

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

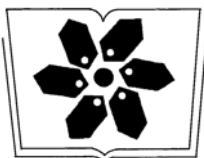
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第5期 Vol.34 No.5 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第34卷第5期 2014年3月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 干旱指标研究进展..... 李柏贞,周广胜 (1043)
- 气候变化对作物矿质元素利用率影响研究进展..... 李堃清,吴正云,张强,等 (1053)
- 森林生态系统中植食性昆虫与寄主的互作机制、假说与证据..... 曾凡勇,孙志强 (1061)
- 线虫区系分析指示土壤食物网结构和功能研究进展..... 陈云峰,韩雪梅,李钰飞,等 (1072)
- 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析..... 赵良仕,孙才志,郑德凤 (1085)
- 高原河谷城市植被时空变化及其影响因素——以青海省西宁市为例..... 高云,谢苗苗,付梅臣,等 (1094)
- 土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应——以陕北黄土丘陵沟壑区为例.....
..... 赵明月,赵文武,钟莉娜 (1105)
- 赤子爱胜蚓和毛利远盲蚓对添加造纸污泥土壤的化学和生物学特征的影响.....
..... 陈旭飞,张池,戴军,等 (1114)

个体与基础生态

- 钾与信号抑制剂对外生菌根真菌分泌乙酸的调控作用..... 杨红军,李勇,袁玲,等 (1126)
- 砷诱导蚕豆气孔保卫细胞死亡的毒性效应..... 薛美昭,仪慧兰 (1134)
- 石油污染土壤中苯酚降解菌 ad049 的鉴定及降解特性..... 胡婷,谷洁,甄丽莎,等 (1140)
- 紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究..... 付川,余顺慧,黄怡民,等 (1149)
- 播种期对晚季稻香气 2-乙酰-1-吡咯啉含量和产量的影响..... 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等 (1156)
- 外源钙(Ca)对毛葱耐镉(Cd)胁迫能力的影响..... 王巧玲,邹金华,刘东华,等 (1165)
- 基于植被指数的北京军都山荆条灌丛生物量反演研究..... 高明亮,官兆宁,赵文吉,等 (1178)
- 三种暖季型草坪草对二氧化硫抗性的比较..... 李西,王丽华,刘尉,等 (1189)
- 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析..... 夏鹏亮,王瑞,王昌军,等 (1198)
- 啮齿动物捕食和搬运蒙古栎种子对种群更新的影响..... 张晶虹,刘丙万 (1205)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对高寒草甸优势植物叶片和土壤氮磷化学计量特征的影响.....
..... 李倩倩,赵旭,郭正刚 (1212)
- 光、温限制后铜绿微囊藻和斜生栅藻的超补偿生长与竞争效应..... 谢晓玲,周蓉,邓自发 (1224)

种群、群落和生态系统

- 人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素..... 张雷,李东来,马锐强,等 (1235)
- 泉州湾埕埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布..... 卓异,蔡立哲,郭涛,等 (1244)

不同尺度因子对滦河流域大型底栖无脊椎动物群落的影响.....	张海萍,武大勇,王赵明,等 (1253)
呼兰河湿地夏、秋两季浮游植物功能分组演替及其驱动因子.....	陆欣鑫,刘妍,范亚文 (1264)
江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价.....	李佳,李言阔,缪沪君,等 (1274)

景观、区域和全球生态

中国自然保护综合地理区划.....	郭子良,崔国发 (1284)
近 10 年来蒙古高原植被覆盖变化对气候的响应	缪丽娟,蒋冲,何斌,等 (1295)
人类活动与气候变化对洪湖春旱的影响	刘可群,梁益同,周金莲,等 (1302)
2000—2010 年武汉市中心城区湖泊景观变化	谈永利,王宏志,张欢,等 (1311)

资源与产业生态

三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布.....	李芬,吴志丰,徐翠,等 (1318)
------------------------	--------------------

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 插秧季节的桂西——2009—2011 年,我国广西、云南、贵州、四川、重庆等西南地区遭受了百年不遇的特大旱灾,其中广西西北部、云南大部、贵州西部等石漠化地区最为严重,农作物大面积绝收,千百万人 and 大牲畜饮水困难,这种危害是巨大的、现实的。从对 2009—2011 年我国西南地区旱灾程度及其对植被净初级生产力影响结果显示:2009—2011 年西南地区年均降水量和湿润指数明显低于 1980—2008 年均值,植被净初级生产力低于 2001—2008 年均值,造成的碳损失约占我国总碳汇的 7.91%。全球气候变暖给大气环流提供了动力,也造成了许多极端灾害天气,因此如何应对气候变化形势显得更加紧迫。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201210151431

张雷, 李东来, 马锐强, 奚长海, 万冬梅. 人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素. 生态学报, 2014, 34(5): 1235-1243.

Zhang L, Li D L, Ma R Q, Xi C H, Wan D M. The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(5): 1235-1243.

人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素

张 雷, 李东来, 马锐强, 奚长海, 万冬梅*

(辽宁大学生命科学院, 辽宁省动物资源与疫病防治重点实验室, 沈阳 110036)

摘要:巢捕食是影响鸟类繁殖成功率的一个重要因素,也是鸟类繁殖生态研究中的一项重要内容。确定鸟类的主要巢捕食者及影响巢捕食的因素对于了解鸟类繁殖成功率、种群增长率及种群数量等具有重要意义。2009—2012 年,对辽宁仙人洞国家级自然保护区人工巢箱中繁殖的杂色山雀 (*Parus varius*)、沼泽山雀 (*P. palustris*)、大山雀 (*P. major*) 和白眉姬鹀 (*Ficedula zanthopygia*) 四种鸟类的巢捕食率及影响巢捕食的因素进行了研究。研究共记录到 238 个繁殖巢(杂色山雀 74 巢、沼泽山雀 21 巢、大山雀 118 巢、白眉姬鹀 25 巢),其中 35 巢被捕食,捕食率为 14.7%,雏鸟期被捕食占 91.4%。巢捕食率在 4 种鸟类之间无差异($\chi^2 = 0.429$, $df = 3$, $P = 0.934$)。以锦蛇 (*Elaphe* spp.) 为代表的蛇类是该地区小型森林洞巢鸟类繁殖期主要捕食者,占总捕食率的 94.3%。对影响巢捕食的 22 个相关因子进行二元逻辑斯蒂回归分析发现,坡度、地面裸露率、草本盖度对巢捕食具有显著性影响;出雏时间、坡位、距碎石块距离对巢捕食的影响接近显著水平;而巢高、树粗、巢箱年龄、窝卵数、距路距离等对巢捕食无显著影响。因此,处于坡度较陡,坡位较高,草本覆盖率较高,地面裸露率较低,距碎石块距离较近,且出雏时间较晚的巢更容易被捕食。

关键词:人工巢箱;小型洞巢鸟;锦蛇;巢捕食;生境因子;繁殖参数

The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors

ZHANG Lei, LI Donglai, MA Ruiqiang, XI Changhai, WAN Dongmei*

Key Laboratory of Animal Resource and Epidemic Disease Prevention, Department of Life Sciences, Liaoning University, Liaoning, Shenyang 110036, China

Abstract: Nest predation is one of the main drivers for the failure of avian breeding, and is therefore an important factor affecting avian breeding success rate. Consequently, it is an important research topic in avian breeding ecology. Identifying the main nest predators and factors affecting nest predation is critical for understanding the breeding success population growth, and population size of particular bird species. Nest predation rates are generally affected by the behavior of predators, the degree of habitat fragmentation, characteristics of nest, and the life history of the bird. The main nest predators of birds are mammals, raptors, crows, snakes and insects, with different predators present in different habitats. A 4-year period of field study was carried out from 2009 to 2012 during the breeding season of late April to early August to investigate the nest predation rate of four artificial nest-box breeding passerines (Varied Tit *Parus varius*, Marsh Tit *P. palustris*, Great Tit *P. major* and Browed Flycatcher *Ficedula zanthopygia*) and its influencing factors in Xianrendong National Nature Reserve, Liaoning Province. Six video cameras were randomly installed on the boxes that were used by the birds to record the nest predators after the nestlings were five days old. Each nest was monitored for three times, once every three days, from 8:00 am—12:00 noon. A total of 40 nests were monitored for a period of 480 hours. Of the 238 nests (74

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31071927)

收稿日期:2012-10-15; 修订日期:2013-06-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wandongmei@lnu.edu.cn

Varied Tit nests, 21 Marsh Tit nests, 118 Great tits nests and 25 Browed Flycatcher nests) recorded, 35 (14.7%) nests were predated, and 91.4% of which were predated during the nestling stage. There was no significant difference in the predation rates among the four species ($\chi^2 = 0.429$, $df = 3$, $P = 0.934$). According to our observation (Nest predators that we saw or recorded by the cameras), seven nest predators were detected, and of which four were Korean rat-snake (*Elaphe amnna*) and three were Dione rat-snake (*Elaphe dione*). Thus it indicated that *Elaphe* snakes were the dominant nest predators, accounting for 94.3% of the nest predation of these four small nest-hole birds. We measured 18 habitats and counted four nests parameters of the 35 predated nests and 42 control nests, which were chosen at random near the predated nests. Binary logistic analysis incorporating the combined effect of the 22 different variables revealed that the main factors affecting nest predation were slope, the extent of bare ground and herb coverage, all of which had significant effects on nest predation. Other factors such as hatching time, slope position and distance to nearby roads, also affected nest predation, with their effects were marginally significant. There was no effect of nest height, tree thickness, nest-box age, clutch size and distance on nest predation. In all, nests in the steeper slope position, higher herb coverage, lower coverage of bare ground, and those that were closer to stones or hatched a later time were more vulnerable to nest predation. In addition, we also found that artificial boxes with smaller exits could prevent predation by rodents.

Key Words: Artificial nest-box; small nest-hole birds; *Elaphe*; Nest predation; Habitat factors; Reproductive parameters

巢捕食是鸟类繁殖失败的主要原因之一^[1-2],对鸟类繁殖成功率、种群增长率及种群数量等均有显著影响^[1-3]。同时在长期进化过程中,鸟类形成了许多降低被捕食风险的生活史策略,如调整窝卵数^[4-5]、改变繁殖行为^[6-7]、巢址选择^[8-9]和繁殖时间分配等。影响鸟类巢捕食的因素很多,其中捕食者的类型和种类被认为是决定巢捕食率高低的最重要因素。其他的因素还包括栖息地类型、巢址特征^[10-11]、巢结构^[12-13]和繁殖参数^[14]等。因此,研究影响鸟类巢捕食的主要因素,确定其主要捕食者,对了解物种的种群动态、繁殖成效及濒危机制等均具有重要意义,同时也为物种的管理和保护提供理论依据。

鸟类的巢捕食者包括兽类^[15]、猛禽^[16]、鸦类^[17]、蛇^[18]和昆虫^[19]等,但不同地区、纬度、海拔和生境中鸟类的巢捕食者有着很大区别。Czeszczewik 在波兰 Bislowsza 森林用人工巢箱招引斑姬鹀 (*Ficedula hypoleuca*) 的研究中发现捕食者中 63.2% 是松貂 (*Pine Marten*), 16% 是林睡鼠 (*Dryomys nitedula*)^[15]。Nadia 等对比比利时安特卫普森林生境中繁殖鸟类的巢捕食研究认为其主要捕食者是乌鸦 (*Corvus spp.*) 和松鸦 (*Garrulus glandarius*), 占总捕食数的 66%, 其次是哺乳类, 占总捕食数的 24%^[17]。邓文洪等研究发现吉林左家保护区天然洞穴中繁殖鸟类的捕食者有雀鹰 (*Accipiter nicus*)、松雀鹰

(*Accipiter virgatus*)、长耳鸮 (*Asio otus*)、黄鼬 (*Mustela sibirica*)、西伯利亚花栗鼠 (*Tamias sibiricus*)、黑眉锦蛇 (*Elaphe taeniura*) 和灰椋鸟 (*Sturnus cineraceus*)^[16]。另外还有很多研究表明蛇是鸟类巢捕食的主要捕食者^[20-23]。Thompson 等在美国密苏里州亚什兰地区对田野雀鹀 (*Spizella pusilla*) 和靛蓝彩鹀 (*Passerina cyanea*) 的巢捕食研究中发现其主要捕食者是德州鼠蛇 (*Elaphe obsoleta*) 和草原王蛇 (*Lampropeltis calligaster*), 分别占捕食总数的 40% 和 16%, 其次是哺乳类和猛禽^[24]。不同的鸟巢类型其捕食者也有很大区别,能捕食地面巢和开放巢的捕食者种类较多,特别是地面巢,如在我国内蒙古草原上繁殖鸟类的巢捕食者包括狐和狗^[25]。而对于洞巢鸟类,受巢口大小和巢隐蔽度限制,捕食者相对较少,只有鼠类、蛇和体型较小的鸟类^[26]。

栖息地片段化和破碎化在影响鸟类繁殖的同时,也改变了巢捕食者的栖息环境,从而间接影响到鸟类的巢捕食率。在景观尺度上,栖息地的破碎化主要表现在斑块数量和边缘效应的增加。某些巢捕食者能较好地适应这种生境变化,从而对鸟类的繁殖带来更大的压力,如蛇类^[11,27];而有些巢捕食者不能适应这种片段化的栖息地,也就间接地降低了边缘生境中繁殖鸟类的巢捕食率,如大型猛禽和兽类^[17]。从这个意义上讲,一定程度的人为活动和栖息地片段化能通过降低捕食者的效应而提高鸟类种

群的繁殖成功率。

巢址特征及巢址微生境也被认为是影响鸟类巢捕食的重要因素。有些研究认为巢址的植被类型^[28]、盖度^[11]、距道路距离^[17]等这些大尺度的生境因子对鸟类的巢捕食影响较大;也有研究认为巢的高度^[29-30]、巢隐蔽度^[3]、植被结构^[28,31]、巢大小^[32]和巢树直径^[11]等这些微生境因子影响更为显著;还有研究认为鸟类的巢捕食是受到多尺度巢生境因子的综合效应^[33]。比如, Jinelle 等对金颊黑背林莺(*Dendroica chrysoparia*)巢捕食的研究发现巢高和巢树胸径这些微生境因子对巢捕食有非常大的影响^[11]。通过提高巢的隐蔽程度可以减少甚至直接防止巢捕食的发生^[34]。另外在草本、灌木覆盖率较高或石块较多的生境中,捕食率也明显偏高^[11,35]。Klug 等研究草原蛇类巢捕食时发现,巢捕食率随着灌丛覆盖率的增加而增加^[35]。对可在人工巢箱繁殖的洞巢鸟类来说,一般认为人工巢箱比自然巢有更低的巢捕食率^[13],但也有人持相反的观点^[15]。

在鸟类繁殖过程中,其本身的生活史及繁殖特征也对巢捕食者产生影响。一般认为较小的窝卵数有更低的巢捕食率^[36],因此巢捕食率会随着窝卵数的增加而升高^[37]。甚至有巢捕食假说认为,处于高捕食风险生境中繁殖的鸟类会通过减少窝卵数,以降低巢捕食风险和生殖投入的损失^[8,14]。繁殖期的时间分配对鸟类巢捕食也有重要影响,特别是主要捕食者为蛇类的鸟类^[38]。

洞巢比开放巢能提供更好的保护和隐蔽性,其巢的高度及洞口大小也进一步限制了捕食者的入侵。因此,洞巢与开放巢相比有更低的巢捕食率^[39]。近一个世纪以来,人工巢箱被广泛用于次级洞巢鸟类的繁殖研究。和天然洞巢相比,人工巢箱中繁殖的鸟类具有更低的巢捕食率,这主要是进一步受到巢箱结构、巢口大小、捕食者对巢箱的熟悉程度等因素的影响。比如,波兰 Białowieża 森林中人工巢箱繁殖白领姬鹀(*Ficedula albicollis*)的巢捕食率要明显低于天然洞巢^[13]。在不同人工巢箱中,巢捕食者种类也有很大区别。Matthew 等研究人工巢箱中冰洲鵲鸭(*Bucephala islandica*)的巢捕食时发现其主要捕食者是黑熊(*Ursus thibetanus*)、红松鼠(*Tamiasciurus hudsonicus*)、美洲貂(*Martes americana*)、渔貂(*Martes pennanti*)和紫翅椋鸟(*Sturnus*

vulgaris)^[40]。Eichholz 认为牛蛇(*Pituophis catenifer*)和加州王蛇(*Lampropeltis getulus*)是人工巢箱中西蓝鸲(*Sialia mexicana*)的主要捕食者^[18]。张克勤等用人工巢箱招引大山雀的研究发现其主要捕食者是花鼠(*Eutamias sibiricus*),其次是少数的蛇类^[41]。

目前,大多数对鸟类巢捕食的研究都是选择较单一因子,如窝卵数、巢箱年限、边缘效应、巢捕食率和捕食者种类等。而巢捕食是一个多尺度、多种因子共同作用的结果。巢捕食的研究方法包括偶然发现^[42]、巢内痕迹推断^[29]、橡皮蛋利用^[43]、毛发分子鉴定^[44]以及针孔摄像机的使用^[24],对巢捕食者的判断更加精确。作者于 2009—2012 年 4—7 月在辽宁仙人洞国家级自然保护区使用针孔摄像机(星网锐捷 V90-Q5)对人工巢箱繁殖的鸟类进行巢捕食研究,综合前人所研究的不同角度,一共测定并分析了可能影响巢捕食的 22 个因子。旨在确定人工巢箱繁殖鸟类的主要巢捕食者,以及多尺度作用下影响巢捕食的主要因子,为小型洞巢鸟类巢捕食理论的研究提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区

辽宁仙人洞国家级自然保护区位于辽东半岛大连市庄河境内的北部山区,地理坐标为 122°53'24"—123°03'30"E, 39°54'00"—40°03'00"N, 海拔 200—600 m,总面积 3 574.7 hm²。这里拥有目前亚洲面积最大的赤松—栎林顶级植物群落,天然赤松林达 234.1 hm²。植物资源丰富多样,主要建群树种有赤松(*Pinus densiflora*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、红松(*Pinus koraiensis*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、花曲柳(*Fraxinus rhyn. chophylla*)等。该保护区的动物资源也很丰富,现共记录有脊椎动物 5 纲 29 目 75 科 363 种,其中兽类 38 种,鸟类 257 种,爬行类 15 种。蛇类主要有赤峰锦蛇(*Elaphe amnial*)和白条锦蛇(*Elaphe dione*),其次还有棕黑锦蛇(*Elaphe schrenckii*)、白眉蝮蛇(*Gloydius blomhoffi*)、黑眉蝮蛇(*Gloydius saxatili*)、赤炼蛇(*Dinodon rufozonatum*)、虎斑游蛇(*Rhobdophis tigrina*)等。该地区因濒临黄海,夏季受海洋性季风影响,多为东南风,冬季多为西北风,具有典型的海洋性季风气候特点。四季温和,雨热同季,光照和降雨集中,年降水量近 900 mm。年

平均气温 8.7 °C,无霜期 181.9 d。

1.2 研究方法

巢箱规格及悬挂 人工巢箱为长方体,底 15 cm×15 cm、高 30 cm,巢口圆形,直径 3 cm,位置距巢箱盖 7 cm 左右。在保护区随机选择了 11 块样地悬挂人工巢箱,其中以红松为主的针叶林样地 1 块、以各种栎树为主的阔叶林样地 2 块、以赤松-栎林顶级植物群落为主的针阔混交林样地 8 块。巢箱悬挂高度 2—3 m、巢间距大于 50 m、箱口朝向随势而为,多朝向坡下和小路。悬挂时间为每年的 2 月底到 3 月初,并对前一年丢失和损坏的巢箱进行维修或补挂。4a 间悬挂的巢箱数分别为 2009 年 40 个、2010 年 60 个、2011 年 180 个、2012 年 77 个,共计 357 个。

巢监测 每年 4 月初至 8 月初为鸟类繁殖期,其间对所有巢箱进行系统监测,每隔 3—5 d 检查一下巢箱状态,并记录各巢箱被鸟类利用情况。对利用的巢箱,记录首枚卵日期、出雏日期、窝卵数、出雏数等信息。另外,在巢箱上方随机安装了 6 台针孔摄像机,用以录制巢内情况及巢捕食者,为了防止过早干扰导致的鸟类弃巢,安装及录制时间为雏鸟 5 日龄—11 日龄,每隔 2 d 录制 1 次,每巢录制 3 次,每次录制时间为 8:00—12:00,共计录制了 40 巢,480h。之后用录像回放的方式进行巢捕食者的鉴定和记录巢被捕食时间,对于没有安装摄像机的巢则通过巢箱巡视的方式发现和判断巢捕食者。常年研究发现研究区内人工巢箱的巢捕食者只有两类:蛇类和啮齿类。若偶然发现巢内的捕食者,随即拍照并鉴别种类;若捕食者离开现场,则通过巢内情况进行推断。如果巢内有碎卵壳、血迹、雏鸟羽毛或残肢等,则判断为鼠类捕食;如果巢内相对整洁,巢材扩大呈碗型并有挤压痕迹,则判断为蛇类捕食。

生境因子测量 以全部被捕食巢树为中心,设置半径为 10 m 的样方,选取 18 个生态因子进行测量。(1) 距房距离:估计距离最近房屋的距离(m);(2) 距路距离:距离宽度 >0.5 m 并经常有人行走的道路的距离(m);(3) 距水源距离:距离最近水源的距离(m);(4) 距石块距离:距最近较大石块的距离(m);(5) 距倒树距离:距离最近倒树的距离(m);(6) 植被类型:根据优势乔木的种类,分为阔叶林、针叶林和针阔混交林三种类型,赋值分别为 1,2,3;(7) 巢树种类:分为阔叶树种、针叶树种和其他类型

(电线杆),赋值分别为 1,2,3;(8) 巢距地面高度:用卷尺测量巢距离地面的垂直距离(m);(9) 巢上枝距:巢顶端距离巢上最低树枝距离(m);(10) 巢树胸径:用卷尺测量巢树距地面 1 m 处胸径(cm);(11) 草本盖度:估测值(%);(12) 灌木盖度:估测值(%);(13) 地面裸露度:估测值(%);(14) 海拔高度(m);(15) 坡位:根据巢箱所在坡的位置,分上、中、下三类,赋值分别为 1,2,3;(16) 坡向(°):用罗盘仪测得坡向与正南方向偏离的度数(以正南方向为 0 度,依逆时针方向);(17) 坡度(°):用坡度仪测量坡所在斜面与水平面夹角;(18) 巢口方向:用罗盘仪测量巢口方向与正南方向偏离的度数(以正南方向为 0 度,依逆时针方向)。对照样方为被捕食巢附近随机选择的繁殖成功巢,共选择了 42 巢,其生境因子的测量与被捕食巢完全相同。

1.3 数据处理

利用统计软件 SPSS(version 17.0) 进行数据统计与分析。首先对各连续变量进行 Z 标准化处理。以巢命运(被捕食或繁殖成功)作为因变量,各生境因子为解释变量,使用二元逻辑斯蒂回归 Logistic regression 分析各因子对巢捕食的影响。回归分析中使用基于偏最大似然估计的后进法进行模型筛选,最终获得最有可能影响巢捕食的若干参数。所有统计均为双尾检验,数据表示为均值(mean)±标准差(SD)。

2 结果

2.1 巢捕食率和主要捕食者

2009—2012 年,共记录到 238 个繁殖巢,其中 35 巢被捕食,捕食率为 14.7%。共有 4 种鸟类利用人工巢箱进行繁殖,这 4 种鸟类分别为杂色山雀(*Parus varius*)、沼泽山雀(*P. palustris*)、大山雀(*P. major*)和白眉姬鹀(*Ficedula zanthopygia*)。其中大山雀(118 巢)和杂色山雀(74 巢)数量较多,沼泽山雀(21 巢)和白眉姬鹀(25 巢)数量较少。4 种鸟类的巢捕食率无显著性差异($\chi^2 = 0.429$, $df = 3$, $P = 0.934$),均在 12%—16% 之间(表 1)。35 个被捕食巢中,91.4% 巢为雏鸟期被捕食,8.6% 巢为卵期被捕食,雏鸟期被捕食率明显偏高。通过查巢和针孔摄像机记录的视频,共明确观察到 7 例蛇捕食的案例,其中,野外观测到正在被捕食巢 3 巢,录像记录被捕

食巢 3 巢(图 1),另有 1 巢中发现有蛇蜕。这 7 例蛇捕食巢分别为杂色山雀 4 巢、大山雀 2 巢、白眉姬鹀 1 巢。经鉴定,4 例捕食者为赤峰锦蛇 (*Elaphe amnna*),3 例捕食者为白条锦蛇(*Elaphe dione*)。另外 28 个捕食巢是通过巢箱内巢材痕迹判断,26 个巢

在雏期被蛇捕食(巢内巢材相对整洁),2 个巢在卵期被鼠类捕食(巢内巢材非常凌乱)。因此,蛇是本地区巢箱繁殖鸟类的主要捕食者,占捕食总数 94.3%。因此赤峰锦蛇和白条锦蛇是主要的捕食者,捕食主要发生在雏鸟期。

表 1 辽宁仙人洞国家级自然保护区人工巢箱 4 种繁殖鸟类巢捕食情况

Table 1 Information on nest predation of four passerines breeding in artificial nest-boxes in Xianrendong National Nature Reserve, Liaoning Province

鸟种 Bird species	巢捕食率/% Nest predation rates	巢捕食的时期 Nest predation period		巢捕食者 Nest predators	
		雏鸟期 Nestling	卵期 Egg	雏鸟期 Nestling	卵期 Egg
大山雀 Great Tit	15.3(18/118)	100(18/18)	0	100(18/18)	0
杂色山雀 Varius Tit	14.9(11/74)	90.9(10/11)	9.1(1/11)	100(11/11)	0
沼泽山雀 Marsh Tit	14.3(3/21)	100(3/3)	0	100(3/3)	0
白眉姬鹀 Browed Flycatcher	12.0(3/25)	33.3(1/3)	66.7(2/3)	33.3(1/3)	66.7(2/3)
总计 Total	14.7(35/238)	91.4(32/35)	8.6(3/35)	94.3(33/35)	5.7(2/35)

括弧中分子为被捕食巢数,分母为总巢数

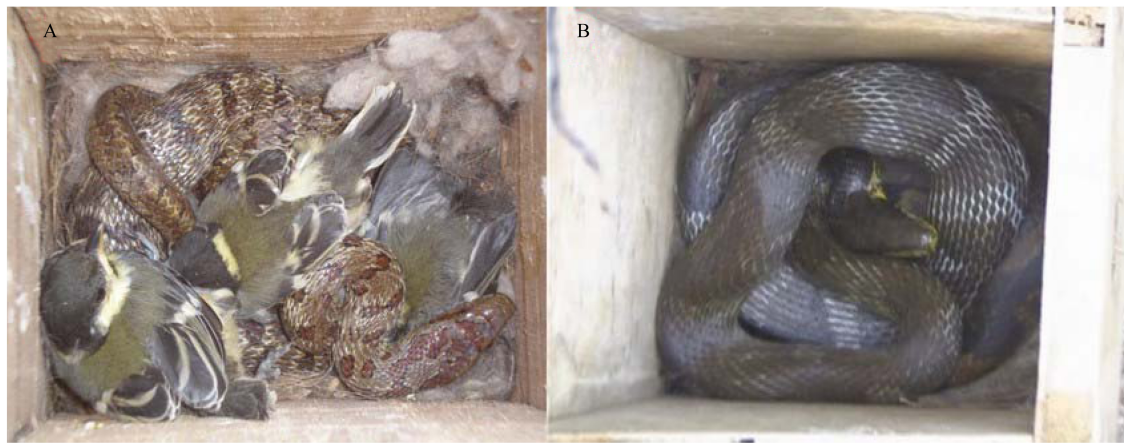


图 1 视频记录到白条锦蛇(A)捕食大山雀和赤峰锦蛇(B)捕食杂色山雀雏鸟的过程

Fig.1 Video-recording of nest predation on *Parus major* (A) by *Elaphe dione* and on *P. varius* (B) by *E. amnna*

2.2 影响巢捕食的因素

使用二元逻辑斯蒂回归(Binary Logistic Regression)对可能影响巢捕食率的 18 个生境因子和 4 个繁殖巢参数(巢箱年限、出雏时间、鸟种和窝卵数)共 22 个因子对 35 个被捕食巢和 42 个繁殖成功的对照巢进行分析,结果见表 2。有 6 个参数进入最终模型,模型的总预测率 63.3%。其中,草本盖度、坡度、地面裸露率 3 个参数达到显著水平。草本盖度在被捕食巢为(35.5±16.8)%(n=27),繁殖成功巢为(33.3±15.8)%(n=47);坡度在被捕食巢为(15.3±11.8)°(n=27),繁殖成功巢为(21.7±17.2)°(n=47);地面裸露率在被捕食巢为(27.3±20.9)%

(n=27),繁殖成功巢为(32.1±22.2)%(n=47)。距碎石块距离、灌木盖度和出雏时间 3 个参数虽进入模型,但没达到显著性水平。

3 讨论

辽宁仙人洞自然保护区人工巢箱繁殖鸟类的主要捕食者是以赤峰锦蛇和白条锦蛇为主的锦蛇类,占总巢捕食数的 94.3%。蛇作为一类重要的鸟类巢捕食者在很多文献中都有报道,且在各种营巢类型中都有所涉及^[20-24,45]。Morrison 等使用摄像机对在美国加利福尼亚州南部地区繁殖的棕顶猛雀鹀(*Aimophila ruficeps*)地面巢的巢捕食监测发现,

表 2 使用二元逻辑斯蒂回归分析影响 4 种人工巢箱繁殖鸟类巢捕食的因素

Table 2 Factors affecting on nest predation of 4 bird species breeding in artificial nest-boxes analysed with Binary Logistic Regression

参数 Parameters	第几步被移除 Steps of removed	<i>B</i>	S.E.	Wald 值	df	<i>P</i>
距水源距离 Distance to water	1	-0.059	0.481	0.015	1	0.902
坡向 Slopes	2	0.099	0.592	0.028	1	0.867
巢口方向 Direction of nest entrance	3	0.079	0.492	0.026	1	0.873
巢距地面高度 Nest height above ground	4	0.189	0.728	0.076	1	0.795
巢箱年限 Age of nest-boxes	5	0.422	0.789	0.286	1	0.593
距路距离 Distance to road	6	0.687	1.705	0.162	1	0.687
窝卵数 Clutch size	7	-0.124	0.283	0.192	1	0.661
巢树种类 Nest tree species	8	0.353	0.535	0.436	1	0.509
巢树胸径 Tree diameter	9	-0.362	0.420	0.605	1	0.437
植被类型 Vegetation types	10	0.667	0.723	0.852	1	0.356
海拔高度 Altitude	11	0.361	0.411	0.771	1	0.380
鸟种 Bird species	12	-0.462	0.479	0.927	1	0.336
巢上枝距 Distance to the near branch above the nest	13	0.322	0.349	0.852	1	0.356
距倒树距离 Distance to fallen trees	14	1.266	1.028	1.516	1	0.218
坡位 Slope position	15	1.842	1.515	1.478	1	0.224
距房距离 Distance to houses	16	-0.470	0.347	1.828	1	0.176
距石块距离 Distance to gravel		-0.880	0.582	2.281	1	0.131
草本盖度 Herb coverage		4.857	2.300	4.459	1	0.035 *
坡度 Slope		0.815	0.411	3.937	1	0.047 *
出雏时间 Hatching time		-0.030	0.018	2.807	1	0.094
地面裸露度 Bare ground coverage		5.790	2.907	3.966	1	0.046 *
灌木盖度 Shrub coverage		3.726	1.994	3.493	1	0.062
常数项 Constant		-0.258	0.627	0.169	1	0.681

B 为回归系数, S.E. 为标准误, df 为自由度; * $P < 0.05$, 差异显著

90%的巢捕食者为蛇类^[45]。同样 Robinson 等在对蚁鸫科 (Formicariidae) 鸟类开放巢的巢捕食的研究中, 用摄像机共记录到了 10 巢巢捕食行为, 其中有 8 巢的捕食者为蛇类^[46]。Eichholz 认为人工巢箱中繁殖的西蓝鸫的巢捕食者主要是牛蛇和加州王蛇^[18]。本研究中, 蛇在巢捕食率中所占比例很高 (94.3%), 可能与两方面的因素有关。一方面是人工巢箱的结构可能限制了其他捕食者捕食, 比如猛禽就很难取食到巢箱内的幼鸟, 较大型的兽类也很难钻进直径仅为 3 cm 的巢口。仅有的 2 例鼠捕食的案例是因为老化的巢箱口曾遭到鼠等动物的啃咬后扩大导致的; 另一方面可能与当地异常丰富的蛇类资源有关。该保护区共记录到蛇类 7 种, 分别为赤峰锦蛇、白条锦蛇、棕黑锦蛇、白眉蝮蛇、黑眉蝮蛇、赤炼蛇、虎斑游蛇。其中以赤峰锦蛇、白条锦蛇、棕黑锦蛇、白眉蝮蛇和黑眉蝮蛇的种群密度较大。但是为什么仅发现锦蛇捕食的案例而未发现蝮蛇巢捕食的案例, 可

能与这两种蛇运动能力及捕食行为的差异有关。锦蛇善于爬树, 便于其进入巢箱进行捕食, 如棕黑锦蛇有攀升树枝捕食雏鸟和鸟卵习性的记录^[47]。而蝮蛇类则不善于爬树, 主要是栖息在枝头或草丛中等待和伏击靠近的鸟类或鼠类^[48]。

营巢类型是影响巢捕食率的重要因素, 比如地面筑巢的鸟类, 其被捕食率较高^[49], 而较隐蔽的洞巢鸟的被捕食率较低。本研究中, 4 种鸟类的总巢捕食率为 14.7%, 明显低于其他鸟类的巢捕食率 (20%—54%之间)^[13,41,50]。这种较低的巢捕食率一方面可能是与我们使用的人工巢箱有关, 从进化和适应角度考虑, 捕食者对人工巢箱的捕食与自然巢相比可能还相对缺乏经验^[13]; 另外也可能与本研究使用的人工巢箱结构有关, 较小的人工巢箱巢口限制了很多的巢捕食者, 从而降低了总体巢捕食率。另一方面, 较低的巢捕食率也很可能与当地的巢捕食者的种类、类群和种群密度有关, 是巢捕食压力

的综合体现。张克勤等在吉林左家对人工巢箱中繁殖大山雀巢捕食的研究发现其主要捕食者是花鼠,捕食率为 21.3%^[41],明显高于本研究的巢捕食率。原因可能是花鼠在种群数量、活动能力、摄食频次等方面均高于蛇类,所以表现出比蛇类更高的捕食率。本研究中 4 种繁殖鸟类的巢捕食率没有显著性差异,这表明蛇对鸟类的种类没有明显的选择偏好,或者说鸟类本身的差异对巢捕食也无显著影响。这个结果可能是与我们使用相同的人工巢箱有关。在自然情况下,这 4 种鸟类的巢址选择或洞巢的利用可能还存在差异^[51-52],从而也会造成捕食率的不同。

诸多研究表明,鸟类育雏期的巢捕食率要高于孵卵期^[6,53]。本研究的结果也支持该观点,育雏期的捕食率占被捕食总数 91.4%。这主要与亲鸟的活动频率以及雏鸟乞食声音或气味等信号线索增加了捕食者发现巢的概率有关。尤其就蛇类而言,雏鸟身体散发的各种化学气味和热源信息是捕食者定位猎物的重要信号。Eichholz 等在研究蛇类捕食人工巢箱中繁殖的西蓝鸫时发现,蛇主要捕食雏鸟而很少捕食卵,并且随着日龄的增加和雏鸟活动能力的增强,被捕食率也随之升高^[18]。但也有研究认为,卵期的巢捕食率要高于雏鸟期,可能与巢被捕食的难易程度有关。能存活到育雏期的巢对于捕食者一般难以接近,因此育雏期的捕食率反而低于孵卵期。比如 Nelson 等在研究天然洞穴中繁殖的斑海雀 (*Brachyramphus marmoratus*) 的巢捕食过程中发现有 56% 的巢捕食是发生在卵期,捕食者主要是渡鸦 (*Corvus corax*)、暗冠蓝鸦 (*Cyanocitta stelleri*) 和大雕鸮 (*Bubo virginianus*)^[54]。除了被捕食阶段的差异,鸟类巢捕食率还存在时间变化,特别是对于变温动物蛇类而言,其活动具有明显的时间节律,这也导致了整体巢捕食率的时间波动。本研究结果显示捕食率会随着出雏时间的推移而上升。由于本地区的气候特征,蛇类的冬眠期较长,可达 5—6 个月。每年 4 月中下旬蛇才开始活动,但活动初期并不进食,因此,此阶段繁殖鸟类的巢捕食率较低,而后期随着温度的升高,蛇类活动逐渐频繁,巢捕食率也逐渐升高。Jinelle 对开放巢中黑顶绿鹟 (*Vireo atricapilla*) 巢捕食的研究也得到了同样的结论,蛇类是黑顶莺雀的主要捕食者,其捕食率也存在明显的季节性变化^[38]。

窝卵数大小也会影响巢捕食率,窝卵数越大,巢捕食率越高。此结论主要源于开放巢的研究结果,即窝卵数大的巢更容易被捕食者发现^[4]。本研究并未发现该规律,这可能与研究的是人工巢箱中的繁殖鸟类有关,捕食者无法看到巢内的卵数。另外,窝卵数较大的巢相应地增加了亲鸟和雏鸟的活动,从而增加被捕食者发现的几率。但本研究未发现明显的窝卵数效应,这可能与蛇类搜索和定位猎物的方式有关。蛇主要依靠非常敏感的化学感受器寻找猎物,所以雏鸟的数量并不重要。

对影响巢捕食的巢址生境因子的分析发现,仅坡度、草本盖度和地面裸露度 3 个因子对巢捕食具有显著性影响。地处坡度较陡、草本盖度大和地面裸露度小的巢更容易被捕食。此结果与本地区主要的捕食者—锦蛇类的生态习性有关。锦蛇多选择山地阳坡,遮风性好,坡度较陡,草本茂密,裸露地面较少的生境活动。陡坡上的碎石、草丛和灌木都为锦蛇提供了良好的隐蔽场所。巢高和巢树胸径对巢捕食具有显著影响^[11],而 Christman 等对天然洞巢中黑顶山雀 (*Parus atricapillus*) 巢捕食的研究发现,巢树越细时巢捕食率越高,而巢高对巢捕食无显著影响^[55]。这在巢高上与得到的结果相一致,但在巢树胸径上并未发现此类规律,其可能原因是本研究人工悬挂巢箱的巢树胸径和巢高上差异不大有关。研究过程中,观察人员需要借助攀爬工具对巢树进行观察记录,因此对巢树胸径和巢高有一定的人为选择,导致所有人工巢箱的巢树胸径和巢高比较均一。还有研究认为大尺度的生境破碎化对巢捕食具有显著影响,比如距道路越近的巢更容易被捕食^[11]。研究未发现此规律,可能是由于仙人洞自然保护区的实验区是著名的“冰峪沟”国家级森林公园,每年 5—10 月游人云集,尤其在鸟类繁殖季节,保护区内大量游客的涌入限制了蛇类在道路附近的活动。

综上所述,被捕食巢多位于陡坡上,巢下草本覆盖率和灌木覆盖率高,距碎石块距离较近,出雏时间较晚。为了减少蛇捕食率,提高巢箱中鸟类的繁殖成功率,在巢箱悬挂时要避开这些不利的环境因素,选择草本覆盖率和灌木覆盖率小、远离碎石块、远离陡坡的位置。

致谢: 感谢沈阳师范大学周正彦老师对蛇物种鉴定给予的帮助,感谢仙人洞自然保护区管理局对野外

工作的支持和协助。

References:

- [1] Ricklefs R E. An analysis of nesting mortality in birds. Smithsonian Contributions to Zoology, 1969, (9): 1-48.
- [2] Martin T E. Nest predation and nest sites: New perspectives on old patterns. BioScience, 1993, 43(8): 523-532.
- [3] Martin T E. Breeding productivity considerations: What are the appropriate habitat features for management? // Hagan J M, Johnston D W, eds. Ecology and conservation of Neotropical Migrant Birds. Washington: Smithsonian Institution Press, 1992: 455-473.
- [4] Slagsvold T. Clutch size variation in passerine birds: The nest predation hypothesis. Oecologia, 1982, 54(2): 159-169.
- [5] Slagsvold T. Clutch size variation of birds in relation to nest predation: On the cost of reproduction. The Journal of Animal Ecology, 1984, 53(2): 945-953.
- [6] Martin T E, Scott J, Menge C. Nest predation increases with parental activity: Separating nest site and parental activity effects. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 2000, 267(1459): 2287-2293.
- [7] Lima S L. Predators and the breeding bird: behavioral and reproductive flexibility under the risk of Predation. Biological Reviews, 2009, 84(3): 485-513.
- [8] Martin T E. Avian life history evolution in relation to nest sites, nest predation and food. Ecological Monographs, 1995, 65(1): 101-127.
- [9] Martin T E. Are microhabitat preferences of coexisting species under selection and adaptive?. Ecology, 1998, 79(2): 656-670.
- [10] Weatherhead P J, Blouin-Demer G. Understanding avian nest predation: Why ornithologists should study snakes. Journal of Avian Biology, 2004, 35(3): 185-190.
- [11] Sperry J H, Cimprich D A, Peak R G, Weatherhead P J. Is nest predation on two endangered bird species higher in habitats preferred by snakes?. Ecoscience, 2009, 16(1): 111-118.
- [12] Huhta E, Jokimäki J, Helle P. Predation on artificial nests in a forest dominated landscape-the effects of nest type, patch size and edge structure. Ecography, 1998, 21(5): 464-471.
- [13] Mitrus C. A comparison of the breeding ecology of collared flycatchers nesting in boxes and natural cavities. Journal of Field Ornithology, 2003, 74(3): 293-299.
- [14] Eggers S, Griesser M, Nystrand M, Ekman J. Predation risk induces changes in nest-site selection and clutch size in the Siberian jay. Proceedings of the Royal Society of London, 2006, 273(1587): 701-706.
- [15] Czeszczewik D. Breeding success and timing of the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* nesting in natural holes and nest-boxes in the Białowieża Forest, Poland. Acta Ornithologica, 2004, 39(1): 15-20.
- [16] Deng W H, Gao W. Edge effects on nesting success of cavity-nesting birds in fragmented forests. Biological Conservation, 2005, 126(3): 363-370.
- [17] Nour N, Matthysen E, Dhondt A A. Artificial nest predation and habitat fragmentation: different trends in bird and mammal predators. Ecography, 1993, 16(2): 111-116.
- [18] Eichholz M W, Koenig W D. Gopher snake attraction to birds' nests. The Southwestern Naturalist, 1992, 37(3): 293-298.
- [19] Drees B M. Red imported fire ant predation on nestlings of colonial waterbirds. Southwestern Entomologist, 1994, 19(4): 355-359.
- [20] Stake M M, Cimprich D A. Using video to monitor predation at black-capped vireo nests. The Condor, 2003, 105(2): 348-357.
- [21] Thompson F R III, Burhans D E. Predation of songbird nests differs by predator and between field and forest habitats. Journal of Wildlife Management, 2003, 67(2): 408-416.
- [22] Stake M M, Faaborg J, Thompson F R III. Video identification of predators at Golden-cheeked warbler nests. Journal of Field Ornithology, 2004, 75(4): 337-344.
- [23] Renfrew R B, Ribic C A. Grassland passerine nest predators near pasture edges identified on videotape. Auk, 2003, 120(2): 371-383.
- [24] Thompson F R III, Dijak W, Burhans D E. Video identification of predators at songbird nests in old fields. Auk, 1999, 116(1): 259-264.
- [25] Gao X Y, Yang W K, Qiao J F, Yao J, Xu K F. Distribution and actuality of *Otis tarda* in China. Arid Zone Research, 2007, 24(2): 179-186.
- [26] Wesolowski T. Anti-predator adaptations in nesting marsh tits *Parus palustris*: the role of nest-site security. Ibis, 2002, 144(4): 593-601.
- [27] Wilcove D S. Nest predation in forest tracts and the decline of migratory songbirds. Ecology, 1985, 66(4): 1211-1214.
- [28] Martin T E. Nest predation among vegetation layers and habitat types: revising the dogmas. American Naturalist, 1993, 141(6): 897-913.
- [29] Best L B, Stauffer D F. Factors affecting nesting success in riparian bird communities. Condor, 1980, 82(2): 149-158.
- [30] Burhans D E, Dearborn D, Thompson F R III, Faaborg J. Factors affecting predation at songbird nests in old fields. Journal of Wildlife Management, 2002, 66(1): 240-249.
- [31] Powell B F, Steidl R J. Nesting habitat and reproductive success of southwestern riparian birds. Condor, 2000, 102(4): 823-831.
- [32] Weidinger K. Relative effects of nest size and site on the risk of predation in open nesting passerines. Journal of Avian Biology, 2004, 35(6): 515-523.
- [33] Thompson F R, Donovan T M, DeGraaf R M, Faaborg J, Robinson S K. A multi-scale perspective of the effects of forest fragmentation on birds in eastern forests. Studies in Avian Biology,

- 2002, 24: 8-19.
- [34] Schmidt K A, Whelan C J. Effects of exotic *Lonicera* and *Rhamnus* on songbird nest predation. *Conservation Biology*, 1999, 13(6): 1502-1506.
- [35] Klug P E, Jackrel S L, With K A. Linking snake habitat use to nest predation risk in grassland birds: The dangers of shrub cover. *Oecologia*, 2010, 162(3): 803-813.
- [36] Martin T E, Martin P R, Olson C R, Heidinger B J, Fontaine J J. Parental care and clutch sizes in North and South American birds. *Science*, 2000, 287(5457): 1482-1485.
- [37] Safriel U N. On the significance of clutch size in nidifugous birds. *Ecology*, 1975, 56(3): 703-708.
- [38] Sperry J H, Peak R G, Cimprich D A, Weatherhead P J. Snake activity affects seasonal variation in nest predation risk for birds. *Journal of Avian Biology*, 2008, 39(4): 379-383.
- [39] Martin T E, Li P J. Life history traits of open-vs. cavity-nesting birds. *Ecology*, 1992, 73(2): 579-592.
- [40] Evans M R, Lank D, Boyd W S, Cooke F. A comparison of the characteristics and fate of Barrow's Goldeneye and Bufflehead nests in nest boxes and natural cavities. *Condor*, 2002, 104(3): 610-619.
- [41] Zhang K Q, Wang H T, Zhao H, Deng Q X, Jang Y L, Zhou T, Gao W. Nest Predation of Great Tit inside nest boxes. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5391-5395.
- [42] James D K, Petrionovich L, Patterson T L. Predation of white-crowned sparrow nestlings by the western terrestrial garter snake in San Francisco, California. *Copeia*, 1983, 2(6): 511-513.
- [43] Donovan T M, Jones P W, Annand E M, Thompson F R. Variation in local-scale edge effects: mechanisms and landscape context. *Ecology*, 1997, 78(7): 2064-2075.
- [44] Major R E. Identification of nest predators by photography, dummy eggs, and adhesive tape. *Auk*, 1991, 108(1): 190-195.
- [45] Morrison S A, Bolger D T. Lack of an urban edge effect on reproduction in a fragmentation-sensitive sparrow. *Ecological Applications*, 2002, 12(2): 398-411.
- [46] Robinson W D, Robinson T R, Robinson S K, Brawn J D. Nesting success of understory forest birds in central Panama. *Studies in Avian Biology*, 2000, 31: 151-164.
- [47] Zhou Z Y, Zhou Y F. Preliminary Observations on Ecology of *Elaphe schrenckii* (Strauch). *Sichuan Journal of Zoology*, 2004, 23(3): 188-190.
- [48] Wen S S, Lü Y T. Observing the ecological habits of *Agkistrodon Qianshanensis Shedaensis*. *Journal of Liaoning University: Natural Sciences Edition*, 1995, 22(4): 68-71.
- [49] Yanes M, Suarez F. Nest predation patterns in ground-nesting passerines on the Iberian peninsula. *Ecography*, 1995, 18(4): 423-428.
- [50] Doligez B, Clobert J. Clutch size reduction as a response to increased nest predation rate in the collared flycatcher. *Ecology*, 2003, 84(10): 2582-2588.
- [51] Deng W H. Five hole nesting birds in the northeast of China. *China Nature*, 2006, (5): 54-55.
- [52] Li L, Wan D M, Liu H, Yin J X, Li Q J, Huo Y P. Nest site selection and reproductive success of *Parus varius* in man-made nest boxes. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 74921-7499.
- [53] Roper J J, Goldstein R R. A test of the Skutch hypothesis: does activity at nests increase nest predation risk? *Journal of Avian Biology*, 1997, 28(2): 111-116.
- [54] Nelson S K, Hamer T E. Nest success and the effects of predation on marbled murrelets // Ralph C J, Hunt G L, Raphael M G, Piatt J F, eds. *Ecology and Conservation of the Marbled Murrelet*. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-152. Pacific Southwest Research Station, Albany, CA, 1995: 89-97.
- [55] Christman B J, Dhondt A A. Nest predation in Black-capped Chickadees: how safe are cavity nests?. *Auk*, 1997, 114(4): 769-773.

参考文献:

- [25] 高行宜, 杨维康, 乔建芳, 姚军, 许可芳. 中国鸚类的分布与现状. 干旱区研究, 2007, 24(2): 179-186.
- [41] 张克勤, 王海涛, 赵虹, 邓秋香, 姜云垒, 周彤, 高玮. 人工巢箱条件下的大山雀巢捕食. 生态学报, 2010, 30(19): 5391-5395.
- [47] 周正彦, 周玉峰. 棕黑锦蛇 *Elaphe schrenckii* (Strauch) 生态初步观察. 四川动物, 2004, 23(3): 188-190.
- [48] 温世生, 吕永通. 蛇岛蝮蛇 (*Agkistrodon qianshanensis shedaensis*) 的生态观察. 辽宁大学学报: 自然科学版, 1995, 22(4): 68-71.
- [51] 邓文洪. 东北地区的五种洞巢鸟类. 大自然, 2006, (5): 54-55.
- [52] 李乐, 万冬梅, 刘鹤, 殷江霞, 李其久, 霍雅鹏. 人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响. 生态学报, 2011, 31(24): 7492-7499.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.5 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advance in the study on drought index LI Bozhen, ZHOU Guangsheng (1043)
- State-of-the-art review of the impact of climatic change on bioavailability of mineral elements in crops
..... LI Longqing, WU Zhengyun, ZHANG Qiang, et al (1053)
- Mechanism, hypothesis and evidence of herbivorous insect-host interactions in forest ecosystem
..... ZENG Fanyong, SUN Zhiqiang (1061)
- Approach of nematode fauna analysis indicate the structure and function of soil food web
..... CHEN Yunfeng, HAN Xuemei, LI Yufei, et al (1072)
- A spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China
..... ZHAO Liangshi, SUN Caizhi, ZHENG Defeng (1085)
- Pattern dynamics of vegetation coverage of Plateau Valley-City in the Western China; a case study in Xining
..... GAO Yun, XIE Miaomiao, FU Meichen, et al (1094)
- Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon; a case study in the
hilly and gully area of Northern Shaanxi Province ZHAO Mingyue, ZHAO Wenwu, ZHONG Lina (1105)
- Effects of *Eisenia foetida* and *Amyntas morrisi* on the chemical and biological properties of soil amended with the paper mill
sludge CHEN Xufei, ZHANG Chi, DAI Jun, et al (1114)

Autecology & Fundamentals

- Regulation of potassium supply and signal inhibitors on acetate effluxes by ectomycorrhizal fungi
..... YANG Hongjun, LI Yong, YUAN Ling, et al (1126)
- Arsenic induces guard cell death in leaf epidermis of *Vicia faba* XUE Meizhao, YI Huilan (1134)
- Identification and characteristics of phenol degrading bacteria ad049 screened from oil contaminated soil
..... HU Ting, GU Jie, ZHEN Lisha, YANG Jiu, et al (1140)
- Physiological response of *Medicago sativa* L. to copper stress by FTIR spectroscopy
..... FU Chuan, YU Shunhui, HUANG Yimin, et al (1149)
- Effects of sowing date on 2-acetyl-1-pyrroline content and yield of late season aromatic rice
..... YANG Xiaojuan, TANG Xiangru, WEN Xiangcheng, et al (1156)
- Effects of exogenous calcium (Ca) on tolerance of *Allium cepa* var. *agrogarum* L. to cadmium (Cd) stress
..... WANG Qiaoling, ZOU Jinhua, LIU Donghua, et al (1165)
- The study of *Vitex negundo* shrubs canopy biomass inversion in Beijing Jundu mountainous area based on vegetation indices
..... GAO Mingliang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1178)
- Comparison study of sulfur dioxide resistance of three warm-season turf grasses LI Xi, WANG Lihua, LIU Wei, et al (1189)
- Geostatistical analysis on spatial dynamics of the apterous *Myzus persicae* in flue-cured tobacco fields of Enshi tobacco area, China ...
..... XIA Pengliang, WANG Rui, WANG Changjun, et al (1198)
- Patterns of seed predation and removal of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) by rodents
..... ZHANG Jinghong, LIU Bingwan (1205)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of dominant
plants and soil in alpine meadow LI Qianqian, ZHAO Xu, GUO Zhenggang (1212)

- Overcompensation and competitive effects of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* after low temperature and light stresses XIE Xiaoling, ZHOU Rong, DENG Zifa (1224)

Population, Community and Ecosystem

- The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors ZHANG Lei, LI Donglai, MA Ruiqiang, et al (1235)
- Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay ZHUO Yi, CAI Lizhe, GUO Tao, et al (1244)
- The influence of variables at different scales on stream benthic macroinvertebrates in Luanhe River Basin ZHANG Haiping, WU Dayong, WANG Zhaoming, et al (1253)
- Relationships between environmental variables and seasonal succession in phytoplankton functional groups in the Hulan River Wetland LU Xinxin, LIU Yan, FAN Yawen (1264)
- Habitat assessment of sika deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, Jiangxi Province, China LI Jia, LI Yankuo, MIAO Lujun, et al (1274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation GUO Ziliang, CUI Guofa (1284)
- Response of vegetation coverage to climate change in Mongolian Plateau during recent 10 years MIAO Lijuan, JIANG Chong, HE Bin, et al (1295)
- Impact analysis of human activities and climate change on Honghu lake's spring drought LIU Kequn, LIANG Yitong, ZHOU Jinlian, et al (1302)
- Lakes evolution of central Wuhan during 2000 to 2010 DAN Yongli, WANG Hongzhi, ZHANG Huan, et al (1311)

Resource and Industrial Ecology

- The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region ... LI Fen, WU Zhifeng, XU Cui, et al (1318)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 象伟宁

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 5 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 5 (March, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元