

# 鄱阳湖藕田越冬期小天鹅和鸿雁能量支出与取食行为比较

张聪敏<sup>1</sup> 植毅进<sup>1</sup> 卢萍<sup>2</sup> 邵明勤<sup>1\*</sup> 戴年华<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022; <sup>2</sup>江西省科学院生物资源研究所, 南昌 330096)

**摘要** 2016年12月—2017年2月和2017年12月—2018年3月, 采用瞬时扫描法和焦点动物法, 对鄱阳湖畔藕田生境中小天鹅(*Cygnus columbianus*)和鸿雁(*Anser cygnoides*)越冬期昼间行为的能量支出和取食行为进行观察。结果表明: 小天鹅和鸿雁主要行为是休息(小天鹅: 36.01%; 鸿雁: 28.02%)、取食(32.71%; 17.44%)和运动(17.26%; 30.61%); 小天鹅和鸿雁昼间能量支出较多的行为也是取食(小天鹅: 354.1 kJ · d<sup>-1</sup>; 鸿雁: 144.88 kJ · d<sup>-1</sup>)、休息(275.22 kJ · d<sup>-1</sup>; 164.35 kJ · d<sup>-1</sup>)和运动(219.79 kJ · d<sup>-1</sup>; 299.22 kJ · d<sup>-1</sup>); 小天鹅在藕田中取食行为的能量支出和总能量支出均显著高于鸿雁; 小天鹅和鸿雁一天中的能量支出无显著差异; 藕田生境中小天鹅主要采取表面取食和头颈浸入水体的取食方式, 鸿雁则主要采取表面取食和挖掘食物, 这与藕田生境中水深、食物组成以及自身形态有关; 小天鹅和鸿雁通过不同的取食方式和取食水深, 减少种间竞争。

**关键词** 藕塘生境; 小天鹅; 鸿雁; 能量支出; 取食行为

**Energy expenditure and foraging behavior of wintering Tundra Swan and Swan Goose in a lotus pond reclamation area in Poyang Lake.** ZHANG Cong-min<sup>1</sup>, ZHI Yi-jin<sup>1</sup>, LU Ping<sup>2</sup>, SHAO Ming-qin<sup>1\*</sup>, DAI Nian-hua<sup>2</sup> (<sup>1</sup> College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; <sup>2</sup> Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China).

**Abstract:** From December 2016 to February 2017 and from December 2017 to March 2018, the scan-sampling technique and focus animal method were used to study energy expenditure and foraging behavior of wintering Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) and Swan Goose (*Anser cygnoides*) in a lotus habitat near Poyang Lake during the daytime. The results showed that both Tundra Swan and Swan Goose spent their daytime on resting (36.01% vs. 28.02%), foraging (32.71% vs. 17.44%), and locomotion (17.26% vs. 30.61%). Correspondingly, they mainly expended energy for foraging (354.1 vs. 144.88 kJ · d<sup>-1</sup>), resting (275.22 vs. 164.35 kJ · d<sup>-1</sup>) and locomotion (219.79 vs. 299.22 kJ · d<sup>-1</sup>) in daytime. The energy expenditure of foraging behavior and total energy expenditure of Tundra Swan were significantly higher than those of Swan Goose. There was no significant difference in daily energy expenditure between Tundra Swan and Swan Goose. Tundra Swan mainly adopted feeding way from the water surface and dipping with head-neck submersed, while Swan Goose used feeding way from the water surface and digging food. This is related to the water depth, food composition, and their own morphology. Tundra Swan and Swan Goose have different foraging methods and foraging water depth to decrease inter-specific competition.

**Key words:** lotus habitat; *Cygnus columbianus*; *Anser cygnoides*; energy expenditure; foraging behavior.

动物能量代谢对物种分布和丰富度有着重要的制约作用,可间接反映动物对生存环境的适应性与生存对策(贾非,2002;宋志刚等,2002;徐兴军等,2014)。能量支出作为能量代谢的一部分,决定了动物能量利用模式和生活史特征(骆鹰,2007)。能量支出的主要影响因素包括体重(黄克坚等,2009)、温度(杨志宏等,2010;陈斌等,2015)、季节(徐宏发等,1989)、光周期(杨志宏等,2010;倪小英等,2011)和性别(邵明勤等,2017)。近年来,国内外学者利用北美黑鸭(*Anas rubripes*)(Wooley *et al.*, 1978; Morton *et al.*, 1989; Jones *et al.*, 2014)、小白额雁(*Anser erythropus*)(Wang *et al.*, 2013)、雪雁(*Anser caerulescens*)(Jonsson *et al.*, 2006)、小鸕鶿(*Tachybaptus ruficollis*)(陈斌等,2015)、凤头鸕鶿(*Podiceps cristatus*)(陈斌等,2015)和中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)(邵明勤等,2017)等物种各行为的静息代谢率(RMR)倍数,估算出这些鸟类的能量支出。取食行为通过寻觅、挖掘、吞咽、消化、吸收等基本过程获得能量(骆鹰,2007)。取食行为研究以取食方式(鲍伟东等,2006; Tatu *et al.*, 2007; 张永,2009; 蒋剑虹等,2015)和取食节律(赵序茅等,2013; 邵明勤等,2017)为主。鸟类能量支出及取食行为的研究有助于了解鸟类取食的行为策略和生存对策,为鸟类保护和人工饲养提供可靠的科学依据。

小天鹅(*Cygnus columbianus*)和鸿雁(*Anser cygnoides*)属雁形目(Anseriforme)鸭科(Anatidae)。小天鹅繁殖于亚洲东北部的西伯利亚苔原地区(杨二艳,2013),中国境内常在长江中下游、东南沿海及台湾地区越冬(赵正阶,2001)。鸿雁繁殖地位于蒙古中西部、西伯利亚东南部和我国东北部,越冬地主要位于我国东部沿海及长江中下游沿岸湖泊。鄱阳湖区是这2种水鸟重要的越冬地(戴年华等,2013; 郭宏等,2016)。目前小天鹅和鸿雁的越冬生态研究主要包括数量分布(戴年华等,2013),时间分配和行为节律(徐正刚等,2015; 邵明勤等,2018),生态位分化(郭宏等,2016)等。本研究通过鄱阳湖围垦区藕田生境中小天鹅和鸿雁越冬期能量支出和取食行为的观察,目的在于了解藕塘生境中小天鹅和鸿雁各阶段的能量支出,了解小天鹅和鸿雁在藕塘生境中的取食行为,掌握藕塘生境中小天鹅和鸿雁的适应对策。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地概况

2012年以来,鄱阳湖五星垦殖场(邵明勤等,2018)(图1)的藕田和稻田生境吸引了大量的越冬白鹤(*Grus leucogeranus*)、小天鹅、鸿雁、灰雁(*Anser anser*)、鹤鹑(*Tringa erythropus*)等水鸟来此越冬,小天鹅和鸿雁经常与白鹤共存于五星垦殖场的藕田和稻田中。研究地区的详细信息请参考文献邵明勤等(2018)。

### 1.2 调查方法

2016年12月—2017年2月和2017年12月—2018年3月,借助于SWAROVSKI(20-60×)单筒望远镜,采用瞬时扫描法对鄱阳湖围垦区五星垦殖场藕田生境中小天鹅和鸿雁的越冬行为进行观察。观察时间为每天08:00—17:30,小天鹅行为观察天数为30天(其中,2016年12月2天;2017年1月10天,2月8天,12月3天;2018年1月3天,2月1天,3月3天),其中2016年12月至2017年2月合计20天数据源自邵明勤等(2018)。鸿雁的行为观察时间为8天,包括2017年12月1天,2018年1月3天,2月1天,3月3天。根据已有文献将小天鹅和鸿雁的越冬行为分为取食、休息、修整、警戒、社会和运动6类(戴年华等,2013; 徐正刚等,2015)。每5分钟记录1次视野范围内1~10只小天鹅或鸿雁的各种行为。采用焦点动物法每隔10 min记录1次小天鹅或鸿雁的取食方式、单次取食持续时间,每

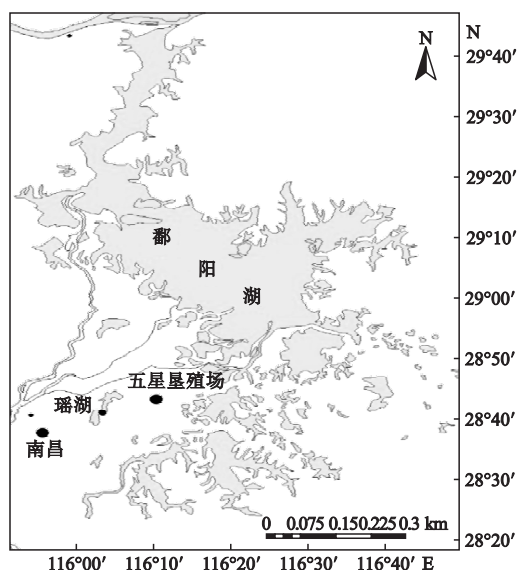


图1 研究地点的区域示意图

Fig.1 The survey points of study area

分钟取食次数 (Tatu *et al.*, 2007; 张永, 2009) (表 1)。出现下列任一标准为 1 次取食: (1) 小天鹅和鸿雁的喙开始进入水面寻找食物至喙离开水面; (2) 搜寻或挖掘食物时出现明显停顿或吞咽动作。根据鄱阳湖冬季日出日落的实际情况, 将昼间分为上午 (08:00—10:59)、中午 (11:00—13:59) 和下午 (14:00—17:30) 3 个时段 (Holm, 2002)。

小天鹅和鸿雁行为静止代谢率的计算公式 (Miller *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2014) 为:

$$RMR = 457 \times Mass^{0.77} \tag{1}$$

式中,  $RMR$  ( $\text{kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 为静止代谢率;  $Mass$  ( $\text{kg}$ ) 为体质量。

小天鹅和鸿雁的取食、休息、修整、警戒、社会、运动行为的静止代谢率倍数分别为 1.7、1.2、1.6、2.1、2.3、2.0 (Jonsson *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2014; 邵明勤等, 2017) 乘以静止代谢率, 将所得数值除以 24 h, 得出每小时的能量支出, 再乘以每小时各行为时间所占比例, 得到各行为每小时的能量支出, 再乘以昼间的观察时段, 即得到它们的昼间能量支出。

1.3 数据处理

首先对每小时的行为数据进行统计, 然后以小天鹅和鸿雁各行为发生频次占总行为频次的百分比, 来计算各行为的时间分配; 以指定时间段内各类行为频次占总行为频次的百分比来计算小天鹅的日行为节律, 再求出小天鹅、鸿雁的能量支出。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据的正态性, 若符合正态分布, 则使用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 检验不同时期主要行为时间分配的差异, 若不符合, 则选择 Mann-Whitney U 检验 (双独立样本) 或 Kruskal-Wallis H 检验 (多独立样本) 方法 (蒋剑虹等, 2015)。文中数据表示为平均值  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm \text{SE}$ ), 显著性水平设置为  $\alpha = 0.05$ 。所有数据统计分析借助 SPSS 20.0 和 Excel 2013 完成。

2 结果与分析

2.1 小天鹅和鸿雁的时间分配

小天鹅和鸿雁的主要行为包括休息 (小天鹅: 36.01%; 鸿雁: 28.02%)、取食 (32.71%; 17.44%)、运动 (17.26%; 30.61%)。其中小天鹅的取食行为比例显著高于鸿雁 ( $df = 1, F = 4.928, P = 0.033$ ), 而鸿雁的运动行为显著高于小天鹅 ( $df = 1, F = 10.371, P = 0.003$ ) (图 2)。

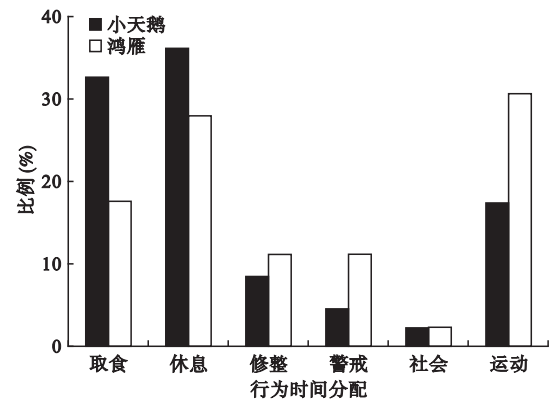


图 2 越冬期小天鹅和鸿雁时间分配  
Fig.2 Time budgets of wintering Tundra Swan and Swan Goose

2.2 小天鹅和鸿雁昼间各行为的能量支出

小天鹅和鸿雁越冬期昼间能量支出较多的行为是取食 (小天鹅:  $354.1 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ ; 鸿雁:  $144.88 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ )、休息 ( $275.22 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ ;  $164.35 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 和运动 ( $219.79 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ ;  $299.22 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ )。小天鹅和鸿雁的总能量支出为 ( $1013.26 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ ;  $829.06 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$ )。其中小天鹅取食的能量支出 ( $df = 1, F = 8.163, P = 0.007$ ) 和总能量支出 ( $df = 1, F = 20.51, P = 0.00$ ) 显著高于鸿雁 (图 3)。

2.3 小天鹅和鸿雁不同时段各行为能量支出

小天鹅和鸿雁在上午 ( $316.27 \pm 91.65 \text{ kJ}$ 、 $(271.30 \pm 31.44) \text{ kJ}$ 、中午 ( $351.81 \pm 94.93 \text{ kJ}$ 、 $(278.62 \pm 15.47) \text{ kJ}$  和下午 ( $327.17 \pm 66.90 \text{ kJ}$ 、 $(290.99 \pm 24.38) \text{ kJ}$  的能量支出差异均不显著 (图 4)。

2.4 小天鹅和鸿雁的取食方式

小天鹅的取食次数为  $(7.18 \pm 1.73) \text{ t} \cdot \text{min}^{-1}$ , 主

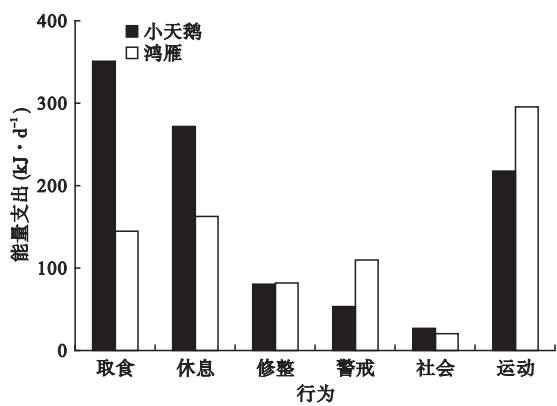


图 3 越冬期昼间小天鹅和鸿雁各行为的能量支出  
Fig.3 Energy budgets of wintering Tundra Swan and Swan Goose actions during the day

表 1 越冬小天鹅和鸿雁的取食策略  
Table 1 Foraging strategies of wintering Tundra Swan and Swan Goose

物种	取食方式	比例 (%) ( $n_1=455, n_2=302$ )	持续时间 ( $s \cdot t^{-1}$ )	取食次数 ( $t \cdot min^{-1}$ )
小天鹅	I 取食水体或者稻田表面食物	45.25±32.91 b	3.06±0.19( $n=131$ )	7.18±1.73
	II 仅头部浸入水中取食	14.08±11.14 a	3.63±0.25( $n=59$ )	( $n_1=197$ min)
	III 头颈浸入水中取食	22.22±14.89 ab	3.76±0.21( $n=72$ )	
	IV 翻身取食,整个头颈和部分身体翻入水中取食	18.44±20.31 a	3.92±0.19( $n=75$ )	
鸿雁	I 取食水体表面食物,挖掘陆地植物等	71.86±31.88 b	2.54±0.21( $n=74$ )	7.37±3.49
	II 仅头部浸入水中取食	3.68±4.72 a	2.00±0.45( $n=5$ )	( $n_2=101$ min)
	III 头颈部浸入水中取食	19.98±25.13 a	2.38±0.22( $n=16$ )	
	IV 翻身取食,整个头颈和部分身体翻入水中取食	4.49±6.94 a	3.75±1.36( $n=8$ )	

数据右上角字母不同表示数据间差异显著( $P<0.05$ ), $n_1$ 代表小天鹅样本量, $n_2$ 代表鸿雁样本量。

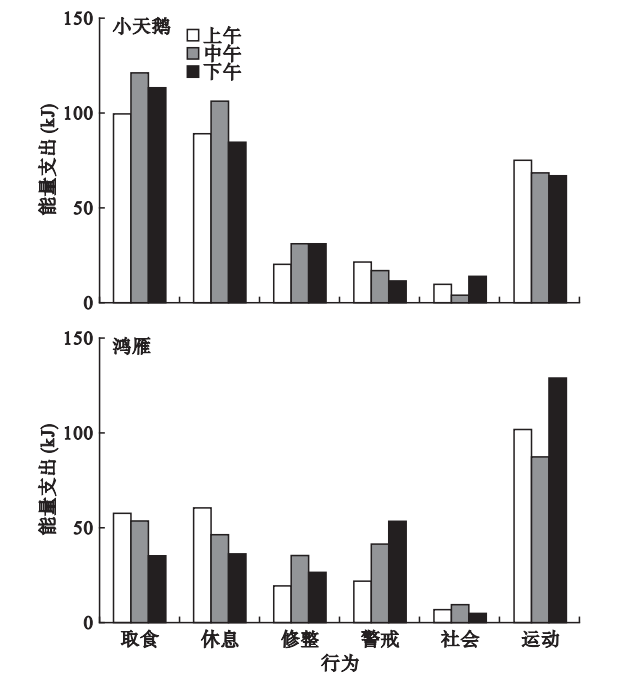


图 4 越冬小天鹅和鸿雁各时段行为的能量支出  
Fig.4 Energy budgets of wintering Tundra Swan and Swan Goose actions at various stages during the day

要采用 I 和 III 的取食方式,持续时间分别为 3.06 和 3.76  $s \cdot t^{-1}$ 。鸿雁取食次数为 7.37  $t \cdot min^{-1}$ ,主要采用 I 的取食方式,持续时间为 2.54  $s \cdot t^{-1}$ (表 1)。

3 讨论

3.1 小天鹅和鸿雁的时间分配与能量支出

取食、休息和运动为小天鹅和鸿雁的主要行为,这与越冬期斑头雁 (*Anser indicus*) (杨延峰等, 2012)、中华秋沙鸭 (曾宾宾等, 2013)、鸿雁 (徐正刚等, 2015)、大天鹅 (*Cygnus cygnus*) (董超等, 2015; 田晓燕等, 2017) 的行为时间分配一致,表明这种行为模式可满足越冬水鸟的生理需求,即通过大量取

食和休息,维持自身的能量储存。这些雁鸭类的运动行为也占很大比例,这是因为它们需要运动(游泳)来寻找和获取食物。鸿雁在鄱阳湖区自然生境中以取食和休息行为为主(郭宏等, 2016),而在藕田生境中则以休息和运动行为为主,这是因为本研究地区中鸿雁经常在人工生境和自然生境间来回飞行,因此它们的运动行为比例较高。这一结果表明,鄱阳湖区鸿雁在人工和自然生境中采取不同的行为对策。

小天鹅和鸿雁通过取食、休息和运动行为消耗能量,这与北美黑鸭 (Wooley *et al.*, 1978; Morton *et al.*, 1989; Jones *et al.*, 2014) 和中华秋沙鸭 (邵明勤等, 2017) 通过游泳(运动)和取食消耗能量的研究结果相似。越冬期间小天鹅在藕田生境中的取食能量支出和总能量支出均显著高于鸿雁的能量支出,这也说明小天鹅通过大量的取食来维持其高的总能量支出。

小天鹅在不同时段各行为的能量支出差异不显著,这与中华秋沙鸭 (邵明勤等, 2017)、小鸕鹚和凤头鸕鹚 (陈斌等, 2015) 的结果差异较大,中华秋沙鸭在气温较低的 07:30—11:59 和 16:00—17:30 时段,能量支出较高,在中午时段能量支出减少。小鸕鹚在 07:30—08:59、凤头鸕鹚在 17:00—17:30 能量支出高于其他时段。小天鹅和鸿雁的能量支出在不同时段无显著差异,这是因为藕塘生境中这两种鸟类以休息、取食和运动行为为主,而这些行为在各时段的差异均较小(图 4)。

3.2 小天鹅和鸿雁的取食方式

取食策略与取食水深和食物组成有关 (Tatu *et al.*, 2007)。疣鼻天鹅头颈浸入水中的取食方式约占所有取食方式的 70%,很少利用沉水植物

(Holm, 2002; Tatu *et al.*, 2007)。本研究中,小天鹅主要采取表面取食和头颈浸入水中的取食策略,鸿雁则主要采取表面取食和挖掘植物的策略,表明两个物种的取食深度差异较大。小天鹅的翻身取食方式也占很大比例,说明藕塘中小天鹅可以取食不同深度的食物。疣鼻天鹅利用头颈浸入水中的取食方式可获取水深 20~45 cm 的食物,翻身取食则可获取 45~103 cm 水深的食物,有时甚至可以取食平均水深 125 cm 的食物(Tatu *et al.*, 2007)。本研究以藕田白鹤的跼蹠为参照物,推测研究区域藕田的水深约为 30~50 cm。小天鹅的表面取食深度约为小天鹅的嘴峰长度,即 8.5~10.5 cm(赵正阶, 2001),因此表面取食只能取食藕田水体表面或浅水处的浮游生物、螺类、软体动物或植物的块茎。小天鹅头颈浸入水中的取食深度约为体长的 1/4,即 27.5~33.75 cm,可获取藕田底泥中水生植物的根茎或藕根。鸿雁主要取食水体表面和挖掘底泥植物,大都仅喙伸入水体,水深约为 7.5~9.9 cm(赵正阶, 2001),这与升金湖鸿雁(张永, 2009)主要以挖掘和头部浸入水中的觅食方式相似。小天鹅和鸿雁在藕田中的取食方式和取食水深的差异,导致两种水鸟生态位产生分化,避免食物因素的生态位重叠带来的种间竞争,有利于两者的生存。本文取食行为样本量小,因此只能初步说明两者的取食方式和生态位分化,它们之间的生态位关系还需进行系统长期的研究。

## 参考文献

鲍伟东, 罗小勇, 孟志涛, 等. 2006. 北京地区黑鹳越冬期的取食行为. *动物学杂志*, **41**(5): 57-61.

陈 斌, 蒋剑虹, 邵明勤. 2015. 小鸕鷀和凤头鸕鷀越冬行为的昼间时间分配及活动节律. *湿地科学*, **13**(5): 587-592.

戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等. 2013. 鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征. *生态学报*, **33**(18): 5768-5776.

董 超, 张国钢, 陆 军, 等. 2015. 山西平陆越冬大天鹅日间行为模式. *生态学报*, **35**(2): 290-296.

郭 宏, 邵明勤, 胡斌华, 等. 2016. 鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区 2 种大雁的越冬行为特征及生态位分化. *生态与农村环境学报*, **32**(1): 90-95.

黄克坚, 俞安薇, 俞呈呈, 等. 2009. 温州地区 4 种雀形目鸟类基础代谢率与器官重量的相关性分析. *四川动物*, **28**(1): 44-48.

贾 非. 2002. 褐马鸡能量生态学研究(硕士毕业论文). 河

北: 河北师范大学.

蒋剑虹, 戴年华, 邵明勤, 等. 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**(2): 270-279.

骆 鹰. 2007. 笼养黑颈长尾雉和白颈长尾雉能量代谢的比较研究(硕士毕业论文). 广西: 广西师范大学.

倪小英, 林 琳, 周菲菲, 等. 2011. 光周期对白头鸭体重、器官重量和能量代谢的影响. *生态学报*, **31**(6): 1703-1713.

邵明勤, 陈 斌. 2017. 中华秋沙鸭越冬期昼间行为能量支出及其变化. *湿地科学*, **15**(4): 483-488.

邵明勤, 张聪敏, 戴年华, 等. 2018. 越冬小天鹅在鄱阳湖围垦区藕塘生境的时间分配与行为节律. *生态学杂志*, **37**(3): 817-822.

宋志刚, 王德华. 2002. 哺乳动物基础代谢率的主要影响因素. *兽类学报*, **22**(1): 53-60.

田晓燕, 陆 滢, 陈 琤, 等. 2017. 荣成天鹅湖越冬前期大天鹅数量分布与行为研究. *湿地科学与管理*, **13**(1): 29-34.

徐宏发, 钱国桢. 1989. 绿翅鸭、琵嘴鸭、斑嘴鸭越冬期的生存能. *生态学报*, **9**(4): 330-335.

徐兴军, 王有祥, 邵淑丽. 2014. 鸟类能量代谢的研究进展. *黑龙江畜牧兽医*, **57**(23): 57-59.

徐正刚, 吴 良, 赵运林, 等. 2015. 洞庭湖笼养鸿雁行为节律研究. *野生动物学报*, **36**(4): 416-421.

杨二艳. 2013. 安徽沿江湖泊小天鹅(*Cygnus columbianus*)越冬行为研究(硕士毕业论文). 合肥: 安徽大学.

杨延峰, 张国钢, 陆 军, 等. 2012. 贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响. *生态学报*, **32**(23): 7280-7288.

杨志宏, 邵淑丽, 柳劲松. 2010. 温度和光周期驯化对树麻雀消化道形态特征和能量预算的影响. *生态学杂志*, **29**(2): 344-350.

曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等. 2013. 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响. *生态学报*, **33**(12): 3712-3721.

张 永. 2009. 安徽升金湖国家级自然保护区 2008/2009 鸿雁(*Anser cygnoides*)越冬生态学初步研究(硕士毕业论文). 合肥: 中国科学技术大学.

赵序茅, 马 鸣, 张 同, 等. 2013. 白头硬尾鸭行为时间分配及日活动节律. *生态学杂志*, **32**(9): 2439-2443.

赵正阶. 2001. 中国鸟类志. 长春: 吉林科学技术出版社.

Holm TE. 2002. Habitat use and activity patterns of Mute Swans at a molting and a wintering site in Denmark. *Waterbirds*, **25**: 183-191.

Jones OE III, Williams CK, Castelli PM. 2014. A 24-hour time-energy budget for wintering American Black Ducks (*Anas rubripes*) and its comparison to allometric estimations. *Waterbirds*, **37**: 264-273.

Jónsson JE, Afton AD. 2006. Different time and energy budgets

- of Lesser Snow Geese in rice-prairies and coastal marshes in Southwest Louisiana. *Waterbirds*, **29**: 451–458.
- Miller MR, Eadie JM. 2006. The allometric relationship between resting metabolic rate and body mass in wild waterfowl (Anatidae) and an application to estimation of winter habitat requirements. *The Condor*, **108**: 166–177.
- Morton JM, Fowler AC, Kirkpatrick RL. 1989. Time and energy budgets of American black ducks in winter. *The Journal of Wildlife Management*, **53**: 401–410.
- Tatu KS, Anderson JT, Hindman LJ, *et al.* 2007. Diurnal foraging activities of Mute Swans in Chesapeake Bay, Maryland. *Waterbirds*, **30**: 121–128.
- Wang X, Fox AD, Cong PH, *et al.* 2013. Food constraints explain the restricted distribution of wintering lesser White-fronted Geese *Anser erythropus* in China. *Ibis*, **155**: 576–592.
- Wooley JB, Owen RB. 1978. Energy costs of activity and daily energy expenditure in the Black Duck. *The Journal of Wildlife Management*, **42**: 739–745.
- 
- 作者简介** 张聪敏,女,1992年生,硕士研究生,主要从事濒危水鸟越冬生态方面研究。E-mail: 292786821@qq.com
- 责任编辑** 李凤芹
-