

# 野外使用红外热成像仪搜寻鸟巢实验

粟通萍<sup>①②</sup> 霍娟<sup>①</sup> 陈光平<sup>③</sup> 杨灿朝<sup>①</sup> 梁伟<sup>①\*</sup>

① 热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室, 海南师范大学生命科学院 海口 571158; ② 北京林业大学自然保护区学院 北京 100083; ③ 贵州宽阔水国家级自然保护区管理局 绥阳 563300

**摘要:** 红外热成像仪是一种非接触、无损伤性的温度测量仪, 它可通过接收被测物体表面的热辐射形成热谱图, 对研究对象进行定性观察或定量分析。热成像仪在野生动物调查和实验研究等领域均有应用。我们于 2015 年 4 ~ 8 月的鸟类繁殖季, 使用手持便携式红外热成像仪, 对贵州宽阔水国家级自然保护区内 4 种生境的鸟巢进行系统搜索。共找到鸟巢 54 个, 其中 7 巢可在红外热成像仪中清晰显示。使用红外热成像仪搜寻鸟巢的成功率为 13.0% (7/54)。其中, 搜寻地面巢的成功率最大 (27.3%, 3/11), 树上巢的成功率最低 (0%, 0/5)。在热谱图中所显示的巢, 其植被郁闭度显著小于红外热成像仪搜寻不到的巢 ( $t = 2.837$ ,  $df = 16$ ,  $P < 0.01$ ); 而其温差则显著大于红外热成像仪搜寻不到的巢 ( $t = -2.476$ ,  $df = 19$ ,  $P < 0.05$ )。这表明, 使用红外热成像仪搜寻鸟巢主要受巢上植被郁闭度及巢周围环境温度的影响。巢上植被郁闭度越小, 与周围环境的温差越大, 则搜寻成功率越高。

**关键词:** 红外热成像仪; 鸟巢; 野外调查; 宽阔水国家级自然保护区

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 01-108-07

## A Test for Using Thermal Image by Infrared Thermography to Search Bird Nests

SU Tong-Ping<sup>①②</sup> HUO Juan<sup>①</sup> CHEN Guang-Ping<sup>③</sup> YANG Can-Chao<sup>①</sup> LIANG Wei<sup>①\*</sup>

① Ministry of Education Key Laboratory for Tropical Animal and Plant Ecology, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158; ② School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083; ③ Kuankuoshui National Nature Reserve, Suiyang 563300, China

**Abstract:** Infrared thermography (IRT) is a non-invasive and non-contact method for measuring surface temperature by absorbing the radiation heat from the surface of objects and transferring into thermogram (Fig. 1). Thermography has numerous practical applications in animal thermal physiology and wildlife monitoring. During the breeding season from April to August 2015, we searched for bird nests across four types of habitat in Kuankuoshui National Nature Reserve, southwestern Guizhou, China. During our work, we first used portable thermal image by IRT to scan for the nests within 5 m along the paths with possible nests been

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (No. 31260514, 31272328, 31472013), 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (No. NCET-13-0761);

\* 通讯作者, E-mail: liangw@hainan.net;

**第一作者介绍** 粟通萍, 男, 博士研究生; 研究方向: 鸟类行为生态; E-mail: sutongping007@126.com。

收稿日期: 2016-06-23, 修回日期: 2016-10-02 DOI: 10.13859/j.cjz.201701012

shown obviously (Fig. 1), then we carefully searched for the nests again by eyesights in the same area. A total of 54 bird nests were found, of which only 7 nests were recorded in thermal image and the searching success rate by IRT was 13.0% (7/54, Table 1). The highest searching success rate by IRT was for ground nests (27.3%, 3/11) and the lowest for tree nests (0%, 0/5). The vegetation coverage of nests found by IRT was significantly lower than that by traditional searching method ( $t = 2.837$ ,  $df = 16$ ,  $P < 0.01$ ), and there was also significant difference in nesting site temperature D-value ( $t = -2.476$ ,  $df = 19$ ,  $P < 0.05$ ) between them. Our results showed that vegetation density and temperature D-value of nesting site had important effects on searching success rate by IRT, with better searching success rate under lower vegetation cover and higher temperature D-value.

**Key words:** Infrared thermography; Bird nest; Field survey; Kuankuoshui National Nature Reserve

在野外搜索鸟巢，是开展鸟类繁殖生态学的一个前提。鸟类通常将巢筑在极其隐蔽的生境中，以避免被天敌发觉，极大增加了人们搜寻它的难度。红外热成像仪（infrared thermography, IRT）是一种可通过吸收受测物体表面的电磁辐射，形成该物体的热谱图的热成像设备（Speakman et al. 1998），在其研发之初，主要应用于军事领域，之后逐渐扩展至医学、工业、农业、森林管理等领域（McCafferty 2013）。红外热成像技术应用于野外生物学的研究始于20世纪60年代末（Boonstra et al. 1995），目前已在生态学和动物学等研究领域得到广泛应用，例如应用于动物的热平衡机制研究（Ward et al. 1999, Greenberg et al. 2012）、动物种群数量调查（Boonstra et al. 1994, Garner et al. 1995）等，尤其在动物热能转换机制及动物种群监测方面效果显著（Speakman et al. 1998, McCafferty 2007）。相对来说，在野外生态学中的应用案例很少（McCafferty 2013, 宋玉伟等 2004）。

红外热成像仪可在不接触鸟类身体的条件下快速且准确地测量其体表温度（Speakman et al. 1998, Bakken et al. 2005）。目前已有30多种鸟类的研究中应用了红外热成像技术（McCafferty 2013），研究内容包括巢址选择（Boonstra et al. 1995）、迁徙（Zehnder et al. 2001, Hueppop et al. 2006）、夜栖地选择（Kuwaec 2007, Tillmann 2009a, b），以及个体行为与身

体热平衡调节机制等（Ward et al. 2005）。

我们于2015年4~8月的鸟类繁殖季，使用手持便携式红外热成像仪，在贵州宽阔水国家级自然保护区，对4种不同生境的鸟类鸟巢进行系统搜索，以探讨该技术在野外鸟类繁殖生态学研究中的应用的可能性。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地区概况

本工作在贵州宽阔水国家级自然保护区（28°06'~28°19' N, 107°02'~107°14' E）内开展。该保护区位于贵州绥阳县北部，总面积26 231 hm<sup>2</sup>，海拔650~1 762 m，森林覆盖率达80%以上，植被为以亮叶水青冈（*Fagus lucida*）林为主的原生性常绿落叶阔叶林，混生有亚热带常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林。年平均气温11.7~15.2℃，年平均相对湿度超过82%，年降水量介于1 300~1 350 mm之间（喻理飞等 2004）。

### 1.2 红外热成像仪

红外热成像仪是一种可通过接收受测物体表面的热辐射，辐射波长范围为2~13 μm，通过色彩等级差别，直观呈现出物体表面各不同部分的温度，从而获得测量物体热谱图的一种温度测量仪器。物体表面的温度与其热辐射的波长成负相关的函数关系是红外热成像仪的主要工作原理。本研究使用美国FLIR System公司生产的FLIR E60型手持便携式红外热成像

仪, 可接受波长范围 7.5 ~ 13.0  $\mu\text{m}$  的红外光波段, 测量温度范围 -20 ~ 120°C (-4 ~ 248°F), 精度 2°C (3.6°F)。红外热成像仪获取的数据可利用自带的图像分析软件 (FLIR Tools) 进行分析并生成结果。

### 1.3 调查方法

利用鸟类在孵卵期和育雏期巢内温度比周围环境温度高的这一特点, 使用红外热成像仪对处于这两个时期的鸟巢进行搜索。搜索生境包括农田、草地、灌丛和森林 4 种生境。考虑到距离及周围环境温度对热谱图精确度的影响 (Galligan et al. 2003), 将搜索生境限定在 5 m 范围内, 搜索时间均安排在日出前或日落之后, 或者在气温相对较低的阴雨天展开。在搜寻过程中, 我们沿着各类生境中的小路, 首先使用红外热成像仪对路两侧 5 m 范围内的生境进行仔细扫描, 以摄取红外可视图像, 通过观察红外热成像仪显示屏上的热谱图来判断该生境中是否有处在孵卵期的鸟巢, 如果搜寻到正处在孵卵期的鸟巢或育雏期的鸟巢, 则图像中会出现一个明显高于周围环境温度的热点, 很容易区别开来 (图 1), 接着我们会对可疑的热点进行确认, 同时也对扫描过的生境进行人工搜索, 以避免有鸟巢遗漏。对人工搜索到而红外热成像仪未搜索到的巢, 我们会尽量使用红外热成像仪对其进行拍照, 收集热谱图数据, 拍照的距离统一为 3 m, 拍照时尽量避开遮蔽物以便获取鸟巢清晰的图谱信息, 同时记录巢的郁闭度 (%), 即巢上方 10 cm 处 1 m  $\times$  1 m 范围内植被的遮蔽程度, 用百分比表示。统计红外热成像仪搜寻鸟巢的成功率, 即红外热成像仪搜寻到的巢数占搜寻到的总巢数的百分比, 搜寻到的总巢数包括红外热成像仪搜寻到的和人工搜索到的巢。

## 2 结果

在农田、草地、灌丛和森林 4 种生境中共搜寻到 20 种鸟类的巢 54 个, 其中有 7 巢是利用红外热成像仪搜寻到的, 其余 47 巢则都是人

工搜寻到 (图 1)。在这 54 巢中地面巢 6 种 11 巢, 草丛巢 5 种 18 巢, 灌丛巢 7 种 20 巢, 树上巢 3 种 5 巢。利用红外热成像仪搜寻到的巢均为孵卵期的巢, 搜寻成功率为 13.0% (7/54), 其中地面巢的成功率最高, 为 27.3% (3/11), 草丛巢为 16.7% (3/18), 灌丛巢为 5.0% (1/20), 而树上巢的成功率最低, 为 0 (0/5)。

使用红外热成像仪搜寻到的巢, 郁闭度 ( $38.3\% \pm 13.3\%$ ,  $n = 7$ ) 显著低于红外热成像仪未搜寻到的巢 ( $66.2\% \pm 23.4\%$ ,  $n = 11$ ) ( $t = 2.837$ ,  $df = 16$ ,  $P < 0.01$ ), 但在红外热成像仪搜寻到的 7 巢中, 地面巢、草丛巢和灌丛巢之间的郁闭度无差异 (表 1, 树上巢高度均大于 2 m, 故其郁闭度不列入统计)。使用红外热成像仪搜寻到的巢最高温与最低温的差值为 ( $8.43 \pm 6.24$ ) °C ( $n = 7$ ), 未使用红外热成像仪搜寻到的巢最高温与最低温的差值为 ( $4.36 \pm 0.68$ ) °C ( $n = 14$ ), 两者差异显著 ( $t = -2.476$ ,  $df = 19$ ,  $P < 0.05$ )。但两者在热谱图中的最高温 ( $t = -1.424$ ,  $df = 19$ ,  $P = 0.171$ ) 和最低温度 ( $t = 0.136$ ,  $df = 19$ ,  $P = 0.893$ ) 均无显著差异。

## 3 讨论

Galligan 等 (2003) 使用红外热成像仪在美国印第安纳州西部的草地生境中共搜索到 11 个草鸫 (*Ammodramus* spp.) 的巢, 成功率为 26.8% (11/41), 同样的方法也应用于 Galligan 等 (2006) 对再恢复煤矿中草丛及灌丛生境鸟类营巢成效的研究。Benshemesh 和 Emison (1996) 使用高空红外热成像设备, 从 350 m 的高空对澳洲斑眼塚雉 (*Leipoa ocellata*) 的巢进行搜寻, 调查其繁殖密度并获得了良好效果。我们使用红外热成像仪对 4 类不同生境进行搜寻, 其中, 对地面巢的搜寻成功率最高, 对树上巢的搜寻成功率最低。地面巢的巢址位置低, 接收到的阳光热量相对较少, 大部分的热量都被上层植被遮挡住, 使地面巢周围的环境温度相对于草丛或灌丛巢要低, 从而更容易把正在孵卵的巢衬托出来。Boonstra 等 (1994) 使

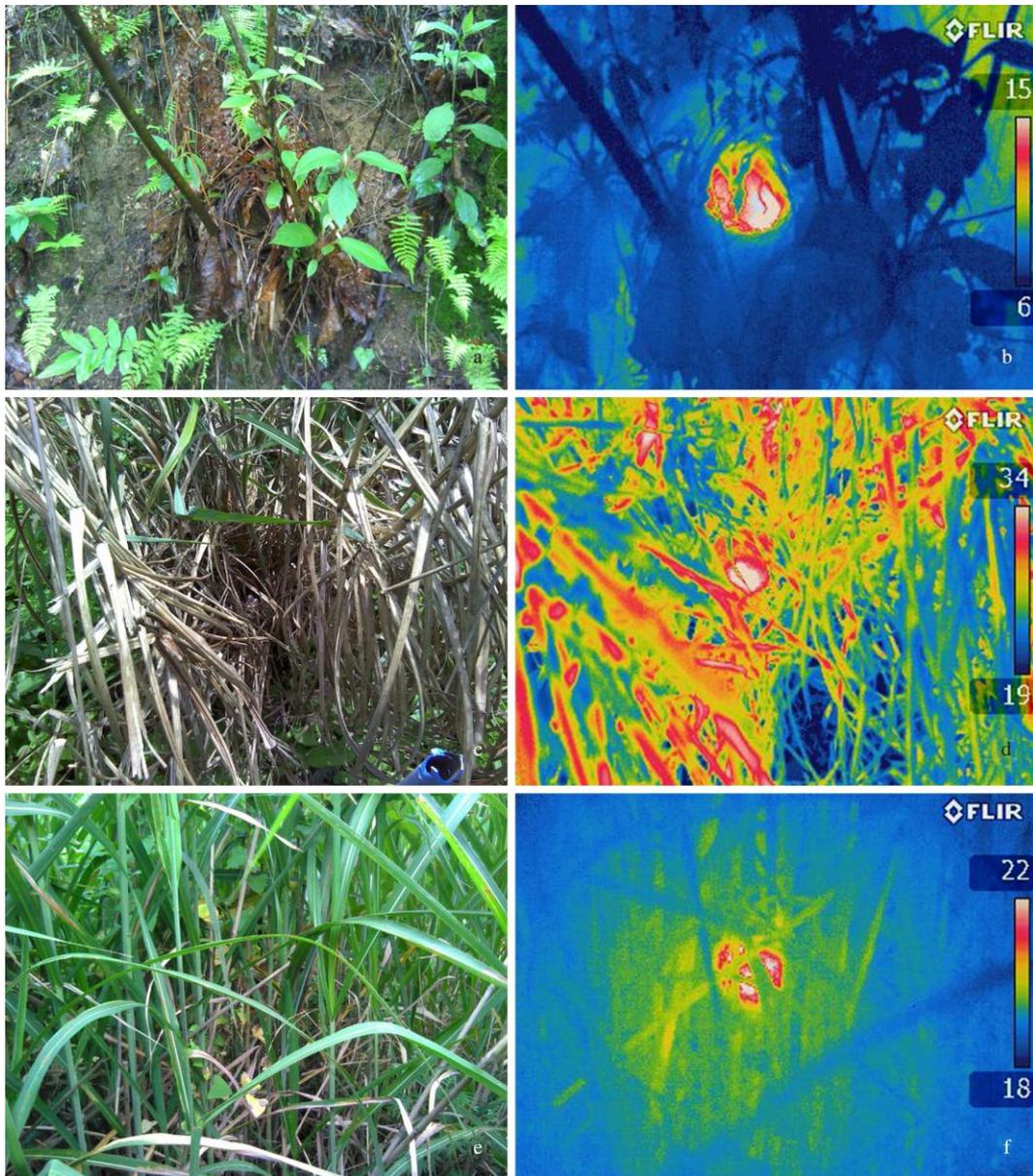


图 1 红外热成像仪搜寻到的巢及其热谱图

Fig. 1 The nests which searched by Infrared thermography and its thermal images

棕颈钩嘴鹛的巢 (a) 及其热谱图 (b); 黄喉鹀巢 (c) 及其热谱图 (d); 钝翅苇莺的巢 (e) 及其热谱图 (f)。

Streak-breasted Scimitar Babbler (*Pomatorhinus ruficollis*) nest (a) and its thermal image (b); Yellow-throated Bunting (*Emberiza elegans*) (c) nest and its thermal image (d); Blunt-winged Warbler (*Acrocephalus concinens*) nest (e) and its thermal image (f).

用红外热成像仪搜索红松鼠 (*Tamiasciurus budsonicus*) 的巢没有达到预期效果, 因为松鼠巢材的阻隔作用使巢的表面温度与环境温度没有差异, 无法通过热谱图辨别出巢, 这与我们

无法搜寻树上的鸟巢类似。

我们的研究表明, 巢址植被郁闭度对红外热成像仪的搜索成功率影响极大, 郁闭度越大成功率越低。同时, 因搜寻距离为 5 m 范围内,

表 1 谱图中的巢温度及相关参数

Table 1 Temperature on image and parameters of the nest site

巢类型 Nest type	种类 Species	总巢数 Nest number	红外热成像仪 搜寻到的巢 Nest searched by IRT	郁闭度 Coverage (%)	热谱图中的温度 (°C) Temperature on image		温差 (°C) Temperature difference
					高温 Low	低温 High	
地面巢 Ground nest	棕颈钩嘴鹀 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	2	1	20.0	15.00	6.00	9.00
	斑胸钩嘴鹀 <i>P. erythrocnemis</i>	1	1	30.0	29.00	10.00	19.00
	白冠燕尾 <i>Enicurus leschenaulti</i>	3		95.0	16.67	13.00	3.67
	白鹡鸰 <i>Motacilla alba</i>	1		100.0	18.00	14.00	4.00
	红腹锦鸡 <i>Chrysolophus pictus</i>	2	1	40.0	10.00	6.00	4.00
	比氏鹡鸰 <i>Seicercus latouchei</i>	2		45.0	11.67	9.00	2.67
草丛巢 Grass nest	灰喉鸦雀 <i>Paradoxornis alphonsianus</i>	8		70.0	20.88	16.88	4.00
	黄喉鹀 <i>Emberiza elegans</i>	2	1	60.0	34.00	19.00	15.00
	棕褐短翅莺 <i>Bradypterus luteoventris</i>	2		80.0	15.50	10.50	5.00
	钝翅苇莺 <i>Acrocephalus concinens</i>	1	1	40.0	22.00	18.00	4.00
	黄臀鹌 <i>Pycnonotus xanthorrhous</i>	5	1	49.0	29.00	25.00	4.00
灌丛巢 Bush nest	褐胁雀鹀 <i>Alcippe dubia</i>	1		45.0	16.00	11.00	5.00
	灰眶雀鹀 <i>A. morrisonia</i>	1		95.0	19.00	14.00	5.00
	红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i>	7		55.7	18.50	13.50	5.00
	白颊噪鹛 <i>Garrulax sannio</i>	2		55.0	25.00	20.50	4.50
	画眉 <i>G. canorus</i>	1		30.0	23.00	18.00	5.00
	矛纹草鹛 <i>Babax lanceolatus</i>	3		58.0	20.33	15.67	4.66
	黄臀鹌 <i>P. xanthorrhous</i>	5	1	30.0	24.00	20.00	4.00
树上巢 Tree nest	暗绿绣眼鸟 <i>Zosterops japonicus</i>	2			23.50	19.00	4.50
	棕噪鹛 <i>Garrulax poecilorhynchus</i>	1			24.00	20.00	4.00
	喜鹊 <i>Pica pica</i>	2			21.50	17.50	4.00

郁闭度、最高温、最低温的值都为平均值，温差指热谱图中最高温度与最低温度的差值。因树上巢的高度大于 2 m，故其巢上郁闭度不在影响因素范围内，不列入表中。

Parameters of vegetation coverage, low and high temperature were mean value. Temperature difference refer to difference value between the maximum temperature and the minimum temperature in pictures. Tree nests reach up more than 2 m and were not included in the table.

故实际搜寻的郁闭度远大于实际测量值，使用红外热成像仪未能搜寻到的巢绝大部分都被周围的植被所遮蔽。Galligan 等 (2003) 的调查表明，在高草丛中使用红外热成像仪能提高搜索效率，用红外热成像仪搜寻到的巢周围的草丛平均高度为 72.3 cm，而未使用红外热成像仪搜寻到的巢周围草丛的高度平均为 48.0 cm。

热成像仪应用于野外搜索鸟巢或监测野生动物，需要其表面温度与周围环境的温度有一定的差异形成温度差，从而在热谱图上突显出

来 (Boonstra et al. 1994, 1995)。鸟类的巢一般都具有较好的保温作用，从而极大降低了鸟巢表面与周围环境的温度差，致使鸟巢在热谱图上不易辨别出来 (Galligan et al. 2003)，这也是使用红外热成像仪搜索鸟巢的限制因素之一。宽阔水保护区属亚热带气候类型，年平均气温 11.7 ~ 15.2°C (喻理飞等 2004)，在鸟类的繁殖季，气温相对较高，且在晴天鸟巢周围植被会吸收太阳的热量，从而使环境温度升高，导致鸟巢温度与周围环境的温差不明显，在红外热

成像仪的热谱图上无法明确突显出来。在热谱图中，红外热成像仪搜寻到的巢与环境的温差比人工搜索到的巢的温差高出 4℃以上。这说明，调查对象的表面温度与周围环境的温度差越大则形成的热谱图越明显。此外，环境温度的均匀性也是影响成像清晰度的一个重要因素，例如 Cantos 等（1999）使用红外热成像仪调查水面上游禽的种群数量，因水体表面的温度较均匀和稳定，在调查时能快速分辨出水面上水鸟的个体数量。

综上所述，受制于植被密度和环境温度等的影响，利用红外热成像仪搜索鸟巢在植被茂密的森林或气温较高的地区如热带雨林或亚热带常绿阔叶林等，效果不是很理想，而在北方的草原、荒漠、高山草甸等生境，其效果可能相对较好。考虑到水体温度较均匀，使用红外热成像仪搜寻某些水鸟的浮巢也可能会有较好的效果。由于中午时段阳光直射强烈，周围环境温度较高，孵卵期或育雏期的鸟巢与环境之间的温度差较小，不易在热谱图中分辨出来，所以日出前或日落后是使用红外热成像仪搜寻鸟巢的最佳时段。当然，如果是气温较低的阴天，其使用效果会更好。

**致谢** 姚小刚、李继祥、胡佳林、牛楠、邵玲、周博、黄秋丽、陈敏、王龙舞和龚永态协助部分野外工作。谨一并致谢！

## 参 考 文 献

- Bakken G S, van Sant M J, Lynott A J, et al. 2005. Predicting small endotherm body temperatures from scalp temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 30(3): 221–228.
- Benshemesh J S, Emison W B. 1996. Surveying malleefowl breeding densities using an airborne thermal scanner. *Wildlife Research*, 23(2): 121–141.
- Boonstra R, Eadie J M, Krebs C J, et al. 1995. Limitations of far infrared thermal imaging in locating birds. *Journal of Field Ornithology*, 66(2): 192–198.
- Boonstra R, Krebs C J, Boutin S, et al. 1994. Finding mammals using far-infrared thermal imaging. *Journal of Mammalogy*, 75(4): 1063–1068.
- Cantos F J, Jiménez M, Fernandez-Renau A, et al. 1999. Application of sensors and thermal cameras for the census of winter roosts of birds. *Ardeola*, 46(2): 187–193.
- Galligan E W, Bakken G S, Lima S L. 2003. Using a thermographic imager to find nests of grassland birds. *Wildlife Society Bulletin*, 31(3): 865–869.
- Galligan E W, deVault T L, Lima S L. 2006. Nesting success of grassland and savanna birds on reclaimed surface coal mines of the Midwestern United States. *The Wilson Journal of Ornithology*, 118(4): 537–546.
- Garner D L, Underwood H B, Porter W F. 1995. Use of modern infrared thermography for wildlife population surveys. *Environmental Management*, 19(2): 233–238.
- Greenberg R, Cadena V, Danner R M, et al. 2012. Heat loss may explain bill size differences between birds occupying different habitats. *PLoS One*, 7(7): e40933.
- Hueppop O, Dierschke J, Exo K M, et al. 2006. Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis*, 148(Suppl 1): 90–109.
- Kuwaie T. 2007. Diurnal and nocturnal feeding rate in Kentish plovers *Charadrius alexandrinus* on an intertidal flat as recorded by telescopic video systems. *Marine Biology*, 151(2): 663–673.
- McCafferty D J. 2007. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal Review*, 37(3): 207–223.
- McCafferty D J. 2013. Applications of thermal imaging in avian science. *Ibis*, 155(1): 4–15.
- Speakman J R, Ward S. 1998. Infrared thermography: principles and applications. *Zoology*, 101(3): 224–232.
- Tillmann J E. 2009a. An ethological perspective on defecation as an integral part of anti-predatory behaviour in the grey partridge (*Perdix perdix* L.) at night. *Journal of Ethology*, 27(1): 117–124.
- Tillmann J E. 2009b. Fear of the dark: night-time roosting and anti-predation behaviour in the grey partridge (*Perdix perdix* L.). *Behaviour*, 146(7): 999–1023.
- Ward S, Rayner J M, Moller U, et al. 1999. Heat transfer from starlings *Sturnus vulgaris* during flight. *Journal of Experimental Biology*, 202(12): 1589–1602.

- Ward S, Slater P J B. 2005. Heat transfer and the energetic cost of singing by canaries *Serinus canaria*. *Journal of Comparative Physiology A*, 191(10): 953–964.
- Zehnder S, Åkesson S, Liechti F, et al. 2001. Nocturnal autumn bird migration at Falsterbo, South Sweden. *Journal of Avian Biology*, 32(3): 239–248.
- 宋玉伟, 宋纯鹏. 2004. 红外成像技术在生命科学中的应用. *生命科学研究*, 8(2): 123–124.
- 喻理飞, 谢双喜, 吴太伦. 2004. 宽阔水自然保护区综合科学考察集. 贵阳: 贵州科技出版社.