., Ramos M.A. An Integrative Framework for Understanding the Origin and Evolution of Avian Migration. *Journal of Avian Biology*, 2003, 34(1): 124~128.

- Reynolds M.H. Habitat Use and Home Range of the Laysan Teal on Laysan Island, Hawaii. *Waterbirds the International Journal of Waterbird Biology*, 2004, 27(2):183~192.
- Roche J.P. The Ecology of Migrant Birds: A Neotropical Perspective. *Quarterly Review of Biology*, 1997, 78(1):392~402.
- Sauey R.T. The Feeding Biology of Juvenile Siberian Cranes in India. Lewis J.C. Proceedings of 1978 Crane Workshop. Fort Morgan: Colorado State University, 1979: 205~210.
- Sauey R.T. The Range, Status, and Winter Ecology of the Siberian Crane (*Grus leucogeranus*). Cornell University, June, 1985.
- Sauey R.T., Das P., Prakash V. A. Recent Survey of the 19th Century Wintering Sites for Siberian Cranes in the Gangetic Basin. Proc. 1983 International Crane Workshop. 1987: 197~208.
- Schaub M, Jenni L. Fuel Deposition of Three Passerine Bird Species along the Migration Route. *Oecologia*, 2000, 122(3):306~317.
- Shengwu J, Qing Z, Gongqi S *et al.* Improving Conservation of Cranes by Modeling Potential Wintering Distributions in China. *Journal of Resources and Ecology*, 2016, 7(1): 44~50.
- Sherry T.W., Holmes R.T. Summer Versus Winter Limitation of Populations: What Are the Issue and What Is the Evidence?. *Ecology and Management of Neotropical Migratory Birds: a Synthesis and Review of Critical Issues*, 1995: 85.
- Sillett T.S., Holmes R.T., Sherry T.W. Impacts of a Global Climate Cycle on Population Dynamics of a Migratory Songbird. *Science*, 2000, 288(5473): 2040~2042.
- Spitzer P.R. The Siberian Crane at Bharatpur. Proceedings of 1978 Crane Workshop. National Audubon Society, Colorado State University, Fort Morgan. 1979: 249~253.
- Sutherland W.J., Newton I., Green R. Bird Ecology and Conservation. *Bird Ecology and Conservation*. 2004.
- Ward P.I., Porter A.H. The Relative Roles of Habitat Structure and Male-male Competition in the Mating System of *Gammarus pulex* (*Crustacea Amphipoda*): a Simulation Study. *Animal Behaviour*, 1993, 45(1): 119~133.
- Watanabe T. Comparative Breeding Ecology of Lesser Sandhill Cranes (*Grus canadensis*) and Siberian Cranes (*G. leucogeranus*) in Eastern Siberia. Texas A&M University, 2007.

- Wiens J.A. Pattern and Process in Grassland Bird Communities. *Ecological Monographs*, 1973, 43(2): 237~270.
- Wiens J.A., Addicott J.F., Case T.J. *et al.* Overview: the Importance of Spatial and Temporal Scale in Ecological Investigations. *Community ecology*, 1986, 665: 27.
- Williams M. Autumn Bird Migration at Beidaihe, China, 1986-1990. Printed by Regal Printing Limited, 2000. 46.
- Wu G, de Leeuw J, Skidmore A.K. *et al.* Will the Three Gorges Dam Affect the Underwater Light Climate of *Vallisneria spiralis* L. and Food Habitat of Siberian Crane in Poyang Lake?. *Hydrobiologia*, 2009, 623(1): 213~222.
- 阿茹娜, 李同昇, 李百岁等. 西辽河平原人水系统平衡变化特征分析. *干旱区资源与环境*, 2018, 32 (3): 119~125.
- 蔡煜东, 陈德辉, 姚林声等. 白鹳距长与年龄关系的人工神经网络模型. *生物数学学报*, 1994, 9 (4): 36~41.
- 蔡煜东, 洪伟. 用人工神经网络模型估计丹顶鹤雏鸟体重. *四川动物*, 1995, 14 (1): 25~26.
- 陈冰. 鄱阳湖不同水位情景下越冬水鸟种群数量变化及白鹤生境适宜性评价研究. 南京师范大学硕士学位论文, 2014, 16~34.
- 陈彦才. 内蒙古的种植业现状潜力与发展. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1996, 15~25
- 程雅畅. 基于 GPS 遥测的江西鄱阳湖越冬白枕鹤(*Grus vipio*)活动区和栖息地选择研究. 北京林业大学硕士学位论文, 2015, 21~44.
- 仇福臣, 林宝庆, 蔡勇军等. 扎龙保护区春季白鹤迁徙观察. *东北林业大学学报*, 2005, 33 (1): 103~105.
- 楚国忠, 侯韵秋, 张国钢等. 卫星跟踪青海湖繁殖地渔鸥的迁徙路线. *林业科学*, 2008, 44(4): 99~104.
- 次仁, 边巴卓玛, 拉多等. 世界濒危物种黑颈鹤的越冬栖息地保护与当地农业活动的关系. *西藏大学学报*, 2009, 24 (5): 1~7.
- 崔楨, 沈红, 章光新. 3 个时期莫莫格国家级自然保护区景观格局和湿地水文连通性变化及其驱动因素分析. *湿地科学*, 2016, 14(6): 866~873.

- 单继红, 马建章, 李言阔等. 近十年来鄱阳湖越冬白鹤种群数量与分布. 动物学研究, 2012, 33(4): 355~361.
- 邓文洪, 赵匠, 高玮. 破碎化次生林斑块面积及栖息地质量对繁殖鸟类群落结构的影响. 生态学报, 2003, 23(6): 1087~1094.
- 邓文洪. 栖息地破碎化与鸟类生存. 生态学报, 2009, 29(6): 3181~3187.
- 丁长青, 王岐山. 辽宁发现白鹤等水鸟的重要迁徙停歇地. 动物学杂志, 2006, 41 (3): 84~85.
- 杜博, 宫兆宁, 茹文东等. 三门峡水库越冬大天鹅栖息地选择研究. 湿地科学, 2018, 16 (3): 370~376.
- 范巍巍, 王宇嘉, 李晓民. 吉林莫莫格春季白鹤觅食地生境初步研究. 野生动物, 2012, 33 (1): 18~22.
- 范巍巍. 莫莫格国家级自然保护区白鹤迁徙期栖息地觅食生境选择研究. 东北林业大学硕士学位论文, 2012, 19~34.
- 高立波, 钱法文, 杨晓君等. 云南大山包越冬黑颈鹤迁徙路线的卫星跟踪. 动物学研究, 2007, 28 (4): 353~361.
- 高立波. 卫星跟踪黑颈鹤(*Grus nigricollis*) 迁徙路线以及迁徙停歇地现状初步研究. 中国林业科学研究院硕士学位论文, 2006, 13~15.
- 葛振鸣, 王天厚, 施文彧等. 长江口杭州湾鹤形目鸟类群落季节变化和生境选择. 生态学报, 2006, 26 (1): 40~47.
- 谷红亮, 林宝庆, 李连山. 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, 2018, 47 (1): 14~17, 25.
- 官少飞, 郎青, 张本. 鄱阳湖水生维管束植物生物量及其合理开发利用的初步建议. 水生生物学报, 1987, 11 (3): 219~227.
- 官少飞, 朗青, 张本. 鄱阳湖水生植被. 水生生物学报, 1987, 11 (1): 9~21.
- 桂智凡, 薛滨, 姚书春等. 东北松嫩平原区湖泊对气候变化响应的初步研究. 湖泊科学, 2010, 22 (6): 852~861.
- 郭跃东, 何艳芬. 松嫩平原湿地动态变化及其驱动力研究. 湿地科学, 2005, 3 (1): 54~59.
- 国家林业局. 自然保护区功能区划技术规程: LY/T 1764-2008. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- 国家林业局野生动植物保护司. 湿地管理与研究方法. 北京: 中国林业出版社, 2001.

- 韩联宪, 杨岚, 郑宝贲. 白腹锦鸡鸣声的声谱分析. 动物学研究, 1988, 9 (2): 28~33.
- 何春光, 郎惠卿, 卜兆君等. 松嫩平原湖泊湿地植物群落多样性及其保护研究. 国土与自然资源研究, 2006, (3): 53~54.
- 何春光, 盛连喜, 郎惠卿等. 向海湿地丹顶鹤迁徙动态及其栖息地保护研究. 应用生态学报, 2004, 15 (9): 1523~1526.
- 何春光, 宋榆钧, 郎惠卿等. 白鹤迁徙动态及其停歇地环境条件研究. 生物多样性, 2002, 10 (3): 286~290.
- 何俊仕, 王志新, 付玉娟等. 西辽河平原土地利用/覆被变化特征分析. 中国农村水利水电, 2016, (11): 66~69.
- 侯谨谨, 王亚芳, 金斌松等. 鄱阳湖越冬白鹤在农业用地的食物组成. 动物学杂志, 2019, 54 (1): 15~21.
- 胡振鹏. 白鹤在鄱阳湖越冬生境特性及其对湖水位变化的响应. 江西科学, 2012, 30 (1): 30~35.
- 华宁. 鸕鹚类春季在黄海区域迁徙停歇地的能量积累. 复旦大学博士学位论文, 2014, 26~60.
- 黄方, 王平, 王永洁等. 扎龙湿地生态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, 2007, 39 (2): 106~111.
- 黄建, Falk Huettmann, 郭玉民. 黑龙江流域白头鹤繁殖栖息地选择模型预测. 北京林业大学学报, 2015, 37 (8): 40~47.
- 黄晓凤. 白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*)活动区和栖息地研究. 北京林业大学博士学位论文, 2008, 25~29.
- 黄治学, 朱家贵, 王科等. 河南董寨野化放飞朱鹮的分布繁殖初报. 生物学通报, 2016, 51 (10): 53~56.
- 贾非. 鸟类栖息地选择研究中的一种数学模型. 生物学通报, 2003, 38 (11): 46~47.
- 贾亦飞. 水位波动对鄱阳湖越冬白鹤及其他水鸟的影响研究. 北京林业大学博士学位论文, 2013, 29~36.
- 江红星, 刘春悦, 侯韵秋等. 3S 技术在鸟类栖息地研究中的应用. 林业科学, 2010, 46 (7): 155~163.
- 江红星. 吉林莫莫格国家级自然保护区 2010 年春季白鹤迁徙日最高统计达 3128 只. 中国鸟类研究简讯, 2010, 19 (1): 6.

- 姜海波. 白鹤(*Grus leucogramus*)东部种群迁徙停歇区湿地生境保育与恢复研究. 东北师范大学博士学位论文, 2016, 22~33.
- 姜仕仁, 丁平. 白头鹤繁殖期鸣声行为的研究. 动物学报, 1996, 42 (3): 253~259.
- 姜维军, 李梦莎, 杜宇. 内蒙古图牧吉春季白鹤觅食地生境初步研究. 吉林林业科技, 2007, 36 (3): 28~31.
- 焦盛武. 白头鹤在中国迁徙路线上的栖息地选择和觅食策略研究. 北京林业大学硕士学位论文, 2015, 47~52.
- 金杰锋, 刘观华, 金志芳,等. 鄱阳湖保护区白琵鹭越冬种群分布. 动物学杂志, 2011, 46 (2): 59~64.
- 金杰锋. 福建省兴化湾黑脸琵鹭越冬生态学研究. 南京林业大学硕士学位论文, 2009, 12~32.
- 井长林, 马鸣, 顾正勤等. 大天鹅在巴音布鲁克地区越冬的调查报告. 干旱区研究, 1992, (2): 61~64.
- 孔维尧, 郑振河, 吴景才等. 莫莫格自然保护区白鹤秋季迁徙停歇期觅食生境选择. 动物学研究, 2013, 34 (3): 166~173.
- 孔颖. 自然保护区功能区划技术探讨. 绿色科技, 2016 (2): 25~26.
- 郎惠卿, 王升忠, 罗维桢. 松嫩平原的湿地环境与保护. 野生动物学报, 1997, 18 (5): 8~10.
- 雷富民. 鸟类鸣声在鸟类系统学研究中的作用初探. 动物分类学报, 1999, 24 (4): 461~466.
- 雷小勇. 江西省余干县干泉州农田发现集群白鹤. 中国鹤类通讯, 2018, 22 (1): 36~38.
- 李方满. 白鹤春迁林甸停歇地的生态研究. 动物学研究, 1998, 19 (1): 38, 52.
- 李凤山, 刘观华. 鄱阳湖湿地和水鸟的生态研究. 北京: 科学普及出版社, 2011, 10~17
- 李国庆, 刘长成, 刘玉国等. 物种分布模型理论研究进展. 生态学报, 2013, 33 (16): 4827~4835.
- 李文军, 王子健. 丹顶鹤越冬栖息地数学模型的建立. 应用生态学报, 2000, 11 (6): 839~842.
- 李晓民, 孙志勇, 伊国良,等. 我国内蒙古发现白鹤夏季群体. 动物学杂志, 2005, 40 (1): 98~100.
- 李鑫. 沈阳卧龙湖湿地鸟类多样性及白鹤觅食生境选择研究. 东北林业大学硕士学位论文, 2010, 28~38.

- 李秀明, 李晓民, 宋玉波等. 基于卫星跟踪技术的三江平原大白鹭幼鸟活动区分析. 野生动物学报, 2015, 36 (4): 395~401.
- 李秀明, 徐家慧, 钱法文. 卫星跟踪的白鹤春季和秋季迁徙路线. 湿地科学, 2016, 14 (3): 347~353.
- 李秀明. 白鹤(*Grus leucogramus*)迁徙路线及中途停歇地的卫星跟踪研究. 中国林业科学研究院硕士学位论文, 2016, 15~16.
- 李言阔, 钱法文, 单继红等. 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响. 生态学报, 2014, 34 (10): 2645~2653.
- 李言阔. 鄱阳湖越冬水鸟对稻田生境的利用. 中国鹤类通讯, 2018, 22 (1): 25~26.
- 联合国新闻. 联合国新闻|环境署: 中俄等国共同参与的白鹤栖息地项目取得成效. 2010.
- 廖炎发. 在青海湖越冬的大天鹅. 野生动物学报, 1985 (3): 24~26.
- 井长林, 马鸣, 顾正勤等. 大天鹅在巴音布鲁克地区越冬的调查报告. 干旱区研究, 1992 (2): 61~64.
- 刘波, 吕宪国, 姜明等. 莫莫格扁秆蔗草恢复湿地土壤种子库对长芒稗入侵的响应. 生态学报, 2016, 36 (8): 2217~2222.
- 刘春悦, 江红星, 孙效维等. 白鹤中途停歇地主要食物蔗草球茎密度的空间插值方法研究. 动物学杂志, 2013, 48 (3): 382~390.
- 刘丹, 田秀华, 何相宝等. 笼养白鹤越冬行为的初步研究. 野生动物学报, 2009, 30 (5): 248~251.
- 刘冬平, 丁长青, 楚国忠. 朱鹮繁殖期的活动区和栖息地利用. 动物学报, 2003, 49 (6): 755~763.
- 刘冬平, 张国钢, 钱法文等. 西藏雅鲁藏布江中游斑头雁的越冬种群数量、分布和活动区. 生态学报, 2010, 30 (15): 4173~4179.
- 刘冬平. 青海湖斑头雁(*Anser indicus*)的繁殖期活动性、迁徙路线及其与禽流感暴发的时空关系. 中国林业科学研究院博士学位论文, 2010, 58~69.
- 刘福凯. 扎龙湿地白枕鹤栖息地利用. 东北林业大学硕士学位论文, 2008, 17~18.
- 刘观华, 金杰锋, 李凤山等. 2012年冬季鄱阳湖大型越冬水鸟数量与分布. 南方林业科学, 2014, 42(1): 39~43.

- 刘红玉, 杨青, 李兆富等. 湿地景观变化对水禽生境影响研究进展. 湿地科学, 2003, 1 (2): 115~121.
- 刘佳雨, 杨武年, 邓琮. 基于 ArcGIS Model Builder 的生态区鸟类栖息地的选择. 地理空间信息, 2014, (3): 115~117.
- 刘金成, 田秀华, 周景英等. 图牧吉保护区大鸨冬春季生境选择. 东北林业大学学报, 2008, 36 (7): 56~59.
- 刘伶, 刘红玉, 李玉凤等. 苏北地区丹顶鹤越冬种群数量及栖息地分布动态变化. 生态学报, 2018, 38 (3): 926~933.
- 刘强, 马宏伟, 田辉等. 松嫩平原湿地分布变化与影响因素分析. 地质与资源, 2010, 19 (1): 76~80.
- 刘体应, 张文东. 山东渤海湾大天鹅越冬习性的观察. 野生动物学报, 1987, (6): 24~25.
- 刘晓强, 朱成伟, 赵玉海等. 沈阳獾子洞湿地白鹤及其停歇地生境调查. 野生动物, 2008, 29 (4): 184~186.
- 刘旭, 张文慧, 李咏红等. 湿地公园鸟类栖息地营建研究—以北京琉璃河湿地公园为例. 生态学报, 2018, 38 (12): 4404~4411.
- 刘志立. 鸟类迁徙规律及其相关模型研究. 浙江农林大学硕士学位论文, 2016, 15~53.
- 罗金明, 王永洁, 杨帆等. 人类活动对中途停歇在中国东北地区白头鹤(*Grus monacha*)的影响. 鸟类学研究, 2012, 3 (3): 206~216.
- 罗新正, 朱坦, 孙广友等. 松嫩平原湿地荒漠化现状、成因和对策. 中国沙漠, 2003, 23 (4): 372~378.
- 罗旭, 许淼洋, 吴良旭. 高黎贡山白尾梢虹雉春季食谱及食物营养成分分析. 四川动物, 2012, 31 (1): 17~22.
- 马驰. 松嫩平原湿地动态监测及遥感分析. 科技通报, 2018, (2): 127~132.
- 马鸣, 魏顺德, 程军. 卫星跟踪下的黑鹳迁徙. 动物学杂志, 2004, 39 (2): 102~102.
- 马强. 中国东部沿海湿地越冬白头鹤栖息地选择和行为时间分配. 湿地科学与管理, 2017, 13 (4): 48~52.
- 马志军, 李博, 陈家宽. 迁徙鸟类对中途停歇地的利用及迁徙对策. 生态学报, 2005, 25 (6): 1404~1412.

- 马志军. 栖息地保护对鸟类保护的重要性. 生物学通报, 2017 (11): 6~8.
- 宁津生, 罗志才. 卫星跟踪卫星技术的进展及应用前景. 测绘科学, 2000, 25 (4): 1~4.
- 帕特里克·穆尼, 熊瑶. 加拿大下弗雷泽河盆地鸟类栖息地使用情况研究: 对于城市规划和生态保护的意义. 风景园林, 2011 (5): 143~155.
- 钱法文, 郑光美. 黄腹角雉的栖息地研究. 北京师范大学学报(自然科学版), 1993, 29 (2): 256~264.
- 钱法文. 中国鹤类保护现状调查. 森林与人类, 2005, 25 (5): 31~38.
- 屈延华, 雷富民, 尹祚华. 雪雀属鸟类栖息地在中国的分布. 动物学报, 2002, 48 (4): 471~479.
- 邵明勤, 龚浩林, 戴年华等. 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, 2018, 38 (14): 287~293.
- 邵明勤. 波斑鸨(*Otis undulata macqueenii*)繁殖行为研究. 中国科学院新疆生态与地理研究所硕士学位论文, 2002, 1~50.
- 史海涛, 郑光美. 红腹角雉(*Tragopan temminckii*)食物营养成分分析. 北京师范大学学报(自然科学版), 2000, 36 (3): 379~187.
- 舒晓莲, 陆舟, 杨岗等. 鸟类对广西西南部不同类型喀斯特湿地的利用. 中国鸟类, 2013, 4 (4): 291~305.
- 苏化龙, 刘焕金. 黑鹳繁殖生态的初步研究. 动物学报, 1989 (4): 444~446.
- 苏立英, 邹红菲. 丹顶鹤大陆种群现状、面临的威胁和自然保护的需要. 鸟类学研究, 2012, 03 (3): 147~164.
- 孙儒泳等. 普通生态学原理. 北京: 高等教育出版社, 1993, 25~75
- 孙志勇, 黄晓凤. 鄱阳湖越冬白鹤觅食地特征分析. 动物学杂志, 2010, 45 (6): 46~52.
- 唐明洁. 基于数据挖掘技术的鸟类迁徙规律发现. 中国科学院研究生院硕士学位论文, 2010, 15~45.
- 田强兵. 分析化学中检出限和测定下限的探讨. 化学分析计量, 2007, 16 (3): 72~73.
- 田迅, 杨允菲. 西辽河平原不同生境草芦种群分株生长的可塑性. 草地学报, 2004, 12 (1): 17~20.
- 佟守正, 吕宪国, 苏立英等. 扎龙湿地生态系统变化过程及影响因子分析. 湿地科学, 2008, 6 (2): 179~184.

- 万忠娟, 于少鹏, 王海霞等. 松嫩平原内陆盐碱湿地的类型特征及分布规律. 湿地科学, 2003, 1 (2): 141~146.
- 汪青雄. 扎龙湿地丹顶鹤(*Grus japonensis*)栖息地利用. 东北林业大学硕士学位论文, 2008, 17~19.
- 王成, 董斌, 朱鸣等. 升金湖湿地越冬鹤类栖息地选择. 生态学杂志, 2018, 37 (3): 810~816.
- 王磊, 邹红菲, 李晓民等. 图牧吉自然保护区白鹤秋季觅食地生境初步研究. 野生动物学报, 2009, 30 (1): 20~22.
- 王里, 吴志刚. 莫莫格自然保护区. 1989.
- 王岐山, 颜重威. 中国的鹤、秧鸡和鸨. 国立凤凰谷鸟园, 2002, 96~98.
- 王茹琳, 李庆, 封传红等. 基于 MaxEnt 的西藏飞蝗在中国的适生区预测. 生态学报, 2017, 37 (24): 8556~8566.
- 王文娟, 王榄华, 侯谨谨. 人工生境已成为鄱阳湖越冬白鹤的重要觅食地. 野生动物学报, 2019, (1): 133~137.
- 王晓光, 于孟文, 李志. 西辽河平原环境地质问题与可持续发展. 地质与资源, 2004, 13 (2): 116~118.
- 王学志, 徐卫华, 欧阳志云等. 生态位因子分析在大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)生境评价中的应用. 生态学报, 2008, 28 (2): 821~828.
- 王运生, 谢丙炎, 万方浩等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. 生物多样性, 2007, 15 (4): 365~372.
- 魏辅文, 冯祚建. 野生动物对生境选择的研究概况. 动物学杂志, 1998, (4): 48~52.
- 吴建东, 纪伟涛, 易武生. 在鄱阳湖越冬的东方白鹤的一些资料. 四川动物, 2001, 20 (1): 31~33.
- 吴建东, 李凤山, James Burnham. 鄱阳湖沙湖越冬白鹤的数量分布及其与食物和水深的关系. 湿地科学, 2013, 11 (3): 305~312.
- 吴建东. 白鹤越冬期的行为研究. 国际鹤类学术研讨会论文摘要集. 2002.
- 吴建东. 鄱阳湖区藕田出现大量白鹤觅食. 中国鹤类通讯, 2018, 22 (1): 7.
- 吴庆明, 杨宇博, 邹红菲等. 扎龙保护区春季丹顶鹤觅食的农田生境利用分析. 生态学报, 2017, 37 (9): 3212~3217.

- 吴庆明, 邹红菲, 金洪阳等. 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例. 生态学报, 2013, 33 (20): 6470~6477.
- 吴庆明, 邹红菲. 扎龙湿地白枕鹤孵化期觅食生境选择. 应用生态学报, 2009, 20 (7): 1716~1722.
- 吴伟伟, 顾莎莎, 吴军等. 气候变化对我国丹顶鹤繁殖地分布的影响. 生态与农村环境学报, 2012, 28 (3): 243~248.
- 吴志刚, 韩晓东. 莫莫格自然保护区的珍稀水禽. 野生动物学报, 1992, 13 (3): 20~24.
- 吴忠荣, 刘越强, 刘菡等. 滇池草海越冬水鸟种类、数量与栖息环境调查. 林业调查规划, 2008, 33 (3): 33~36.
- 伍和启, 杨晓君, 杨君兴. 卫星跟踪技术在候鸟迁徙研究中的应用. 动物学研究, 2008, 29 (3): 346~352.
- 肖红叶, 张明祥, 肖蓉. 莫莫格湿地主要生态服务功能动态评价. 湿地科学, 2014, 12 (4): 451~458.
- 谢静, 王宗明, 毛德华等. 基于面向对象方法和多时相 HJ-1 影像的湿地遥感分类——以完达山以北三江平原为例. 湿地科学, 2012, 10 (4): 429~438.
- 邢莲莲, 杨贵生, 潘艳秋. 内蒙古地区的鹤类研究. 海峡两岸鸟类学研讨会, 2005.
- 熊秉红, 李伟. 鄱阳湖自然保护区蚌湖和中湖池苦草冬芽的调查. 水生生物学报, 2002, 26 (1): 19~24.
- 徐基良, 张晓辉, 张正旺等. 白冠长尾雉越冬期栖息地选择的多尺度分析. 生态学报, 2006, 26 (7): 2061~2067.
- 刘旭, 张文慧, 李咏红等. 湿地公园鸟类栖息地营建研究——以北京琉璃河湿地公园为例. 生态学报, 2018, 38 (12): 4404~4411.
- 赵锦霞, 刘昊, 张利权. 崇明东滩越冬鸟类在养殖塘的空间分布[J]. 动物学研究, 2008, 29 (2): 212~218.
- 徐正刚, 王双业, 赵运林等. 基于卫星定位技术的洞庭湖麋鹿活动范围研究. 中南林业科技大学学报, 2017, 37 (2): 110~114.
- 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法. 生态学报, 2015, 35 (2): 557~567.

- 严慧玲, 刘东明, 陈红锋等. 河北邢汾高速边坡沿线植物群落物种组成与重要值分析. 水土保持研究, 2015, 22 (2): 328~339.
- 严丽, 丁铁明. 江西鄱阳湖区白鹤越冬调查. 动物学杂志, 1988, (4): 34~36.
- 颜忠诚, 陈永林. 动物的生境选择. 生态学杂志, 1998, 17 (2): 43~50.
- 杨兵兵, 于国海, 孙孝维等. 吉林莫莫格国家级自然保护区的鸟类资源. 动物学杂志, 2006, 41 (6): 82~91.
- 杨静远, 李一一, 李博旸等. 基于多元线性回归分析的冬季鸟类生境选择研究. 中国科技纵横, 2016, (15): 216~218.
- 杨玲, 李建君, 单提波等. 水稻田扁秆蔗草发生与防治对策. 现代化农业, 2011 (10): 4~5.
- 杨维康, 钟文勤. 鸟类栖息地选择研究进展. 干旱区研究, 2000, 17 (3): 71~78.
- 杨勇, 温俊宝, 胡德夫. 鸟类栖息地研究进展. 林业科学, 2011, 47 (11): 172~180.
- 叶明彬, 古河祥, 李丕鹏. 人工培育幼年绿海龟的卫星追踪试验. 四川动物, 2015, 34 (1): 15~20.
- 伊国良, 程万军, 周景英等. 图牧吉发现白鹤夏候鸟. 野生动物, 2003, 34 (6): 12.
- 于家捷, 王远, 李欣海. 中国 4 种长尾雉的分布格局及其影响因素. 海峡两岸鸟类学术研讨会, 2013.
- 余新晓, 张晓明, 王雄宾. 北京山区天然灌丛植被群落特征与演替规律. 北京林业大学学报, 2008 (s2): 107~111.
- 张孚允, 杨若莉. 中国鸟类迁徙研究. 北京: 中国林业出版社, 1997, 1~35
- 张国钢, 李淑红, 周景英等. 内蒙古图牧吉国家级自然保护区水鸟的资源状况. 四川动物, 2016, 35 (4): 617~621.
- 张国钢, 刘冬平, 江红星等. 青海湖四种繁殖水鸟活动区域的研究. 生物多样性, 2008, 16 (3): 279~287.
- 张国钢, 刘冬平, 钱法文等. 西藏南部羊卓雍错水鸟群落及斑头雁活动区域特征. 生态学报, 2016, 36 (4): 946~952.
- 张国钢, 郑光美, 张正旺等. 山西芦芽山褐马鸡越冬栖息地选择的多尺度研究. 生态学报, 2004, 25 (5): 952~957.

- 张海亭. 面向青海湖区域候鸟跟踪数据的可视化数据挖掘系统的研究与实现. 中国科学院计算机网络信息中心硕士学位论文, 2009, 1~25.
- 张会格. 黑颈鹤东部种群的迁徙路线及其停歇地研究. 中国林业科学研究院硕士学位论文, 2007, 58~69.
- 张峻华. 科尔沁国家级自然保护区湿地类型及保护对策. 内蒙古林业科技, 2007, 33 (2): 41~43.
- 张琼, 钱法文. 鄱阳湖越冬白鹤家庭行为. 动物学杂志, 2013, 48 (5): 759~768.
- 张婷婷, 彭昭杰, 周大庆, 鲁长虎. 我国丹顶鹤栖息地选择研究进展. 动物学杂志, 2019, 54 (1): 134~144.
- 张笑辰, 金斌松, 陈家宽等. 鄱阳湖四种水鸟的栖息地利用与水深和食物的关系. 动物学杂志, 2014, 49 (5): 657~665.
- 张笑辰. 鄱阳湖国家级自然保护区沙湖越冬水鸟的群落特征及栖息地利用. 南昌大学硕士学位论文, 2014, 14~22.
- 张颖, 李君, 林蔚等. 基于最大熵生态位元模型的入侵杂草春飞蓬在中国潜在分布区的预测. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2970~2976.
- 张正旺, 郑光美. 鸟类栖息地选择研究进展中国动物学会会员代表大会及中国动物学会 65 周年年会. 1999.
- 赵锦霞, 刘昊, 张利权. 崇明东滩越冬鸟类在养殖塘的空间分布. 动物学研究, 2008, 29 (2): 212~218.
- 赵锦霞. 崇明东滩养殖塘人工湿地景观特征与越冬水鸟空间分布格局. 华东师范大学硕士学位论文, 2008, 23~30.
- 赵青山, 楼瑛强, 孙悦华. 动物栖息地选择评估的常用统计方法. 动物学杂志, 2013, 48 (5): 732~741.
- 赵文娟, 陈林, 丁克坚等. 利用 MAXENT 预测玉米霜霉病在中国的适生区. 植物保护, 2009, 35 (2): 32~38.
- 赵小雷, 凌云, 张光富等. 大丰麋鹿保护区不同生境梯度下滩涂湿地植被的群落特征. 生态学杂志, 2010, 29 (2): 244~249.
- 赵雪冰, 王紫江, 吴兆录. 红嘴鸥繁殖地与越冬地的环境和生活习性对比. 云南大学学报(自然科学版), 2008 (S2): 279~282.

- 赵志轩, 严登华, 耿雷华, 等. 白洋淀东方大苇莺繁殖生境质量评价. 应用生态学报, 2014, 25 (5): 1483~1490.
- 郑光美, 张正旺. 自然科学年鉴. 鸟类学进展. 上海: 上海翻译出版公司, 1992: 181~185.
- 郑光美. 鸟类学. 北京: 北京师范大学出版社, 1995, 1~585
- 中国东部沿海湿地越冬白头鹤栖息地选择和行为时间分配. 湿地科学与管理, 2017, 13 (4): 48~52.
- 中国科学院中国植物志委员会. 中国植物志. 第八卷, 被子植物门, 单子叶植物纲, 香蒲科 冰沼草科 露兜树科 泽泻科 黑三棱科 花蔺科 水蕹科 水鳖科 眼子菜科 霉草科 茨藻科. 北京: 科学出版社, 1992, 15~78
- 周福璋, 丁文宁. 白鹤(*Grus leucogeranus*)越冬习性. 动物学杂志, 1982, (4): 19~21.
- 周海涛, 那晓东, 臧淑英. 近 30 年松嫩平原西部地区丹顶鹤栖息地适宜性动态变化. 生态学杂志, 2016, 35 (4): 1009~1018.
- 周海涛. 鸟类栖息地适宜性评价方法研究进展. 科学技术创新, 2016, (3): 117.
- 周琳. 东北气候. 北京: 气象出版社, 1991, 12~30
- 朱耿平, 刘国卿, 卜文俊等. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用. 生物多样性, 2013, 21 (1): 90~98.
- 朱丽娟, 刘红玉. 挠力河流域丹顶鹤繁殖期生境景观连接度分析. 生态与农村环境学报, 2008, 24 (2): 12~16, 83.
- 朱献恩, 于润秋. 青岛市崂山区森林益鸟调查. 四川动物, 1994, (2): 88~89.
- 邹红菲, 黄华智, 宋雅玲等. 我国松嫩平原鹤类研究进展. 野生动物学报, 2018, 214 (2): 433~437.
- 邹丽丽, 陈晓翔, 何莹等. 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价. 生态学报, 2012, 32 (12): 3722~3728.

## 在读期间的学术研究

### 1.参加的野外调查

2015年11月~2017年11月在江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区、吉林莫莫格国家级自然保护区、黑龙江泰湖湿地公园等地环志鹤形目、鹳形目、雁鸭类、鹭类等湿地水鸟的环志共14次。

2016年9月~10月在吉林莫莫格国家级自然保护区参加候鸟迁徙同步调查，并在白鹤中途停歇地采样。

2016年12月在江西鄱阳湖参加候鸟迁徙同步调查，并对越冬白鹤进行栖息地采样。

2016年10月在江西鄱阳湖参加东部迁徙水鸟保护区江西鄱阳湖区水鸟考察。

### 2.参加的学术会议

2017年9月参加第十四届翠鸟论坛（陕西西安），对《跟踪白鹤在春季中途停歇地的微栖息地选择》进行墙报展示。

2017年9月参加第十四届全国鸟类学大会（陕西西安），并进行以 *Microhabitat Selection in Spring Stopover Sites of Satellite Tracked Siberian Crane* 为题的英文口头报告。

### 3.发表的论文

徐家慧, 钱法文. 鸿雁迁徙的卫星跟踪研究. 中国鸟类研究简讯, 2016, 25(2):25.

李秀明, 徐家慧, 钱法文. 白鹤春季和秋季迁徙路线的卫星跟踪研究. 湿地科学, 2016, 14(3):347-353.

Xu Jiahui, Qian Fawen. Micro-habitat Selection in Spring Stopover Sites of Satellite Tracked Siberian Crane. 第十四届全国鸟类学术研讨会论文摘要集, 2017.

徐家慧, 薛琳, 李秀明, 王永, 钱法文. 中国东北地区卫星跟踪白鹤中途停歇地栖息地研究. 湿地科学 (已接收).

薛琳, 徐家慧, 李秀明, 武爱明, 钱法文. 救护白鹤与野生白鹤迁徙路线和活动规律差异分析. 生态学报 (审稿, 稿件号: stxb201901090081).

## 致 谢

鹤来鹤往，春去秋回。林院三载，白驹过隙。自感经历颇多，有上下求索之艰，有废寝忘食之难，有冥思苦想之困，有舟车劳顿之苦，然当学业终成之际，睹鹤翔长空之时，再回首前路，所谓苦累，皆凝硕果，以往之怨，何足道哉？思绪至此，又觉能于此清雅书院，近水楼台，聆高贤教诲，获科学真知，实乃三生有幸。

恩师法文，传道授业，解惑答疑，虚怀若谷，启蒙发覆。治学之专注，文章之严谨，皆如春风化雨，润物无声。古人云：善之本在教，教之本在师。余深感于此，钱师督学业兴废，循循善诱，谆谆教诲；察生活疾苦，嘘寒问暖，呵护有加。鱼渔双授，师恩难忘，祝身康体健，桃李满门。

师姐秀明，不辞劳苦，诱掖后进；师妹薛琳，自初到之时便悉心相助，相与分忧，互为解难。余二人常出入与野外，赏天高云淡之美，研百鸟习性之学，共风餐露宿之苦。此文能成，亦有其心血在内。望其今后仍能朝乾夕惕，孜孜不倦，乘风破浪，前程似锦。师妹爱明，谦虚敬慎，勤勉好学，祝砥砺前行，于无涯学海满载而归。森环诸师，江泽平、陆军、江红星、张国钢、高树、刘冬平、孙戈、马天、陈丽霞、王毅花、侯振宏、索锦惠、刘晓霞；北林诸师，丁长青、关文彬、李俊清，夙兴夜寐，皓首穷经，吾辈之楷模，当毕生效法。

因调研之需，余常出入于三地，得多位贵人相助。一于南矾，受万松贤、冯磊、潜志毅、李建新、袁芳凯、黄冠华、段漠山等人之助。二于鄱阳湖，受刘观华、曾南京、廖宝雄、林发荣、黄锦波、龚磊强、陶端基等人之助。三于莫莫格，受邹畅林、王永之助。诸公之恩，不胜感激。

学贵得师，亦贵得友。幸遇同窗周兄，志同道合，契若金兰，诗书共适，苦乐同享，谏余于骄矜懈怠，励余于颓败苦闷。又遇罗曦、赵京京、艾娟娟、王佳童、陈东、刘亚东等好友数人。书生意气，话头多合，论古今，谈人生，品美食，游胜地，诉衷肠，助急难。感诸位之情义，余诚惶诚恐，感慨万千，何德何能，竟得友如此，幸甚至哉，当浮一大白！

余求学在外，常念桑梓。父母之恩，山高水长，舐犊情深，寸草春晖，结草衔环，无以为报。同脉长姐，怜我惜我，自幼相依，解衣推食，手足之情，平生一人。自幼蒙家风诱诲，励短引长，重仁孝，轻钱财，守中正，薄名利，方使余求学至今未入歧路一步。徐氏门庭，养我育我，余反哺之心，纵千言万语，岂能道之一二？

今将拜离林院，未来之日当固本浚源，慎始敬终，谦卑自牧，知行合一，必不负于此所学。