

# 杭州湾湿地芦苇生境两种雀形目鸟类繁殖期食性

张昕丽<sup>1,2</sup> 焦盛武<sup>1,2</sup> 赵 镔<sup>3</sup> 吴 明<sup>1,2\*</sup> 邵学新<sup>1,2</sup> 叶小齐<sup>1,2</sup> 闫雅楠<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 杭州 311400; <sup>2</sup>国家林业和草原局杭州湾湿地生态系统定位观测研究站, 浙江宁波 315336; <sup>3</sup>绍兴市自然资源与规划局, 浙江绍兴 312000)

**摘 要** 研究鸟类的食性信息,对湿地围垦后利用方式的管理具有重要意义。于 2017 年 7—8 月采用稳定同位素分析方法对杭州湾南岸上虞港的震旦鸦雀 (*Paradoxornis heudei*) 和东方大苇莺 (*Acrocephalus orientalis*) 2 种雀形目鸟类进行研究,结果表明:震旦鸦雀各食物来源的贡献为夜蛾科 (Noctuidae) 蛹 > 鳞翅目 (Lepidoptera) > 蜘蛛目 (Arachnida) > 膜翅目 (Hymenoptera) > 同翅目 (Homoptera); 东方大苇莺的各食物来源的贡献为膜翅目 (Hymenoptera) > 蜘蛛目 (Arachnida) > 蜻蜓目 (Odonata) > 鳞翅目 (Lepidoptera) > 鞘翅目 (Coleoptera) > 同翅目 (Homoptera); 震旦鸦雀和东方大苇莺取食生态位宽度分别为 5.21 和 5.95, 两者的  $\delta^{13}\text{C}$  值没有显著差异 ( $P>0.05$ ), 说明两者之间取食生态位存在一定的重叠, 重叠度为 6.25, 但  $\delta^{15}\text{N}$  值存在极显著差异 ( $P<0.01$ ), 营养级存在一定的差别。鳞翅目、蜘蛛目、膜翅目和同翅目是两种雀形目鸟类食谱中重叠的食源动物, 而震旦鸦雀的取食生态位宽度较小, 处于劣势地位, 芦苇生境的丧失对震旦鸦雀的影响较大。研究结果可为滨海围垦区雀形目鸟类的栖息地构建、保护与管理提供基础数据。

**关键词** 食物来源; 繁殖期; 稳定同位素

## Diet of two passerine birds during breeding season in reed wetland of Hangzhou Bay.

ZHANG Xin-li<sup>1,2</sup>, JIAO Sheng-wu<sup>1,2</sup>, ZHAO E<sup>3</sup>, WU Ming<sup>1,2\*</sup>, SHAO Xue-xin<sup>1,2</sup>, YE Xiao-qi<sup>1,2</sup>, YAN Ya-nan<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China; <sup>2</sup>National Forestry and Grassland Bureau Hangzhou Bay Wetland Ecosystem Research Station, Ningbo 315336, Zhejiang, China; <sup>3</sup>Shaoxing Natural Resources and Planning Bureau, Shaoxing 312000, Zhejiang, China).

**Abstract:** Information on the bird's diet composition is essential to understand how wetland reclamation affects diversity of passerine birds. Samples of feathers of Reed Parrotbill (*Paradoxornis heudei*) and Oriental Reed Warbler (*Acrocephalus orientalis*) and samples of potential dietary insects were collected in the southern Hangzhou Bay (Shangyu, Shaoxing City), during the breeding season from July to August in 2017. Food sources were analyzed by measuring  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values in bird feathers and insect samples. The results showed that the contribution of various diet composition of Reed Parrotbill ranked as: Noctuidae pupa > Lepidoptera > Arachnida > Hymenoptera > Homoptera. The contribution of various diet composition of Oriental Reed Warbler ranked as: Hymenoptera > Arachnida > Odonata > Lepidoptera > Coleoptera > Homoptera. The value of feeding niche breadths of Reed Parrotbill and Oriental Reed Warbler was 5.21 and 5.95, respectively. There was no significant difference in the  $\delta^{13}\text{C}$  values between the two species, indicating an overlap between their feeding niches ( $P>0.05$ ). However, there was a significant difference in the value of  $\delta^{15}\text{N}$ , with feeding niche overlap being 6.25, suggesting some differences of nutritional levels ( $P<0.01$ ). Lepidoptera, Arachnida, Hymenoptera, and Homoptera were overlapping food-source insects for the two passerine species. The narrower niche breadth of Reed Parrotbill was inferior, and the loss of reed habitat had greater impacts on Reed Parrotbill.

Our results provide information for habitat establishment, conservation and management of passerine birds in the coastal reclamation area.

**Key words:** food sources; breeding season; stable isotope.

在全球范围内,滨海湿地丧失已经成为该生境中生存的鸟类数量迅速减少的主要原因之一(Kirwan *et al.*, 2013)。近些年来,受全球气候变化和围垦等活动的多重影响,滨海湿地正大面积丧失和退化(张晓龙等, 2014)。围垦滞留区内受潮汐影响较小,逐渐被芦苇(*Phragmites australis*)湿地所占据(唐承佳等, 2002),这为许多雀形目鸟类提供了栖息地。但是,围垦区往往被开发用作养殖塘、基础建设用地等,且目前互花米草(*Spartina alterniflora*)入侵严重,使得刚形成的芦苇湿地也在逐渐丧失(李加林等, 2005, 2007),这给依赖芦苇栖息的雀形目鸟类带来巨大挑战,尤其是严重依赖于芦苇生境生存的鸟类。震旦鸦雀(*Paradoxornis heudei*)被IUCN红色名录列为近危(NT)物种,这种鸟类完全依赖芦苇生境,且飞行能力较弱(熊李虎等, 2007; 熊李虎, 2010),东方大苇莺(*Acrocephalus orientalis*)繁殖期利用芦苇生境筑巢。

准确掌握鸟类的食性信息,有利于阐述围垦湿地利用方式对雀形目鸟类组成的影响。在以往研究中,鸟类食物研究所采用的多为直接观察法、胃内容物分析或者粪便分析方法,这些方法虽可直接确定被鸟类摄取的食物种类以及数量,但无法准确反映被鸟类利用食物的贡献率,同时,胃容物分析方法可能对动物造成伤害(Barrett *et al.*, 2007),而粪便分析方法通过观察粪便中获得未被鸟类消化完全的食物,这不能完整展示鸟类的食物来源。从20世纪90年代以来,稳定同位素分析技术在动物的食源分析中得到了越来越广泛的应用(Neves *et al.*, 2012)。与传统方法相比,稳定同位素分析方法具有一定的优势。首先,该方法的结果可反映被消费者吸收并同化的那部分能量的食源和贡献率的百分比(Hobson, 1992),而不是所有被取食的食物(Hobson, 1994)。利用直接观察法、胃容物分析和稳定同位素测定对斑背大尾莺(*Locustella pryeri*)的食性分析发现,3种方法取得的食物比例存在差异,斑背大尾莺繁殖期取食昆虫,秋冬季也会取食植物(吴星兵, 2013)。其次,稳定同位素方法不但能够真实反映动物这一段时间内所利用的食物,还可以获得研究对象所处的食物链关系以及营养级位置(Barrett *et*

*al.*, 2007)。此外,稳定同位素分析还可以发现鸟类食物组成的季节差异(张璇等, 2013)。一般情况下,血液、肌肉和羽毛等样品是基于稳定同位素的鸟类食性研究中选取的主要样品(Lavoie *et al.*, 2003; Inger *et al.*, 2008)。但由于不同组织之间稳定同位素分馏水平和转化周期不同,其中血液的代谢周期较短反映的是较短时间内的食性信息,肌肉的代谢周期中等反映的是较长一段时间的食性信息,但采集这个组织可能会对鸟类造成伤害,羽毛的代谢周期长反映的是长时间的食性信息(李继荣等, 2016b)。幼鸟血液和羽毛同位素之间并无发现显著差异,因此损伤性采集方式血液可以被羽毛样品所代替(王玄等, 2017)。

杭州湾滨海湿地是震旦鸦雀等雀形目鸟类繁殖栖息地之一。但是,目前杭州湾南岸湿地遭到人为围垦较为严重,也存在外来物种互花米草和加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)等入侵的威胁。本研究以繁殖于芦苇生境的两种主要雀形目鸟类为试验对象,震旦鸦雀在杭州湾是留鸟,而东方大苇莺在该区域是夏候鸟,且均是食虫鸟。已有研究表明,震旦鸦雀和东方大苇莺的食物来源主要为同翅目(Homoptera)、膜翅目(Hymenoptera)、鳞翅目(Lepidoptera)、蜘蛛目(Arachnida)等昆虫(马世全, 1988; 汪青雄等, 2013),而这些研究基于直接观察法,尚未给出各食物来源的贡献比例。通过收集鸟类羽毛和生境中的主要食物,分析2种鸟类食性情况,探究2种鸟类的取食生态位是否存在重叠,是否存在竞争关系。研究结果可为将来围垦区雀形目鸟类的栖息地构建与管理提供科学数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样地点

杭州湾位于浙江省的东北部,西接钱塘江,东至东海,呈喇叭状,属河口海湾。湿地类型以浅海水域和淤泥海滩为主,其他尚有潮间盐水沼泽和岩石性海岸(浙江省林业局, 2002)。海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)群落、互花米草群落和芦苇群落为该区域的优势群落(蒋科毅等, 2013; 张国钢等, 2014)。研究区位于杭州湾南岸的绍兴市上虞区,属湿地围

垦区,面积约为 89.8 km<sup>2</sup>,以芦苇群落和水面为主。广袤的芦苇生境为食虫鸟类提供了丰富的食物资源和良好的繁殖场所。

本研究的试验对象是震旦鸦雀、东方大苇莺 2 种雀形目鸟类。震旦鸦雀是属于莺鹀科鸟类,是中国特有鸟类,有 3 个亚种,分布于黑龙江下游以及辽宁芦苇地和长江流域、江苏沿海、山东、河北、河南、内蒙古东北部的芦苇地;东方大苇莺属于苇莺科鸟类,在我国主要分布于华南和华北等地(郑光美, 2017)。两者繁殖期都栖息于芦苇生境中,采样地点选择在芦苇群落中,该区域的芦苇长势较好,平均高度 183.3 cm,平均密度为 87.8 根·m<sup>-2</sup>。

## 1.2 样品采集

野外样品采集于 2017 年鸟类繁殖后期的 7—8 月份。在取得鸟类捕捉准予行政许可决定书后,在芦苇生境布设迷网,利用试验对象鸣声回放,吸引并捕获鸟类。为了进行同位素分析食物来源,采集鸟类羽毛,具体操作:采集鸟类的初级飞羽 1 根及绒羽 4 根(此时震旦鸦雀正处于换羽期间,东方大苇莺已经完成换羽,有研究发现不同部位的羽毛获得的结果也会有所差异(Thompson *et al.*, 1995),且检测时样品量仅需 1 mg 左右,装入自封袋中,放入便携式冷藏箱保存。采集羽毛样品的同时测量鸟类的形态指标(翅长,喙长以及尾长),取样后鸟类及时放归,所有样本冷藏保存,带回实验室于-20℃冷冻保存,留做后续分析。同时在试验区域采集芦苇并检查震旦鸦雀的取食痕迹。

在采集鸟类羽毛样品的同时,收集试验对象潜在的食物昆虫样品,方法如下:(1)于晴天夜晚在实验地使用昆虫诱灯引诱昆虫;(2)利用黄盘收集在土壤表面活动的昆虫;(3)剥取芦苇获得在芦苇植株上的昆虫;(4)用网兜捕捉飞行的昆虫。昆虫采集后放置收集瓶中用高浓度的乙醇浸泡,带回实验室洗净。每一种昆虫选取一个完整个体浸泡于高浓度乙醇中作为标本并做好标记,然后进行样品鉴定。

## 1.3 样品处理与检测

本研究将采集到鸟类的 2 种羽毛混合均匀作为一个样品。羽毛表面含有大量的油脂和浮尘,这会导致测定的稳定碳同位素值偏高,须将其去除(Thompson *et al.*, 1995; Post *et al.*, 2007)。首先用去离子水浸泡、冲洗数次,再用 1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸浸泡 2 h 进行酸化处理以去除羽毛表面的无机碳,再次用去离子水冲洗,然后在 60℃烘箱中烘 12 h 直至干

燥(李继荣等, 2016a)。因脱脂会影响羽毛中真实的氮同位素值,因此将样品分为两份,一份直接用于测定稳定氮同位素,另一份脱脂后测定稳定碳同位素,在 0.25 mol·L<sup>-1</sup> 氢氧化钠溶液中浸泡 2 h 进行脱脂处理(Votier, 2002),用去离子水冲洗,然后在 60℃烘箱中烘 12 h 直至干燥。为消除外源性无机碳对样品测定的影响,所有昆虫样品经 1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸酸化浸泡处理 2 h,然后置于 60℃烘箱 8~12 h 干燥后,装于 4 mL 干燥离心管,使用研磨仪充分研磨后过 100 目筛。

所有样品检测碳和氮两种稳定同位素比值。检测在深圳市华科精信检测科技有限公司的实验室进行,所用仪器为 DELTA V Advantage 同位素比率质谱仪和 Flash EA1112 HT 元素分析仪(Thermo Fisher Scientific, Inc., USA)。稳定 C、N 同位素的自然丰度表示为:

$$\delta X = [R_{\text{样品}}/R_{\text{标准化}}] \times 10^3$$

式中: $X$  为 <sup>13</sup>C 或 <sup>15</sup>N,  $R$  为 <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C 或 <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N 的相对比率。 $\Delta^{13}\text{C}$  值是相对于国际标准物质 PDB 的丰度, $\delta^{15}\text{N}$  值是相对于标准大气氮的丰度。实验分析结果的相对误差为  $\delta^{13}\text{C} \leq \pm 0.1\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N} \leq \pm 0.2\text{‰}$ 。

## 1.4 数据分析

**1.4.1 稳定同位素数据处理** 通过比较震旦鸦雀、东方大苇莺和昆虫的  $\delta^{15}\text{N}$  值,参考 3 种鸟类羽毛  $\delta^{15}\text{N}$  的富集因子(3‰)(Ogden *et al.*, 2004)。将昆虫  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  值相比消费者的富集因子分别定为 1‰和 3‰(Symes *et al.*, 2010)。将潜在食物(鞘翅目(Coleoptera)、双翅目(Diptera)、膜翅目、鳞翅目、直翅目(Orthoptera)、同翅目等)的平均  $\delta^{13}\text{C}$  值和  $\delta^{15}\text{N}$  值、震旦鸦雀和东方大苇莺繁殖期羽毛样品的  $\delta^{13}\text{C}$  值和  $\delta^{15}\text{N}$  值输入 R 语言的 SIAR 程序包,并经过营养富集因子校正和食物碳氮千分含量校正,拟合出各种食物对三者的相对贡献(Mccutchan *et al.*, 2003)。

为了对所采集的食物样品进行合理的分析,本研究将各种分析模型进行选择,最终选择使用基于贝叶斯模型的 R 语言的 SIAR 程序包(stable isotope in R, SIAR: <https://mirrors.tongji.edu.cn/CRAN/>)(Inger *et al.*, 2008; Weiser *et al.*, 2011; Ma *et al.*, 2014),该模型进行后验概率检验的运算法则是“取样-重要性-再取样(sampling-importance-resampling)”,还可以通过设定变量的数量、迭次量级及食物来源信息等使得不同食物来源贡献率的估计精



度提高 (Jackson *et al.*, 2010; Moore *et al.*, 2010; Par-nell *et al.*, 2010)。

通常, 稳定氮同位素在相邻营养级之间产生富集因子的范围是 3‰~5‰, 相对于稳定碳同位素所产生的富集因子较大 (Peterson *et al.*, 1987)。根据相邻营养级的稳定氮同位素值和生态系统初级生产者 (或者初级消费者) 可以划分该动物在生态系统中所处的营养级位置:

$$TP = \lambda + (\delta^{15}N_{\text{消费者}} - \delta^{15}N_{\text{基线}}) / \Delta\delta^{15}N$$

式中: *TP* 为动物的营养级位置,  $\lambda$  是食物链基层生物的营养级位置 (若以初级生产者的稳定氮同位素值为基线,  $\lambda$  取 1; 若  $\delta^{15}N_{\text{基线}}$  是初级消费者的稳定氮同位素值,  $\lambda$  取 2)。 $\delta^{15}N_{\text{消费者}}$  代表消费者的稳定氮同位素值,  $\delta^{15}N_{\text{基线}}$  为基线生物的稳定氮同位素值,  $\Delta\delta^{15}N$  表示此生态系统中营养级富集因子 (Post, 2002)。

1.4.2 取食生态位宽度 取食生态位宽度 (feeding niche breadth) 用 Simpson 多样性指数 (*B*) 表示 (吴诗宝等, 2005)。

$$B = 1 / \sum P_i^2$$

式中,  $P_i$  为鸟类实际利用的第 *i* 种食物在所有被利用的食物的贡献率。

1.4.3 取食生态位重叠 取食生态位重叠度 (feeding niche overlap) 用 Levins ( $O_{kj}$ ) 指数表示 (原宝东等, 2016a)。

$$O_{kj} = \sum P_{ij} P_{ik} / (\sum P_{ij}^2 \sum P_{ik}^2)^{1/2}$$

式中,  $P_{ij}$  和  $P_{ik}$  分别为 *j* 和 *k* 鸟类利用的食物的贡献率。

1.5 统计检验

不同食源物种和不同鸟类羽毛样本稳定碳氮同位素 ( $\delta^{13}C$  和  $\delta^{15}N$ ) 差异比较利用软件 SPSS 20.0 进行单因素方差分析 (one-way ANOVA)。文中同位素数据均以平均值  $\pm$  标准差 (Mean  $\pm$  SD) 表示,  $P < 0.05$  即认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同鸟类样品同位素特征

震旦鸦雀 ( $n = 12$ )、东方大苇莺 ( $n = 8$ ) 羽毛样品中, 稳定碳同位素之间无显著差异 ( $F_{1,18} = 0.048$ ,  $P > 0.05$ ), 说明两者之间的食物来源有一部分重叠, 取食生态位存在着一部分重叠 (表 1,  $-24.76\text{‰} \pm 0.41\text{‰}$  和  $-24.61\text{‰} \pm 0.60\text{‰}$ ); 稳定氮同位素之间有

表 1 杭州湾南岸震旦鸦雀和东方大苇莺羽毛样品的稳定同位素均值和标准误

Table 1 Means and standard errors of stable isotope of Reed Parrotbill's and Oriental Reed Warbler's feather samples from the southern shore of Hangzhou Bay

稳定同位素		震旦鸦雀 ( <i>n</i> = 12)	东方大苇莺 ( <i>n</i> = 8)
$\delta^{13}C$ (‰)	实测数据	$-24.76 \pm 1.36$	$-24.61 \pm 1.59$
	校正后数据	$-25.76 \pm 1.36$	$-25.61 \pm 1.59$
$\delta^{15}N$ (‰)	实测数据	$10.69 \pm 1.18$	$9.23 \pm 1.09$
	校正后数据	$13.69 \pm 1.18$	$12.23 \pm 1.09$

极显著性差异 (图 1, 图 2,  $F_{1,18} = 7.149$ ,  $P < 0.01$ ), 说明两者所处的营养级位置不同。

2.2 不同鸟类的食物组成和食物来源

通过羽毛样品得到震旦鸦雀繁殖期食物来源的贡献情况是夜蛾科 (Noctuidae) 蛹 > 鳞翅目 > 蜘蛛目 > 膜翅目 > 同翅目, 其中夜蛾科蛹和鳞翅目成虫对震旦鸦雀的贡献率最高, 贡献率达到了 29.06%、

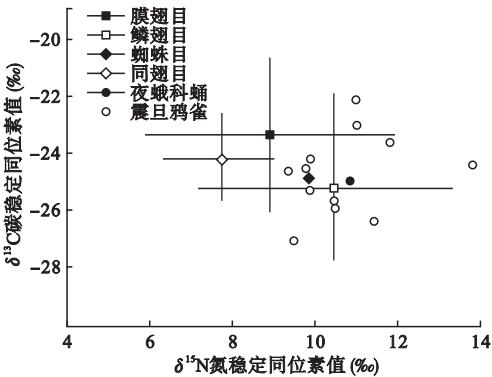


图 1 杭州湾南岸震旦鸦雀样品及潜在食物的  $\delta^{13}C$  和  $\delta^{15}N$  值

Fig.1  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  of Reed Parrotbill's samples and food source in Hangzhou Bay

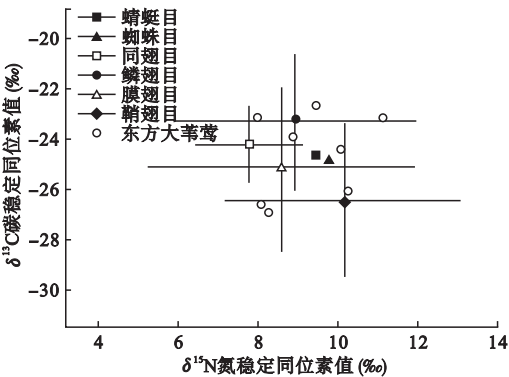


图 2 杭州湾南岸东方大苇莺羽毛样品及潜在食物的  $\delta^{13}C$  和  $\delta^{15}N$  值

Fig.2  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  of Oriental Reed Warbler's samples and food source in Hangzhou Bay

27.39%;同翅目对震旦鸦雀的贡献率最低,占 9.29% (图 3)。本研究收集到的鳞翅目昆虫有:夜蛾科、螟蛾科 (Pyralidae)、大蚕蛾科 (Saturniidae)、弄蝶科 (Hesperiidae)。

通过羽毛样品得到东方大苇莺繁殖期食物来源的贡献情况是膜翅目>蜘蛛目>蜻蜓目 (Odonata)>鳞翅目>鞘翅目>同翅目,其中膜翅目和蜘蛛目对东方大苇莺的贡献率最高,贡献率达到了 17.13%、17.08%;同翅目对东方大苇莺的贡献率最低,占 15.51% (图 4)。其中,收集到的膜翅目昆虫有:蚁科 (Formicidae)、小蜂科 (Chalcididae)、鞘翅目昆虫有:虎甲科 (Cicindelidae)、叩甲科 (Elateridae)、金龟甲科 (Scarabaeidae)、瓢虫科 (Coccinellidae) 等。

2.3 不同鸟类取食生态位关系重叠和营养级层次

通过计算可得,震旦鸦雀的取食生态位宽度为 5.21,东方大苇莺的取食生态位宽度为 5.95 (表 2)。震旦鸦雀和东方大苇莺食物来源重叠部分:鳞翅目、蜘蛛目、膜翅目、同翅目,重叠度为 6.25,两者对食物

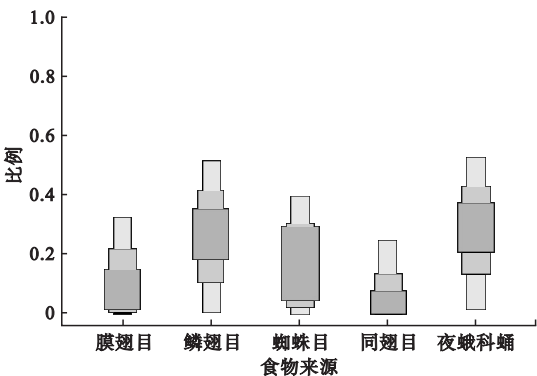


图 3 各食物来源对杭州湾南岸震旦鸦雀羽毛的贡献箱图  
Fig.3 Box plots of the contribution of each food source for feather of Reed Parrotbill in Hangzhou Bay

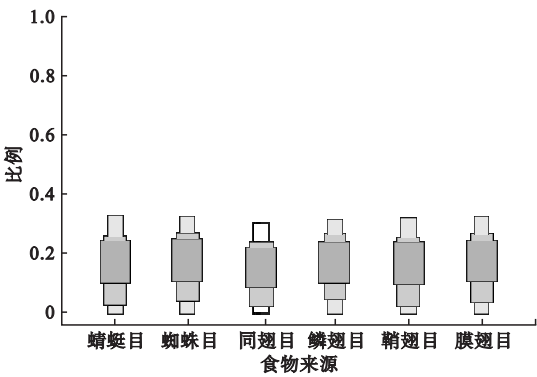


图 4 各食物来源对杭州湾南岸东方大苇莺羽毛的贡献箱图  
Fig.4 Box plots of the contribution of each food source for feather of Oriental Reed Warbler in Hangzhou Bay

表 2 杭州湾南岸震旦鸦雀、东方大苇莺取食生态位宽度和重叠度

Table 2 Feeding niche breadth of Reed Parrotbill and Oriental Reed Warbler from the southern shore of Hangzhou Bay

食物种类	各食物来源贡献率 (%)	
	震旦鸦雀	东方大苇莺
膜翅目 Hymenoptera	14.54	17.13
鳞翅目 Lepidoptera	27.39	16.74
蜘蛛目 Arachnida	19.71	17.08
同翅目 Homoptera	9.29	15.51
夜蛾科蛹 Noctuidae pupa	29.06	0
蜻蜓目 Odonata	0	16.87
鞘翅目 Coleoptera	0	16.67
取食生态位宽度	5.21	5.95
取食生态位重叠度	6.25	

资源有较强的相似性,两者之间有一定的竞争力。

震旦鸦雀和东方大苇莺两者食物来源重叠部分有鳞翅目、膜翅目、蜘蛛目、同翅目,本研究采集到膜翅目昆虫有蚁科、小蜂科,大部分蚁科为杂食性,小蜂科是寄生昆虫;鳞翅目昆虫多为植食性,因此本研究将初级消费者鳞翅目昆虫作为基线,计算可得震旦鸦雀和东方大苇莺的营养层次分别为  $3.52\pm0.39$ 、 $3.03\pm0.36$ 。

3 讨论

食物是影响鸟类生境选择的主要因素之一,鸟类的取食选择是对生境利用的响应。鸟类的食性情况不仅与鸟类自身的能量需求有关,还与栖息地质量和食物资源状况有关 (原宝东等, 2016b)。本研究试验对象的栖息地主要是芦苇丛、灌木丛,繁殖期主要依赖于芦苇丛,收集的潜在食物来源均来自于芦苇丛。试验区域的芦苇群落长势较好,为雀形目鸟类提供了丰富的食物资源和良好的栖息地。

震旦鸦雀为杭州湾留鸟,其羽毛样品可以反映换羽期间的食性要求。本研究结果表明,震旦鸦雀的主要食物来源是茎内昆虫夜蛾科蛹、鳞翅目成虫以及蜘蛛目,这三者的贡献率之和达到了 76.16%,其中前两者的贡献率之和达到了 56.45% 以上。虽然未能收集到震旦鸦雀的所有食物来源物种,但结果仍然可以很好地反映主要食物来源组成和贡献率。从野外取食痕迹调查发现,震旦鸦雀取食茎表昆虫芦苇日仁蚱的频率较高。但是稳定同位素分析结果发现,同翅目昆虫芦苇日仁蚱的贡献率较低,而茎内昆虫夜蛾科蛹贡献率较高,这可能是由于芦苇日仁蚱个体较小,能量较低,而蛹的能量较高,营养

丰富(熊李虎,2010)。熊李虎等(2007年)观察震旦鸦雀的取食行为,结果显示,震旦鸦雀在繁殖期主要取食芦苇茎腔内或茎壁上的昆虫幼虫及其蛹和茎表昆虫,本研究结果发现,它主要取食茎内昆虫夜蛾科蛹和鳞翅目成虫,而茎表昆虫贡献率很低,与上述研究的结果有所差异,上述研究并未发现震旦鸦雀取食鳞翅目的昆虫,这可能与试验方法有关系,直接观察法还是会受时间限制,并且震旦鸦雀是小型鸟类,所栖息的生境是芦苇丛,芦苇丛长势比较密集,给野外观察造成一定的困扰,这说明稳定同位素分析方法比传统方法获得的信息更丰富。

由于东方大苇莺的潜在食物来源昆虫物种较多,因此本研究将其食物来源按照目来划分,这可能会对其食性分析也产生一定的影响。东方大苇莺在杭州湾为迁徙鸟类,每年都会在繁殖地、越冬地来回迁徙,食性也会随着改变。本研究的野外采集时间为7—8月份,已经处于繁殖后期(已完成换羽)(汪青雄等,2013),采集的羽毛是新生羽毛,其羽毛样品可以反映在杭州湾的食性情况。本研究结果表明,东方大苇莺的主要食物来源是膜翅目、蜘蛛目、蜻蜓目、鳞翅目的动物,四者的贡献率之和为67.82%,而且此结果大体符合汪青雄等(2013)的野外观察的结果。由于东方大苇莺的喙比震旦鸦雀细长,不适合取食芦苇茎腔内鳞翅目的幼虫或者蛹(熊李虎,2010),且它是夏候鸟,飞行能力较强,因此东方大苇莺主要取食飞行的昆虫。

震旦鸦雀和东方大苇莺两者之间存在一定的竞争能力,两者的食物来源重叠有鳞翅目、膜翅目、蜘蛛目、同翅目,其中鳞翅目对震旦鸦雀的贡献率较高,不利于震旦鸦雀生存(因为对于自然界来说,食物资源是有限的,两者生态位重叠导致共享食物资源,若某个时刻,鳞翅目数量大量减少,由于鳞翅目对震旦鸦雀贡献率较高说明鳞翅目是震旦鸦雀较喜好的食物,这就对震旦鸦雀构成的威胁更大);而膜翅目是对东方大苇莺的贡献率最高的食源,因此不利于东方大苇莺生存(在自然界中,食物资源是有限的,两者共享食物资源,若膜翅目数量突然减少,由于膜翅目对东方大苇莺贡献率最高说明膜翅目是东方大苇莺较喜好的食物,这就对东方大苇莺构成的威胁更大)。且两者繁殖期栖息于芦苇生境,两者取食生态位有较高的重叠,这意味着两者之间存在一定的竞争能力。但两者主要食物来源有所分化,东方大苇莺食物来源的主要贡献率来自于膜翅目、蜘蛛目

和蜻蜓目,而震旦鸦雀的主要食物来源是夜蛾科蛹、鳞翅目成虫以及蜘蛛目,取食生态位有所分离,以此来降低两者的竞争能力。

杭州湾地区滨海湿地受人为围垦状况较严重,围垦滞留区形成受潮汐影响较小的稳定的芦苇丛,这为小型雀形目鸟类提供了良好的栖息地。但随着地表土层趋于稳定,后期围垦持续进行,芦苇生境被开辟成农田、鱼塘、沿海防护林等其他类型的生境,甚至会被各种基础设施建设代替,且外来物种互花米草入侵严重,导致雀形目鸟类栖息生境面临着衰退、减少、破碎化的威胁,尤其是对震旦鸦雀的影响最大。这是由于震旦鸦雀翅膀负荷较大,飞行能力较弱,不适合长途飞行,而且震旦鸦雀依赖于芦苇生境,整个生活史都栖息与觅食于芦苇生境(熊李虎,2010),人为围垦、外来物种入侵直接导致震旦鸦雀食物资源的减少,繁殖场所的丧失。研究结果为将来构建与恢复雀形目鸟类栖息地提供科学参考。

震旦鸦雀的食物来源都来自于芦苇生境中,较喜好夜蛾科蛹、鳞翅目成虫以及蜘蛛目这3类昆虫,其觅食、栖息、繁殖都位于芦苇生境中。因此,建议在后期围垦阶段,保留一定面积的芦苇群落,并且震旦鸦雀喜好一定面积的斑块状或者条带状的含有老芦苇的芦苇群落(熊李虎等,2007),这为震旦鸦雀的繁殖提供场所和食物保障。在繁殖期间,东方大苇莺的主要食物来源是膜翅目、蜘蛛目和蜻蜓目,且偏好在生长较好的芦苇丛中营巢,对巢域环境的要求较为严格,对外界环境的变化敏感(赵志轩等,2014),因此保留较大面积的芦苇生境尤为重要,并在繁殖期间,采取一定的措施减少人为干扰,为东方大苇莺繁殖期提供优良的繁殖场地及食物资源。

**致谢** 感谢国家林业局杭州湾湿地生态系统定位观测研究站的工作人员许夏娟和师妹杨慧对野外工作的支持,感谢浙江农林大学王义平教授在昆虫鉴定工作中给予的指导和帮助。

## 参考文献

- 蒋科毅,吴明,邵学新. 2013. 杭州湾及钱塘江河口冬季水鸟群落多样性及其空间分布. 长江流域资源与环境, 22(5): 602-609.
- 李继荣,李来兴,杨乐. 2016a. 鸟类组织稳定同位素分析样品的预处理方法. 动物学杂志, 51(3): 477-486.
- 李继荣,杨乐,李来兴. 2016b. 鸟类组织中稳定同位素周转率研究现状. 四川动物, 35(6): 956-960.
- 李加林,杨晓平,童亿勤,等. 2005. 互花米草入侵对潮滩生态系统服务功能的影响及其管理. 海洋通报, 24(5):



- 33–38.
- 李加林, 杨晓平, 童亿勤. 2007. 潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展. 地理科学进展, **26**(2): 43–51.
- 马世全. 1988. 震旦鸦雀种群生态的研究. 动物学研究, **9**(3): 217–224.
- 唐承佳, 陆健健. 2002. 围垦堤内迁徙鸬鹚群落的生态学特性. 动物学杂志, **37**(2): 27–33.
- 汪青雄, 杨超, 肖红. 2013. 红碱淖东方大苇莺繁殖生态. 四川动物, **32**(4): 543–546.
- 王玄, 江红星, 张亚楠, 等. 2017. 基于稳定同位素技术的辽宁双台河口保护区黑嘴鸥 (*Larus saundersi*) 食性研究. 生态学报, **37**(6): 1796–1804.
- 吴诗宝, 刘迺发, 李有余, 等. 2005. 中国穿山甲的食性与觅食行为初步观察. 应用与环境生物学报, **11**(3): 337–341.
- 吴星兵. 2013. 斑背大尾莺 (*Megalurus pryori*) 食性研究 (硕士学位论文). 哈尔滨: 东北林业大学.
- 熊李虎, 陆健健. 2008. 季节和集群大小影响震旦鸦雀对人类接近的响应. 动物学报, **54**(4): 622–629.
- 熊李虎, 吴翔, 高伟, 等. 2007. 芦苇收割对震旦鸦雀觅食活动的影响. 动物学杂志, **42**(6): 41–47.
- 熊李虎. 2010. 鸟类及其群落对崇西湿地生态恢复和生境重建的响应 (博士学位论文). 上海: 华东师范大学.
- 原宝东, 黄杰, 闫永峰. 2016a. 红耳鹎冬季食性及取食空间生态位初步研究. 野生动物学报, **37**(4): 337–341.
- 原宝东, 闫永峰. 2016b. 鹊鸚冬季和春季取食生态位初步研究. 四川动物, **35**(3): 426–430.
- 张璇, 华宁, 汤臣栋, 等. 2013. 崇明东滩黑腹滨鹚 (*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**(1): 112–118.
- 张国钢, 陈丽霞, 陈水华, 等. 2014. 杭州湾大桥周边鸟类资源现状调查. 动物学杂志, **49**(5): 672–685.
- 张晓龙, 刘乐军, 李培英, 等. 2014. 中国滨海湿地退化评估. 海洋通报, **33**(1): 112–119.
- 赵志轩, 严登华, 耿雷华, 等. 2014. 白洋淀东方大苇莺繁殖生境质量评价. 应用生态学报, **25**(5): 1483–1490.
- 郑光美. 2017. 中国鸟类分类与分布名录 (第3版). 北京: 科学出版社.
- Barrett RT, Camphuysen K, Ankernilssen T, et al. 2007. Diet studies of seabirds: A review and recommendations. *ICES Journal of Marine Science*, **64**: 1675–1691.
- Hobson KA. 1992. Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis. *Marine Ecology Progress*, **84**: 9–18.
- Hobson KA. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology*, **63**: 786–798.
- Inger R, Bearhop S. 2008. Applications of stable isotope analyses to avian ecology. *Ibis*, **150**: 447–461.
- Jackson AL, Inger R, Bearhop S, et al. 2010. Erroneous behaviour of MixSIR, a recently published Bayesian isotope mixing model: A discussion of Moore & Semmens (2008). *Ecology Letters*, **12**: E1–E5.
- Kirwan ML, Megonigal JP. 2013. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, **504**: 53–60.
- Lavoie RA, Rail JF, Lean DRS. 2003. Diet composition of seabirds from Corossol Island, Canada, using direct dietary and stable isotope analyses. *Waterbirds*, **35**: 402–419.
- Ma ZJ, Gan XJ, Chiyeung C, et al. 2014. Effects of invasive cordgrass on presence of marsh grassbird in an area where it is not native. *Conservation Biology*, **28**: 150–158.
- Mccutchan JH, Lewis WM, Kendall C, et al. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, **102**: 378–390.
- Moore JW, Semmens BX. 2010. Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models. *Ecology Letters*, **11**: 470–480.
- Neves VC, Bried J, González-Solís J, et al. 2012. Feeding ecology and movements of the Barolo shearwater *Puffinus baroli* in the Azores, NE Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, **452**: 269–285.
- Ogden LJE, Hobson KA, Lank DB. 2004. Blood isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) turnover and diet-tissue fractionation factors in captive dunlin (*Calidris alpina pacifica*). *Auk*, **121**: 170–177.
- Parnell AC, Inger R, Bearhop S, et al. 2010. Source partitioning using stable isotopes: Coping with too much variation. *PLoS ONE*, **5**: e9672.
- Peterson BJ, Fry B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **18**: 293–320.
- Post DM, Layman CA, Arrington DA, et al. 2007. Getting to the fat of the matter: Models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia*, **152**: 179–189.
- Post DM. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology*, **83**: 703–718.
- Symes CT, Woodborne SM. 2010. Trophic level delineation and resource partitioning in a South African afro-montane forest bird community using carbon and nitrogen stable isotopes. *African Journal of Ecology*, **48**: 984–993.
- Thompson DR, Furness RW. 1995. Stable-isotope ratios of carbon and nitrogen in feathers indicate seasonal dietary shifts in Northern Fulmars. *Auk*, **112**: 493–498.
- Votier SC. 2002. Factors that influence assimilation rates and fractionation of nitrogen and carbon stable isotopes in avian blood and feathers. *Physiological & Biochemical Zoology*, **75**: 451–458.
- Weiser EL, Powell AN. 2011. Evaluating gull diets: A comparison of conventional methods and stable isotope analysis. *Journal of Field Ornithology*, **82**: 297–310.

作者简介 张昕丽, 女, 1994年生, 硕士研究生, 主要研究方向为湿地鸟类生态学. E-mail: zxl201201230107@163.com  
责任编辑 张敏