•研究报告•

盐地碱蓬盐沼与相邻泥质滩涂湿地迁徙期鸕鹚类的群落组成及行为差异

张菁¹, 白煜¹, 黄子强¹, 张正旺², 李东来^{1*}

1. 辽宁大学生命科学院, 沈阳 110036; 2. 北京师范大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京 100875

摘要: 盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)盐沼湿地是黄渤海地区河口区域的重要湿地类型, 是水鸟迁徙停歇期的重要栖息地。本研究以辽河口国家级自然保护区为研究地点, 通过对盐地碱蓬盐沼湿地和相邻泥质滩涂两个固定样区连续三年的水鸟组成调查和行为观察, 分析盐地碱蓬盐沼湿地在鸕鹚类多样性维持和栖息地利用中的作用。共记录到鸕鹚类水鸟28种6,348只次, 其中盐地碱蓬湿地记录到4科13种, 泥质滩涂记录到4科27种, 泥质滩涂的物种多样性显著高于盐地碱蓬盐沼湿地。此外, 盐地碱蓬盐沼湿地与相邻的泥质滩涂的鸕鹚类鸟类群落组成存在较大差异, 盐地碱蓬盐沼湿地的鸟类群落组成以体型较大的大杓鹬(*Numenius madagascariensis*)、白腰杓鹬(*N. arquata*)、灰鸕(*Pluvialis squatarola*)等为主, 而泥质滩涂以环颈鸕(*Charadrius alexandrinus*)、黑腹滨鸕(*Calidris alpina*)等小型鸕鹚类为主, 这说明两种生境在鸟类多样性维持中具有不同的功能。行为分析发现, 泥质滩涂中栖息鸟类的主要行为为取食(58.71%–93.26%), 而盐地碱蓬盐沼湿地鸟类的行为既包括较大比例的取食, 也包括休息, 特别是在春季迁徙期。这进一步说明, 两种生境在水鸟的栖息地利用中具有一定的生态功能差异。尽管盐地碱蓬盐沼湿地记录到的鸟类物种数和数量均低于泥质滩涂, 但是, 两种生境中存在较大比例的共同分布物种, 这说明其生态功能具有较强的生态互补性, 二者作为一种独特的湿地景观组合, 在鸕鹚类迁徙停歇期的栖息地利用和物种多样性维持中发挥着不可替代的作用。

关键词: 盐地碱蓬盐沼湿地; 大杓鹬; 栖息地利用; 鸕鹚类; 辽河口湿地

张菁, 白煜, 黄子强, 张正旺, 李东来 (2021) 盐地碱蓬盐沼与相邻泥质滩涂湿地迁徙期鸕鹚类的群落组成及行为差异. 生物多样性, 29, 351–360. doi: 10.17520/biods.2020189.

Zhang J, Bai Y, Huang ZQ, Zhang ZW, Li DL (2021) Community composition and behavioral differences of migrating shorebirds between two habitats within a *Suaeda salsa* saltmarsh–mudflat wetland mosaics. Biodiversity Science, 29, 351–360. doi: 10.17520/biods.2020189.

Community composition and behavioral differences of migrating shorebirds between two habitats within a *Suaeda salsa* saltmarsh–mudflat wetland mosaics

Jing Zhang¹, Yu Bai¹, Ziqiang Huang¹, Zhengwang Zhang², Donglai Li^{1*}

1 College of Life Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036

2 Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering of the Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875

ABSTRACT

Aims: The *Suaeda salsa* saltmarsh is a typical estuarine wetland along the coast of the Yellow Sea and provides an important stopover habitat for migratory waterbirds. From 2017 to 2019, we conducted a bird count and behavioral observation at Liaohekou National Nature Reserve to examine the community composition and behavioral differences of shorebirds in adjacent *S. salsa* saltmarsh and mudflat tideland habitats.

Methods: In adjacent *S. salsa* saltmarsh and mudflat tideland habitats, we counted and compared the difference of shorebird community composition and behavior during low tide period.

Results: A total of 6,348 birds comprising 4 families and 28 species were recorded. Species richness was higher in the mudflat than *S. salsa* saltmarsh in the spring and autumn. Moreover, we found there were significant differences in

收稿日期: 2020-05-07; 接受日期: 2020-08-15

基金项目: 国家自然科学基金(31672316; 31911540468)和中国海油海洋环境与生态保护公益基金(CF-MEEC/TR/2020-20)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lidonglai@lnu.edu.cn

shorebird community composition between the two habitats—the *S. salsa* saltmarsh was used more by large-bodied shorebirds (e.g., *Numenius madagascariensis*, *N. arquata*, *Pluvialis squatarola*) while the adjacent mudflat was used more often by small birds (e.g., *Charadrius alexandrinus* and *Calidris alpina*). These patterns indicated that the *S. salsa* saltmarsh has a distinct ecological function for the community formation and maintenance of species diversity of migratory shorebirds. In addition, behavioral data showed that foraging (58.71%–93.26%) was a dominant behavior of shorebirds for both habitats, but a significantly higher percentage of roosting behavior was found in the *S. salsa* saltmarsh, particularly during the spring stopover stage.

Conclusion: Our results indicate that the saltmarsh is an important roosting habitat for many shorebirds, and this function cannot be replaced by the adjacent intertidal mudflat. While the general biodiversity of the saltmarsh was lower than that of the mudflat, the large proportion of shared species-composition between the two habitats imply that these two habitats are complementary. As a unique combination for a wetland landscape, the *S. salsa* saltmarsh and mudflat play irreplaceable roles for providing stopover habitat and maintaining species diversity of shorebirds during migration.

Key words: *Suaeda salsa* saltmarsh; *Numenius madagascariensis*; habitat use; shorebirds; Liaohu Estuary wetland

河口湿地是一种位于河流入海处, 由咸淡水交汇形成的复杂生态系统。因含有丰富的生物资源, 河口湿地具有多种重要的生态功能, 在全球生物多样性维持中发挥着独特的作用(杨永兴, 2002; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Murray et al, 2019)。河口湿地拥有众多的生境类型, 如芦苇(*Phragmites communis*)湿地、潮间带湿地、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)湿地、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)盐沼湿地等, 不同类型的湿地为各种生态需求的鸟类提供了觅食地或休息场所。而多种湿地景观组合形成的协同生态效应, 是鸟类多样性维持的重要机制(Li et al, 2011, 2013; Gomez-Sapiens et al, 2013; Jackson et al, 2019)。然而, 过去的研究多注重对其中一种或少数几种生境的独立研究。如, 对河口潮间带滩涂湿地的研究认为这种生境是鸕鹚类等水鸟最主要的觅食地, 在整个生态系统中有着至关重要的作用(Choi et al, 2015; Jing et al, 2007)。而对潮间带上方的其他生境类型, 如盐沼湿地的关注普遍较少。尽管也有研究认为河口盐沼湿地(saltmarsh)在水鸟的栖息地利用方面, 与潮间带滩涂湿地具有一定的互补功能——如在涨潮或天气较差的时候可作为在潮间带取食水鸟的休息地(Burger et al, 1997; Ma et al, 2004; Jackson et al, 2019)。但这种湿地作为水鸟潜在觅食地所发挥的生态功能却很少得到关注(Masero et al, 2000; Jing et al, 2007; Li et al, 2013), 特别是对于一些特殊类群和具有特殊生态需求的鸟类(Li et al, 2014, 2017), 其生态功能还有待深入研究。

盐沼湿地是指位于海陆交错区、上覆耐盐灌木或草本植物的潮间带淤泥质滩涂湿地(牟晓杰等,

2015)。相关研究显示, 水鸟对盐沼湿地的栖息地利用率较低, 主要原因是这些区域的盐沼植物多以米草属(*Spartina*)、藨草属(*Scirpus*)和海蓬子属(*Salicornia*)等空间分布较密且植株较高的盐生植物为主, 导致可进入性较差, 而降低了鸟类的利用率(Darnell & Smith, 2004; Jing et al, 2007; Wan et al, 2009; Ma et al, 2011)。如我国东部沿海湿地不断入侵的互花米草(*Spartina alterniflora*)群落也主要是基于这个原因显著降低了相应栖息地的水鸟利用价值(Jing et al, 2007; Gan et al, 2009; Hua et al, 2015)。在我国东部沿海湿地, 特别是位于黄渤海区域的河口区发育有一种原生盐沼湿地类型, 被称为“红海滩”, 即由盐地碱蓬构成的滩涂湿地景观。关于这种生境的重要生态功能或生态演替规律, 国内已经开展了大量研究(Tian et al, 2017; Lu et al, 2018; 孙圳, 2018^①)。然而, 关于盐地碱蓬盐沼湿地在鸟类栖息地利用方面的研究依然较少, 之前的研究主要集中在水鸟的繁殖、觅食和群落构建方面, 如江红星等(2002)研究认为, 盐地碱蓬生境可作为黑嘴鸥(*Saundersilarus saundersi*)和鸕鹚类的重要繁殖地; Li等(2014, 2017)研究发现, 盐地碱蓬盐沼湿地是丹顶鹤(*Grus japonensis*)迁徙期的重要觅食地。而盐地碱蓬盐沼湿地和潮间带作为重要的原生湿地景观组合, 在维持整个水鸟群落多样性构成中具有独特的生态功能。潮间带滩涂湿地作为一种广布于全球滨海区域的生境类型, 对全球滨海水鸟的迁徙和繁殖起着不可替代的作用(Ma et al, 2014; Studds et al, 2017; Murray et al, 2019)。但对于盐地碱蓬盐沼湿地

① 孙圳 (2018) 辽河口湿地翅碱蓬植被年际变化及其影响因素的相关性研究. 硕士学位论文, 大连海洋大学, 辽宁大连。

与潮间带滩涂湿地这两种空间上相邻又存在一定景观异质性的生境类型,在水鸟的群落构建、栖息地利用差异和相互功能关系方面还不十分清楚。

辽河口国家级自然保护区是东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线上一个非常重要的迁徙停歇地,也是国际重要湿地之一,每年迁徙季节均有大量的鸕鹚类在此进行能量补给、羽毛更换和繁殖(Bamford et al, 2008; China Coastal Waterbird Census Group et al, 2015; 陈龙等, 2019; Duan et al, 2020)。其中,河口两侧的盐地碱蓬盐沼湿地和潮间带泥质滩涂湿地均是鸕鹚类的重要栖息地。本研究选择位于自然保护区西侧的一片典型盐地碱蓬盐沼湿地及与其相邻的裸露泥质滩涂,作为两类观测区,开展比较性研究。通过系统的水鸟组成调查和行为观察,分析两种生境中鸟类群落组成及其主要的行为差异,揭示盐地碱蓬盐沼湿地在鸕鹚类群落构建、多样性维持及栖息地利用方面的作用。结合盐地碱蓬湿地面临的不断丧失的严峻形势,探讨加强盐地碱蓬湿地保护的重要性。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

辽河口国家级自然保护区(121°10′-122°30′ E, 40°30′-41°30′ N)地处渤海湾北部,位于辽宁省盘锦市。该保护区占地面积80,000 ha,除具有全亚洲最

大的芦苇湿地之外,还分布有多种湿地生态景观,如河流、潮间带滩涂、盐地碱蓬盐沼湿地、人工养殖池塘等。主要保护对象为丹顶鹤、黑嘴鸥和河口湿地生态系统,同时,也包括大量迁徙和繁殖的鸕鹚和鸥类等水鸟。之前的研究显示该区域至少承载了6万只以上的水鸟,其中有22种的种群数量达到了全球种群数量的1% (Bamford et al, 2008; China Coastal Waterbird Census Group et al, 2015)。

我们选择位于辽河口国家级自然保护区南小河黑嘴鸥保护站(121°36′ E, 40°51′ N)内连续分布的盐地碱蓬和潮间带滩涂作为研究点(图1)。研究区总面积为600 ha,除有少量水产养殖工人和油田生产人员外,人为活动干扰较少。该区域是迁徙期鸕鹚类等鸟类的主要觅食和休息地。盐地碱蓬属于藜科碱蓬属,是典型的盐生植物,成熟植株高度介于15-30 cm,所选择研究区域的植被主要由盐地碱蓬、芦苇、柽柳(*Tamarix chinensis*)组成,芦苇、柽柳主要分布于内陆淡水资源较为丰富的区域,而盐地碱蓬作为潮间带的一种先锋植物,主要分布在河口区域,盐地碱蓬分布范围受潮汐高度的影响较大,通常位于潮间带滩涂的中潮线上方(中国植物志, 1979)。辽河口国家级自然保护区的潮汐高度为1.4-4.4 m (国家海洋信息中心, <https://www.cnss.com.cn/tide/>),而该区域分布的盐地碱蓬主要在潮汐高度3.46 m以上区域,平均潮高(2.6-3.0 m)可以

图1 研究区示意图

Fig. 1 Location of study site

淹没其他潮间带区域。盐地碱蓬盐沼湿地和潮间带滩涂两种生境的土壤组成均以淤泥和粘土为主,但后者含沙量略高于前者(Zhang et al, 2016)。

1.2 鸟类调查

采用直接计数法进行鸟类调查。我们于2017年秋季至2019年秋季,共进行了2年的春季(4–5月)和3年的秋季(8–11月)调查。所有调查集中在两个相邻的盐地碱蓬盐沼湿地和潮间带泥质滩涂观察区,大小为400 m × 500 m (图1)。于低潮时(最低潮前后2 h)利用20–60倍单筒望远镜(SWAROVSKI, HD80)和8 × 42双筒望远镜对样区内鸟类进行计数,记录鸟类的种类和数量,同时记录日期、时间、潮汐高度和生境类型。每次调查间隔5–7天,在天气良好的情况下开展。

同时,为了研究水鸟对不同生境的利用差异,采用瞬时扫描法对两种生境鸟类的主要行为进行记录。行为类型如下:(1)觅食行为:有明显的取食、吞咽等活动,具体表现为水鸟用喙不停地探寻食物或将喙直接插入泥中;(2)休息行为:鸟类单脚站立,将头偏向一侧并埋于翅下;(3)其他行为:包括警戒、理羽、打斗和惊飞等(孔德军等, 2008; Zhou et al, 2010; 蒋剑虹等, 2015)。

鸟类分类系统和物种名称参考《中国鸟类分类与分布名录(第三版)》(郑光美, 2017)。

1.3 数据分析

本研究记录到的水鸟以鸻形目中的鸻鹬类为主(数量百分比: 98.60%),而其他类群的水鸟(如雁鸭类和鹭类)数量较少(1.40%),未计入后续的统计分析。采用优势度指数(Y)来表征群落中的优势种: $Y = n_i/N \times 100\%$; 式中: n_i 为第 i 种的个体数; N 为所有种类总个体数。定义优势度指数大于10%的鸟类为优势种, 1%–10%的为常见种, 小于1%的为偶见种(Howes & Bakewell, 1989; 郑光美, 2012)。由于每次鸟类调查间隔5–7天,每一调查日只调查1次鸟类行为和数量;研究地从迁徙开始到迁徙高峰期鸟类数量从14,000只到60,000只,低潮期鸟类广泛分布于可觅食区域,相同个体出现在一个区域的可能性不高,所以我们把每次调查作为一个独立的样本。本研究的重点是比较不同生境之间的差异,调查方法使用的是配对实验设计,我们认为鸟类群落结构和生境在年间变化不大,所以没有考虑年度间差异的影响。采用配对样本 t 检验比较两种生境之间鸟类物

种丰富度和多度的差异;采用独立样本 t 检验比较两种生境中鸟类物种丰富度和多度的季节差异。以观察到每种行为的鸟类数量占鸟类总数量的百分比计算鸟类行为比例,并采用独立样本 t 检验进行比较分析(蒋剑虹等, 2015)。所有数据(计量型)进行分析之前采用Kolmogorov-Smirnov进行正态检验,若不符合正态性则采用相应的非参数检验。

鸟类的群落结构利用非度量多维尺度标度法(non-metric multidimensional scaling, nMDS)进行分析,分析前以每次调查所记录数量为行,物种为列计算Bray-Curtis距离,借助R软件绘制nMDS碎石图,对群落结构的生境和季节差异进行图示化表示(Kruskal, 1964; Li et al, 2011)。群落相似性采用Jaccard指数表示: $C_j = j/(a + b - j)$, 式中 C_j 为相似性系数, a 为群落A中的物种数, b 为群落B中的物种数, j 为A、B两者共有物种数(蒋科毅等, 2013)。群落结构的nMDS分析借助RStudio-v1.2.1335 (RStudio, Inc., Boston, MA)的vegan R软件包完成,绘图使用ggplot2包(胡艺等, 2019)。其他统计分析在SPSS 21.0软件中完成。统计显著性标准设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 物种组成与数量

2017–2019年共进行了28次调查(春季11次,秋季17次;附录1),记录到鸻鹬类水鸟28种6,348只次。其中春季记录到15种1,371只次;秋季记录到25种4,977只次。

两种生境中鸻鹬类的物种组成具有较大差异。盐地碱蓬盐沼湿地共记录到4科13种,优势种为大杓鹬(*Numenius madagascariensis*)、白腰杓鹬(*N. arquata*)、黑嘴鸥、红嘴鸥(*Chroicocephalus ridibundus*);泥质滩涂调查到4科27种,优势种为环颈鸻(*Charadrius alexandrinus*)、蛎鹬(*Haematopus ostralegus*)、黑腹滨鹬(*Calidris alpina*)。两种生境同时记录到的物种有12种,占总记录物种数的39.3%,如黑嘴鸥、大杓鹬、白腰杓鹬、灰鸻(*Pluvialis squatarola*)等。其中,盐地碱蓬盐沼湿地单独记录到的物种有1种,为金斑鸻(*Pluvialis fulva*);泥质滩涂单独记录到的物种有15种,占比57.1%,如大滨鹬(*Calidris tenuirostris*)、黑尾鸥(*Larus crassirostris*)、青脚鹬(*Tringa nebularia*)、红脚鹬(*T. totanus*)等,详见附录1。

从物种丰富度上看, 泥质滩涂极显著高于盐地碱蓬盐沼湿地(春季: $t = -4.405$, $df = 10$, $P = 0.001$; 秋季: $t = -5.705$, $df = 16$, $P < 0.001$); 而两种生境均不存在明显的季节差异(盐地碱蓬: $t = 0.434$, $df = 26$, $P = 0.668$; 泥质滩涂: $t = -1.561$, $df = 26$, $P = 0.131$; 图2A)。两种生境的物种多度也具有类似的变化趋势, 泥质滩涂的物种多度均显著高于盐地碱蓬(春季: $t = -3.218$, $df = 10$, $P = 0.009$; 秋季: $Z = -3.516$, $P < 0.001$); 而两种生境鸟类的多度无显著的季节差异(盐地碱蓬: $Z = 0.719$, $P = 0.680$; 泥质滩涂: $Z = 1.133$, $P = 0.153$; 图2B)。

2.2 群落结构分析

由图3可见, 鸟类群落结构呈现明显的生境分化趋势, 季节间的差异不明显。在二维的nMDS权重图上, 盐地碱蓬生境中鸟类群落主要分布于nMDS

图2 不同生境和季节间鸕鹚鸟类物种丰富度(A)和物种多度(B)差异。春季: $n = 11$; 秋季: $n = 17$ 。箱子上下边界代表上下四分位数, 箱子中间实线为中位数, 上下边缘分别代表除异常值外的最大值和最小值, 实心圆点为离异值。

Fig. 2 The difference in species richness (A) and abundance (B) of shorebirds between two habitats in different migratory seasons. Spring: $n = 11$; autumn: $n = 17$. The solid lines in the box denote the median value and box edges show the upper and lower quartiles. The maximum and minimum show the largest and lowest data point excluding any outliers and the solid circles show outliers.

图3 不同生境和季节间鸕鹚类群落结构nMDS分析的权重图。FC: 大杓鹬; EC: 白腰杓鹬; WH: 中杓鹬; CG: 青脚鹬; CR: 红脚鹬; RT: 翻石鹬; TS: 翘嘴鹬; SR: 鹤鹬; DU: 黑腹滨鹬; BTG: 斑尾塍鹬; GK: 大滨鹬; EO: 蛎鹬; MS: 泽鹬; ST: 尖尾滨鹬; SA: 三趾滨鹬; RN: 红颈滨鹬; GP: 灰鸻; KP: 环颈鸻; PG: 金斑鸻; LS: 蒙古沙鸻; LR: 金眶鸻; SG: 黑嘴鸥; BH: 红嘴鸥; SI: 西伯利亚银鸥; SB: 灰背鸥; BT: 黑尾鸥; WT: 白翅浮鸥; LT: 白额燕鸥。

Fig. 3 nMDS plots of shorebird community between two habitats (*Suaeda salsa* saltmarsh vs. mudflat) in two migratory seasons. FC, *Numenius madagascariensis*; EC, *Numenius arquata*; WH, *Numenius phaeopus*; CG, *Tringa nebularia*; CR, *Tringa totanus*; RT, *Arenaria interpres*; TS, *Xenus cinereus*; SR, *Tringa erythropus*; DU, *Calidris apoina*; BTG, *Limosa lapponica*; GK, *Calidris tenuirostris*; EO, *Haematopus ostralegus*; MS, *Tringa stagnatilis*; ST, *Calidris acuminata*; SA, *Calidris alba*; RN, *Calidris ruficollis*; GP, *Pluvialis squatarola*; KP, *Charadrius alexandrinus*; PG, *Pluvialis fulva*; LS, *Charadrius mongolus*; LR, *Charadrius dubius*; SG, *Saundersilarus saundersi*; BH, *Chroicocephalus ridibundus*; SI, *Larus vegae*; SB, *Larus schistisagus*; BT, *Larus crassirostris*; WT, *Chlidonias leucopterus*; LT, *Sternula albifrons*.

权重图的右下侧, 季节间重叠较大, 春、秋季群落相似性系数为0.46, 共有鸟种有6种, 白腰杓鹬、大杓鹬、黑嘴鸥、灰鸻和红嘴鸥对该生境群落特征贡献较高, 说明这些物种是盐地碱蓬生境的典型物种; 相反, 泥质滩涂生境中鸟类群落主要分布于nMDS权重图的左上侧, 且分布较为分散, 说明鸟类群落组成的波动较大。另外, 大滨鹬、黑腹滨鹬、环颈鸻、蛎鹬、鹤鹬(*Tringa erythropus*)、黑尾鸥等多种鸟类在该群落构成中的权重较高, 说明这种生境中鸟类的多样性更高, 并明显区别于盐地碱蓬生境。该生境春、秋季重叠较大, 相似性系数为0.41。同时, 季节间也存在一定的差别, 如大滨鹬、斑尾塍鹬、

白额燕鸥(*Sternula albifrons*)对春季鸟类群落的贡献较大, 而金眶鸻(*Charadrius dubius*)、蒙古沙鸻(*C. mongolus*)、红颈滨鹬(*Calidris ruficollis*)、三趾滨鹬(*C. alba*)对秋季鸟类群落的贡献较大(图3, 表1)。

2.3 鸟类行为的生境差异

从鸟类的行为来看, 该研究区域鸟类以取食行为为主(58.71%–93.26%), 其次为休息行为(5.99%–23.29%), 其他行为所占比例较低(0.34%–18%)。两种生境中鸟类的行为组成具有明显的季节差异, 春季盐地碱蓬生境中取食比例显著低于泥质滩涂($t = -2.115$, $df = 67.707$, $P = 0.038$; 图4), 而休

表1 不同季节和生境间鸻鹬类共有种的数量及其相似度
Table 1 Number of shared species and similarity coefficients of shorebirds among different seasons and habitats

	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i> saltmarsh		泥质滩涂 Mudflat	
	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn
盐地碱蓬(春季) <i>Suaeda salsa</i> saltmarsh (Spring)	8	6 (0.46)	6 (0.40)	8 (0.32)
盐地碱蓬(秋季) <i>Suaeda salsa</i> saltmarsh (Autumn)		11	7 (0.41)	11 (0.44)
泥质滩涂(春季) Mudflat (Spring)			13	11 (0.41)
泥质滩涂(秋季) Mudflat (Autumn)				25

图4 不同生境和季节鸻鹬类各行为组成百分比

Fig. 4 Percentage of different behavior of shorebirds between two habitats in different migratory seasons

息行为比例较高(23.29% vs. 5.99%; $Z = -2.359$, $P = 0.018$); 秋季两种生境均以取食行为为主(> 87.0%), 各行组成比例不存在显著性差异(取食行为: $t = 1.406$, $df = 176.64$, $P = 0.161$; 休息行为: $Z = -0.991$, $P = 0.322$; 图4)。

3 讨论

3.1 鸟类群落结构与组成

本研究发现, 盐地碱蓬盐沼湿地与相邻泥质滩涂的鸟类组成存在较大差异, 盐地碱蓬生境以鸥类和体型较大的鸻鹬类(如黑嘴鸥、大杓鹬、白腰杓鹬、灰鸻等)为主, 而泥质滩涂主要以环颈鸻、黑腹滨鹬、大滨鹬、蛎鹬等中小型鸻鹬类为主, 这说明两种生境对鸻鹬类等水鸟的群落构成和栖息地利用具有明显的功能差异。潮间带滩涂湿地作为小型滨鹬类和鸻类的重要栖息地, 与其他探究潮间带在鸻鹬类栖息地利用中的作用的研究结果类似(Yang et al, 2013; Choi et al, 2015, 2017; Peng et al, 2017)。同时, 本研究也证实盐地碱蓬盐沼湿地作为体型较大的鸻鹬类的重要栖息地, 在其栖息地利用中具有独特作用^①。这与多数关于盐沼湿地水鸟利用的研究结果差异较大。之前多数研究认为盐沼湿地在水鸟栖息地利用中的作用有限, 如Darnell和Smith (2004)对互花米草和欧洲海蓬子(*Salicornia* spp.)盐沼湿地的研究显示, 只有雀形目的鸟类可以利用此生境, 水鸟利用较少。我们推测导致不同研究结果存在差异的主要原因有两个: 第一, 构成盐沼的植被结构差异较大, 如Jing等(2007)和Ma等(2011)对互花米草和海三棱藨草盐沼湿地的研究显示, 较高和较密的植株限制了大部分鸟类在该区域的觅食; 而盐地碱蓬盐沼湿地主要由植株高度为15–35 cm且稀疏分布的盐地碱蓬构成。这对于体型较大的鸻鹬类的影响不大, 但对于体型较小的鸟类在该生境进行觅食和行走可能有一定影响; 第二, 本研究发现较多的鸻鹬类利用盐地碱蓬湿地, 这可能与底栖生物组成的生境类型特异性有关(Jing et al, 2007; Chen et al, 2019)。前期研究发现, 盐地碱蓬盐沼湿地丰富的滩涂蟹类是丹顶鹤迁徙期的重要食物资源(Li et al, 2014)。而本研究在盐地碱蓬盐沼湿地中记录到的大杓鹬、白腰杓鹬和黑嘴鸥主要取食滩涂蟹类(Li et al,

① 黄子强 (2018) 鸻鹬类迁徙停歇期对翅碱蓬和潮间带湿地的栖息地利用。硕士学位论文, 辽宁大学, 沈阳。

2020)。相比之下, 其他滨鹚鸟类更倾向于在泥质滩涂上取食蛤类、螺类和沙蚕等(Zhang et al, 2011; 张璇等, 2013; 冯晨晨等, 2019)。

尽管两种生境的群落组成存在较大差异, 但依然有较大比例的共同分布物种。盐地碱蓬盐沼湿地记录到的13种鸟类中, 有12种都在潮间带滩涂有分布记录, 说明两种生境在鸟类的利用中存在较强的互补性。尽管在本研究中这种较高的物种组成相似性可能是由于两种生境较近的空间距离造成的, 但是, 也可能说明盐地碱蓬盐沼湿地和相邻的泥质滩涂湿地作为一种独特的湿地景观组合, 在鸕鹚类多样性的维持中可以协同发挥作用, 为迁徙期的鸟类提供重要的栖息地(Li et al, 2011, 2013)。从季节变化上看, 盐地碱蓬盐沼湿地的水鸟组成的季节性差异较小, 说明这种生境的生态功能相对稳定, 主要为生态习性较为特化的鸕鹚类提供栖息地; 而泥质滩涂的鸕鹚类组成季节变化较大, 则可能与利用该栖息地鸟类的迁徙停歇策略的季节性差异有关, 如斑尾塍鹚在南迁时的数量不到北迁期的一半(Battley et al, 2012; China Coastal Waterbird Census Group et al, 2015); 另外, 也可能与该栖息地的底栖生物资源的季节变化有关(Zhang et al, 2016; 侯文昊等, 2019), 但还需要进一步的底栖生物调查来验证。

3.2 水鸟群落的行为组成差异

研究发现, 鸕鹚类在两种生境中的主要行为为取食。这说明盐地碱蓬盐沼和滩涂湿地是鸕鹚类迁徙停歇期的重要觅食地, 在能量积累和后续的迁徙活动中发挥着重要作用(Choi et al, 2014; 华宁, 2014)。同时, 我们也发现春季迁徙期盐地碱蓬盐沼湿地中休息行为的比例较大, 显著高于相邻的泥滩生境, 这说明较多的鸕鹚类会选择在盐地碱蓬盐沼湿地休息。存在这种差异的主要原因可能是: 在春季迁徙期, 多数鸕鹚类经过长时间的长途迁徙, 到达停歇地后需要较长的时间进行休息, 恢复体能。研究表明, 某些鸕鹚类, 如红腹滨鹚(*Calidris canutus*)等, 在迁徙期肌胃等消化器官发生萎缩, 需要更多的休息时间, 以恢复到正常的机能水平(Van Gils et al, 2005; Yang et al, 2013)。在此阶段, 由于以下两方面原因, 潮上滩的盐地碱蓬盐沼湿地可能成为鸕鹚类极为理想的休息地: 第一, 该生境距离潮间带滩涂等主要觅食地非常近, 方便利用; 第二, 此生境由于稀疏的植被覆盖具有较好的隐蔽

和遮风效果, 可以降低被捕食风险和维持体温所带来的能量损耗(Moreno et al, 1996; Tchabovsky et al, 2001)。尽管也有研究认为, 鱼塘、盐池等生境可以作为鸕鹚类的休息地(Masero & Pérez-Hurtado, 2001; Lehnen & Krementz, 2013; Lei et al, 2018), 但是, 从人为干扰强度和距觅食地距离上来看, 自然分布的盐地碱蓬盐沼湿地依然是最优的休息地。未来可以进一步开展不同类型休息地的栖息质量及鸟类利用评估。在秋季, 两种生境中休息和觅食的比例不存在显著差异。这说明鸕鹚类也可以选择在某些潮间带上方的泥质滩涂区域进行休息, 至于两种生境中休息个体的物种组成是否存在差异, 以及是否有些鸟类选择以不同的行为利用两种生境, 还需要进一步研究。

综上, 盐地碱蓬盐沼湿地作为一种滨海湿地类型, 在鸕鹚类的群落构成和栖息地利用中发挥着独特作用, 特别是为大杓鹬等以滩涂蟹类为食的鸕鹚类提供重要的觅食栖息地, 同时, 也是大量鸕鹚类的休息地。除此之外, 盐地碱蓬盐沼湿地与相邻的潮间带泥质滩涂湿地具有较强的生态互补性, 二者作为独特的湿地景观组合, 在地区鸕鹚类鸟类物种多样性维持中发挥着不可替代的作用。然而, 有研究表明盐地碱蓬盐沼湿地正面临着严重的湿地丧失和破坏(Li et al, 2017; Tian et al, 2017; Lu et al, 2018), 需要加强对该生境类型的研究保护和管理工作。此研究将为盐地碱蓬湿地的保护和恢复提供重要的参考依据。

ORCID

张菁 <https://orcid.org/0000-0003-4693-7707>
白煜 <https://orcid.org/0000-0002-5198-1924>
张正旺 <https://orcid.org/0000-0003-1063-7198>
李东来 <https://orcid.org/0000-0001-9155-5148>

参考文献

- Bamford M, Watkins D, Bancroft W, Tischler G, Wahl J (2008) Migratory Shorebirds of the East Asian-Australasian Flyway Population Estimates and Internationally Important Sites. Wetlands International Oceania, Canberra, Australia.
- Battley PF, Warnock N, Tibbitts TL, Gill RE Jr, Piersma T, Hassell CJ, Douglas DC, Mulcahy DM, Gartrell BD, Schuckard R, Melville DS, Riegen AC (2012) Contrasting extreme long-distance migration patterns in bar-tailed godwits *Limosa lapponica*. Journal of Avian Biology, 43, 21–32.

- Burger J, Howe MA, Hahn DC, Chase J (1997) Effects of tide cycles on habitat selection and habitat partitioning by migrating shorebirds. *The Auk*, 94, 743–758.
- Chen L, Zhang ML, Li FL, Yu WY (2019) Structure and diversity of bird communities in Liaohekou Wetlands in Spring 2017. *Wetland Science*, 17, 146–151. (in Chinese with English abstract) [陈龙, 张美玲, 李凤丽, 于文颖 (2019) 2017年春季辽河口湿地鸟类群落结构和多样性. *湿地科学*, 17, 146–151.]
- Chen P, Zhang Y, Zhu XJ, Lu CH (2019) Distribution of crabs along a habitat gradient on the Yellow Sea coast after *Spartina alterniflora* invasion. *PeerJ*, 7, e6775.
- China Coastal Waterbird Census Group, Bai QQ, Chen JZ, Chen ZH, Dong GT, Dong JT, Dong WX, Fu VWK, Han YX, Lu G, Li J, Liu Y, Lin Z, Meng DR, Martinez J, Ni GH, Shan K, Sun RJ, Tian SX, Wang FQ, Xu ZW, Yu YT, Yang J, Yang ZD, Zhang L, Zhang M, Zeng XW (2015) Identification of coastal wetlands of international importance for waterbirds: A review of China Coastal Waterbird Surveys 2005–2013. *Avian Research*, 6, 12.
- Choi CY, Battley PF, Potter MA, Ma ZJ, Melville DS, Sukkaewmanee P (2017) How migratory shorebirds selectively exploit prey at a staging site dominated by a single prey species. *The Auk*, 134, 76–91.
- Choi CY, Battley PF, Potter MA, Rogers KG, Ma ZJ (2015) The importance of Yalu Jiang coastal wetland in the north Yellow Sea to bar-tailed godwits *Limosa lapponica* and great knots *Calidris tenuirostris* during northward migration. *Bird Conservation International*, 25, 53–70.
- Choi CY, Gan XJ, Hua N, Wang Y, Ma ZJ (2014) The habitat use and home range analysis of Dunlin (*Calidris alpina*) in Chongming Dongtan, China and their conservation implications. *Wetlands*, 34, 255–266.
- Darnell TM, Smith EH (2004) Avian use of natural and created salt marsh in Texas, USA. *Waterbirds*, 27, 355–361.
- Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita (1979) *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院中国植物志编委会 (1979) 中国植物志. 科学出版社, 北京.]
- Duan HL, Xia SX, Jackson MV, Zhao N, Liu Y, Teng JK, Meng Z, Yu XB, Shi JB (2020) Identifying new sites of significance to waterbirds conservation and their habitat modification in the Yellow and Bohai seas in China. *Global Ecology and Conservation*, 22, e01031.
- Feng CC, Zhang SD, Liu WL, Zhao TT, Cao YD, Xiangyu JG, Ma ZJ (2019) Food composition of five migratory shorebirds at the Dandong Yalu River coastal wetland in spring migration. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 58, 497–505. (in Chinese with English abstract) [冯晨晨, 张守栋, 刘文亮, 赵天天, 曹一迪, 向余劲攻, 马志军 (2019) 丹东鸭绿江口湿地春季5种迁徙鹬类的食物组成. *复旦学报(自然科学版)*, 58, 497–505.]
- Gan XJ, Cai YT, Choi CY, Ma ZJ, Chen JK, Li B (2009) Potential impacts of invasive *Spartina alterniflora* on spring bird communities at Chongming Dongtan, a Chinese wetland of international importance. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 83, 211–218.
- Gomez-Sapiens MM, Soto-Montoya E, Hinojosa-Huerta O (2013) Shorebird abundance and species diversity in natural intertidal and non-tidal anthropogenic wetlands of the Colorado River delta, Mexico. *Ecological Engineering*, 59, 74–83.
- Hou WH, Lu WZ, Zhao KY, Zhang JL, Zhang RJ, Lei W, Liao GX, Liu CA (2019) Research on the temporal and spatial distribution characteristics of *Helice tientsinensis* in red beach of the Liaohe estuary. *Marine Environmental Science*, 38, 272–277. (in Chinese with English abstract) [侯文昊, 卢伟志, 赵开远, 张家林, 张瑞瑾, 雷威, 廖国祥, 刘长安 (2019) 辽河口红海滩天津厚蟹种群时空分布特征研究. *海洋环境科学*, 38, 272–277.]
- Howes J, Bakewell D (1989) *Shorebird Studies Manual*. AWB Press, Kuala Lumpur.
- Hu Y, Li QH, Li Y, He Y, Han MS, Sun RG, Gao TJ (2019) Analysis of structure and dynamics of metazooplankton community in Baihua Reservoir of Guizhou Province based on nMDS and RDA. *Research of Environmental Sciences*, 32, 1510–1518. (in Chinese with English abstract) [胡艺, 李秋华, 李钥, 何应, 韩孟书, 孙荣国, 高廷进 (2019) 基于nMDS和RDA方法分析贵州百花水库后生浮游动物群落结构动态. *环境科学研究*, 32, 1510–1518.]
- Hua N (2014) Fuel Deposition of Shorebirds at Stopping Sites in the Yellow Sea During Spring Migration. PhD dissertation, Fudan University, Shanghai. (in Chinese with English abstract) [华宁 (2014) 鸻鹬类春季在黄海区域迁徙停歇地的能量积累. 博士学位论文, 复旦大学, 上海.]
- Hua N, Tan K, Chen Y, Ma ZJ (2015) Key research issues concerning the conservation of migratory shorebirds in the Yellow Sea region. *Bird Conservation International*, 25, 38–52.
- Jackson MV, Carrasco LR, Choi CY, Li J, Ma ZJ, Melville DS, Mu T, Peng HB, Woodworth BK, Yang ZY, Zhang L, Fuller RA (2019) Multiple habitat use by declining migratory birds necessitates joined-up conservation. *Ecology and Evolution*, 9, 2505–2515.
- Jiang HX, Chu GZ, Qian FW, Lu J (2002) Breeding microhabitat selection of Saunders' gull (*Larus saundersi*) in Yancheng of Jiangsu Province, China. *Biodiversity Science*, 10, 170–174. (in Chinese with English abstract) [江红星, 楚国忠, 钱法文, 陆军 (2002) 江苏盐城黑嘴鸥 (*Larus saundersi*) 繁殖微生境的选择. *生物多样性*, 10, 170–174.]
- Jiang JH, Dai NH, Shao MQ, Huang ZQ, Lu P (2015) Time budget and foraging behavior of wintering common cranes inhabiting rice fields of Poyang Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 35, 270–279. (in Chinese with English abstract) [蒋

- 剑虹, 戴年华, 邵明勤, 黄志强, 卢萍 (2015) 鄱阳湖区稻田生境中灰鹤越冬行为的时间分配与觅食行为. 生态学报, 35, 270–279.]
- Jiang KY, Wu M, Shao XX, Lü Y (2013) Diversity of bird communities in southern Hangzhou Bay and the Qiantang River estuary and their responses to reclamation of intertidal mudflats. *Biodiversity Science*, 21, 214–223. (in Chinese with English abstract) [蒋科毅, 吴明, 邵学新, 吕咏 (2013) 杭州湾及钱塘江河口南岸滨海湿地鸟类群落多样性及其对滩涂围垦的响应. 生物多样性, 21, 214–223.]
- Jing K, Ma ZJ, Li B, Li JH, Chen JK (2007) Foraging strategies involved in habitat use of shorebirds at the intertidal area of Chongming Dongtan, China. *Ecological Research*, 22, 559–570.
- Kong DJ, Yang XJ, Zhong XY, Dao MB, Zhu Y (2008) Diurnal time budget and behavior rhythm of wintering black-necked crane (*Grus nigricollis*) at Dashanbao in Yunnan. *Zoological Research*, 29, 195–202. (in Chinese with English abstract) [孔德军, 杨晓君, 钟兴耀, 道美标, 朱勇 (2008) 云南大山包黑颈鹤日间越冬时间分配和日活动节律. 动物学研究, 29, 195–202.]
- Kruskal JB (1964) Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. *Psychometrika*, 29, 115–129.
- Lehnen SE, Kremetz DG (2013) Use of aquaculture ponds and other habitats by autumn migrating shorebirds along the lower Mississippi River. *Environmental Management*, 52, 417–426.
- Lei WP, Masero JA, Piersma T, Zhu BR, Yang HY, Zhang ZW (2018) Alternative habitat: The importance of the Nanpu Salt pans for migratory waterbirds in the Chinese Yellow Sea. *Bird Conservation International*, 28, 549–566.
- Li DL, Chen SH, Guan L, Lloyd H, Liu YL, Lü JZ, Zhang ZW (2011) Patterns of waterbird community composition across a natural and restored wetland landscape mosaic, Yellow River delta, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91, 325–332.
- Li DL, Chen SH, Lloyd H, Zhu SY, Shan K, Zhang ZW (2013) The importance of artificial habitats to migratory waterbirds within a natural/artificial wetland mosaic, Yellow River delta, China. *Bird Conservation International*, 23, 184–198.
- Li DL, Ding YQ, Yuan Y, Lloyd H, Zhang ZW (2014) Female tidal mudflat crabs represent a critical food resource for migratory red-crowned cranes in the Yellow River delta, China. *Bird Conservation International*, 24, 416–428.
- Li DL, Liu Y, Sun XH, Lloyd H, Zhu SY, Zhang SY, Wan DM, Zhang ZW (2017) Habitat-dependent changes in vigilance behaviour of red-crowned crane influenced by wildlife tourism. *Scientific Reports*, 7, 16614.
- Li DL, Zhang J, Liu Y, Lloyd H, Pagani-Núñez E, Zhang ZW (2020) Differences in dietary specialization, habitat use and susceptibility to human disturbance influence feeding rates and resource partitioning between two migratory *Numenius* curlew species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245, 106990.
- Lu W, Xiao J, Lei W, Du J, Li Z, Cong P, Hou W, Zhang J, Chen L, Zhang Y, Liao GX (2018) Human activities accelerated the degradation of saline seepweed red beaches by amplifying top-down and bottom-up forces. *Ecosphere*, 9, e02352.
- Ma ZJ, Gan XJ, Cai YT, Chen JK, Li B (2011) Effects of exotic *Spartina alterniflora* on the habitat patch associations of breeding saltmarsh birds at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary, China. *Biological Invasions*, 13, 1673–1686.
- Ma ZJ, Li B, Zhao B, Jing K, Tang S, Chen J (2004) Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds?—A case study on Chongming Island, China. *Biodiversity and Conservation*, 13, 333–350.
- Ma ZJ, Melville DS, Liu JG, Chen L, Yang HY, Ren WW, Zhang ZW, Piersma T, Li B (2014) Rethinking China's new great wall. *Science*, 346, 912–914.
- Masero JA, Pérez-Hurtado A (2001) Importance of the supratidal habitats for maintaining overwintering shorebird populations: How redshanks use tidal mudflats and adjacent saltworks in Southern Europe. *The Condor*, 103, 21–30.
- Masero JA, Pérez-Hurtado A, Castro M, Arroyo GM (2000) Complementary use of intertidal mudflats and adjacent salinas by foraging waders. *Ardea*, 88, 177–191.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Island Press, Washington, DC.
- Moreno S, Villafuerte R, Delibes M (1996) Cover is safe during the day but dangerous at night: The use of vegetation by European wild rabbits. *Canadian Journal of Zoology*, 74, 1656–1660.
- Mou XJ, Liu XT, Yan BX, Cui BS (2015) Classification system of coastal wetlands in China. *Wetland Science*, 13 (1), 19–26. (in Chinese with English abstract) [牟晓杰, 刘兴士, 阎百兴, 崔保山 (2015) 中国滨海湿地分类系统. 湿地科学, 13(1), 19–26.]
- Murray NJ, Phinn SR, DeWitt M, Ferrari R, Johnston R, Lyons MB, Clinton N, Thau D, Fuller RA (2019) The global distribution and trajectory of tidal flats. *Nature*, 565, 222–225.
- Peng HB, Anderson GQA, Chang Q, Choi CY, Chowdhury SU, Clark NA, Gan XJ, Hearn RD, Li J, Lappo EG, Liu WL, Ma ZJ, Melville DS, Phillips JF, Syroechkovskiy EE, Tong MX, Wang SL, Zhang L, Zöckler C (2017) The intertidal wetlands of southern Jiangsu Province, China—Globally important for spoon-billed sandpipers and other threatened waterbirds, but facing multiple serious threats. *Bird Conservation International*, 27, 305–322.
- Studds CE, Kendall BE, Murray NJ, Wilson HB, Rogers DI, Clemens RS, Gosbell K, Hassell CJ, Jessop R, Melville DS, Milton DA, Minton CD, Possingham HP, Riegen AC, Straw P, Woehler EJ, Fuller RA (2017) Rapid population decline

- in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. *Nature Communications*, 8, 14895.
- Tchabovsky AV, Krasnov B, Khokhlova IS, Shenbrot GI (2001) The effect of vegetation cover on vigilance and foraging tactics in the fat sand rat *Psammomys obesus*. *Journal of Ethology*, 19, 105–113.
- Tian Y, Luo L, Mao D, Wang Z, Li L, Liang J (2017) Using Landsat images to quantify different human threats to the Shuangtai Estuary Ramsar site, China. *Ocean & Coastal Management*, 135, 56–64.
- Van Gils JA, Battley PF, Piersma T, Drent R (2005) Reinterpretation of gizzard sizes of red knots world-wide emphasises overriding importance of prey quality at migratory stopover sites. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272, 2609–2618.
- Wan S, Qin P, Liu J, Zhou H (2009) The positive and negative effects of exotic *Spartina alterniflora* in China. *Ecological Engineering*, 35, 444–452.
- Yang HY, Chen B, Ma ZJ, Hua N, Van Gils JA, Zhang ZW, Piersma T (2013) Economic design in a long-distance migrating molluscivore: How fast-fuelling red knots in Bohai Bay, China, get away with small gizzards. *Journal of Experimental Biology*, 216, 3627–3636.
- Yang YX (2002) New knowledge on the progress of international wetland science research and priority field and prospect of Chinese wetland science research. *Advance in Earth Sciences*, 17, 508–514. (in Chinese with English abstract) [杨永兴 (2002) 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望. *地球科学进展*, 17, 508–514.]
- Zhang A, Yuan X, Yang X, Shao S, Li J, Ding D (2016) Temporal and spatial distributions of intertidal macrobenthos in the sand flats of the Shuangtaizi Estuary, Bohai Sea in China. *Acta Ecologica Sinica*, 36, 172–179.
- Zhang X, Hua N, Ma Q, Xue WJ, Feng XS, Wu W, Tang CD, Ma ZJ (2011) Diet of great knots (*Calidris tenuirostris*) during spring stopover at Chongming Dongtan, China. *Chinese Birds*, 2, 27–32.
- Zhang X, Hua N, Tang CD, Ma Q, Xue WJ, Wu W, Ma ZJ (2013) Food composition and sources of dunlins (*Calidris alpina*) at Chongming Dongtan: Stable isotope analysis. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 52, 112–118. (in Chinese with English abstract) [张璇, 华宁, 汤臣栋, 马强, 薛文杰, 吴巍, 马志军 (2013) 崇明东滩黑腹滨鹬 (*Calidris alpina*) 食物来源和组成的稳定同位素分析. *复旦学报(自然科学版)*, 52, 112–118.]
- Zheng GM (2012) *Ornithology*. Beijing Normal University Press, Beijing. (in Chinese) [郑光美 (2012) 鸟类学. 北京师范大学出版社, 北京.]
- Zheng GM (2017) *A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China*, 3rd edn. Science Press, Beijing. (in Chinese) [郑光美 (2017) 中国鸟类分类与分布名录(第三版). 科学出版社, 北京.]
- Zhou B, Zhou LZ, Chen JY, Cheng YQ, Xu WB (2010) Diurnal time-activity budgets of wintering hooded cranes (*Grus monacha*) in Shengjin Lake, China. *Waterbirds*, 33, 110–115.

(责任编委: 王勇 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 不同生境和季节鸕鹚鸟类的优势度

Appendix 1 The dominance index of shorebirds among different habitats and seasons in our study

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020189-1.pdf>

张菁, 白煜, 黄子强, 张正旺, 李东来 (2021) 盐地碱蓬盐沼与相邻泥质滩涂湿地迁徙期鸻鹬类的群落组成及行为差异. 生物多样性, 2021, 29(3): 351–360. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020189>

附录1 不同生境和季节鸻鹬鸟类的优势度

Appendix 1 The dominance index of shorebirds among different habitats and seasons in our study

物种 Species	优势度 Dominance degree (%)		
	总数量 Total numbers (mean $\pm$ SD)	春季 Spring (n = 11)	秋季 Autumn (n = 17)
盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i> saltmarsh			
大杓鹬 <i>Numenius madagascariensis</i>	9.28 $\pm$ 15.45	8.78	41.55
黑嘴鸥 <i>Saundersilarus saundersi</i>	7.93 $\pm$ 12.37	40.88	6.71
白腰杓鹬 <i>Numenius arquata</i>	9.07 $\pm$ 12.14	30.48	18.84
红嘴鸥 <i>Chroicocephalus ridibundus</i>	1.93 $\pm$ 6.34	-	19.87
灰鸻 <i>Pluvialis squatarola</i>	3.57 $\pm$ 7.02	16.86	5.29
中杓鹬 <i>Numenius phaeopus</i>	0.96 $\pm$ 1.99	1.15	4
环颈鸻 <i>Charadrius alexandrinus</i>	0.61 $\pm$ 2.47	0.46	1.94
灰背鸥 <i>Larus schistisagus</i>	0.25 $\pm$ 0.84	-	0.9
斑尾塍鹬 <i>Limosa lapponica</i>	0.11 $\pm$ 0.42	0.69	-
金斑鸻 <i>Pluvialis fulva</i> *	0.11 $\pm$ 0.57	0.69	-
黑腹滨鹬 <i>Calidris alpina</i>	0.11 $\pm$ 0.42	-	0.39
西伯利亚银鸥 <i>Larus smithsonianus</i>	0.11 $\pm$ 0.57	-	0.39
蛎鹬 <i>Haematopus ostralegus</i>	0.04 $\pm$ 0.19	-	0.13
泥质滩涂 <i>Mudflat</i>			
大滨鹬 <i>Calidris tenuirostris</i> *	11.04 $\pm$ 22.28	34.26	-
环颈鸻 <i>Charadrius alexandrinus</i>	51.89 $\pm$ 76.40	16.63	33.34
黑腹滨鹬 <i>Calidris alpina</i>	31.04 $\pm$ 49.49	27.05	14.83
蛎鹬 <i>Haematopus ostralegus</i>	31.39 $\pm$ 51.38	0.89	20.73
黑嘴鸥 <i>Saundersilarus saundersi</i>	12.46 $\pm$ 17.31	6.43	6.59
大杓鹬 <i>Numenius madagascariensis</i>	7.18 $\pm$ 12.89	1.77	6.38
白腰杓鹬 <i>Numenius arquata</i>	7.29 $\pm$ 7.82	6.32	3.95
灰鸻 <i>Pluvialis squatarola</i>	4.79 $\pm$ 5.92	2.77	3.57
斑尾塍鹬 <i>Limosa lapponica</i>	1.46 $\pm$ 3.01	2.44	0.59

张菁, 白煜, 黄子强, 张正旺, 李东来 (2021) 盐地碱蓬盐沼与相邻泥质滩涂湿地迁徙期鸻鹬类的群落组成及行为差异. 生物多样性, 2021, 29(3): 351–360. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020189>

物种 Species	优势度 Dominance degree (%)		
	总数量 Total numbers (mean $\pm$ SD)	春季 Spring (n = 11)	秋季 Autumn (n = 17)
灰背鸥 <i>Larus schistisagus</i>	2.57 $\pm$ 9.25	-	1.71
黑尾鸥 <i>Larus crassirostris</i> *	2.00 $\pm$ 4.74	-	1.33
红嘴鸥 <i>Chroicocephalus ridibundus</i>	2.00 $\pm$ 4.10	-	1.33
青脚鹬 <i>Tringa nebularia</i> *	1.39 $\pm$ 4.39	-	1.05
红脚鹬 <i>Tringa tetanus</i> *	1.43 $\pm$ 3.14	0.10	0.88
尖尾滨鹬 <i>Calidris acuminata</i> *	1.18 $\pm$ 5.86	-	0.74
西伯利亚银鸥 <i>Larus smithsonianus</i> *	1.11 $\pm$ 3.74	-	0.74
泽鹬 <i>Tringa stagnatilis</i>	0.36 $\pm$ 1.10	-	0.43
鹤鹬 <i>Tringa erythropus</i> *	0.61 $\pm$ 2.36	-	0.40
中杓鹬 <i>Numenius phaeopus</i>	0.25 $\pm$ 0.70	-	0.38
三趾滨鹬 <i>Calidris alba</i> *	0.54 $\pm$ 2.83	-	0.36
金眶鸻 <i>Charadrius dubius</i> *	0.43 $\pm$ 2.26	-	0.29
翻石鹬 <i>Arenaria interpres</i> *	0.25 $\pm$ 0.70	0.22	0.14
翘嘴鹬 <i>Xenus cinereus</i> *	0.21 $\pm$ 0.63	0.11	0.14
白额燕鸥 <i>Sternula albifrons</i> *	0.04 $\pm$ 0.19	0.11	-
须浮鸥 <i>Chlidonias hybrida</i> *	0.07 $\pm$ 0.38	-	0.05
红颈滨鹬 <i>Charadrius ruficollis</i> *	0.04 $\pm$ 0.19	-	0.02
蒙古沙鸻 <i>Charadrius mongolus</i> *	0.07 $\pm$ 0.26	-	0.02

*为只在该生境中记录到的物种; - 代表该生境该季节没有记录到该物种。

* means the species only recorded in this habitat; - means the habitat for which no species have been recorded in that season