

DOI: 10.20103/j.stxb.202309282113

刘红, 雷宇, 孟子文, 张建军, 陈南英, 刘强. 玛卡种植对云南会泽越冬斑头雁栖息地利用和选择的影响. 生态学报, 2024, 44(20): 9221-9232.

Liu H, Lei Y, Meng Z W, Zhang J J, Chen N Y, Liu Q. Effects of Maca *Lepidium meyenii* planting on habitat utilization and selection of wintering Bar-headed Geese *Anser indicus* in Huize, Yunnan. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(20): 9221-9232.

玛卡种植对云南会泽越冬斑头雁栖息地利用和选择的影响

刘红^{1,2,3,4}, 雷宇^{1,2,3,4}, 孟子文^{1,2,3,4}, 张建军⁵, 陈南英⁵, 刘强^{1,2,3,4,*}

1 西南林业大学云南省高原湿地保护修复与生态服务重点实验室, 昆明 650224

2 西南林业大学国家高原湿地研究中心/生态与环境学院, 昆明 650224

3 西南林业大学云南滇池湿地生态系统国家定位观测研究站, 昆明 650224

4 西南林业大学滇池湖泊生态系统云南省野外科学观测研究站, 昆明 650224

5 云南会泽黑颈鹤国家级自然保护区管护局, 曲靖 654200

摘要: 玛卡 (*Lepidium meyenii*) 作为一种滋补药材在 2012 年引入我国西南地区, 随后种植面积不断扩大, 在 2018 年前后因市场价格回落, 其种植规模迅速萎缩。云南会泽黑颈鹤国家级自然保护区念湖片区是斑头雁 (*Anser indicus*) 的重要越冬地, 也是玛卡的主要产区之一, 玛卡种植面积的剧烈变化也为研究农田候鸟对农耕环境的适应性提供了契机。于 2015—2020 年在使用卫星跟踪技术在会泽保护区对 8 只越冬斑头雁进行了长时跟踪, 在个体水平上比较了玛卡种植期 (2015—2018 年) 和传统作物种植期 (2019—2021 年) 越冬斑头雁栖息地利用和选择的差异, 结果表明: (1) 在两个时期, 斑头雁的栖息地利用模式发生了剧烈改变。在玛卡种植期斑头雁主要利用沼泽 (71.29±3.54)% , 其次为耕地 (18.12±2.90)% 和深水水域 (10.59±5.97)% , 而在传统作物种植期, 主要的利用类型则转变为耕地 (74.44±4.84)% , 其次为沼泽 (12.53±6.97)% 和深水水域 (12.25±2.44)% 。 (2) 对于同一只斑头雁个体, 在不同越冬年份, 其栖息地利用模式较稳定。A5 号斑头雁在 2019 年和 2020 年越冬季均表现为对耕地利用率较高, 分别为 76.95% 和 80.41% ; A6 号斑头雁在 2019、2020 和 2021 年越冬时, 均偏好利用耕地, 利用率分别为 76.52%、80.61% 和 75.74% 。 (3) 在栖息地选择方面, 斑头雁对 9 个环境因子均具有选择性。根据随机森林模型评估结果, 最重要的因子均为距夜栖地距离, 表明斑头雁对夜栖水环境的依赖性。在其它因子上, 两个时期则表现出一定的差异性。在玛卡种植期, 斑头雁栖息地选择模式中各类因子的优先顺序为夜栖地>主要觅食地>回避类栖息地>人为干扰因子; 在传统作物种植期则为夜栖地>回避类栖息地>人为干扰因子>主要觅食地。综合来看, 玛卡种植会对斑头雁产生不利影响, 不仅会直接减少斑头雁的优质栖息地面积, 而且会直接改变斑头雁栖息地利用和选择模式。建议在保护区内或周边区域实施大规模农业耕种模式调整时, 应充分考虑农田鸟类的栖息地需求, 进行科学管理。

关键词: 斑头雁; 玛卡; 随机森林; 栖息地选择; 栖息地利用

Effects of Maca *Lepidium meyenii* planting on habitat utilization and selection of wintering Bar-headed Geese *Anser indicus* in Huize, Yunnan

LIU Hong^{1,2,3,4}, LEI Yu^{1,2,3,4}, MENG Ziwen^{1,2,3,4}, ZHANG Jianjun⁵, CHEN Nanying⁵, LIU Qiang^{1,2,3,4,*}

1 Yunnan Key Laboratory of Plateau Wetland Conservation, Restoration and Ecological Services, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

2 National Plateau Wetlands Research Center/College of Ecology and Environment, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

3 National Wetland Ecosystem Fixed Research Station of Yunnan Dianchi, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

4 Dianchi Lake Ecosystem Observation and Research Station of Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

5 Yunnan Huize Black-necked Crane National Nature Reserve Administration, Qujing 654200, China

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32060120); 云南省高原湿地保护修复与生态服务重点实验室开放基金 (202105AG070002)

收稿日期: 2023-09-28; **网络出版日期:** 2024-07-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuq03@mail.kiz.ac.cn

Abstract: Maca (*Lepidium meyenii*) was introduced to southwest China as a tonic herb in 2012. Subsequently, the planting area expanded, however its plantation scale shrank rapidly around 2018 due to the price drop. The Nianhu zone of Yunnan's Huize Black-necked Crane National Nature Reserve is an important wintering ground for the Bar-headed goose (*Anser indicus*). It is also one of the main production areas for maca. The drastic changes in the maca planting area provide an opportunity to study how migratory farmland birds adapt to changes in the farming environment. From 2015 to 2020, eight wintering Bar-headed geese were tracked in the Huize Nature Reserve over a long period using satellite tracking technology. Their habitat use and selection were compared at the individual level during the maca planting period (2015—2018) and the traditional crop planting period (2019—2021). Our results showed that: (1) The habitat use patterns of Bar-headed geese changed greatly between the two periods. During maca planting, Bar-headed geese mainly used marshes ($71.29 \pm 3.54\%$) followed by cultivated land ($18.12 \pm 2.90\%$) and deep water ($10.59 \pm 5.97\%$). In traditional crop planting, their main habitat use shifted to cultivated land ($74.44 \pm 4.84\%$), then marshes ($12.53 \pm 6.97\%$) and deep water ($12.25 \pm 2.44\%$). (2) For the same Bar-headed goose individual, the habitat use pattern was more stable in different wintering years. In 2019 and 2020, the goose A5 showed a high utilization rate of farmland in winter, which was 76.95% and 80.41%, respectively. In 2019, 2020 and 2021, the goose A6 preferred to use farmland and the utilization rates were 76.52%, 80.61% and 75.74%, respectively. (3) In terms of habitat selection, the Bar-headed goose demonstrated selectivity for nine environmental factors. The evaluation results of the random forest model showed that the distance from nocturnal habitat was the most important factor. This highlights the Bar-headed goose's dependence on the nocturnal water environment. Regarding other factors, there were some differences between the two time periods studied. During the maca planting season, the habitat selection priorities of bar-headed geese were: preferred nocturnal habitats, main foraging grounds, avoided habitats, and anthropogenic disturbance factors. In the traditional crop planting season, the priorities were: preferred nocturnal habitats, avoided habitats, anthropogenic disturbance factors, and main foraging grounds. Overall, maca planting negatively impacts Bar-headed geese. It directly reduces the area of high-quality habitats, and changes how geese use and select habitats. When implementing large-scale farming changes in or near reserves, the habitat needs of farmland birds should be fully considered and managed scientifically.

Key Words: *Anser indicus*; Maca; random forest; habitat selection; habitat utilization

农业景观扩张正重新塑造地表景观。这些变化对鸟类等野生动物产生了深远的影响。一方面导致了许物种的生境丧失^[1]、食物减少^[2],进而造成一些鸟类的区域性濒危或灭绝^[3]。另一方面,农业景观也可以为鸟类提供栖息地和易获得的食物^[4-6],从而促进了某些鸟类的种群发展,如黑颈鹤(*Grus nigricollis*)^[7-8]、白额雁(*Anser albifrons*)^[9]、白鹤(*Leucogeranus leucogeranus*)^[10]和斑头雁(*A. indicus*)^[11-12]等。有越来越多的鸟类正放弃原来的生存方式,转而进入农田活动^[13]。当鸟类对农田生境产生越来越强的依赖性后,农业活动的改变,如种植作物种类变化^[14]、新型农药的使用^[15-17]、集约化^[18-19]等便会对这些鸟类产生重大影响。目前的研究多关注于大尺度上景观变化对鸟类的影响^[20-22],而忽视了微尺度上景观内部属性与鸟类的关系,以及栖息地特征改变时鸟类做出的行为响应。

斑头雁隶属于雁形目(ANSERIFORMES)鸭科(Anatidae),是亚洲特有种,国内繁殖于新疆、西藏、青海、宁夏、甘肃、内蒙古、呼伦池和克鲁伦河一带,越冬在我国长江流域以南的广大地区^[23]。在越冬期不仅可利用湖泊、河流、沼泽、草地等自然生境,对耕地也有较强的偏好,会大量取食豌豆、萝卜、白菜、绿肥^[24]和冬小麦^[11]等农作物。

云南会泽黑颈鹤国家级自然保护区大桥片区是斑头雁在云贵高原上的主要越冬地之一,在此越冬的种群数量在 600 只左右^[25]。该地区的传统农作物主要为马铃薯和玉米,而收获后遗落的农作物也成为斑头雁的优质食物,吸引了大量斑头雁到耕地中觅食。会泽县在 2004 年引进玛卡,由于经济效益高,种植玛卡迅速成

为该县高海拔山区的特色致富产业^[26]。在 2015—2016 年间,玛卡已经成为念湖周边的主要作物类型,玛卡种植面积可占当地耕地面积的 90% 以上;至 2018 年前后,由于价格突降,玛卡种植面积迅速萎缩,耕地内又恢复为传统作物。

这种种植作物的显著改变也为探讨农田鸟类的行为适应性以及与环境间的关系提供了契机。本研究以越冬斑头雁为研究对象,旨在探讨在景观构成稳定的农田景观镶嵌体中,微尺度水平上的种植作物改变对其栖息地利用和选择模式的影响。从而为农耕区鸟类的保护和管理提供科学依据。

1 研究区概况

结合斑头雁日间活动点和研究区内生境情况,以念湖为中心外扩至四周山脊线作为研究区范围。研究区位于云南省曲靖市会泽县境内,是会泽黑颈鹤国家级自然保护区大桥片区的主要构成部分,片区海拔 2470—3092.2 m,地理位置为东经 103°12′—103°22′,北纬 26°38′—26°44′,属于北温带气候类型。念湖原名跃进水库,水域面积 400—790 hm²,径流面积 135500 hm²,多年平均产水量 6622.6 万 m³,总库容 5040 万 m³,正常蓄水位 2492.3 m^[27]。研究区内栖息地类型多样,包括耕地、深水水域、沼泽、林地和草地等。由于海拔高,温度低,当地仅能种植性喜凉的作物,如马铃薯、玉米、燕麦、苦荞、蔓菁等^[27]。

2 研究方法

2.1 数据收集

在获取当地林业部门许可后,于 2015—2020 年间,使用脚套法捕捉 8 只斑头雁并为其佩戴卫星跟踪器 (Anit-GT 0325,杭州粤海),跟踪器大小为 60 mm×25 mm×29 mm,重 25 g,约占斑头雁平均体重的 1.67%。对于获取的卫星跟踪数据,首先进行数据筛选,去除经纬度和海拔明显与所在区域不符、PDOP (位置精度) 和 HDOP (水平位置精度) 大于等于 4 以及瞬时速度大于 30 km/h 的位点。随后通过日出日落时间筛选出日间活动数据。根据研究区内玛卡种植情况将 8 只斑头雁划分为两类:第一类为玛卡种植期 (2015—2016 年) 跟踪的斑头雁,编号为 A1、A2、A3 和 A4;第二类为传统作物种植期 (2018—2021 年) 跟踪的斑头雁,编号为 A5、A6、A7 和 A8 (表 1)。由于每只斑头雁获取的位点数有较大差异,为了维持个体间取样的均衡性,在玛卡种植期间跟踪的斑头雁每只随机抽取 100 个点,传统作物种植期间,每只随机抽取 200 个点用于构建随机森林模型。使用 ArcGIS 10.8 在研究区内随机生成 10000 个对照点,对照点覆盖在整个研究区域内。根据实地考察情况,将栖息地分为林地、草地、耕地、沼泽、深水水域、建筑用地六种栖息地类型,其中:(1) 林地:主要为人工林,优势树种为云南松,分布于坡顶和村庄周围;(2) 草地:以禾本科植物为主,分布于坡顶耕地周围;(3) 耕地:种植类型主要为马铃薯、其次为蔓菁、小麦、玉米等;(4) 沼泽:地势低洼,水深小于 50 cm 的浅水区域,主要分布于水库西部流入湖区域;(5) 深水水域:水深大于 50 cm 的水域,分布于入湖拦水坝以东。(6) 建筑用地 (居民点):建筑物及附近硬化路面。在栖息地选择研究中,可以使用活动位点到各栖息地类型的最短距离作为衡量指标^[28—29]。结合斑头雁的生态需求及研究区实际情况,依据觅食地、休息地、干扰源三个方面设定环境因子,共选取了 9 个环境变量,分别为距夜栖地距离、距耕地距离、距沼泽距离、距草地距离、距深水水域距离、距居民点距离、距沼泽距离、距公路距离、距村道距离。具体方法为,在地理空间数据云 (<https://www.gscloud.cn>) 中下载 2019 年 1 月的 Landsat 8 影像为数据源,在 ENVI 5.3 中截取研究区域并进行数据预处理和监督分类,由于影像分辨率限制,在进行监督分类时,以 Google Earth Pro 高清影像作为辅助选取影像解译的训练点^[30]。解译后使用混淆分类矩阵评价其分类精度,计算出念湖区域的总体分类精度为 95.56%,Kappa 系数为 95.87%,分类精度良好。由于分辨率限制,公路和村道无法通过 Landsat 影像解译获得,因此在 Google Earth Pro 高清影像中对公路和村道进行数字化。距离和面积计算均在 ArcGIS10.8 中进行,文中相关数据以平均值±标准差 (Mean±SD) 表示。

2.2 数据分析

在 SPSS 中采用 Mann-Whitney U 检验分析实际活动点与对照点之间各个因子的差异显著性,将差异显著

的因子放入随机森林模型中构建栖息地选择模型,确定斑头雁日间栖息地选择过程中各个环境因子影响程度的高低。随机森林模型对多元共线性问题不敏感,可以很好地处理相关变量,最大化的保留各因子信息^[31-32]。随机森林模型可以给出各个变量对选择结果的影响程度,为了提高模型的预测准确率,根据误差率最低原则和观察模型错误率与 ntree 的关系对随机森林模型的 2 个重要参数 mtry 和 ntree 进行优化^[33]。使用 R 4.2.0 中的 Random Forest 包构建随机森林模型。为了确定各因子对选择结果影响的显著性,使用 rfPermute 包进行了因子显著性检验^[34]。

表 1 斑头雁跟踪时长

Table 1 The tracking duration of Bar-headed geese

个体 Individual	跟踪时长 Tracking duration	个体 Individual	跟踪时长 Tracking duration	个体 Individual	跟踪时长 Tracking duration
A1	2015-02-01—2015-03-09	A5	2019-01-15—2019-03-03		2021-01-12—2021-02-23
A2	2016-03-10—2016-04-03		2019-12-02—2020-02-29	A7	2018-12-26—2019-01-14
A3	2016-03-17—2016-05-01	A6	2019-01-15—2019-02-09	A8	2020-12-17—2021-02-23
A4	2016-01-23—2016-03-24		2020-01-26—2020-03-10		

3 结果与分析

3.1 栖息地特征

遥感影像解译结果显示,研究区总面积为 7295.16 hm²,以耕地和林地为主要景观类型,分别占研究区的 48.70%和 31.58%;深水水域、建筑、草地和沼泽占比较小,分别为 7.87%、5.43%、5.21%和 1.21%。在空间分布上,念湖东部为深水水域,西部是沼泽。耕地沿念湖南北两岸分布,且呈现出聚集分布的特点。建筑主要以带状形式分布在耕地上,林地于海拔较高的研究区外围,草地面积较小且分布较为分散,并被耕地和林地包围(表 2、图 1)。

表 2 念湖湿地各景观类型面积和比例

Table 2 Area and proportion of landscape types in Nianhu wetland

栖息地类型 Land type	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	栖息地类型 Land type	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%
耕地 Farmland	3553.15	48.70	建筑用地 Land for construction	395.98	5.43
林地 Forestland	2304.06	31.58	草地 Grassland	379.83	5.21
深水水域 Deep water	573.85	7.87	沼泽 Swamps	88.29	1.21

3.2 栖息地选择

Mann-Whitney 检验表示玛卡种植期和传统作物种植时期的斑头雁各因子的实际分布点和对照点间均存在极显著差异($P < 0.01$),说明斑头雁选择栖息地时对这些因子有明显的选择性(表 3、表 4)。

3.2.1 玛卡种植期

在玛卡种植期间,斑头雁进行栖息地选择时,距夜栖地距离因子和距沼泽距离因子极为重要(图 2)。沼泽和深水水域为主要觅食地,林地、耕地和草地是回避类栖息地,居民点、村道和公路是人为干扰因子。在玛卡种植期,斑头雁栖息地选择的环境因子重要性排序为:夜栖地>主要觅食地>回避类栖息地>人为干扰因子。斑头雁在距夜栖地 0—4000 m 区间内,影响曲线呈递减趋势,说明斑头雁倾向于选择距夜栖地近的日间栖息地。随着距沼泽距离的增大,斑头雁选择栖息地的几率逐渐降低,特别是在 0—400 m 区间内,下降趋势明显。在距林地 200 m 内时,斑头雁几乎不做选择,超过 200 m 时,影响曲线呈上升趋势,表明斑头雁在选择栖息地时会回避林地。距深水水域越远,选择可能性越低,表明斑头雁在选择栖息地过程中,会选择距深水水域近的区域。距草地 300 m 范围内,斑头雁几乎不做选择,超过 300 m 时,选择几率随着距离的增加逐渐降低。距公

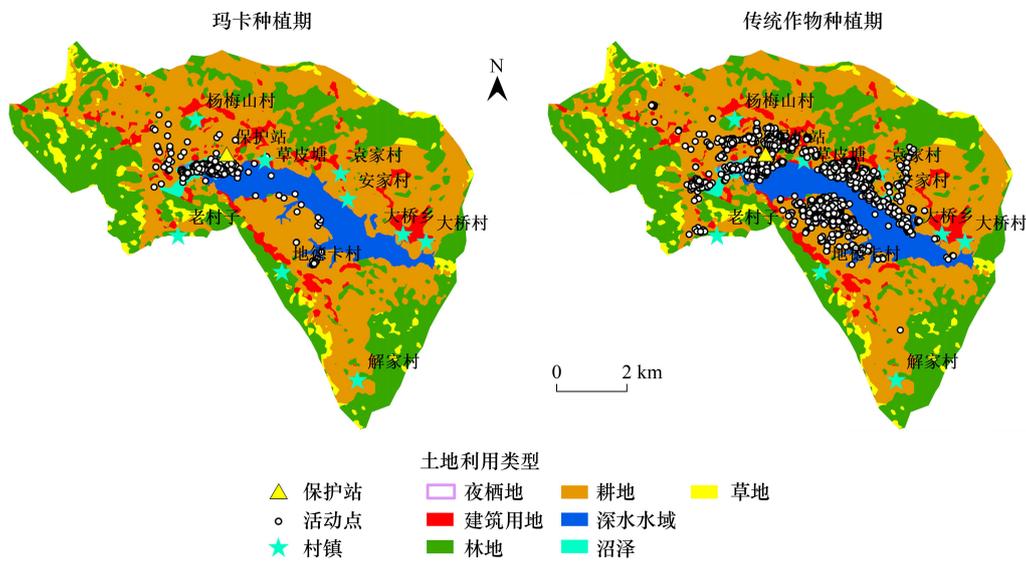


图 1 研究区栖息地类型及所跟踪斑头雁的活动位点

Fig.1 Habitat types and GPS positions of tracked Bar-headed Geese in the study area

路距离因子影响曲线总体趋势呈上升趋势,尤其是 500—550 m 区间内,随着距居民点距离的升高,影响曲线明显升高。距居民点距离因子影响曲线波动较大,在 0—40 m 区间内,选择性随着距居民点距离增加而升高。距耕地距离越远,选择几率越高,尤其是 0—140 m 范围内,影响曲线上升较为明显。距村道距离因子影响曲线主要分为两段,在 0—60 m 区间内,距村道越远,选择可能性越小,320—420 m 区间内,距村道越远,选择可能性越大(图 3)。

表 3 玛卡种植期间斑头雁越冬期实际活动点和对照点间各因子特征比较

Table 3 Comparison of the characteristics of factors between active points and control points during the wintering period of the Bar-headed Geese during Maca planting

变量 Variables	活动点 Active sites (n=399)	对照点 Control sites (n=10000)	Z	P	最大值 Max	最小值 Min
距草地距离 Distance to the grassland/m	682.14±8.22	680.27±6.29	-6.306	$P<0.001$	1634.47	221.21
距耕地距离 Distance to the farmland/m	74.15±3.31	94.32±1.68	-7.853	$P<0.001$	346.00	0.00
距居民点距离 Distance to the settlement/m	308.06±4.27	458.32±4.09	-3.12	$P=0.002$	718.84	18.02
距深水水域距离 Distance to the deep water/m	133.64±6.46	1668.69±13.26	-25.284	$P<0.001$	1274.52	0.00
距沼泽距离 Distance to the swamps/m	188.01±35.79	2454.49±16.01	-30.899	$P<0.001$	3612.61	0.00
距林地距离 Distance to the forestland/m	471.50±5.95	152.16±2.01	-27.743	$P<0.001$	942.42	70.61
距公路距离 Distance to the highway/m	421.79±6.53	928.40±8.13	-11.189	$P<0.001$	1142.52	75.72
距村道距离 Distance to the village trail/m	139.37±5.31	271.70±2.70	-9.089	$P<0.001$	478.59	0.06
距夜栖地距离 Distance to the nocturnal roosting site/m	183.15±35.50	3535.89±19.47	-32.034	$P<0.001$	3561.26	0.00

表 4 传统作物种植期间斑头雁越冬实际栖息点和对照点间各因子特征比较

Table 4 Comparison of the characteristics of various factors between the actual habitat points and the control points during the wintering period of the Bar-headed Geese during the planting period of traditional crops

变量 Variables	活动点 Active sites (n=800)	对照点 Control sites (n=10000)	Z	P	最大值 Max	最小值 Min
距草地距离 Distance to the grassland/m	1158.77±21.25	680.27±6.29	-21.505	P<0.001	2319.45	92.56
距耕地距离 Distance to the farmland/m	14.84±1.20	94.32±1.68	-14.773	P<0.001	206.87	0.00
距居民点距离 Distance to the settlement/m	359.28±9.22	458.32±4.09	-3.599	P<0.001	1051.84	0.00
距深水水域距离 Distance to the deep water/m	296.51±16.36	1668.69±13.26	-31.171	P<0.001	3152.83	0.00
距沼泽距离 Distance to the swamps/m	1272.29±44.83	2454.49±16.01	-20.570	P<0.001	4410.72	0.00
距林地距离 Distance to the forestland/m	434.43±8.56	152.16±2.01	-32.507	P<0.001	1129.90	0.00
距公路距离 Distance to the highway/m	560.46±12.10	928.40±8.13	-9.670	P<0.001	1350.06	6.12
距村道距离 Distance to the trail/m	163.57±3.25	271.70±2.70	-6.777	P<0.001	441.64	0.93
距夜栖地距离 Distance to the nocturnal roosting site/m	1368.61±43.92	3535.89±19.47	-30.083	P<0.001	4462.92	0.00

3.2.2 传统作物种植期

在传统作物种植期间,斑头雁在进行栖息地选择时,距夜栖地距离、距沼泽距离、距深水水域距离和距林地距离因子更重要(图4)。耕地、沼泽和深水水域为主要觅食地,林地和草地是回避类栖息地,居民点、村道和公路是人为干扰因子。在传统作物种植期斑头雁栖息地选择的环境因子重要性排序为:夜栖地>回避类栖息地>人为干扰因子>主要觅食地。随着距夜栖地距离的增加,选择可能性逐渐降低,说明斑头雁倾向于选择距夜栖地近的日间栖息地。在距沼泽0—700 m区间内,选择几率随着距离的增加急剧降低,这表明斑头雁倾向于选择距沼泽极近的日间栖息地。距深水水域距离越远,选择日间栖息地的几率越低。随着距草地距离的增加,影响曲线缓慢上升,在1500—2000 m区间内,曲线上升幅度明显变大,表明斑头雁倾向选择距草地远的日间栖息地,尤其是距草地距离超过1500 m的日间栖息地。在距林地0—600 m区间内,选择几率随距离的增加而增加,距林地越远,选择几率越高。距公路距离因子影响曲线波动较大,0—75 m和150—200 m区间范围内,选择几率随着距离增加急剧降低。在75—150 m区间和1000—1250 m区间内,选择几率随距离的增加而增高,可能是因为斑头雁在进行栖息地选择时,考虑公路较少。距村道0—90 m区间内,距离越远,选择可能性越小,在230—280 m区间内,距离越远,选择可能性越大。距居民点0—125 m区间内,随着距离的增加,选择几率上升趋势明显,在125—500 m区间内,距离越远,选择可能性越小,在500—1250 m区间,随着距离的增加,选择几率逐渐升高,这表明斑头雁在125 m区间内对居民点的干扰较为敏感,距离超过125 m时,斑头雁在进行栖息地选择时,受到居民点的影响较小。随着距耕地距离的增加,选择性逐步升高,在0—20 m区间的

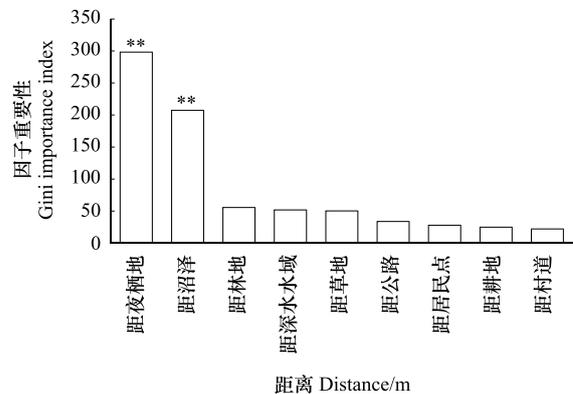


图 2 玛卡种植期间斑头雁栖息地选择的环境因子重要性排序

Fig. 2 Ranking of environmental factors in habitat selection of Bar-headed Geese during Maca planting

* * 表示该因子的显著性($P<0.01$)

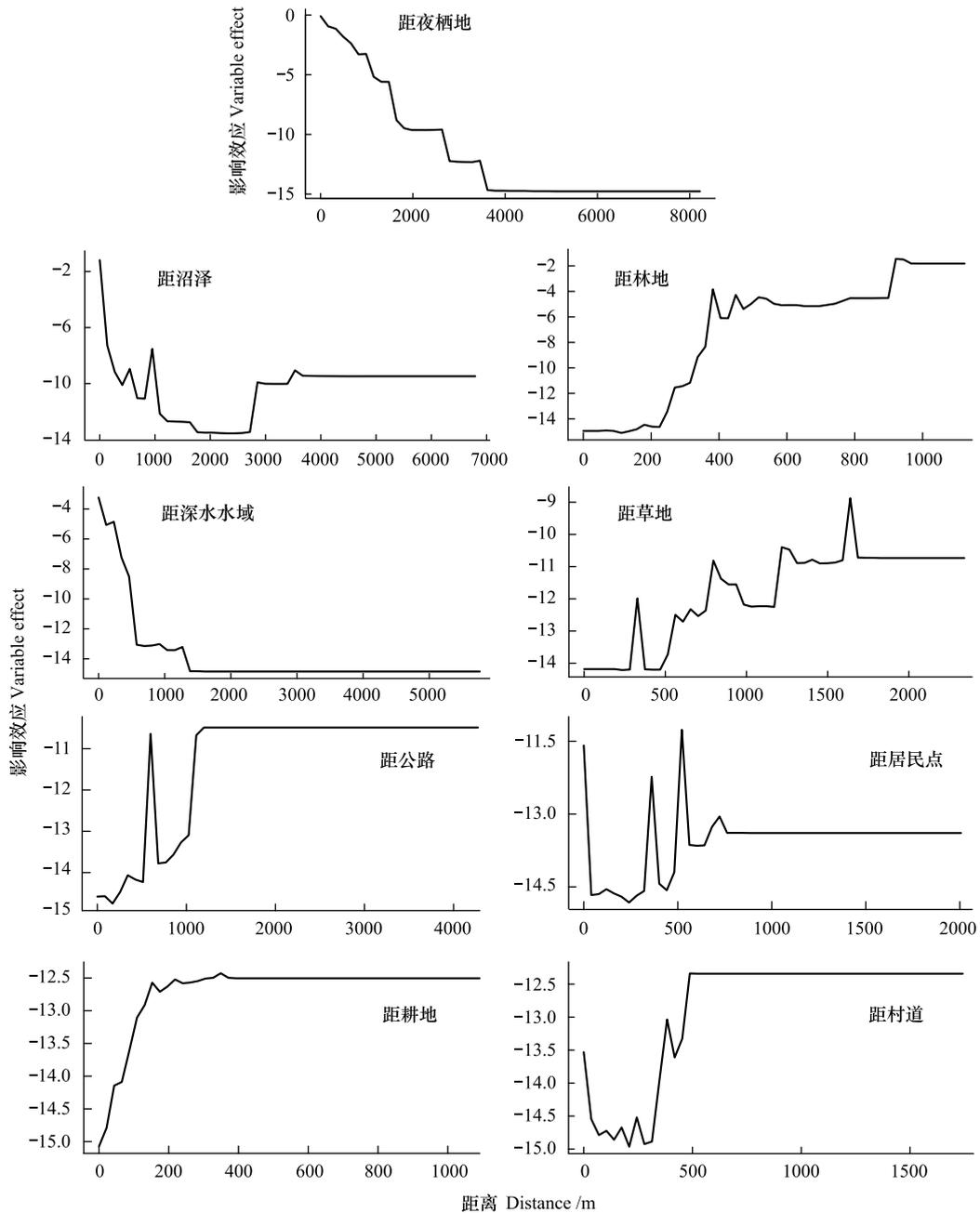


图 3 环境变量对玛卡种植期斑头雁栖息地选择的影响

Fig.3 Effects of environmental variables on habitat selection of Bar-headed Geese during Maca planting

表现极为强烈,并且在距离超过 20 m 的区域影响曲线波动较大,说明斑头雁对耕地极为依赖(图 5)。

3.3 栖息地利用

通过比较不同农作物种植时期斑头雁的栖息地利用率发现,玛卡种植时期和传统作物种植期的斑头雁栖息地利用存在明显差异。在玛卡种植期,所跟踪的斑头雁主要利用沼泽(71.29±3.54)%,其次为耕地(18.12±2.90)%和深水水域(10.59±5.97)%,对其它栖息地类型无利用。在传统作物种植期斑头雁的栖息地利用模式则发生了重大变化,主要栖息地类型转变耕地(74.44±4.84)%,其次为沼泽(12.53±6.97)%和深水水域(12.25±2.44)%(图 6)。

8 只跟踪的斑头雁中,A5 和 A6 号斑头雁获得了多年的越冬期活动数据。对比发现,在环境稳定时这两

只斑头雁均表现出相似的栖息地利用模式,即主要利用耕地,其次为深水水域,对其它栖息地类型利用率均较低。A5号斑头雁在2019年和2020年越冬时的栖息地利用情况较为类似,均以耕地为主,利用率分别为76.95%和80.41%,其次为深水水域,利用率分别为20.24%和13.99%,对沼泽利用较少,分别为2.00%和5.28%,几乎不利用建筑物和林地(利用率<1%)。A6号斑头雁在2019、2020和2021年越冬期的栖息地利用情况基本类似,对耕地的利用率最高,分别是76.52%、80.61%和75.74%,对深水水域和沼泽利用较少,对深水水域的利用率分别为19.84%、5.45%和15.65%,对沼泽的利用率分别为2.83%、12.73%和7.71%,对建筑物和林地的利用率极低(利用率<2%)。

4 讨论

4.1 栖息地选择

通过比较斑头雁栖息地选择过程中对照点和活动位点的环境因子可以发现,距夜栖地距离、距耕地距离、距沼泽距离、距草地距离、距深水水域距离、距林地距离、距公路距离、距村道距离和距居民点距离均存在极显著差异,斑头雁对这些环境因子均具有选择性。本研究中,两个时期的斑头雁在栖息地选择过程中,距夜栖地距离因子均为最重要因子,夜栖地是动物夜间休息的场所^[35],斑头雁倾向于选择距夜栖地距离较近的日间栖息地,这是因为日栖地距夜栖地距离越近,斑头雁消耗的能量就会越少。在杨旭等的研究中也提到,由于夜间无法进食,钳嘴鹈(*Anastomus oscitans*)在早上需要尽快取食以弥补晚上的消耗^[36]。日间栖息地倾向于选择距夜栖地近的理论在有关灰鹤(*C. grus*)的研究中也有提及,多数灰鹤喜欢在距离夜栖地近的地方活动^[29]。以往的研究表明,斑头雁主要在草甸和农田中觅食,沼泽泥滩也可以为斑头雁提供食物^[37]。食物是斑头雁必不可少的能量来源。灰鹤在进行栖息地选择时倾向选择耕地和沼泽^[29],在本研究中,玛卡种植时期斑头雁与传统作物种植时期的斑头雁对耕地的选择倾向极为不同,玛卡种植时期的斑头雁在选择栖息地时选择距耕地远的栖息地;而在传统作物种植时期,斑头雁在进行栖息地选择时倾向选择距耕地极近的栖息地。两个时期的斑头雁在选择栖息地时,距沼泽距离因子都很重要,且会选择距沼泽近的栖息地。在传统作物种植期,耕地内主要种植马铃薯和玉米,食物种类和数量较丰富,斑头雁倾向选择耕地作为栖息地,在玛卡种植期间,斑头雁不喜食玛卡,因此在该时期内倾向选择距沼泽近、距耕地远的栖息地。但在传统作物种植期,斑头雁的栖息地选择过程中,距耕地距离因子重要性最低,可能是因为研究区内符合斑头雁觅食条件耕地面积较大,斑头雁不用特意选择即可找到合适的耕地觅食。阎良辰等研究拉市海的越冬斑头雁觅食生境选择情况时,发现斑头雁会偏好选择草地^[38],这与本研究结果相反,本研究中两个时期的斑头雁对草地和林地均具有回避行为,可能是因为本研究区内草地距水域较远,且食物丰度不如耕地,因此斑头雁在栖息地选择过程中倾向选择距草地远的区域。林地中植被过高过密不利于斑头雁取食,该种现象也见于灰鹤^[29]。水是动物栖息地选择过程中的重要影响因子^[39]。Zhang等的研究结果表明,斑头雁在生命周期的所有阶段都会倾向于选择靠近河流的湿地地区^[40],本研究中两个时期跟踪的斑头雁均倾向于选择距深水水域距离近的日间栖息地,其中,传统作物种植期的斑头雁在栖息地选择过程中,距深水水域距离因子更加重要,可能是因为传统作物种植期间,斑头雁多栖息在耕地上,更需要选择距深水水域近的区域来补充水源和休息。距居民点距离、距公路距离和距村道距离均是人为干扰因子。人类干扰是影响鸟类活动的重要因素,但不同鸟类的耐受性和适应性往往有较大的差异^[41]。杨延峰、阎良辰等的研究均表明,干扰因子是斑头雁觅食地选择的重要因子,斑头雁会选择距干扰

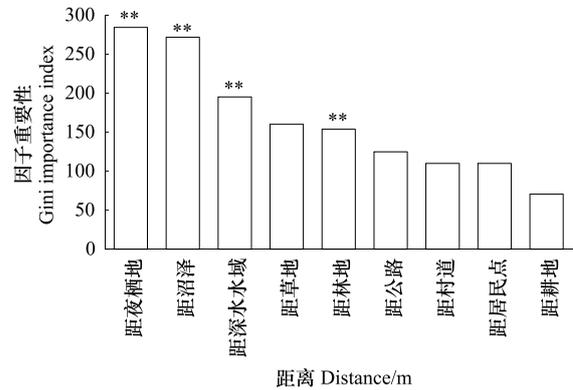


图4 传统作物种植期间斑头雁栖息地选择的环境因子重要性排序

Fig.4 Ranking of environmental factors in habitat selection of Bar-headed Geese during traditional crop planting

** 表示该因子的显著性 ($P < 0.01$)

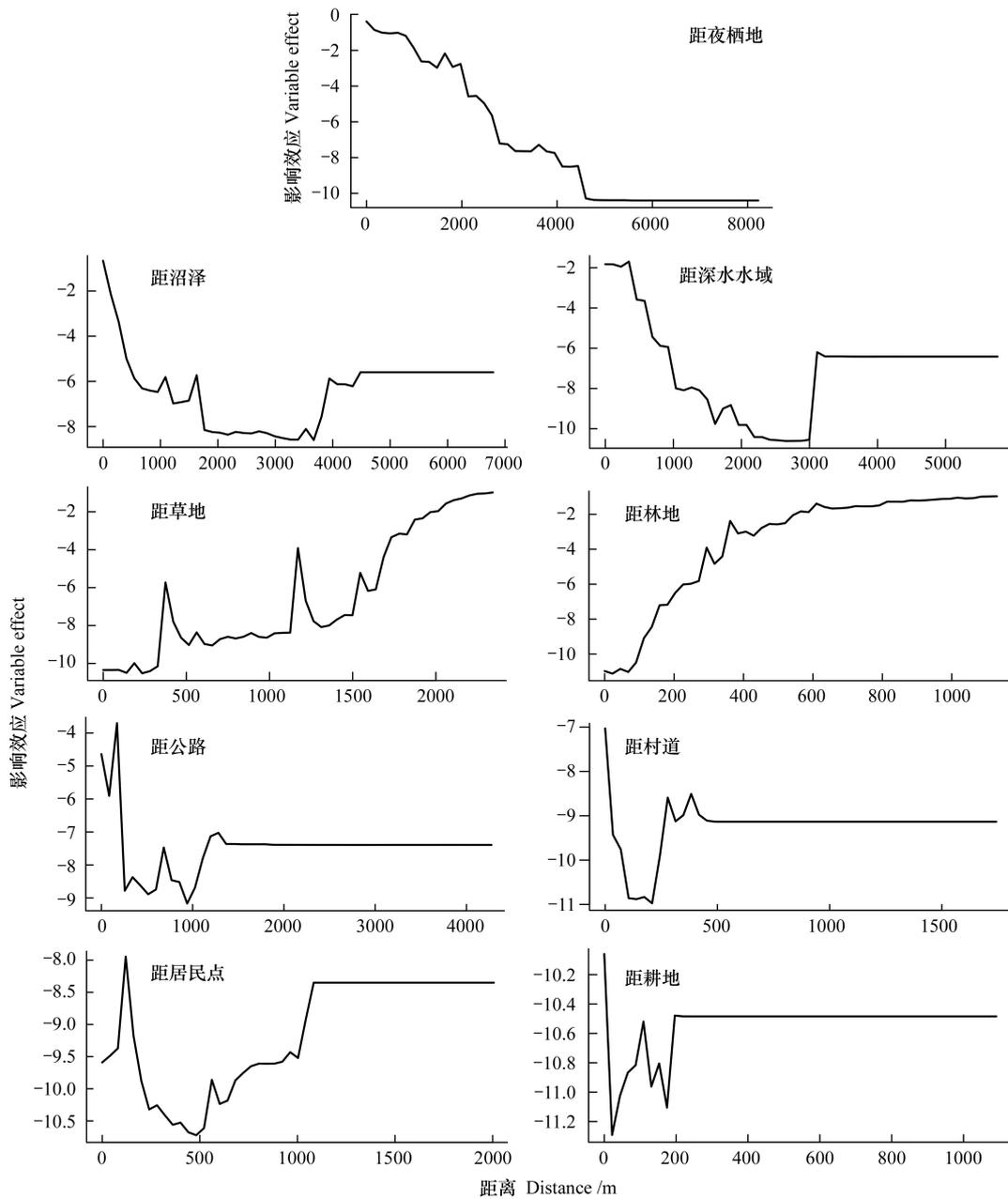


图 5 环境变量对传统作物种植期斑头雁栖息地选择的影响

Fig.5 Effects of environmental variables on habitat selection of Bar-headed Geese during traditional crop planting

较远的地方觅食^[24, 38],而刘冬平等的研究中提到,雅鲁藏布江中游的斑头雁会与人混杂在农田活动,主要是因为当地的佛教传统宣扬不杀生、不排斥野生动物^[42],在云南蒙自开展的钳嘴鹳研究中也发现,钳嘴鹳对人类干扰容忍度较高^[43]。本研究区内,两个时期的人为干扰因子重要性水平较低,并且人为干扰因子的影响曲线波动较大,由此可以发现,斑头雁在进行栖息地选择时,对人为干扰因子没有明显的回避性行为,可能是因为每年有许多游客到本研究区内观鸟,带动了当地的经济,当地人对鸟的态度友好,不会驱逐斑头雁,故人为干扰强度较低,并且斑头雁对于低强度的人为干扰已经产生“习惯性”,不会对人为干扰因子有明显的回避行为。

4.2 栖息地利用

食物对于越冬斑头雁的分布具有重要影响^[42]。本研究发现,传统作物种植时期跟踪的越冬斑头雁对耕

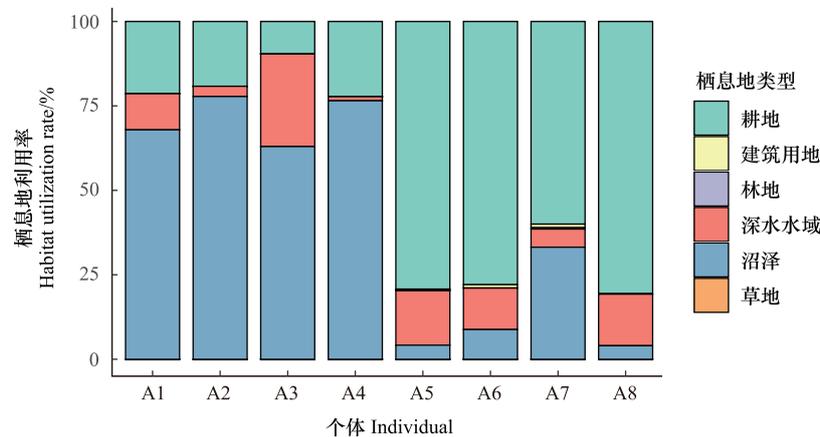


图6 斑头雁栖息地利用个体间差异比较

Fig.6 Comparison of variations in Bar-headed Geese individual habitat utilization

地的利用频率较高,在此期间,耕地内主要种植马铃薯和玉米,且耕地靠近水域,面积较大,可以为斑头雁提供充足的食物。许多研究与本研究结果一致,如 Liu 等^[11]和 Bishop 等^[12],均发现越冬斑头雁主要利用农田。除斑头雁外,有的雁类也会利用农田作为栖息地,如白额雁在日本主要利用农田觅食^[9],分布在加州中央谷地白额雁的研究发现,白额雁对稻田的利用率越来越高^[44]。同物种在不同地区有不同的栖息地利用模式,如郭宏在研究鄱阳湖白额雁的越冬生态时却发现白额雁主要在草地上觅食^[45]。除农田外,雁类也会利用其它类型的栖息地,如灰雁 (*A. anser*) 主要利用草原、湖泊和碱蓬盐沼,避免利用农田^[46],越冬小白额雁 (*A. erythropus*) 主要分布在自然洲滩^[47],越冬鸿雁 (*A. cygnoid*) 主要利用浅水和泥滩^[45]。而在玛卡种植时期,斑头雁主要利用沼泽作为栖息地,除农田外,沼泽也可以为斑头雁提供食物,宋延龄等提到沼泽是越冬斑头雁喜好的栖息地类型^[48],由于斑头雁不喜食玛卡,因此该时期内偏好利用沼泽,对耕地的利用程度却不高。除沼泽和耕地外,本研究中的斑头雁也会利用深水水域,宋延龄等研究中曾提到,斑头雁的越冬地均分布有大面积的流动水面^[48],由此可见,水域是斑头雁越冬必不可少的栖息地类型。本研究中传统作物种植时期与玛卡种植时期跟踪的斑头雁在栖息地利用模式上存在明显不同,因为农田中作物种类的变化会影响斑头雁的觅食情况。斑头雁在农作物种类改变后及时调整觅食策略利用适宜的栖息地,对于微尺度上的环境变化具有较强的适应性,这可能是其种群扩散的推动力之一。

A5 和 A6 号斑头雁连续到研究区越冬,它们在栖息地利用模式较为一致,这也反映出当玛卡种植回归到传统作物种植之后,由于觅食环境的稳定性,同一只个体在栖息地利用的模式上也表现出稳定性和一致性。

4.3 农田对于鸟类的影响

本研究发现,耕地内农作物种类的变化会改变斑头雁的栖息地利用和选择模式。有研究提到,农田已经成为越冬水鸟的重要栖息地^[49],许多水鸟对农田的依赖程度很高,例如:越冬期的黑颈鹤^[7-8]、白头鹤 (*s.G. monacha*)^[50]、白鹤^[51]均偏好农田中觅食,除越冬期外,在迁徙停歇地上,白鹤也会选择农田作为主要觅食地^[52],灰鹤在迁徙期偏好利用农田^[53],近几年来丹顶鹤在越冬期和繁殖期对农田的选择倾向逐渐上升^[14, 54]。并有相关研究表明,在中国越冬的雁类数量减少主要是因为农田中的人类活动以及人类的非法猎杀限制了雁类对农田的利用^[55]。农业活动也在一定程度上影响鸟类的行为和生存,研究发现,鸟类的物种丰富度和丰富度会随着农业活动强度的升高而降低^[4],农机等的广泛应用会导致农田鸟类的丰度下降^[56],翻耕影响农田表面谷粒残留数量,进而影响黑颈鹤的取食^[57],农药的使用会造成鸟类数量的减少^[15-17],农业集约化不仅会减少鸟的数量^[18-19],也会影响丹顶鹤 (*G. japonensis*) 的栖息地选择和利用情况^[58]。鸟类对农田中农作物种类有一定的选择性,例如:农田内谷类作物减少可能会导致以种子为食的鸟类数量减少^[59],农田内

玉米种植面积的增大会对农田鸟类产生不利影响^[60]。此外,农田中农作物种类变化也会对鸟类造成一定的影响,例如水稻田转化为棉花种植地之后,丹顶鹤不会选择棉花田作为觅食地^[14]。由此可见,农田是许多鸟类重要的栖息地利用类型,农业活动和农作物种类的变化都在一定程度上影响鸟类的生存和行为活动。本研究中,斑头雁在传统作物种植期间,对耕地的利用率很高,平均距耕地距离也很近,可以看出耕地是斑头雁利用的重要栖息地类型,斑头雁对耕地内食物较为依赖。由于农作物的价格随着市场需求波动,当地种植作物可能会发生大规模变化,种植斑头雁不喜的食物会减少斑头雁的食物来源,影响越冬斑头雁的数量和分布。因此本研究建议保护管理部门应了解农田对斑头雁的重要性,持续关注当地农耕地耕作种类和面积的变化,在保护区内或周边区域实施大规模农业耕种模式调整时,充分考虑斑头雁的栖息地需求,为斑头雁提供适量的食物,确保越冬斑头雁拥有更适宜的栖息地环境。

5 结论

(1) 玛卡等经济作物的种植会改变斑头雁食物资源的构成,从而改变其栖息地利用和选择的模式。在传统作物种植期,斑头雁主要利用耕地作为觅食地,而在玛卡种植期,由于耕地无法提供适宜的食物,斑头雁则被迫放弃耕地而转移到沼泽中觅食,从而在栖息地利用模式上产生巨大差异。不同于栖息地利用,在进行栖息地选择时,斑头雁则表现出了一些固有的稳定性,这些特性并没有随种植作物的改变而发生。在两个时期,距夜栖地和沼泽的距离均为最重要的因子,反映出斑头雁对夜栖地和沼泽的依赖性。

(2) 虽然农业活动可以为某些鸟类提供优质的栖息地,促进其种群发展。但是,当农业活动发生变革时,如大量经济作物的种植、温室大棚的普及,则会对农田依赖型鸟类的生存产生重大冲击。在云贵地区,传统作物种植,如马铃薯、燕麦、荞麦、青稞等对高原鸟类(黑颈鹤、斑头雁等)具有重要意义,在进行农业转型时,应该考虑鸟类的生存需求,谨慎选择经济作物种类,并评估对鸟类的影响,以维护当地的生物多样性及生态功能。

参考文献(References):

- [1] Gibbs H K, Ruesch A S, Achard F, Clayton M K, Holmgren P, Ramankutty N, Foley J A. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(38): 16732-16737.
- [2] 朱晓君. 长江河口潮间带湿地底栖动物功能群及其生态学意义研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [3] Green R E, Cornell S J, Scharlemann J P W, Balmford A. Farming and the fate of wild nature. *Science*, 2005, 307(5709): 550-555.
- [4] Elsen P R, Kalyanaraman R, Ramesh K, Wilcove D S. The importance of agricultural lands for Himalayan birds in winter. *Conservation Biology*, 2017, 31(2): 416-426.
- [5] Elsen P R, Ramesh K, Wilcove D S. Conserving Himalayan birds in highly seasonal forested and agricultural landscapes. *Conservation Biology*, 2018, 32(6): 1313-1324.
- [6] 洪咏怡. 不同农业景观背景下鸟类多样性及其生态系统服务研究[D]. 开封: 河南大学, 2021.
- [7] 李文娟, 张昆巽, 吴兆录, 姜鹏. 云南会泽自然保护区黑颈鹤可利用食物研究. *云南大学学报: 自然科学版*, 2009, 31(6): 644-648.
- [8] 武大伟, 胡灿实, 张明明, 粟海军. 贵州草海湿地越冬黑颈鹤觅食地与农耕地的空间关系研究. *生态学报*, 2021, 41(8): 3238-3247.
- [9] Shimada T. Daily activity pattern and habitat use of greater white-fronted geese wintering in Japan: factors of the population increase. *Waterbirds*, 2002, 25(3): 371-377.
- [10] 邵明勤, 王剑颖, 丁红秀. 中国白鹤越冬适宜生境模拟及种群扩张驱动因素. *应用生态学报*, 2023, 34(6): 1639-1648.
- [11] Liu D P, Zhang G G, Li F S, Ma T, Lu J, Qian F W. A revised species population estimate for the bar-headed goose (*Anser indicus*). *Avian Research*, 2017, 8(1): 7.
- [12] Bishop M A, Liu D P, Zhang G G, Tsamchu D, Yang L E, Qian F W, Li F S. Rapid growth of the bar-headed goose *Anser indicus* wintering population in Tibet, China; 1991-2017. *Bird Conservation International*, 2021, 32(3): 1-16.
- [13] Wang W J, Wang Y F, Chen Q, Ding H F. Effects of diet shift on the gut microbiota of the critically endangered Siberian crane. *Avian Research*, 2023, 14: 100108.
- [14] 许鹏. 盐城湿地珍禽国家级自然保护区越冬丹顶鹤种群动态及其对农业活动的响应[D]. 南京: 南京林业大学, 2020.
- [15] Hallmann C A, Foppen R P B, van Turnhout C A M, de Kroon H, Jongejans E. Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature*, 2014, 511(7509): 341-343.
- [16] Parsons K C, Mineau P, Renfrew R B. Effects of pesticide use in rice fields on birds. *Waterbirds*, 2010, 33(sp1): 193-218.
- [17] Stanton R L, Morrissey C A, Clark R G. Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 254: 244-254.
- [18] Newton I. The recent declines of farmland bird populations in Britain: an appraisal of causal factors and conservation actions. *Ibis*, 2004, 146(4): 579-600.

- [19] Gregory R D, van Strien A, Vorisek P, Gmelig Meyling A W, Noble D G, Foppen R P B, Gibbons D W. Developing indicators for European birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 2005, 360(1454): 269-288.
- [20] 张伯伦, 张生乐, 王沁怡, 汪茂秋, 高美华, 李高如, 李亚如, 龚国宁, 何培民, 方淑波. 快速城市化背景下南汇东滩景观格局变化及鸟类种群数量响应. *湿地科学*, 2022, 20(6): 793-800.
- [21] 张琼悦, 邓卓迪, 胡学斌, 丁志锋, 肖荣波, 修晨, 吴政浩, 汪光, 韩东晖, 张语克, 梁健超, 胡慧建. 粤港澳大湾区城市化进程对区域内鸟类分布及栖息地连通性的影响. *生物多样性*, 2023, 31(3): 72-84.
- [22] Liu W, Yu D D, Yuan S J, Yi J F, Cao Y, Li X F, Xu H G. Effects of spatial fragmentation on the elevational distribution of bird diversity in a mountain adjacent to urban areas. *Ecology and Evolution*, 2022, 12(7): e9051.
- [23] 赵正阶. 中国鸟类志-上卷-非雀形目. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001.
- [24] 杨延峰. 斑头雁(*Anser indicus*)日间行为模式及越冬觅食地生境选择[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [25] Yang F, Zhang Y Q. Quantities and distribution of the black-necked crane (*Grus nigricollis*) and other large waterfowl on the Yunnan and Guizhou Plateau. *Zoological Research*, 2014, 35(S1): 80-84.
- [26] 毕明芸. 会泽县玛卡优质生态栽培技术. *现代农业科技*, 2013(7): 103, 106.
- [27] 仇国新, 杨晓君. 云南会泽黑颈鹤国家级自然保护区. 昆明: 云南科技出版社, 2012.
- [28] Franco A M A, Brito J C, Almeida J. Modelling habitat selection of common cranes *Grus grus* wintering in Portugal using multiple logistic regression. *Ibis*, 2000, 142(3): 351-358.
- [29] 段亚甜, 刘强, 雷宇, 李俊冬, 刘文, 李振吉, 王汝斌. 基于卫星跟踪个体的越冬灰鹤栖息地选择. *生态学杂志*, 2020, 39(7): 2392-2399.
- [30] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法. 北京: 科学出版社, 2010.
- [31] Breiman L. Statistical Modeling: the two cultures (with comments and a rejoinder by the author). *Statistical Science*, 2001, 16(3): 199-231.
- [32] Li X H, Wang Y. Applying various algorithms for species distribution modelling. *Integrative Zoology*, 2013, 8(2): 124-135.
- [33] 高若楠, 苏喜友, 谢阳生, 雷相东, 陆元昌. 基于随机森林的杉木适生性预测研究. *北京林业大学学报*, 2017, 39(12): 36-43.
- [34] Jiao S, Chen W M, Wang J L, Du N N, Li Q P, Wei G H. Soil microbiomes with distinct assemblies through vertical soil profiles drive the cycling of multiple nutrients in reforested ecosystems. *Microbiome*, 2018, 6(1): 146.
- [35] 周毅, 冉景丞, 杨卫诚, 张旭. 贵州黑颈长尾雉对夜栖地的选择研究. *野生动物学报*, 2020, 41(4): 951-959.
- [36] 杨旭, 刘强, 雷宇, 刘慧, 杨俊杰. 云南蒙自长桥海钳嘴鹳时间分配与活动节律. *西南林业大学学报: 自然科学*, 2018, 38(3): 214-219.
- [37] 罗宏德, 万丽霞, 马映荣, 贾阳阳, 樊花荣. 甘肃盐池湾斑头雁繁殖期觅食地选择研究. *安徽农业科学*, 2020, 48(16): 102-104, 145.
- [38] 阎良辰, 胡明宇, 孟凡荣, 刘宁. 云南拉市海越冬斑头雁觅食地生境选择研究. *现代农业科技*, 2014(10): 262-263, 273.
- [39] 王娟. 盐城淤泥质滩涂湿地互花米草入侵对丹顶鹤越冬生境质量影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2020.
- [40] Zhang J J, Xie Y B, Li L X, Batbayar N, Deng X Q, Damba I, Meng F J, Cao L, Fox A D. Assessing site-safeguard effectiveness and habitat preferences of bar-headed geese (*Anser indicus*) at their stopover sites within the Qinghai-Tibet Plateau using GPS/GSM telemetry. *Avian Research*, 2020, 11: 49.
- [41] Doherty T S, Hays G C, Driscoll D A. Human disturbance causes widespread disruption of animal movement. *Nature Ecology & Evolution*, 2021, 5(4): 513-519.
- [42] 刘冬平, 张国钢, 钱法文, 侯韵秋, 戴铭, 江红星, 陆军, 肖文发. 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.
- [43] 杨俊杰, 杨旭, 雷宇, 刘强. 云南蒙自钳嘴鹳夜栖地利用及夜栖树选择. *生态学报*, 2019, 39(14): 5371-5377.
- [44] Ackerman J T, Takekawa J Y, Orthmeyer D L, Fleskes J P, Yee J L, Kruse K L. Spatial use by wintering greater white-fronted geese relative to a decade of habitat change in California's central valley. *The Journal of Wildlife Management*, 2006, 70(4): 965-976.
- [45] 郭宏. 鄱阳湖东方白鹤及两种雁类越冬生态的初步研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2016.
- [46] 孟维悦, 李淑红, 周景英, 钱英, 魏秀宏, 韩莫日根, 戴强, 陆军, 朱思雨, 张国钢. 基于卫星跟踪的灰雁秋季活动特征与生境利用研究. *生态学报*, 2018, 38(16): 5659-5666.
- [47] 冯多多, 关蕾, 史林鹭, 曾晴, 刘向葵, 张鸿, 雷光春. 东洞庭湖秋季水文情势对洲滩植物及越冬稳定期小白额雁种群分布影响. *湿地科学*, 2014, 12(4): 491-498.
- [48] 宋延龄, 仓卓曲玛. 西藏雅鲁藏布江中游地区斑头雁越冬种群数量和分布. *动物学杂志*, 1994, 29(2): 27-30.
- [49] 宋响微. 升金湖湿地景观和农业活动对越冬水鸟群落结构的影响[D]. 合肥: 安徽大学, 2019.
- [50] Wan W J, Zhou L Z, Song Y W. Shifts in foraging behavior of wintering hooded cranes (*Grus monacha*) in three different habitats at Shengjin Lake, China. *Avian Research*, 2016, 7: 13.
- [51] 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, 40(1): 133-137.
- [52] 高洁. 迁徙停歇地不同取食生境对白鹤生态习性影响研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2022.
- [53] 孙雪莹. 扎龙保护区灰鹤秋迁期农田生境利用及环境容纳量分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
- [54] 吴庆明, 杨宇博, 邹红菲, 陶蕊, 李全亮. 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.
- [55] Yu H, Wang X, Cao L, Zhang L, Jia Q, Lee H, Xu Z G, Liu G H, Xu W B, Hu B H, Fox A D. Are declining populations of wild geese in China 'prisoners' of their natural habitats? *Current Biology: CB*, 2017, 27(10): R376-R377.
- [56] 宋志帆, 周学红, 王强, 张伟. 农田鸟类生存制约因子及保护对策综述. *野生动物学报*, 2019, 40(4): 1063-1069.
- [57] Mary Anne Bishop, 李凤山. 农业耕作活动对西藏越冬黑颈鹤食性及食物可获得性的影响. *生物多样性*, 2002, 10(4): 393-398.
- [58] 高忠斯. 集约化农业背景下松嫩平原土地利用变化对丹顶鹤栖息地影响研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2022.
- [59] Díaz M, Tellería J. Predicting the effects of agricultural changes in central Spanish croplands on seed-eating overwintering birds. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1994, 49(3): 289-298.
- [60] Jerrentrup J S, Dauber J, Strohbach M W, Mecke S, Mitschke A, Ludwig J, Klimek S. Impact of recent changes in agricultural land use on farmland bird trends. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, 239: 334-341.