



•研究报告•

古田山国家级自然保护区白颈长尾雉的分布格局及其季节变化

任 鹏¹ 余建平² 陈小南² 申小莉³ 宋 琥¹
张田田¹ 余永泉² 丁 平^{1*}

1 (浙江大学生命科学学院, 杭州 310058)

2 (钱江源国家公园生态资源保护中心, 浙江开化 324300)

3 (中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要: 为了解浙江省古田山国家级自然保护区内白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*)的分布格局和季节变化, 2014年5月至2016年4月, 我们对其进行了为期2年的网格化监测。共有44个公里网格拍摄到白颈长尾雉, 独立探测数量为211次, 雌雄性比为1:1.64。白颈长尾雉主要分布在实验区和缓冲区, 其探测率在常绿落叶阔叶混交林、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林、针阔叶混交林、人工油茶(*Camellia oleifera*)林和常绿阔叶林中依次递减, 主要分布在海拔600–800 m。冬、春两季, 白颈长尾雉活动强度和区域相对较小, 而夏、秋两季活动强度和区域相对增加, 其分布在海拔段($F_{4,12} = 3.76, P < 0.05$)和季节间($F_{3,12} = 3.34, P < 0.05$)都存在显著差异。对海拔和气候因子进行回归分析发现, 日平均气温和海拔对白颈长尾雉是否出现均有极显著影响($P < 0.01$); 白颈长尾雉月探测率和探测到白颈长尾雉位点的海拔均与月平均气温呈极显著正相关($P < 0.001$), 而与月平均降水量无显著线性关系($P > 0.05$)。这表明白颈长尾雉的活动在很大程度上受海拔和气温影响, 随月平均气温的升高有向高海拔迁移的趋势。模型选择和多模型推断显示, 最优模型仅保留“100 m内水源”这一个变量, 次优模型是“100 m内水源 × 海拔”, 最优和次优模型的权重分别为0.18和0.14, “100 m内水源”和“海拔”是影响白颈长尾雉在保护区内分布的重要因子, 重要值分别为0.82和0.51。因此, 白颈长尾雉的分布并非仅由某一个或几个环境变量决定, 而是由多个环境变量共同决定。气温的变化和对不同海拔段的选择是导致白颈长尾雉形成不同季节分布格局的原因。

关键词: 红外相机技术; 白颈长尾雉; 分布特征; 气候; 模型选择和多模型推断

Seasonal variation in the distribution of Elliot's pheasant (*Syrnaticus ellioti*) in Gutianshan National Nature Reserve

Peng Ren¹, Jianping Yu², Xiaonan Chen², Xiaoli Shen³, Xiao Song¹, Tiantian Zhang¹, Yongquan Yu², Ping Ding^{1*}

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058

2 Center of Ecology and Resources, Qianjiangyuan National Park, Kaihua, Zhejiang 324300

3 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

Abstract: Here we studied the seasonal variation in the distribution pattern of Elliot's pheasant (*Syrnaticus ellioti*) in Gutianshan National Nature Reserve, in Zhejiang Province, China. From May 2014 to April 2016, Elliot's pheasants were monitored with camera traps as part of the grid monitoring system. Elliot's pheasants were detected in 44 1 km × 1 km survey blocks, 211 independent times. The observed sex ratio was F : M = 1 : 1.64. These results showed that Elliot's pheasant is mainly distributed in the buffer and experimental zones. Within the reserve, the detection rate of Elliot's pheasant decreased over the gradient from mixed evergreen and deciduous broad leaf forest, *Cunninghamia lanceolata* forest, mixed coniferous and broad leaf forest to artificial *Camellia oleifera* forest and evergreen broad leaf forest. Elliot's pheasant mainly lived at

收稿日期: 2018-07-15; 接受日期: 2018-10-12

基金项目: 浙江省科技计划(2015C02016)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: dingping@zju.edu.cn

altitudes of 600–800 m. In winter and spring, their activity intensity was lower and the active area of Elliot's pheasant was relatively smaller compared with the summer and autumn. In short, the distribution between altitudinal intervals ($F_{4,12} = 3.76$, $P < 0.05$) and seasons ($F_{3,12} = 3.34$, $P < 0.05$) differed significantly. Performing a regression analysis on altitudinal intervals and climatic factors showed that the daily average temperature and altitudinal intervals both significantly influenced the presence of Elliot's pheasant ($P < 0.01$). Both the monthly detection rate of Elliot's pheasant and the altitude at which Elliot's pheasant was detected had a significant positive correlation with the monthly mean temperature ($P < 0.001$), but had no significant linear relationship with the monthly mean rainfall ($P > 0.05$). These results showed that the presence of Elliot's pheasant was largely influenced by altitude and temperature. Elliot's pheasants tended to move to higher altitude as the average monthly temperature increased. According to the results of model selection and multimodel inference, the optimal model only included by the variable "source of water within 100 meters", and the suboptimal model was "source of water within 100 meters \times altitude", with weights of 0.18 and 0.14. This means that "source of water within 100 meters" and "altitude" were important factors affecting the distribution of Elliot's pheasant, whose importance values were 0.82 and 0.51, respectively. Overall, the distribution of Elliot's pheasant was determined by various environmental variables, rather than one and/or several environmental variables. In addition, the changes in temperature and the range of altitudinal intervals led to the differing seasonal distribution pattern of Elliot's pheasant.

Key words: camera-trapping; Elliot's pheasant; distribution pattern; climate; model selection and multimodel inference

理解物种与其栖息地的关系及影响物种分布的因素是生态学、生物地理学和保护生物学领域有待深入研究的重要科学问题(Morrison et al, 1998; Sexton et al, 2009; Wiens, 2011), 是自然保护地选择与设计的重要依据(Scott et al, 1993)。全球气候变化可使生物季节性活动时间发生改变, 并导致物种分布区向高纬度和高海拔地区迁移(Walther et al, 2002; Parmesan & Yohe, 2003; Parmesan, 2006), 山地物种对土地利用和气候变化尤为敏感(La Sorte & Jetz, 2010; Laurance et al, 2011; Sekercioglu et al, 2012)。因此, 深入了解影响物种空间分布格局的生态因素对于阐明生物多样性格局、群落构建格局与动态、物种对全球变化的响应(McCain & Colwell, 2011), 以及自然保护地的设计与管理具有重要意义(Cabeza & Moilanen, 2001)。

白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*)隶属于鸡形目雉科长尾雉属, 为典型的地栖性森林鸟类, 是我国特有的国家I级重点保护野生动物, 被IUCN红色名录列为近危(Near Threatened, NT)(BirdLife International, 2016), 《中国脊椎动物红色名录》列为易危(Vulnerable, VU)(蒋志刚等, 2016)。白颈长尾雉栖息于海拔200–1,900 m之间的常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿针阔叶混交林中, 也在针叶林、竹林和灌丛中活动, 其中阔叶林和混交林最为重要(丁平和诸葛阳, 1988)。不同地区白颈长尾雉分布的

海拔高度有差异, 但主要分布在中低山段(刘鹏和张微微, 2017)。由于受栖息地片断化、适宜栖息地面积不断缩小和捕猎等因素的胁迫, 白颈长尾雉已成为受到广泛关注的受胁物种(丁平, 2015)。

尽管人们已对白颈长尾雉的栖息地类型和特征(丁平和诸葛阳, 1988; 丁平等, 2001)、栖息地选择与利用(丁平等, 2002a, b; 刘鹏和张微微, 2017)、活动与扩散(彭岩波和丁平, 2005; 蔡路昀等, 2007; 徐言朋等, 2007)等问题开展了较为深入的研究, 但以往的研究主要是基于野外直接观察、无线电遥测跟踪技术和痕迹法等方法进行, 在调查样本量上受到较大限制, 无法在局域尺度上反映该物种栖息地利用和空间分布格局。

空间尺度是预测物种分布的重要要素之一, 尺度选择在物种分布模型构建及其应用中起着至关重要的作用(Seo et al, 2009)。目前已有的白颈长尾雉物种分布研究主要集中在较大区域的分布格局, 而有关局域尺度上白颈长尾雉的空间分布格局及其影响因素的研究较少(丁平, 2015)。为此, 本研究采用红外相机技术, 在古田山国家级自然保护区(以下简称“古田山保护区”)开展白颈长尾雉的分布与栖息地利用及其季节变化的全域调查, 以期为全球气候变化背景下白颈长尾雉栖息地的保护与管理, 以及该雉适宜栖息地与海拔分布对气候变化响应预测模型的构建提供科学依据。

1 研究区域概况

古田山保护区位于浙江省开化县西北部, 与江西省婺源县、德兴市毗邻, 地理位置在 $118^{\circ}03'49.7''$ – $118^{\circ}10'12.2''$ E, $29^{\circ}10'19.4''$ – $29^{\circ}17'41.4''$ N之间。该保护区于2001年经国务院批准升格为国家级自然保护区, 以中国特有的珍稀濒危物种白颈长尾雉和黑麂(*Muntiacus crinifrons*), 以及典型的亚热带常绿阔叶林为主要保护对象。保护区总面积 81.07 km^2 , 其中核心区 21.56 km^2 , 缓冲区 17.32 km^2 , 实验区 42.19 km^2 (图1)。山脉呈近东西或北东走向, 总的地势是北高南低, 保护区最低海拔为 260 m , 最高海拔 $1,258\text{ m}$ 。该保护区属中亚热带湿润季风区, 受夏季风影响较大, 一年中气候有明显的季节性变化。本区年均降水天数 142.5 d , 年均降水量 $1,963.7\text{ mm}$, 相对湿度为 92.4% 。年均气温 15.3°C , 无霜期约为 250 d 。该区域动植物资源丰富, 植物区系组成兼具南北特点, 是联系华南到华北的典型过渡带(于明坚等, 2001)。

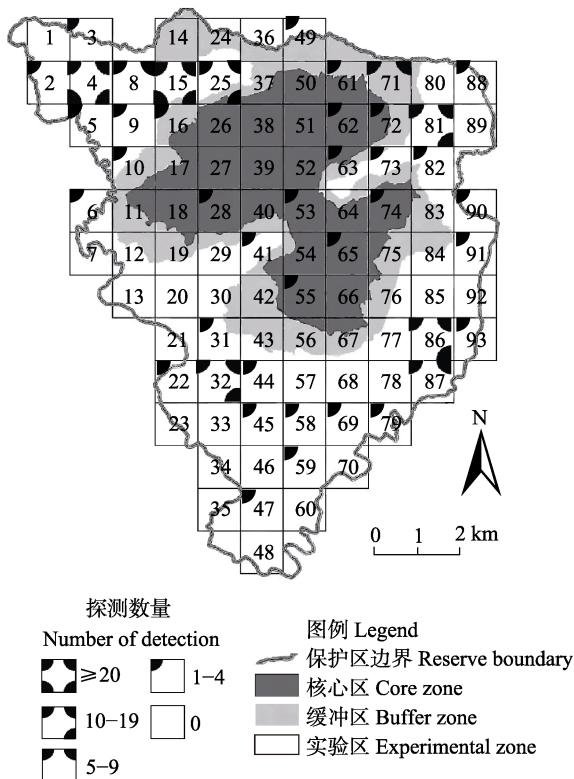


图1 古田山国家级自然保护区内白颈长尾雉分布图
Fig. 1 Distribution of Elliot's pheasant in Gutianshan National Nature Reserve

2 研究方法

2.1 红外相机布设与生境因子记录

保护区被划分为93个公里网格(每个网格为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$) (图1), 2014年5月至2016年4月, 在每个网格内布设1台红外相机进行监测(陈声文等, 2016)。2014年5月至2015年4月, 在每个网格内选取3个监测点, 每4个月按照不同监测点移动相机位置; 2015年5月至2016年4月每个网格内的相机位置固定, 每4个月收集1次数据。相机固定于乔木或较粗的灌木上, 置放高度为 $40\text{--}80\text{ cm}$ 之间, 镜头与地面大致平行, 确保视野开阔, 能感应并拍摄到在地面活动的动物个体。设置相机朝向时尽量避免早晚阳光直接射入镜头和红外感应窗口。统一红外相机的设置, 包括红外补光、日期、拍摄间隔(1.0 s)和录像时长等。及时检查与更新SD卡和电池, 尽量确保每台相机运转正常。最终有效调查网格数86个, 红外相机累积有效工作时长为 $54,244$ 个工作日(trap-days)。

根据植物物种的重要值并结合植被外貌, 判定相机布放位置的植被类型(常绿落叶阔叶混交林、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林、针阔叶混交林、人工油茶(*Camellia oleifera*)林和常绿阔叶林)、森林起源(原始林、次生林、人工林)、乔木郁闭度、灌木层盖度和草本层盖度。详细记录相机周围 100 m 内是否有水源(溪流)以及相机布放位点的海拔、坡位、坡度。通过当地气象部门获得2014年5月至2016年4月保护区的气候数据, 包括日平均气温、月平均气温和月平均降水量等。根据浙江省的气候特征(杨诗芳和毛裕定, 2008; 郁珍艳等, 2014), 在本研究中, 四季时间的划分为: 春季(3月15日至5月31日, 共78天), 夏季(6月1日至9月29日, 共121天), 秋季(9月30日至12月8日, 共69天), 冬季(12月9日至次年3月14日, 共96天)。另外, 根据 10 m 等高距的地形图, 利用ArcMap 10.2计算各海拔段的表面积。

2.2 数据处理

在ACD See 2.5软件下对获得的白颈长尾雉照片和视频进行鉴定, 记录触发日期、触发时间、数量、雌雄、成幼等数据。同一相机在 30 min 内连续多次拍到的同一物种的所有图像记为1份独立有效照片(Yasuda, 2004; Michalski & Peres, 2007), 并只保留个体数量最多的一张作为有效照片。拍摄到的白颈长尾雉幼体由于无法辨别雌雄, 没有进入统计

分析。

以“探测率”(单位调查工作量下的探测数量)比较白颈长尾雉在不同生境类型、季节和海拔间的差异(刘芳等, 2012), 计算公式如下:

$$\text{探测率} = \frac{\text{探测数量}}{\text{相机数量} \times \text{单个相机有效工作日}} \times 100 \quad (1)$$

进一步将网格内白颈长尾雉的探测数量转化为0 (未拍摄到)和1 (拍摄到)数据, 利用二元逻辑斯蒂回归模型对影响白颈长尾雉空间分布格局的主要栖息地特征参数进行分析。利用“glmulti”软件包, 基于AICc的判定方法, 对上述记录的9个栖息地变量(植被类型、森林起源、乔木郁闭度、灌木盖度、草本盖度、100 m内水源、海拔、坡位、坡度)进行相关性分析, 对于相关系数高的变量, 选择生态学意义重要的变量进入模型, 筛选出用于模型分析的变量。利用模型选择和多模型推断(model selection and multimodel inference)分析决定白颈长尾雉出现与否的重要环境因素(Wang et al, 2009)。

另外, 由于气候数据(日平均气温、月平均气温和月平均降水量)是整个保护区区域的平均值而非相机周围的小气候数据, 因此将气候数据和海拔数据相结合来进行线性回归和广义线性回归(逻辑斯蒂回归)分析, 探讨海拔和气候对白颈长尾雉活动的影响。首先, 分析气温和海拔对白颈长尾雉活动的影响, 对2年白颈长尾雉在网格内是否出现的数据与日平均气温和海拔数据进行逻辑斯蒂回归分析。其次, 探究白颈长尾雉探测率是否受气温和降水量的影响, 利用两年月平均气温和月降水量的数据, 对白颈长尾雉月探测率进行线性回归分析。在回归分析前, 对数据进行标准化处理以消除量纲的影响, 即 $(x_i - \bar{x})/\sigma$ (x_i 为数据点 i , \bar{x} 为均值, σ 为标准差), 同时对变量进行相关性分析, 以避免回归分析中的多重共线性问题。所有数据在R 3.4.2软件中处理完成(R Development Core Team, 2017)。

3 结果

3.1 空间分布

2014–2016年全域公里网格监测共计包括323个有效位点, 白颈长尾雉的探测数量为211次, 共在44个网格内被拍摄到, 占保护区总网格数的47.3%。其中冬春两季白颈长尾雉出现的网格数为18, 占总出现网格数的40.9%。两年监测结果显示,

雌雄性比为1:1.64 (80♀:131♂)。白颈长尾雉主要分布在实验区和缓冲区, 核心区较少(图1), 其中洪源(网格4)和石耳山(网格15)附近的实验区和缓冲区是白颈长尾雉分布最集中的区域。

从2年白颈长尾雉探测率(图2)和分布特征(图3)可知, 白颈长尾雉在秋季最为活跃, 探测率为0.90, 其次是夏季, 探测率为0.43, 冬季活动强度最小, 探测率仅为0.06。也就是说, 白颈长尾雉在冬季活动强度和区域最小, 春季开始增加, 夏季活动强度和区域进一步扩大, 到秋季活动强度和区域均达到最大。

3.2 栖息地特征

在相机所放置的5种植被类型中均探测到白颈长尾雉的活动。其中在常绿落叶阔叶混交林中的探测率最大, 为0.48; 其次是杉木林、针阔叶混交林和人工油茶林, 分别为0.41、0.33和0.26, 常绿阔叶林中探测率最小, 仅为0.16。根据10 m等高距地形图, 小于400 m、400–600 m、600–800 m、800–1,000 m、大于1,000 m各海拔段的表面积分别为28.58 km²、33.40 km²、23.67 km²、14.78 km²、37.50 km²。通过对白颈长尾雉在不同海拔段的探测率和不同海拔段的表面积分析可知, 白颈长尾雉主要分布在600–800 m海拔段; 800 m及以上海拔段探测率较低, 尽管大于1,000 m的海拔段面积最大, 但探测率仅为0.14, 表明白颈长尾雉在高海拔段的分布较少(图4e)。冬、春两季探测率较低, 表明白颈长尾雉活动强度相对较弱, 此时主要分布在海拔较低的区域(≤ 800 m), 而夏、秋两季活动强度增加, 探测率增加, 特别是秋季, 在海拔段600–800 m, 白颈长尾雉的探测率高达2.02, 远高于其他海拔段(图4a, b, c, d)。对白颈长尾雉在不同海拔段和季节间的探测率进行无重复双因素方差分析发现, 探测率在海拔段

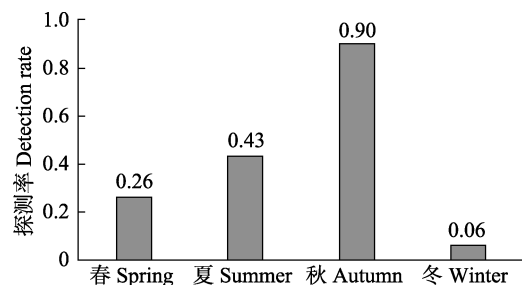


图2 白颈长尾雉不同季节的探测率

Fig. 2 Seasonal differences of the detection rate of Elliot's pheasant

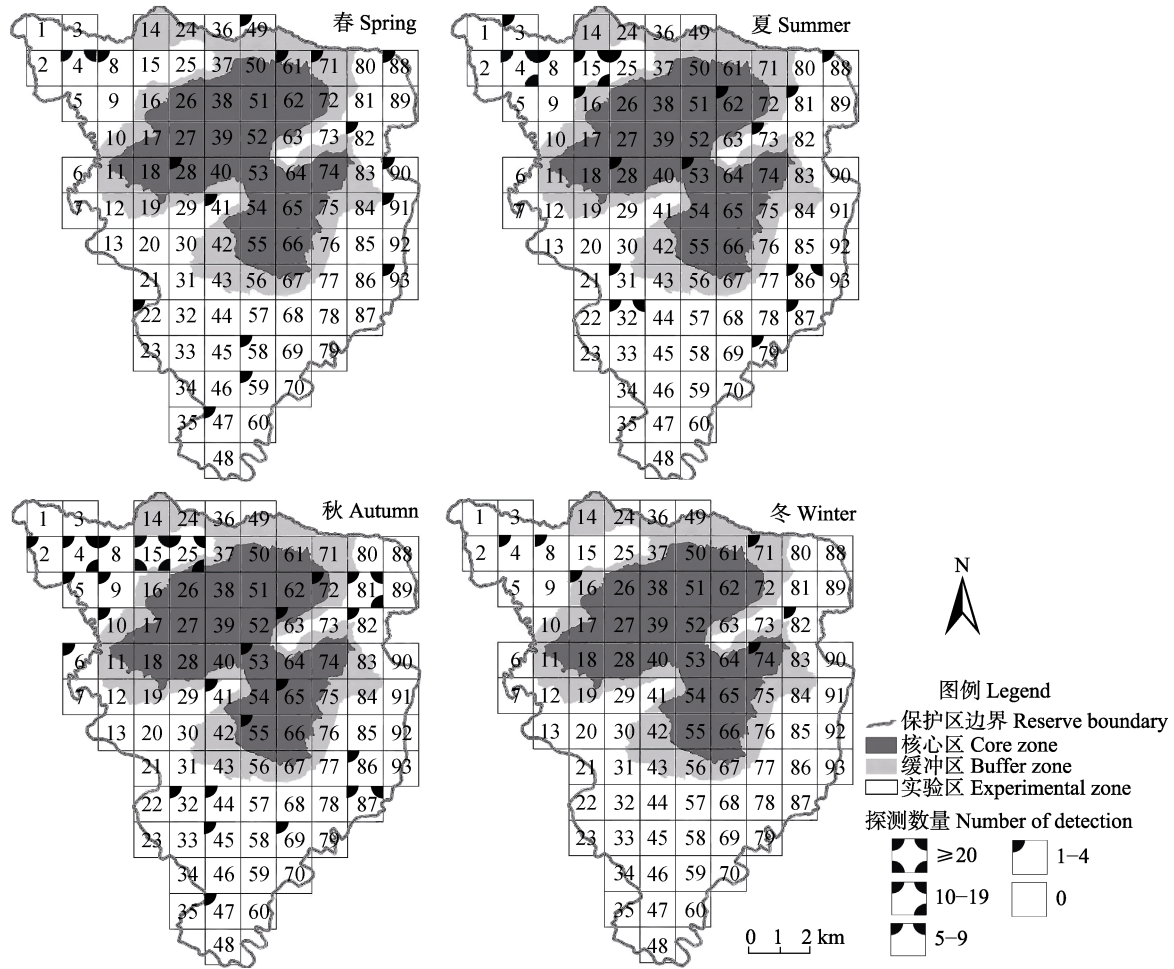


图3 古田山国家级自然保护区内不同季节白颈长尾雉分布图
 Fig. 3 Seasonal patterns of Elliot's pheasant distribution in Gutianshan National Nature Reserve

和季节间都存在显著差异($F_{4,12} = 3.76, P = 0.041$; $F_{3,12} = 3.34, P = 0.046$), 表明海拔段和季节对白颈长尾雉的分布均有显著影响。

3.3 气候和海拔的影响

对变量进行相关性分析的结果显示, 平均气温和海拔的Pearson相关系数仅为0.028 ($P = 0.534$), 月平均气温和月平均降水量的相关系数仅为0.563 ($P = 0.004$), 均较小, 因此变量间的共线性较弱。回归分析的结果表明(表1), 白颈长尾雉的活动受海拔和气温影响, 随海拔高度增加而降低, 随日平均气温的升高而增加, 且白颈长尾雉对气温变化的响应更为强烈(回归系数: 日平均气温 0.643 > 海拔 0.259)。日平均气温对雌雄个体均有极显著影响, 且雄性个体对气温变化的响应更为敏感(回归系数: 雄性0.685 > 雌性0.563), 而海拔仅对雌性个体有显著影响。白颈长尾雉月探测率与月平均气温具有显

著的正相关, 而与月平均降水量无显著的线性关系。探测到白颈长尾雉位点的海拔与月平均气温呈显著的正相关, 而与月平均降水量无显著的线性关系。

3.4 模型选择

变量间相关性分析结果显示(表2), 森林起源和海拔、森林起源和植被类型、100 m内水源和坡位3组变量间的相关系数(分别为-0.452、-0.415、-0.421, $P < 0.001$)相对较高; 在相机放置的整个保护区内, 绝大部分区域乔木郁闭度较高, 梯度变化不明显; 另外考虑到植被类型和森林起源为非有序数据(数据间并非呈梯度变化)等因素, 在进一步的模型分析中将不包括植被类型、森林起源、坡位和乔木郁闭度等4个变量。最终选择海拔高度、坡度、100 m内水源、灌木盖度和草本盖度5个变量构建模型进行分析。

模型分析结果显示, 最优模型(Delta = 0)是仅

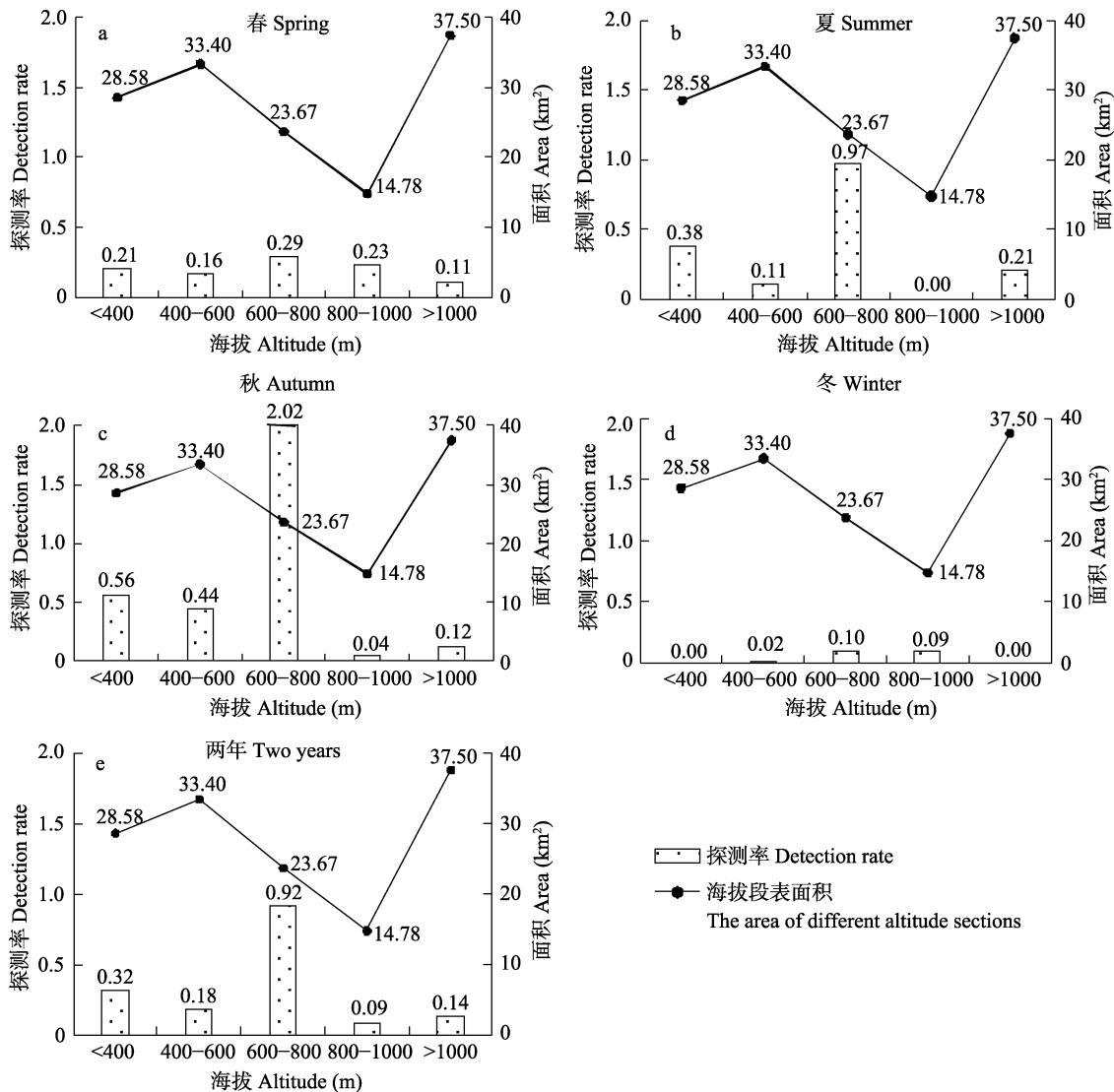


图4 白颈长尾雉在不同海拔段的探测率

Fig. 4 The detection rate of Elliot's pheasant in different altitude sections

保留“100 m内水源”这一个变量，最优模型的权重为0.18，但第二至第四优的模型 $\Delta AICc < 2$ ，即最优模型并不明显优于其他备选模型(表3)。因此，对所有可能的模型($2^5 - 1 = 31$)进行模型平均，计算上述变量的重要值和在模型中的回归系数(表4)，进而判断变量的重要程度和影响方向。结果表明，“100 m内水源”和“海拔”的变量重要值较高，分别为0.82和0.51。从模型标准化回归系数来看，白颈长尾雉的出现与100 m内水源($\beta = 1.026, P = 0.031$)呈正相关，即100 m范围内存在水源，白颈长尾雉的出现概率趋于升高，与海拔($\beta = -0.172, P = 0.044$)呈负相关，即海拔越高，白颈长尾雉的出现概率趋于降低，另外3个参数(坡度、草本盖度、灌木盖度)与白颈长尾

雉的出现没有显著的相关性($P > 0.05$)。由此可见，100 m内水源和海拔是白颈长尾雉在古田山保护区内空间分布的重要影响因子。

4 讨论

4.1 白颈长尾雉在保护区内的分布特征

从两年红外相机监测结果可知，白颈长尾雉在古田山保护区内的主要分布区域并不在核心区，而是在实验区和缓冲区。核心区大部分区域海拔大于800 m，且坡度大，不利于白颈长尾雉的活动，导致高海拔区域的探测率较低。这与浙江水坞山区(主要分布在海拔200–600 m之间)(杨月伟等, 1999; 丁平等, 2002a)的调查结果相似，白颈长尾雉主要栖息

表1 逻辑斯谛回归和线性回归分析结果

Table 1 The results of logistic regression and linear regression analysis

自变量 Independent variable		回归系数 Coefficients	标准误差 Standard error	z	P
逻辑斯谛回归 Logistic regression, $P < 0.0001$					
雌 + 雄 Female + male	海拔 Altitude	-0.259	0.100	-2.592	0.0095**
	日平均气温 Daily average temperature	0.643	0.108	5.937	0.0000***
雌 Female	海拔 Altitude	-0.307	0.145	-2.119	0.0341*
	日平均气温 Daily average temperature	0.563	0.156	3.6	0.0003***
雄 Male	海拔 Altitude	-0.216	0.115	-1.874	0.061
	日平均气温 Daily average temperature	0.685	0.129	5.314	0.0000***
线性回归 Linear regression, $P < 0.0001$					
雌 + 雄 Female + male	月平均气温 Month average temperature	6.231	0.980	6.361	0.0000***
	月平均降水量 Month average precipitation	-1.104	0.980	-1.127	0.273
线性回归 Linear regression, $P < 0.0001$					
海拔 Altitude	月平均气温 Month average temperature	6.107	0.413	14.803	0.0000***
	月平均降水量 Month average precipitation	0.000	0.002	0.182	0.856

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

表2 栖息地特征参数间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among the characteristic parameters of habitat

生境因子 Habitat factor	植被类型 Vegetation type	森林起源 Forest origin	乔木郁闭度 Tree canopy closure	灌木盖度 Shrub coverage	草本盖度 Herbaceous coverage	100 m内水源 Source of water in 100 meters	海拔 Altitude (m)	坡位 Position
森林起源 Forest origin	-0.415***							
乔木郁闭度 Tree canopy closure	0.135*	-0.142*						
灌木盖度 Shrub coverage	0.146**	0.018	0.111*					
草本盖度 Herbaceous coverage	-0.059	0.142*	-0.08	0.069				
100 m内水源 Source of water in 100 meters	-0.125*	0.032	0.127*	0.082	-0.145**			
海拔 Altitude (m)	0.244***	-0.452***	0.087	0.041	-0.188***	0.287***		
坡位 Position	0.118*	-0.092	0.043	-0.195***	-0.056	-0.421***	0.185***	
坡度 Gradient	0.041	0.003	0.181**	0.281***	-0.186***	0.06	0.154**	-0.095

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

在低海拔区域。

生境是野生动物赖以生存的环境, 动物偏好选择和利用某种生境特征是其适应环境的一种行为。植被乔木层盖度是影响白颈长尾雉栖息地选择的最主要因素(丁平和诸葛阳, 1988; 丁平等, 2001), 之前的研究表明, 乔木层盖度在60%以上的栖息地能为白颈长尾雉提供良好的繁殖、食物、隐蔽、夜宿和活动等条件, 白颈长尾雉可长期在该类栖息地内生存, 是其最适宜栖息地(丁平, 2015)。在古田

山保护区, 绝大多数植被的乔木层盖度大于60%, 其中76.8%的植被盖度大于80%, 因此, 古田山保护区内大部分植被均为白颈长尾雉的适宜栖息地, 白颈长尾雉在自然保护区内的活动区域与分布可能更多地受栖息地可利用因子的影响。白颈长尾雉对不同植被类型的栖息地适应性存在差异(丁平和诸葛阳, 1989a): 阔叶林、混交林是最适生境, 针叶林、杉木林等为次适生境(丁平和诸葛阳, 1988)。在所有公里网格中, 4号和15号网格的白颈长尾雉探测数

表3 模型平均各参数的组合结果

Table 3 The result of combined the parameters of the model average

模型组合 Model combination	自由度 <i>df</i>	似然对数 Log-Likelihood	AICc	Delta	权重 Weight
e	2	-59.12	122.39	0.00	0.18
a × e	3	-58.26	122.80	0.42	0.14
b × e	3	-59.01	124.30	1.91	0.07
d × e	3	-59.01	124.30	1.91	0.07
a × d × e	4	-57.99	124.46	2.07	0.06
c × e	3	-59.12	124.53	2.14	0.06
a	2	-60.33	124.79	2.40	0.05
a × b × e	4	-58.24	124.96	2.57	0.05
a × c × e	4	-58.26	124.99	2.60	0.05
b × d × e	4	-58.85	126.16	3.77	0.03
a × d	3	-60.01	126.30	3.91	0.02
c × d × e	4	-59.00	126.47	4.09	0.02
b × c × e	4	-59.01	126.49	4.10	0.02
a × b × d × e	5	-57.94	126.60	4.22	0.02
a × c × d × e	5	-57.99	126.69	4.30	0.02
a × b	3	-60.26	126.80	4.41	0.02
a × c	3	-60.26	126.80	4.41	0.02
a × b × c × e	5	-58.24	127.20	4.81	0.02
d	2	-62.09	128.32	5.94	0.01
b × c × d × e	5	-58.82	128.36	5.97	0.01
c	2	-62.14	128.42	6.04	0.01
a × b × d	4	-59.98	128.43	6.04	0.01
a × c × d	4	-60.00	128.46	6.07	0.01
b	2	-62.18	128.50	6.11	0.01
a × b × c	4	-60.18	128.84	6.45	0.01
a × b × c × d × e	6	-57.93	128.88	6.49	0.01
c × d	3	-62.08	130.43	8.04	0.00
b × d	3	-62.09	130.46	8.08	0.00
b × c	3	-62.14	130.56	8.17	0.00
a × b × c × d	5	-59.96	130.63	8.24	0.00
b × c × d	4	-62.08	132.62	10.24	0.00

a: 海拔; b: 草本盖度; c: 灌木盖度; d: 坡度; e: 100 m内水源。

a, Altitude; b, Herbaceous coverage; c, Shrub coverage; d, Gradient; e, Source of water in 100 meters.

表4 各变量的重要值、模型回归系数及P值

Table 4 Importance values, model regression coefficient and the P-value of variables

模型平均 Model averaging	100 m内水源 Source of water in 100 meters	海拔 Altitude	坡度 Gradient	草本盖度 Herbaceous coverage	灌木盖度 Shrub coverage
重要值 Importance value	0.82	0.51	0.30	0.27	0.26
标准化回归系数 β Standardized regression coefficient β	1.026	-0.172	0.096	0.122	0.009
P	0.031*	0.044*	0.299	0.438	0.570

* $P < 0.05$.

量最多,这两个公里网格特征为:平均海拔高度为600 m左右;4号网格以常绿落叶阔叶林为主,占网格面积的50%,针叶林占30%左右;15号网格以针阔叶混交林为主,占网格面积的65%,杉木林占20%左右;各林相交错分布。其他白颈长尾雉出现较多的网格(如分布较集中的8、25、32、71、81、86和87等网格),均是常绿落叶阔叶林、针阔叶混交林、针叶林和杉木林等各林相交错分布的区域,那些单一林相占优势的生境中,白颈长尾雉分布较少,与之前的研究结果一致。本研究中白颈长尾雉在常绿落叶阔叶混交林中的探测率最大,表明常绿落叶阔叶混交林是白颈长尾雉活动最频繁的区域,但在常绿阔叶林中,白颈长尾雉的探测率最小。白颈长尾雉一般在林下植被比较简单空旷的阔叶林中活动,而古田山保护区内以甜槠(*Castanopsis eyrei*)为单优势群落的常绿阔叶林终年郁闭度高(胡正华等, 2004),林下植被较复杂,特别是草本盖度较高,会影响白颈长尾雉在林下地面的活动(丁平等, 2001),这是导致研究区域中白颈长尾雉在常绿阔叶林中分布较少的原因。另外,白颈长尾雉在人工油茶单一林相中分布较少,这是因为人工油茶林内草本稀疏简单,采茶时人为干扰强度大,而单一林相的杉木林林下较开阔,适宜多种草本植物生长,可为白颈长尾雉提供一定的食物资源,且草本盖度不大,使得杉木林也成为白颈长尾雉经常活动的区域。同时,白颈长尾雉在不同生境类型中的分布差异显著,表明植被类型对白颈长尾雉的分布有显著影响。

白颈长尾雉受不同季节食物资源的变化和繁殖活动的影响,存在一定的迁移(石建斌和郑光美, 1997; 彭岩波和丁平, 2005; 蔡路昀等, 2007),其活动区域大小和日活动距离随季节而变化(石建斌和郑光美, 1997; 蔡路昀等, 2007),还存在栖息地内季节性的垂直迁移(丁平和诸葛阳, 1989a,b; 石建斌

和郑光美, 1997; 徐言朋等, 2007)。本研究依据白颈长尾雉探测率和探测数量的不同, 发现在夏秋两季, 由于食物资源丰富, 白颈长尾雉的活动强度增加, 活动范围扩大, 核心区的种群数量有所增加。冬春两季, 白颈长尾雉的活动范围缩小, 日活动时间缩短以及死亡造成个体数减少等因素都会导致冬春两季节被拍到的次数减少。虽然夏秋两季探测到白颈长尾雉的平均海拔高度大于冬春两季, 但并不能据此判断白颈长尾雉的垂直迁移方向, 因为探测率的增加能够表明活动强度的增强, 并不能指明活动的方向。因此我们进一步对海拔和气候因子进行了回归分析, 发现白颈长尾雉随日平均气温的升高活动增强, 随海拔升高而降低, 且气温对白颈长尾雉的影响更大, 另外探测到白颈长尾雉位点的海拔与月平均气温呈显著的正相关, 白颈长尾雉随月平均气温的升高有向高海拔迁移的趋势, 因此其在气温较高的夏秋两季向高海拔迁移, 而冬春两季更多地是在低海拔活动。气温和海拔对雌雄个体的影响有所不同, 海拔仅对雌性个体有显著影响, 且雌性个体对气温的响应更为敏感, 这可能是繁殖期的雌性对气温的要求更为严格, 需要更适宜的气温条件进行繁殖活动, 各海拔段的气温差异较大, 导致雌性对海拔的选择更明确, 表现为海拔对雌性个体有显著影响。另外月平均降水量对白颈长尾雉的探测数量、探测位点的海拔分布均无显著影响, 而月平均气温均有显著影响, 这些均表明气温是影响白颈长尾雉活动的重要因素。

4.2 影响白颈长尾雉分布的环境因子

以往的研究结果显示, 水源是影响白颈长尾雉栖息地利用的主要因素(丁平等, 2002a; 徐言朋等, 2007; 陈俊豪等, 2009), 而灌木层、草本层和地被层因子为白颈长尾雉提供其所需食物条件和隐蔽条件, 进而在其栖息地利用上起着重要作用(杨月伟等, 1999)。本研究结果同样表明, “100 m内水源”和“海拔”是两个影响古田山保护区白颈长尾雉活动与分布的最重要变量, 其中水源与白颈长尾雉分布呈正相关, 海拔高度与白颈长尾雉分布呈负相关。最优和次优模型分别为“100 m内水源”和“100 m内水源 × 海拔”, 但从模型的权重来看, 最优和次优模型的权重并不高, 仅为0.18和0.14, 表明白颈长尾雉的分布并非仅由某一个或几个环境变量决定, 而

是由多种环境变量共同决定。本研究所选进入模型的5个栖息地环境变量没有涉及到种内(密度效应、婚配制、领域)和种间(捕食、竞争)关系、食物资源、光照、气温、湿度、土壤等一系列生物和非生物的影响因素, 这应是最优模型权重不高的原因。

虽然利用红外相机监测白颈长尾雉的分布存在一定的局限性, 如无法对同一个体进行连续监测(O'Brien & Kinnaird, 2008), 缺失了白颈长尾雉活动的动态过程, 但其所具有的优势, 如隐蔽性、对监测对象的无损性、可进行长期较大范围的野外监测等(Tricia & Don, 1999; Lu et al, 2005), 使得红外相机非常适合监测警觉性高、数量稀少的大型地栖林鸟(Li et al, 2010; 赵玉泽等, 2013)。

综上所述, 古田山保护区绝大部分区域均适宜白颈长尾雉栖息与活动, 白颈长尾雉在自然保护区内主要生活在平均海拔高度为600–800 m左右的实验区与缓冲区, 在不同区域的活动与分布则主要受“100 m内水源”和“海拔”两个因素的影响, 同时气温的变化导致白颈长尾雉形成了不同的季节分布格局。另外, 根据此次的调查结果, 针对白颈长尾雉的保护应加强对实验区与缓冲区保护, 特别是对这些区域内水源的保护, 确保与白颈长尾雉生存有关的这一关键生境因子的安全。

参考文献

- BirdLife International (2016) *Syrnaticus ellioti*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22679325A92810598. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22679325A92810598.en>. (accessed on 2018-10-10)
- Cabeza M, Moilanen A (2001) Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 242–248.
- Cai LY, Xu YP, Jiang PP, Ding P, Yao XH, Xu XR, Wang GB (2007) Home range and daily moving distance of Elliot's pheasant. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 34, 679–683. (in Chinese with English abstract) [蔡路昀, 徐言朋, 蒋萍萍, 丁平, 姚小华, 徐向荣, 王国兵 (2007) 白颈长尾雉的活动区和日活动距离. *浙江大学学报(理学版)*, 34, 679–683.]
- Chen JH, Huang XF, Lu CH, Yao XH, Yu ZP (2009) Spatial niches of *Syrnaticus ellioti* and *Lophura nycthemera* in autumn and winter. *Chinese Journal of Ecology*, 28, 2546–2552. (in Chinese with English abstract) [陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 姚小华, 余泽平 (2009) 白颈长尾雉与白鹇秋冬季空间生态位比较. *生态学杂志*, 28, 2546–2552.]
- Chen SW, Yu JP, Chen XN, Shen XL, Li S, Ma KP (2016)

- Camera-trapping survey on the diversity of mammal and pheasant species in Gutianshan National Nature Reserve, Zhejiang Province. *Acta Theriologica Sinica*, 36, 292–301. (in Chinese with English abstract) [陈声文, 余建平, 陈小南, 申小莉, 李晟, 马克平 (2016) 利用红外相机网络调查古田山自然保护区的兽类及雉类多样性. *兽类学报*, 36, 292–301.]
- Ding P (2015) *Syrnaticus ellioti*. In: Chinese Pheasants (ed. Zheng GM), pp. 261–296. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [丁平 (2015) 白颈长尾雉. 见: 中国雉类(郑光美主编), 261–296页. 高等教育出版社, 北京.]
- Ding P, Li Z, Jiang SR, Zhuge Y (2002a) Studies on the factors affecting patch use degree by Elliot's pheasant. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 29, 103–108. (in Chinese with English abstract) [丁平, 李智, 姜仕仁, 诸葛阳 (2002a) 白颈长尾雉栖息地小区利用度影响因子研究. *浙江大学学报(理学版)*, 29, 103–108.]
- Ding P, Yang YW, Li Z, Jiang SR, Zhuge Y (2001) Vegetation characteristics of habitats used by Elliot's pheasant. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 28, 557–562. (in Chinese with English abstract) [丁平, 杨月伟, 李智, 姜仕仁, 诸葛阳 (2001) 白颈长尾雉栖息地的植被特征研究. *浙江大学学报(理学版)*, 28, 557–562.]
- Ding P, Yang YW, Li Z, Jiang SR, Zhuge Y (2002b) Studies on the selection of roosting sites of Elliot's pheasant. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 29, 564–568. (in Chinese with English abstract) [丁平, 杨月伟, 李智, 姜仕仁, 诸葛阳 (2002b) 白颈长尾雉夜宿地选择研究. *浙江大学学报(理学版)*, 29, 564–568.]
- Ding P, Zhuge Y (1988) The study on breeding ecology of *Syrnaticus ellioti* Swinhoe. *Acta Ecologica Sinica*, 8, 44–50. (in Chinese with English abstract) [丁平, 诸葛阳 (1988) 白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti* Swinhoe)的生态研究. *生态学报*, 8, 44–50.]
- Ding P, Zhuge Y (1989a) *Syrnaticus ellioti*. *Chinese Journal of Zoology*, 24(2), 39–42. (in Chinese) [丁平, 诸葛阳 (1989a) 白颈长尾雉. *动物学杂志*, 24(2), 39–42.]
- Ding P, Zhuge Y (1989b) The ecology of rare pheasants in the western areas of Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 16, 302–309. (in Chinese with English abstract) [丁平, 诸葛阳 (1989b) 浙江西部山区珍稀雉类生态学研究. *浙江大学学报(理学版)*, 16, 302–309.]
- Hu ZH, Yu MJ, Xu XH, Fu HL (2004) *Castanopsis eyrei* community characteristics in Gutianshan Natural Reserve, Zhejiang Province. *Chinese Journal of Ecology*, 23, 15–18. (in Chinese with English abstract) [胡正华, 于明坚, 徐学红, 付海龙 (2004) 浙江古田山自然保护区甜槠群落特征研究. *生态学杂志*, 23, 15–18.]
- Jiang ZG, Jiang JP, Wang YZ, Zhang E, Zhang YY, Li LL, Xie F, Cai B, Cao L, Zheng GM, Dong L, Zhang ZW, Ding P, Luo ZH, Ding CQ, Ma ZJ, Tang SH, Cao WX, Li CW, Hu HJ, Ma Y, Wu Y, Wang YX, Zhou KY, Liu SY, Chen YY, Li JT, Feng ZJ, Wang Y, Wang B, Li C, Song XL, Cai L, Zang CX, Zeng Y, Meng ZB, Fang HX, Ping XG (2016) Red List of China's Vertebrates. *Biodiversity Science*, 24, 500–551. (in Chinese and in English) [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹖, 张雁云, 李立立, 谢锋, 蔡波, 曹亮, 郑光美, 董路, 张正旺, 丁平, 罗振华, 丁长青, 马志军, 汤宋华, 曹文宣, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 陈跃英, 李家堂, 冯祚建, 王燕, 王斌, 李成, 宋雪琳, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 方红霞, 平晓鸽 (2016) 中国脊椎动物红色名录. *生物多样性*, 24, 500–551.]
- La Sorte FA, Jetz W (2010) Projected range contractions of montane biodiversity under global warming. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 277, 3401–3410.
- Laurance WF, Useche DC, Shoo LP, Herzog SK, Kessler M, Escobar F (2011) Global warming and the vulnerability of tropical biota: Where do the thermal specialists live? *Biological Conservation*, 144, 548–557.
- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Shao LK, Shi XG (2010) The use of infrared-triggered cameras for surveying phasianids in Sichuan Province, China. *Ibis*, 152, 299–309.
- Liu F, Li DQ, Wu JG (2012) Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 32, 730–739. (in Chinese with English abstract) [刘芳, 李迪强, 吴记贵 (2012) 利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种. *生态学报*, 32, 730–739.]
- Liu P, Zhang WW (2017) Seasonal changes in habitat selection of *Syrnaticus ellioti* in Guanshan National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 37, 6005–6013. (in Chinese with English abstract) [刘鹏, 张微微 (2017) 官山自然保护区白颈长尾雉季节性生境选择. *生态学报*, 37, 6005–6013.]
- Lu XL, Jiang ZG, Tang JR, Wang XJ, Xiang DQ, Zhang JP (2005) Auto-trigger camera traps for studying giant panda and its sympatric wildlife species. *Acta Zoologica Sinica*, 51, 495–500.
- McCain CM, Colwell RK (2011) Assessing the threat to montane biodiversity from discordant shifts in temperature and precipitation in a changing climate. *Ecology Letters*, 14, 1236–1245.
- Michalski F, Peres CA (2007) Disturbance-mediated mammal persistence and abundance–area relationships in Amazonian forest fragments. *Conservation Biology*, 21, 1626–1640.
- Morrison ML, Marcot BG, Mannan RW (1998) *Wildlife–Habitat Relationships: Concepts and Applications*, 2nd edn. The University of Wisconsin Press, Madison.
- O'Brien T, Kinnaird M (2008) A picture is worth a thousand words: The application of camera trapping to the study of birds. *Bird Conservation International*, 18, 144–162.
- Parmesan C (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 37, 637–669.

- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37–42.
- Peng YB, Ding P (2005) Factors affecting movement of spring dispersal of Elliot's pheasants. *Zoological Research*, 26, 373–378. (in Chinese with English abstract) [彭岩波, 丁平 (2005) 白颈长尾雉春季扩散活动的影响因子. *动物学研究*, 26, 373–378.]
- R Development Core Team (2017) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Scott JM, Davis F, Csuti B, Noss R, Butterfield B, Groves C, Anderson H, Caicco S, Derchia F, Edwards TC, Ulliman J, Wright RG (1993) GAP analysis: A geographic approach to protection of biological diversity. *Wildlife Monographs*, 57, 1–41.
- Sekercioglu CH, Primack RB, Wormworth J (2012) The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148, 1–18.
- Seo C, Thorne JH, Hannah L, Thuiller W (2009) Scale effects in species distribution models: Implications for conservation planning under climate change. *Biology Letters*, 5, 39–43.
- Sexton JP, McIntyre PJ, Angert AL, Rice KJ (2009) Evolution and ecology of species range limits. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 40, 415–436.
- Shi JB, Zheng GM (1997) The seasonal changes of habitats of Elliot's pheasant. *Zoological Research*, 18, 275–283. (in Chinese with English abstract) [石建斌, 郑光美 (1997) 白颈长尾雉栖息地的季节变化. *动物学研究*, 18, 275–283.]
- Tricia LC, Don ES (1999) Using remote photography in wildlife ecology: A review. *Wildlife Society Bulletin*, 27, 571–581.
- Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.
- Wang HY, Zhang XY, Zou GH (2009) Frequentist model averaging estimation: A review. *Journal of Systems Science & Complexity*, 22, 732–748.
- Wiens JJ (2011) The niche, biogeography and species interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366, 2336–2350.
- Xu YP, Zheng JW, Ding P, Jiang PP, Cai LY, Huang XF, Yao XH, Xu XR, Yu ZP (2007) Seasonal change in ranging of Elliot's pheasant and its determining factors in Guanshan National Nature Reserve, Jiangxi. *Biodiversity Science*, 15, 337–343. (in Chinese with English abstract) [徐言朋, 郑家文, 丁平, 蒋萍萍, 蔡路昀, 黄晓风, 姚小华, 徐向荣, 余泽平 (2007) 官山白颈长尾雉活动区域海拔高度的季节变化及其影响因素. *生物多样性*, 15, 337–343.]
- Yang SF, Mao YD (2008) Temperature change and four seasons division in Zhejiang Province in the last 50 years. *Journal of Zhejiang Meteorology*, 29(4), 1–6. (in Chinese) [杨诗芳, 毛裕定 (2008) 浙江省近50年气温变化及四季划分. *浙江气象*, 29(4), 1–6.]
- Yang YW, Ding P, Jiang SR, Zhuge Y (1999) Factors affecting habitat used by Elliot's pheasant (*Syrnaticus ellioti*) in mixed coniferous and broadleaf forests. *Acta Zoologica Sinica*, 45, 279–286. (in Chinese with English abstract) [杨月伟, 丁平, 姜仕仁, 诸葛阳 (1999) 针阔混交林内白颈长尾雉栖息地利用的影响因子研究. *动物学报*, 45, 279–286.]
- Yasuda M (2004) Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: A case study on mount Tsukuba, central Japan. *Mammal Study*, 29, 37–46.
- Yu MJ, Hu ZH, Yu JP, Ding BY, Fang T (2001) Forest vegetation types in Gutianshan Natural Reserve in Zhejiang. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 27, 375–380. (in Chinese with English abstract) [于明坚, 胡正华, 余建平, 丁炳扬, 方腾 (2001) 浙江古田山自然保护区森林植被类型. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 27, 375–380.]
- Yu ZY, Wu LH, Gao DW, Fan GF (2014) Investigation of methods for season division in Zhejiang Province. *Meteorological Science and Technology*, 42, 474–481. (in Chinese with English abstract) [郁珍艳, 吴利红, 高大伟, 樊高峰 (2014) 浙江省四季划分方法探讨. *气象科技*, 42, 474–481.]
- Zhao YZ, Wang ZC, Xu JL, Luo X, An LD (2013) Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's pheasant (*Syrnaticus reevesii*) using infrared camera. *Acta Ecologica Sinica*, 33, 6021–6027. (in Chinese with English abstract) [赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 罗旭, 安丽丹 (2013) 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配. *生态学报*, 33, 6021–6027.]

(特邀责任编辑: 李晟 责任编辑: 闫文杰)