

DOI: 10.5846/stxb201706201115

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): - .

Meng W Y, Li S H, Zhou J Y, Qian Y, Wei X H, Han M R G, Lu J, Zhu S Y, Zhang G G. Studies on the movement, home range, and habitat use of greylag geese (*Anser anser*) based on satellite tracking. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): - .

基于卫星跟踪的灰雁秋季活动特征与生境利用研究

孟维悦¹, 李淑红¹, 周景英², 钱英², 魏秀宏², 韩莫日根², 戴强³, 陆军¹, 朱思雨⁴, 张国钢^{1,*}

1 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 全国鸟类环志中心, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091

2 内蒙古图牧吉国家级自然保护区管理局, 扎赉特旗 137600

3 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041

4 中国野生动物保护协会, 北京 100011

摘要: 营养和能量有效的积累对候鸟能否顺利完成迁徙具有重要意义。2015 年 8 月至 10 月在内蒙古图牧吉湿地, 利用卫星跟踪技术对灰雁的活动特征、生境利用等方面进行了研究, 以期阐明灰雁在秋季如何有效积累能量以满足迁徙前的生理需求。我们采用增强型植被指数 (EVI) 分析了灰雁的生境特征, 运用核密度分析法 (KDE) 计算了日间和夜间活动区面积, 以及对不同月份的平均活动距离进行了分析。结果表明, 8 至 10 月间, 灰雁活动位点的 EVI 值逐月递减, 并且逐渐向南移动, 趋向于水域集中, 增加了对湖泊的利用, 同时减少了对草地的利用; 灰雁的活动区面积逐月递增, 日间活动区面积大于夜间; 灰雁在日间、夜间及平均活动距离均呈递增的趋势, 每天凌晨及黄昏都出现较长时间的活动。由于 8 至 10 月间气温逐渐降低, 从草地中可以获取的潜在食物资源减少, 灰雁通过逐渐向水域较为丰富的区域移动, 活动区面积逐渐增大, 增加活动距离提高食物的获取量等确保获取足够的食物和能量满足迁徙的需求。

关键词: 生境利用; 活动区; 增强型植被指数; 灰雁; 图牧吉湿地

Studies on the movement, home range, and habitat use of greylag geese (*Anser anser*) based on satellite tracking

MENG Weiye¹, LI Shuhong¹, ZHOU Jingying², QIAN Ying², WEI Xiuhong², HAN Morigen², LU Jun¹, ZHU Siyu⁴, ZHANG Guogang^{1,*}

1 Key Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration, National Bird Banding Center of China, The Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Tumuji Nature Reserve of Inner Mongolia, Zhalaiteqi, Inner Mongolia Autonomous Region 137600, China

3 Chengdu Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Sichuan 610041, China

4 China Wildlife Conservation Association, Beijing 100011, China

Abstract: The accumulation of nutrition and energy is an important factor for the migration of migratory birds. To understand how greylag geese obtain energy to meet the physiological demands of fall migration, we studied the movement, home range and habitat use of graylag geese by using satellite tracking from August to October 2015 in the Tumuji wetland of Inner Mongolia. The enhanced vegetation index (EVI) was used to analyze habitat use, the sizes of the day and night home ranges were determined using kernel density estimation (KDE), and the average activity distances in different months were

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC1201601); 国家林业局野生动物疫病监测与预警系统维护项目资助

收稿日期: 2017-06-20; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zm7672@126.com

analyzed. The EVI of the locations of the greylag geese decreased from August to October, the geese gradually dispersed southward and concentrated around the area with abundant water, and they preferred the lakes to the grassland. The home range size of the geese increased from August to October and the home range size was larger in daytime than at night. The movement distances of greylag geese were higher during the day, especially for the peak of movement before dawn and at dusk. Because the temperature decreased gradually from August to October, the potential food resources in grassland declined, and greylag geese tended to occupy the areas with more abundant water, which gradually increased both the home range size and the movement distances, thus enabling the geese to efficiently obtain sufficient nutrition and energy to meet the physiological demand of fall migration.

Key Words: habitat use; home range; enhanced vegetation index; greylag geese; Tumuji wetland

许多研究表明,候鸟在迁徙之前,需要进行营养、脂肪和能量的积累以备迁徙途中所需,积累的程度直接关系到候鸟能否安全顺利地完成任务,而秋季迁徙比春季迁徙需要更多的能量储备^[1-4]。作为迁徙鸟类中的优势物种灰雁(*Anser anser*)全球分布较为广泛,种群数量也较多,主要繁殖于欧亚北部,在我国繁殖于北方大部分地区^[5],它是草食性的鸟类,主要以水生和陆生植物的叶、根、茎、嫩芽、果实和种子等植物性食物为食^[6]。然而,秋季随着气温的下降,草食性的食物逐渐变少,准备向南方越冬地迁徙的灰雁如何获取能量来满足自身的需求,是它在南迁之前所面临的重要问题。而且,目前大多数相关的研究都是在白天开展的,而了解鸟类在夜间如何获取食物的也是非常重要的^[7-8]。

内蒙古图牧吉湿地属大兴安岭山地与松嫩平原的过渡区域,位于内蒙古自治区的东部,该保护区拥有丰富的水资源和大片的沼泽湿地,春秋季节迁徙期数以万计雁鸭类成为水鸟群落中的优势物种,这里也是雁鸭类重要的繁殖场所^[9],每年有较多的灰雁在此地繁殖,并于10月下旬至11月初迁徙至南方越冬。灰雁从繁殖后期至南迁之前,其活动区、活动距离以及生境利用是如何发生变化进行能量的积累以适应迁徙所需要?日间和夜间的活动特征有哪些变化呢?为此,2015年8月至10月,我们在图牧吉湿地采用卫星跟踪的方法,对灰雁活动特征及其变化进行了研究,主要的目的是为了揭示灰雁在迁徙前如何有效地积累能量,来满足迁徙的需要。

1 研究方法

1.1 研究区概况

图牧吉国家级湿地位于内蒙古自治区兴安盟扎赉特旗最南端,东与黑龙江省泰来县为界,西与兴安盟科尔沁右翼前旗毗连,南与吉林省镇赉县接壤,北与扎赉特旗音德尔镇为邻,是嫩江水系、二龙涛河流域的一部分。地理坐标为122°44′13″—123°10′24″N,46°04′12″—46°25′47″E。总面积94830 hm²,其中,水域面积5336 hm²,沼泽湿地面积29425 hm²,草原面积36890 hm²,林地面积234 hm²。地处温带大陆性季风气候区,春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季干燥凉爽,冬季严寒少雪。年平均降水量400 mm,年平均气温4.0℃,年日照时数达2855.5 h,无霜期140 d。研究地区示意图请见图1。

1.2 方法

根据灰雁的种群分布聚集状况,于繁殖后期将粘网布设于雁类聚集分布的地点进行捕捉,共捕捉了6只灰

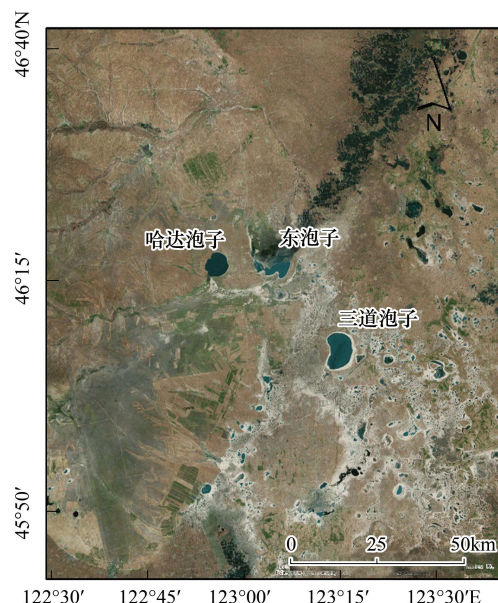


图1 研究地区内蒙古图牧吉湿地示意图

Fig.1 The study area of Tumuji wetland in Inner Mongolia

雁(批准号:护动函【2015】38号),为其中4只身体健康状况良好的个体佩戴了卫星发射器,并进行环志,并原地释放,所需时间约15 min(表1),4只灰雁分别以1、2、3和4表示。卫星发射器的佩戴方法采用“背负式”。卫星跟踪器为湖南信士科技有限公司生产,重量为22 g,约占大天鹅体重(平均9.8 kg)的0.22%。卫星跟踪器采用GPS定位,通过中国移动通讯系统接收,网络客户端解译后下载,包括时间、经纬度、精度。精度分为A(± 5 m)、B(± 10 m)、C(± 20 m)、D(± 50 m)和无效(无法定位)5类定位等级,对卫星数据分析时,仅选用A等级。根据在线(http://richurimo.51240.com/zhongguo__richurimo/)查询的8月至10月天亮及天黑的时间,选取每个月天亮及天黑时间的中值作为该月日间和夜间的划分依据,8月至10月的日间分别为4:23—19:18、4:56—18:30和5:34—17:32,其余时间为夜间,并设定0代表夜间,1代表日间。共获得5244个位点,其中8月共1496个位点,日间846个,夜间650个,9月共2377个位点,日间1423个,夜间954个,10月共1209个位点,日间638个,夜间571个。

表 1 内蒙古图牧吉湿地佩戴发射器的灰雁信息表
Table 1 The information of greylag geese tagged with transmitters in Tumuji wetland

编号 No.	环型 Models	环号 Code	颈环号* Neck ring	日期 Dates	重量/g Weight
1	M01	5766	C4V	2015.8.6	3030
2	M01	5767	C4K	2015.8.6	2685
3	M01	5769	C4P	2015.8.6	2680
4	M01	5770	C4T	2015.8.6	2300

* 备注:颈环的类型是绿色颈环刻有白色数字,C和V不是英文缩写,没有含义,只是排序需要

在 ArcGIS 10.2 软件中,利用 R 语言(3.3 版本,“adehabitatHR”程序包)中采用核密度估计法进行灰雁活动区 50%和 90%水平的分析,以及用 ArcGIS 中的 Tracking Analyst Tools 计算了灰雁日间和夜间的活动距离;同时,在图牧吉湿地功能区划图基础上,对栖息地类型进行矢量化处理,并划分为草原、湖泊、农田、芦苇沼泽和碱蓬盐沼等五种栖息地类型。将矢量化图与灰雁的活动位点进行空间重叠,然后对其栖息地利用进行分析。在 SPSS 20.2 软件中,利用非参数 Kruskal - Wallis 检验的方法,对灰雁日间和夜间活动距离的差异性的显著性进行了检验;以及利用卡方检验的方法,对灰雁在日间及夜间对不同生境类型的利用率进行了显著性检验。

采用增强型植被指数 EVI 卫星影像,在 USGS 数据官网(<http://glovis.usgs.gov>)下载遥感数据为 MODIS 传感器的 MOD13Q1。文中采用 500 m 空间分辨率和 16 d 时间分辨率,在 ArcGIS 10.2 软件中,对 8 月至 10 月的 EVI 影像进行拼接和波段提取,并采用栅格计算器去除负值(水体或云层),EVI 值范围为 0—1,图中红色越深的区域 EVI 值越低,绿色越深的区域 EVI 值越高,白色区域为水域。根据各月灰雁的活动位点,在其活动范围及周边区域内随机生成 100 个随机位点,采用同样的方法获得随机位点的 EVI 值。在 SPSS 20.2 软件中,利用非参数 Kruskal-Wallis 检验的方法,对各月活动位点与随机点的 EVI 值的显著性差异进行了检验。

表 2 内蒙古图牧吉湿地不同月份增强型植被指数比较

Table 2 The comparison of EVI different months in Tumuji wetland

编号 Individual no.	增强型植被指数 EVI Enhanced vegetation index		
	8 月 August	9 月 September	10 月 October
1	0.20	0.14	0.08
2	0.22	0.14	0.08
3	0.20	0.14	0.08
4	0.33	0.21	—
活动点 EVI 平均值 Average EVI of locations	0.24	0.16	0.08
随机点 EVI 平均值 Average EVI of random sites	0.38	0.28	0.11

—:缺少数据,下同

2 研究结果

2.1 活动区的 EVI 指数

Kruskal-Wallis 检验表明,不同月份灰雁活动点的 EVI 值有显著性差异性($n = 4579$, $df = 2$, $P = 0.0000$)。不同月份随机点的 EVI 值也有显著性差异性($n = 248$, $df = 2$, $P = 0.0000$)。每月灰雁的活动点与随机点的 EVI 也有显著性差异(8 月: $n = 1558$, $df = 1$, $P = 0.0000$;9 月: $n = 2197$, $df = 1$, $P = 0.0000$;10 月: $n = 1063$, $df = 1$, $P = 0.0000$)。请详见表 2。

从图 2 可知,8 月至 10 月,活动点的 EVI 值平均值逐渐减小,且低于随机点。结合活动位点的分布状况,8 月至 9 月灰雁有往 EVI 值更低的区域移动,而进入 10 月,灰雁的活动位点呈向南移动的趋势,并且 EVI 值更趋于减小。

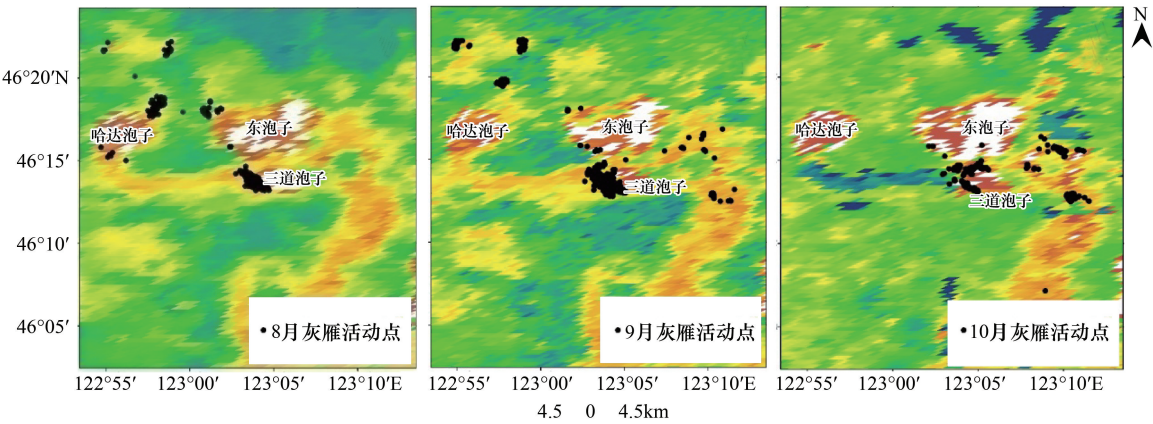


图 2 内蒙古图牧吉湿地 8—10 月灰雁活动点 EVI 图
Fig.2 The location of graylag geese in Tumuji wetland from August to October

2.2 生境利用

总体来看,灰雁主要利用的生境类型是草原、湖泊和碱蓬盐沼,而避免利用农田、芦苇沼泽这两种生境类型。灰雁在不同月份对草原、湖泊和碱蓬盐沼的利用也是不同的(图 3)。8 月,灰雁的活动位点在 3 种生境中相对较为均匀;9 月,灰雁主要利用的是湖泊,对草原的利用有所下降,野外观察表明,很多灰雁集中在湖泊的边缘一带取食和休息;10 月,灰雁对草原的利用进一步减少,增加了对湖泊边缘的活动频次。灰雁对碱蓬盐沼的利用在各月份差异不大。

根据卡方检验,日间和夜间灰雁对生境的利用有显著的差别($n=4654, df=2, P=0.0000$)。日间 8 月及 9 月灰雁对草原及碱蓬盐沼的利用较高,10 月灰雁对草原的利用减少,对湖泊的利用增加。夜间灰雁对湖泊的利用最高,对草原的利用从 8 月到 10 月依次减少,对碱蓬盐沼的利用在 8 月到 10 月间先减少后增加(表 3)。

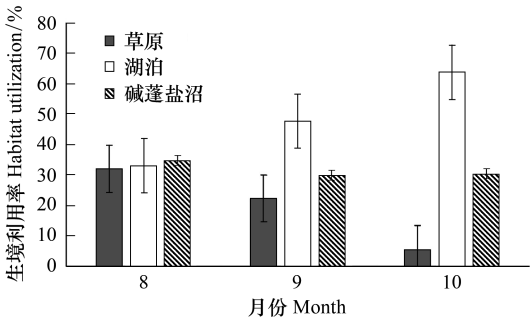


图 3 内蒙古图牧吉湿地不同月份灰雁栖息地利用
Fig.3 The habitat use of greylag geese in different months in Tumuji wetland

表 3 内蒙古图牧吉湿地不同月份灰雁日间和夜间栖息地利用(%)

栖息地类型 Habitat types	8 月 August		9 月 September		10 月 October	
	日间	夜间	日间	夜间	日间	夜间
	Daytime	Nighttime	Daytime	Nighttime	Daytime	Nighttime
草原 Grassland	35.31	21.35	31.00	9.38	6.18	4.90
湖泊 Lakes	19.41	59.12	24.80	82.12	58.28	70.10
碱蓬盐沼 Marshland	45.28	19.53	44.20	8.51	35.54	25.00

2.3 活动区面积

总体上,在 50%和 90%两个水平上,灰雁活动区的面积分别为 289.27 hm²和 1218.55 hm²,并且不同的月份活动区,尽管不同个体间略有差异,但是变化较为明显,不论是 50%或 90%的活动区,8 月至 10 月活动区面

积呈递增的趋势(表 4)。

表 4 图牧吉湿地灰雁 8 月至 10 月的活动区面积

Table 4 The home range sizes of 90% fixed kernel estimator (KRE) and 50% (KRE) (hm²) for greylag geese in Tumuji wetland from August to October

编号 Individual no.	活动区面积 Home range size		8 月 August		9 月 September		10 月 October	
	50%	90%	50%	90%	50%	90%	50%	90%
1	231.52	894.42	60.20	199.73	136.36	558.74	325.34	1554.03
2	141.24	748.88	71.15	235.21	70.03	275.21	92.48	378.63
3	293.59	1308.39	53.68	180.42	140.15	535.34	459.34	2083.31
4	490.74	1922.52	102.37	440.96	298.52	988.61	—	—
平均值 Mean	289.27	1218.55	71.85	264.08	161.26	589.48	292.41	1338.66

就日间和夜间活动区而言,日间 50%和 90%活动区面积分别为 342.16 hm²和 1218.11 hm²,夜间 50%和 90%活动区面积分别为 173.20 hm²和 757.73 hm²,可以看出,不论是 50%或 90%的活动区,日间活动区面积大于夜间。就不同月份的活动区变化而言,8 月至 10 月日间活动区面积,呈“先增加后减少”的模式,与 8 月相比,9 月的日间核心活动区面积呈递增趋势,而相比 10 月又呈递减趋势;而夜间活动区面积却不同于日间,8 月至 10 月,呈逐渐增加的趋势(表 5 和表 6)。

表 5 图牧吉湿地灰雁 8 月至 10 月日间活动区面积

Table 5 Diurnal home range sizes of 90% (KRE) and 50% (KRE) (hm²) for greylag geese in Tumuji wetland from August to October

编号 Individual no.	活动区面积 Home range size		8 月 August		9 月 September		10 月 October	
	50%	90%	50%	90%	50%	50%	90%	50%
1	328.67	1083.68	68.91	224.47	175.31	580.81	155.02	878.34
2	242.10	1049.73	78.92	249.00	83.74	311.02	35.84	131.16
3	170.60	679.16	64.96	196.04	158.19	525.65	82.28	292.42
4	627.29	2059.86	57.80	293.10	405.08	1247.45	—	—
平均值 Mean	342.16	1218.11	67.65	240.66	205.58	666.23	91.04	433.97

表 6 图牧吉湿地灰雁 8 月至 10 月夜间活动区面积

Table 6 Night home range sizes of 90% (KRE) and 50% (KRE) (hm²) for greylag geese in Tumuji wetland from August to October

编号 Individual no.	活动区面积 Home range size		8 月 August		9 月 September		10 月 October	
	50%	90%	50%	90%	50%	50%	90%	50%
1	249.34	971.89	20.24	55.39	57.83	297.58	140.62	620.32
2	77.22	324.59	46.65	169.03	51.40	205.09	14.94	47.36
3	201.10	968.97	36.29	130.78	56.48	236.07	115.84	500.64
4	165.13	765.47	28.56	134.14	125.57	537.83	—	—
平均值 Mean	173.20	757.73	32.93	122.33	72.82	319.14	90.47	389.44

2.4 活动距离

Kruskal-Wallis 检验可知,不同月份灰雁的活动距离有显著性差异($n=5231,df=2,P=0.0002$),每月不同时间的平均活动距离也有显著性差异(8 月: $n=1490,df=23,P=0.0000$;9 月: $n=2377,df=23,P=0.0000$;10 月: $n=1364,df=23,P=0.0000$)。

从 8 月至 10 月,平均活动距离分别为 253.28、316.56、423.02 km,呈递增的趋势。日间和夜间的平均活动距离均呈递增趋势,其中夜间的增长幅度更大(表 7)。

8 月份,灰雁在 4:00 点和 19:00 点活动距离达到峰值,活动距离为 600 km 至 700 km; 20:00 点及 23:00 点至 0:00 活动距离最短。0:00 点到 4:00 至 5:00 天亮之前活动距离呈递增趋势; 5:00 点到 17:00 点活动距离在 100 km 至 400 km 间波动,其中 13:00 点活动距离最短,直到 19:00 达到峰值,19:00 到夜间 20:00 间活动距离减少明显,在 21:00 时略有增加,21:00 到 23:00 间活动距离呈递减趋势(图 4)。

9 月份,灰雁在 5:00 和 18:00 活动距离达到峰值,活动距离分别约为 634 km 和 847 km,在夜间 2:00 及 20:00 活动距离最短, 0:00 到 3:00 间活动距离在 77 km 至 156 km 间波动,之后呈递增趋势至日间 5:00 活动距离达到峰值,日间 6:00 到 17:00 活动距离在 100 km 到 500 km 间波动,其中 12:00 活动距离最少,直至 18:00 达到峰值,18:00 到夜间 20:00 间活动距离减少明显,在 21:00 及 22:00 时略有增加,22:00 到 23:00 间活动距离呈递减趋势(图 4)。

10 月份,灰雁的活动距离波动较大,在 5:00、10:00、17:00、21:00 和 22:00 时其活动距离均有峰值,其中日间 17:00 活动距离最大,约为 930 km,0:00 活动距离也较大。在 4:00、8:00、13:00 和 20:00 时活动距离达到低谷,其中 20:00 时活动距离最短,约为 39 km(图 4)。

表 7 内蒙古图牧吉湿地灰雁不同月份的活动距离
Table 7 The distance of movements for greylag geese in Tumuji wetland in different months

活动距离/km Movement	8 月 August	9 月 September	10 月 October
日间 Daytime	302.59	384.10	455.80
夜间 Nighttime	168.52	215.82	385.06
平均 Average	253.28	316.56	423.02

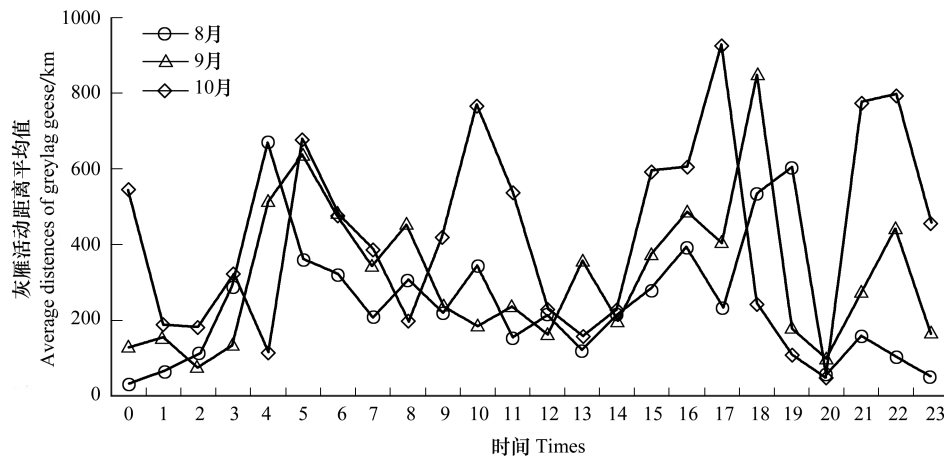


图 4 内蒙古图牧吉湿地 8-10 月灰雁不同时间段的活动距离

Fig.4 The distance of movements for greylag geese in Tumuji wetland at different times from August to October

3 讨论

3.1 EVI 值与生境利用

研究表明,水深、食物和隐蔽条件是影响鸟类生境利用的重要因素^[10-11]。John 等人对灰雁的食性研究表明,灰雁主要以植物的叶、根、茎、嫩芽、果实和种子等为食,这些食物资源主要在沼泽、湖的边缘获得,该结论与本研究相符^[12]。很多研究也证明,为了应对生境的季节性变化,灰雁的栖息地利用也会发生相应变化^[12-14]。本研究表明,内蒙古图牧吉湿地中随机点的植被覆盖度,即 EVI 值在 8 月至 10 月间,呈逐月递减的趋势,反映出灰雁能从栖息环境中获取的潜在食物来源也在减少。而灰雁的活动位点的 EVI 值也呈逐月递减的趋势,并且逐渐向南迁移,更趋向于水域集中,对草地的利用减少,同时增加了对湖泊的利用,初步推测,这种活动趋势可能是因为随着气温的逐渐降低,从而导致食物资源趋于减少,而湖泊内的草相对于草地而言,营养更为丰富一些,能提供更多的食物以备灰雁迁徙所需的能量需求。

8 月及 9 月的日间,灰雁更倾向于到草原及碱蓬盐沼中取食,这是由于灰雁主要以各种青草、藻类及其草

籽为食^[15],相对湖泊植被而言,草原及碱蓬盐沼的植被更多,能为其提供更充足的食物来源。而夜间由于湖泊远离人为活动如放牧的干扰,安全程度更高,灰雁将湖泊作为其理想的夜宿地。10月由于气温降低使得草地及碱蓬盐沼中的食物资源减少,所以灰雁在日间及夜间更倾向于对湖泊的利用。

3.2 活动区面积

活动区面积主要取决于食物资源的空间分布,但也会受到捕食和狩猎的压力以及人为干扰的影响^[16-17]。总体来讲,灰雁的活动区面积呈逐月递增的趋势,从8月至10月,灰雁可以获取的潜在食物随之减少,需要扩大活动面积以确保食物的获取量,以满足迁徙积累能量所需。Tyle等人在美国阿拉斯加对黑雁(*Branta bernicla*)的研究发现,随着季节变化,食物资源也发生变化,黑雁需要增大活动范围来获取足够的食物,这与本研究的结果是一致的^[18]。研究表明,灰雁的日间和夜间活动区面积都是逐月递增的,特别是在夜间,灰雁进行了远距离的取食,活动区面积随之扩大。夜间取食的好处不仅可以继续对白天获取食物的补充,还可以降低由于人为活动等威胁因素对取食带来的风险^[19]。

3.3 活动距离

Paul等人在美国路易斯安那对绿头鸭(*Anas platyrhynchos*)的研究中发现,活动距离的变化与食物资源的差异及觅食地间的距离都有关系^[20]。灰雁为了获得足够的营养和能量,随着8月至10月植被的减少,灰雁通过扩大了活动距离来确保能获取足够的能量,灰雁在日间、夜间及总的活动距离都呈递增的趋势,Aron等人秋季在伊利诺斯河流域对绿头鸭的研究表明,随着气候变化,绿头鸭每天的活动距离有增大的趋势,与本研究结果一致^[21]。从活动节律来看,灰雁在每天的凌晨及黄昏都出现较长的活动距离,这段时间正值灰雁在取食区与夜宿地之间移动,黄昏,灰雁在草地及碱蓬盐沼取食后,回到更安全的湖泊夜宿,同时进行消化代谢^[17]。Daniel等人在瑞典乌滕比对绿头鸭的研究结果表明,在每天的凌晨和黄昏绿头鸭的活动距离最大,这与本研究结果一致^[17]。而在每天的中午,灰雁大多处于休息状态以积累能量。

综上所述,秋季灰雁在迁徙之前,活动区域逐渐向南水草丰富的区域迁移,对草地的利用减少,倾向于对湖泊的利用;灰雁的日间和夜间活动区面积都逐月增大,特别是夜间通过增加了远距离取食的频次来继续获取食物。通过上述这些活动特征的改变,灰雁能逐渐有效地获取充足的营养以满足迁徙的生理需求。

参考文献 (References):

- [1] Lindström Å, Klaassen M, Piersma T, Holmgren N, Wennerberg L. Fuel stores of juvenile waders on autumn migration in high arctic Canada. *Ardea*, 2002, 90(1): 93-101.
- [2] Turcotte Y, Lamarre J F, Bêty J. Staging ecology of semipalmated plover (*Charadrius semipalmatus*) and semipalmated sandpiper (*Calidris pusilla*) juveniles in the St. Lawrence River Estuary during fall migration. *Canadian Journal of Zoology*, 2013, 91(11): 802-809.
- [3] Badzinski S S, Kennedy L, Petrie S A, Schummer M L. Variation in body composition and digestive organs of tundra swans during migration at long point, Lake Erie, Ontario. *Waterbirds*, 2011, 34(4): 468-475.
- [4] Michal P, Zbigniew K. Differences in the use of foraging grounds by greylag goose *Anser anser* and white-fronted goose *Anser albifrons* at a spring stopover site. *Avian Biology Research*, 2016, 9(4): 265-272.
- [5] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册. 卢何芬, 译. 长沙: 湖南教育出版社, 2000: 75.
- [6] Olsson C, Gunnarsson G, Elmberg J. Field preference of Greylag geese *Anser anser* during the breeding season. *European Journal of Wildlife Research*, 2017, 63: 28.
- [7] Guillemain M, Fritz H, Duncan P. Foraging strategies of granivorous dabbling ducks wintering in protected areas of the French Atlantic coast. *Biodiversity & Conservation*, 2002, 11(10): 1721-1732.
- [8] Sauter A, Korner P, Fiedler W, Jenni L. Individual behavioural variability of an ecological generalist: activity patterns and local movements of mallards *Anas platyrhynchos* in winter. *Journal of Ornithology*, 2012, 153(3): 713-726.
- [9] 张国钢, 李淑红, 周景英, 钱英, 魏秀宏, 倪楠, 宝桩, 岳伟, 韩莫日根, 陆军. 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.
- [10] Reynolds M H, Hatfield J S, Crampton L H, Vekasy M S, Tweed E. Circadian habitat use, home range and behaviour of laysan teal *Anas laysanensis*. *Wildfowl*, 2010, 60: 106-123.

- [11] 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(2): 295-308.
- [12] Bowler J, Mitchell C, Leitch A J. Greylag geese on Tiree and Coll, Scotland: status, habitat use and movements. *Waterbirds*, 2005, 28(1): 61-70.
- [13] Bell M V. Feeding behaviour of wintering pink-footed and greylag geese in North-east Scotland. *Wildfowl*, 1988, 39: 43-53.
- [14] Stenhouse I J. The feeding behaviour of greylag and pink-footed geese around the Moray Firth, 1992-93. *Scottish Birds*, 1996, 18: 222-230.
- [15] 裴文, 黄守华, 李淑玲. 灰雁繁殖习性的初步研究. *黑龙江动物繁殖*, 2000, 8(1): 35-36.
- [16] Legagneux P, Blaize C, Latraube F, Gautier J, Bretagnolle V. Variation in home-range size and movements of wintering dabbling ducks. *Journal of Ornithology*, 2009, 150(1): 183-193.
- [17] Bengtsson D, Avril A, Gunnarsson G, Elmberg J, Söderquist P, Norevik G, Tolf C, Safi K, Fiedler W, Wikelski M, Olsen B, Waldenström J. Movements, Home-range size and habitat selection of mallards during autumn migration. *PLoS One*, 2014, 9(6): e100764.
- [18] Lewis T L, Flint P L, Derksen D V, Schmutz J A. Fine scale movements and habitat use of black brant during the flightless Wing Molt in Arctic Alaska. *Waterbirds*, 2011, 34(2): 177-185.
- [19] McNeil R, Drapeau P, Goss-Custard J D. The occurrence and adaptive significance of nocturnal habits in waterfowl. *Biological Reviews*, 1992, 67(4): 381-419.
- [20] Link P T, Afton A D, Cox Jr R R, Davis B E. Daily movements of female mallards wintering in southwestern Louisiana. *Waterbirds*, 2011, 34(4): 422-428.
- [21] Ywtter A P, Hagy H M, Horath M M, Lancaster J D, Hine C S, Smith R V, Stafford J D. Mallard survival, movements, and habitat use during autumn in Illinois. *Journal of Wildlife Management*, 2018, 82(1): 182-191.