

千岛湖片段化栖息地地栖哺乳动物的 红外相机监测及最小监测时长

徐爱春^{1,2} 斯幸峰¹ 王彦平¹ 丁平^{1*}

1(浙江大学生命科学学院, 杭州 310058)

2(中国计量学院生命科学院, 杭州 310018)

摘要: 作为典型的陆桥岛屿, 千岛湖成为检验栖息地片段化理论的自然研究平台。2011年5月1日至2014年3月31日, 我们在千岛湖32个岛屿和1个大陆对照样点布设了60台红外相机, 对千岛湖体型较大的地栖兽类及其最小监测时长进行了监测和研究。在27,798个相机日的监测中, 共获得动物影像照片23,639张, 照片清晰、可进行物种鉴定的有2,414张, 占照片总数的10.2%; 其中体型较大的地栖兽类独立照片988张, 识别为9个物种: 穿山甲(*Manis pentadactyla*)、黄麂(*Muntiacus reevesi*)、野猪(*Sus scrofa*)、华南兔(*Lepus sinensis*)、马来豪猪(*Hystrix brachyuran*)、猪獾(*Arctonyx collaris*)、鼬獾(*Melogale moschata*)、花面狸(*Paguma larvata*)和豹猫(*Prionailurus bengalensis*), 平均独立照片拍摄率为40.9%。种-面积曲线研究表明, 岛屿上的地栖兽类物种丰富度随着岛屿面积的增大而增大, 曲线的 z 值为0.27。大岛(>10 ha)中, 最小监测时长随面积增加而增加, 而小岛没有明显趋势; 最小监测时长随隔离度增加而减小, 但关系不显著($d.f. = 20, F = 3.067, P = 0.095$), 表明建湖后栖息地的片段化与岛屿化导致了一些对面积或栖息地较为敏感的大型兽类在小岛屿上的局部灭绝。因此, 我们建议对于面积较大的片段化栖息地, 红外相机应保证较长的最小监测时长, 而面积较小的片段化栖息地在监测中应根据隔离度、基质性质、物种种类适时调整调查强度, 以完整反映当地物种实际情况。

关键词: 片段化栖息地, 岛屿生物地理学, 陆桥岛屿, 地栖兽类, 监测

Camera traps and the minimum trapping effort for ground-dwelling mammals in fragmented habitats in the Thousand Island Lake, Zhejiang Province

Aichun Xu^{1,2}, Xingfeng Si¹, Yanping Wang¹, Ping Ding^{1*}

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058

2 College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018

Abstract: Sixty camera traps were set on 32 islands and one terrestrial plot in the Thousand Island Lake region from May 1, 2011 to March 31, 2014. In total, we recorded 23,639 photos that included nine species of large ground-dwelling mammals with a rate of independent photographs of 2.62%. The species-area relationship showed that species richness increased with island area (ha) with a slope, z value, of 0.27. On large islands (> 10 ha), the minimum trapping effort increased with island area. On small islands (< 10 ha), however, there was no clear pattern. The minimum trapping effort was not correlated with island isolation ($d.f. = 20, F = 3.067, P = 0.095$). Our results suggested that large ground-dwelling mammal populations have disappeared on smaller islands since the lake was formed. Based on these findings, we suggest that large MTE's are required in islands with large areas when using camera traps in a fragmented landscape. On small islands, researchers should vary trapping efforts according to the island's attributes, including species resources.

Key words: fragmented habitat, island biogeography, land-bridge islands, ground-dwelling mammals, monitoring

收稿日期: 2014-08-25; 接受日期: 2014-11-24

基金项目: 国家自然科学基金(31272325、31210103908)、中国博士后科学基金(2012M511354)和浙江省科技厅公益技术应用研究计划项目(2012C32012)

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

栖息地片段化(habitat fragmentation)被认为是导致当前生物多样性丧失的主要原因之一(McGarigal & Cushman, 2002)。栖息地片段化如何影响单一物种、物种多样性和群落组成, 已成为生态学和保护生物学领域的重要问题。这些问题的探讨通常需要对物种种群及其动态进行监测。但在野外监测中发现, 大多数大型陆栖哺乳动物由于家域面积大、警惕性高、数量稀少, 在野外很难观察到实体(Cutler & Swann, 1999; O'Connell *et al.*, 2011)。对于晨昏性及夜间活动的动物, 传统监测方法(如样线法、标记-重捕法、痕迹分析法、访问法等)有其局限与不足。红外相机(camera traps)作为一种非伤害性的野生动物监测技术, 与传统方法相比, 具有人为因素限制少、对动物影响较小、可24 h全天候持续工作等优点(Karanth & Nichols, 1998; Carbone *et al.*, 2001; Si *et al.*, 2014a), 可用于这些兽类的监测。

研究表明, 片段化栖息地中的动物群落在达到新的平衡之前会经历一个物种迁入和灭绝的过程(Ferraz *et al.*, 2003)。在这个过程中, 不同物种因对栖息地片段化敏感程度存在差异, 占据这些栖息地斑块/岛屿的程度也不同。由此产生两个假设。假设一: 较大的岛屿支持更多的物种。原因是由于目标效应(target effect), 大岛的迁入率(colonization rate)高, 同时因面积效应(area effect), 大岛的灭绝率(extinction rate)低, 使得大岛具有较多的物种数(Si *et al.*, 2014b)。另外一种可能性是: 大型兽类通常需要较大的家域, 对面积的丧失比较敏感, 栖息地片段化导致小型岛屿上的大型兽类首先消失(灭绝或迁出), 从而使大型岛屿上的物种较多, 即体现为选择性灭绝(selective extinction)的机制。假设二: 由于大岛的栖息地更为复杂, 在野外监测中发现大岛上的兽类需要较大的最小监测时长(minimum trapping effort)。最小监测时长是指在某个特定样区内红外相机记录到某种动物所需要s的最小监测强度(Yasuda, 2004; Rowcliffe *et al.*, 2008; Tobler *et al.*, 2008; Si *et al.*, 2014a), 通常以相机日(camera day)或相机月(camera month)来表示。对某种动物的监测时长如果小于最小监测时长, 则该动物很可能不被相机所记录, 反之则浪费监测资源(Si *et al.*, 2014a)。因此, 评估红外相机的最小监测时长可以使得监测计划更加有效率(MacKenzie *et al.*, 2006)。

然而, 即便是对于同一物种, 因栖息地、天气、目标动物丰富度和监测策略(如是否采用诱饵、相机间隔距离等)不同, 最小监测时长也会有很大变化(Rovero & Marshall, 2009)。如对虎猫(*Leopardus pardalis*)进行的研究表明, 最小监测时长在玻利维亚需要450相机日(Trolle & Kéry, 2003), 而在巴西需要2,280相机日(Maffei *et al.*, 2005)。

目前基于上述假设而进行的研究主要是在基质为陆地的栖息地岛屿(habitat islands)中进行的, 而在真正的岛屿栖息地中的研究尚未见报道。因建造水库而形成的陆桥岛屿(land-bridge islands)(如千岛湖), 由于形成时间一致、边缘明显、景观格局清晰、周围基质均为淡水, 成为研究栖息地片段化效应的自然研究平台(Terborgh & Feeley, 2008; Wang *et al.*, 2010)。

2011年5月1日至2014年3月31日, 我们在浙江省杭州市千岛湖岛屿中布设了60台红外相机(Ltl5210), 对地栖哺乳动物进行监测, 试图探讨下列问题:(1)面积较大的陆桥岛屿, 是否支持更多的物种?(2)随着岛屿面积的增加, 最小监测时长有什么变化趋势?

1 材料与方法

1.1 研究区概况

千岛湖位于浙江省西部淳安县境内(118°34'–119°15'E, 29°22'–29°50'N)(图1), 是1959年因建造新安江水电站筑坝蓄水而形成的人工湖, 因湖内2,500 m²以上的岛屿有1,078个而得名(Zhao *et al.*, 2009)。东西长约60 km, 南北宽约50 km, 正常水位108 m, 水面面积约573 km², 陆地面积约409 km², 蓄水量约178亿m³。千岛湖地处亚热带季风气候区的北缘, 气候温暖湿润, 四季分明, 年平均气温为17℃, 平均降水量1,430 mm, 年相对湿度76%。

千岛湖各岛屿原与邻近大陆相连, 是浙西山区的延伸部分, 未建湖之前是连续的野生动植物栖息地, 具有相同的物种库(species pool)(Wang *et al.*, 2010; Si *et al.*, 2014a)。植被类型属亚热带常绿林, 岛屿间植被类型比较一致, 其中乔木以马尾松(*Pinus massoniana*)为主, 伴随少量苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、柏木(*Cupressus funebris*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)和石栎(*Lithocarpus glabra*)等(Hu, 2011)。

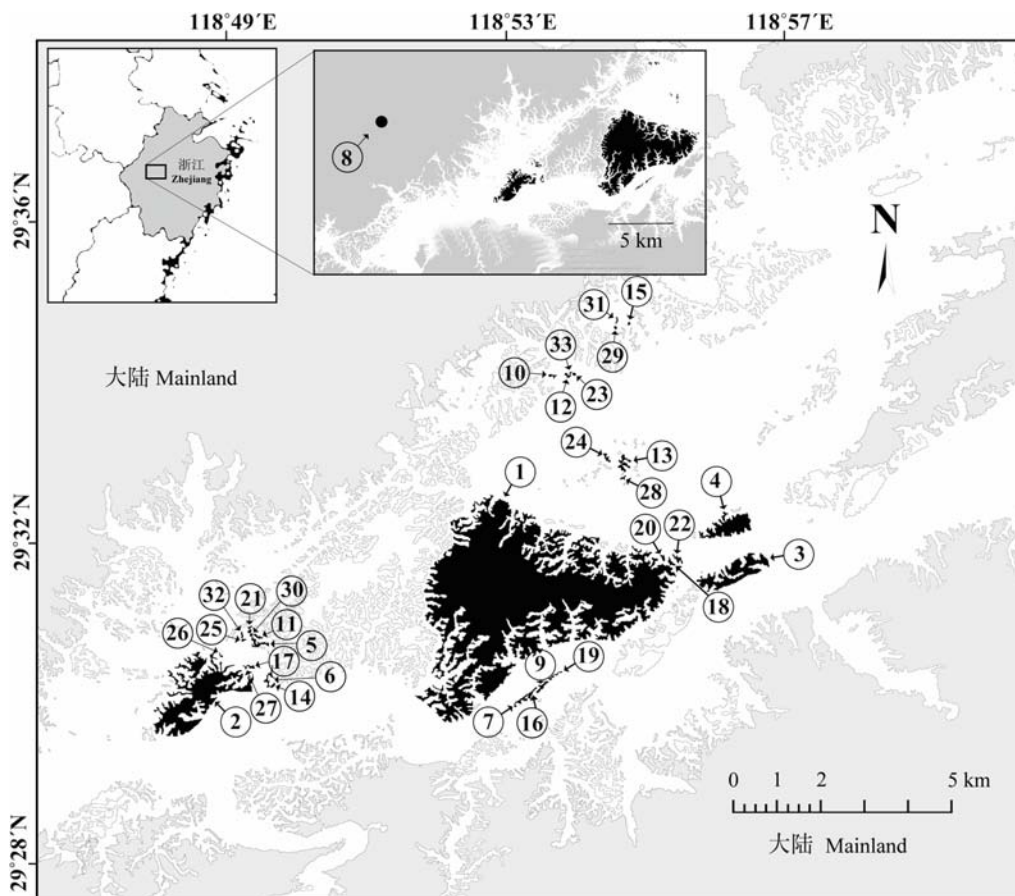


图1 千岛湖湖区以及调查样点(样点按照面积大小排序, 8号样点在近邻大陆)

Fig. 1 Thousand Island Lake in Zhejiang Province, China with 33 study sites numbered in order of decreasing area. Site 8 is on the mainland.

该地区已发现鸟类137余种, 如黑鸢(*Milvus migrans*)、白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*)、海南鵝(*Gorsachius magnificus*)、白鹇(*Lophura nycthemera*)等; 爬行类计17种, 如竹叶青(*Trimeresurus albolabris*)、银环蛇(*Bungarus multicinctus*)、石龙子(*Eumeces chinensis*)、宁波滑蜥(*Scincella modesta*)等; 小型兽类11种, 如灰麝鼯(*Crocidura attenuata*)、中华姬鼠(*Apodemus draco*)、针毛鼠(*Niviventer fulvescens*)、小泡巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*)等(李必成, 2007; 张竞成等, 2008; 赵庆洋等, 2009; 王彦平, 2010; Wang *et al.*, 2012)。大中型兽类的分布情况目前尚未见报道。

1.2 调查岛屿和大陆对照点的选择

在千岛湖人类干扰较小的西南湖区, 依据隔离度(I)(0.3–3.7 km)、岛屿面积(A)梯度变化(0.19–150 ha)选取32个人类干扰较小的岛屿作为研究地点

(图1), 各个岛屿的地理参数(表1)基于105 m水位时测量获得。同时, 在千岛湖西南端的大陆上选择植被与岛屿上相似的球三村样点(118°43' E, 29°32' N, 样点编号8)作为对照样点。

1.3 红外相机的放置与调查强度

红外相机(Lt15210)选择林木空旷处随机安放, 两两间距离依据岛屿面积而定。相隔距离在小型岛屿上至少50 m, 中型岛屿至少100 m, 大型岛屿上至少500 m。红外相机的调查强度(trapping efforts)按照调查岛屿的面积的对数值进行取样(Schoereder *et al.*, 2004), 单位为相机月, 即1台相机工作30个相机日。当岛屿面积>1,000 ha 时, 调查强度为160相机月; 100–1,000 ha 时, 调查强度为80相机月; 10–100 ha 时, 调查强度为40相机月; <10 ha 时, 调查强度约为20相机月。由于较小岛屿对湖水消落带及岛屿形状的影响比较明显, 因此在这些岛屿上, 具

表1 千岛湖湖区33个调查样点的基本参数以及各自的红外相机置放数目。其中8号样点在邻近的大陆, 其余均在岛屿上。样点按照面积从大到小排列, 编号对应于图1。

Table 1 Characteristics of the 33 study sites in Thousand Island Lake region, Zhejiang Province, China. Site 8 is located on the nearby mainland. Other sites are all on islands. Each site is numbered in order of decreasing area as in Fig. 1

样点 Site	相机数 [*] No. of cameras (n)	调查强度 Trapping efforts (Camera day/month)	大型兽类物种数 No. of mammals		面积 Area (ha)	隔离度 Isolation (m)	最小监测时长 Minimum trapping effort (Camera day)
			Observed (n)	Estimated±se(n)			
1	20	4,880/160	9	9.5±1.32	1,153.88	861.00	81
2	10	2,450/80	8	8±0	128.32	1,417.81	28
3	10	1,220/40	6	6±0	47.98	1,066.10	21
4	10	1,210/40	3	3±0	27.49	1,158.87	13
5	5	765/25	2	2±0	3.70	2,225.45	27
9	5	608/20	1	1±0	1.44	1,106.53	77
10	3	636/21	3	3±0	1.33	730.95	15
12	3	636/21	2	2±0	1.31	868.22	108
13	3	610/20	1	1±0	0.86	3,609.61	3
15	3	728/24	2	2±0	0.84	690.03	15
16	3	608/20	1	1±0	0.84	1,026.58	21
17	5	615/20	2	2±0	0.79	2,657.77	29
18	5	605/20	2	2±0	0.69	200.31	44
19	3	608/20	3	3±0	0.62	1378.00	175
20	5	605/20	2	2±0	0.62	2,333.60	61
21	5	615/20	2	2±0	0.53	1,939.94	17
22	5	605/20	2	2±0	0.46	1,982.69	5
23	3	642/21	3	3±0	0.42	1,056.16	56
25	5	615/20	1	1±0	0.36	2,227.08	62
28	3	608/20	1	1±0	0.25	3,650.55	5
31	3	547/18	1	1±0	0.14	387.10	275
33	3	636/21	1	1±0	0.08	947.67	11
8	5	615/20	6	7±0	1.50	0	27
6	5	615/20		0	2.56	2,199.38	—
11	5	615/20		0	1.32	2,121.37	—
14	5	615/20		0	0.85	2,184.55	—
26	5	615/20		0	0.29	3,073.21	—
27	5	615/20		0	0.25	2,658.07	—
30	5	615/20		0	0.19	2,137.68	—
32	5	615/20		0	0.12	2,073.07	—
7	3	608/20	—	—	2.17	998.41	—
24	3	610/20	—	—	0.39	4,075.04	—
29	3	608/20	—	—	0.19	398.18	—

* 研究后期部分相机丢失或出现故障。样点6、11、14、26、27、30和32号未拍摄到大型兽类的照片(有小型啮齿类); 7、24和29号未拍摄到任何兽类照片(仅有鸟类)。* Several cameras were lost or did not work during research period. No large ground-dwelling mammals were captured at sites 6, 11, 14, 26, 27, 30 and 32 except for some rodents, and no mammals were found at sites 7, 24 and 29 except for birds.

体的调查强度进行了相应的细微调整。

红外相机使用棉绳捆绑固定在粗细合适的树木底部, 距离地面高度约60 cm, 未使用诱饵。相机拍摄时间间隔为15 s, 灵敏度设为低。每台相机放置南孚5号一次性电池8节, SCAN 8G储存卡1张; 电池、卡每30个相机日(1个相机月)更换1次。

大陆对照样点球三村(8号)的相机放置方式为

折线放置, 相距约50 m一个, 其调查强度对照相似面积的小型岛屿(~1.5 ha), 即放置5台相机, 确定调查强度为20相机月。样线总长度约为300 m, 每个相机可监测的宽度约50 m。

1.4 数据分析

1.4.1 独立照片(independent photograph)

夜间红外相机以黑白照片的形式记录动物的

影像。尽管食虫目鼯鼠类、啮齿目多种鼠类在夜间也能被红外相机记录到,但由于其个体小、影像黑暗,不能被准确鉴定。因此,本研究只分析在黑白影像里易被鉴定的地栖哺乳动物(ground-dwelling mammals, 下文简称地栖兽类) (Tobler *et al.*, 2008)。同时,由于动物个体在红外相机监测区域内觅食或者行走过程中会持续触发红外相机,并连续拍摄多张照片(Kauffman *et al.*, 2007),我们把同一个相机同种物种相隔30 min以上的照片认为是独立照片(O'Brien *et al.*, 2003)。

本研究选择的33个样点中(图1, 表1),有7个岛屿(6、11、14、26、27、30和32号)未拍摄到大型兽类的照片(有小型啮齿类),有3个岛屿(7、24和29号)未拍摄到任何兽类照片(仅有鸟类),故在数据分析中,只包括拍摄到大型兽类的22个岛屿和1个大陆对照样点(表1)。

1.4.2 稀疏曲线(species rarefaction curves)

对于每一个研究样点,我们利用R语言vegan程序包中的specaccum命令对地栖兽类群落进行稀疏分析(rarefaction analysis),并产生物种稀疏曲线,以此得到种-调查强度关系(species-trapping-effort relationship) (Si *et al.*, 2014b)。本研究的稀疏分析中的抽样单位为1个相机日。

稀疏分析是在较大的样本量中随机重复抽取一小部分的样本,并预测小样本中的物种丰富度(Simberloff, 1978; James & Rathbun, 1981)。稀疏分析可以对不同取样强度的数据进行有效的标准化,使之具有可比性(Gotelli & Colwell, 2001)。因此,对于样点*i*,物种稀疏曲线所表示的物种丰富度(species richness, S_i)与相机日(D_i)之间的关系为:

$$S_i = f(D_i) \quad (1)$$

我们定义常见物种(common species)为在所有调查样点中拍摄到的独立照片中所占比例超过1%的物种。样点*i*的常见物种数所占比例以 p_i 表示:

$$p_i = S_i / S_{\max i} \quad (2)$$

其中 $S_{\max i}$ 表示一个调查样点中的所有兽类物种数目。我们使用vegan包中的specpool命令计算某个特定岛屿上观察到的及未观察到的物种的丰富度(Colwell & Coddington, 1994; Gotelli & Graves, 1996)。 $S_{\max i}$ 按照某一物种库中的物种丰富度进行推算后得到:

$$S_{\max i} = S_{\text{obsi}} + \frac{a_{i1}^2}{2a_{i2}} \quad (3)$$

其中 S_{obsi} 为样点*i*中观察到的物种丰富度(observed species richness), a_{i1} 和 a_{i2} 分别为样点*i*中物种只出现在1个或者2个相机监测点的物种丰富度(Chao, 1987)。然后利用公式1替换公式2中的 S_i ,得到:

$$f(D_i) = p_i \times S_{\max i} \quad (4)$$

按照各个岛屿的 p_i 值,我们通过物种稀疏曲线获得各个样点的最小监测时长(Si *et al.*, 2014b)。

1.4.3 最小监测时长

最小监测时长类似于植被群落学中的最小取样面积,可以认为是特定群落的“属性”,并不会随取样策略、取样强度变化而变化。对于本研究的每个岛屿(样点),最小监测时长并不会因为相机布局、相机数量和持续工作时间变化而变化。在本研究中,栖息地片段化后大部分岛屿面积为~1 ha,因此诸多岛屿在调查期间发现的物种均为常见物种(猪獾(*Arctonyx collaris*)、鼬獾(*Melogale moschata*)、华南兔(*Lepus sinensis*)或野猪(*Sus scrofa*)),而且物种丰富度较低(1-2种)。在这些较小岛屿上,植被主要为马尾松林,生境比较单一(Hu *et al.*, 2011)。去除小岛边缘等不适宜兽类居住的消落带及裸岩等栖息地后,可利用的岛屿面积更为狭小,因此在置放相机达到20个相机月之后,对于大中型兽类而言,调查强度已经足够充分(Si *et al.*, 2014a),故无需继续推算未被发现的物种数。因此,对于这些较小岛屿样点,我们直接计算从相机置放之日起到拍摄到所有物种所需的时间。然后对实际观察到的数据按照时间序列进行随机化,并重复该随机过程1,000次,得到平均时长并取整后即为该样点的最小监测时长。

本研究的所有分析均在R 3.0.0(R Development Core Team, 2014)中完成。

2 结果

2.1 基本结果

野外调查期间(27,798个相机日)红外相机共获得动物影像照片23,639张,照片清晰、可进行物种鉴定的有2,414张,占照片数的1.04%;其中地栖兽类的独立照片988张,识别为9个物种即穿山甲(*Manis pentadactyla*)、黄麝(*Muntiacus reevesi*)、野猪、华南兔、马来豪猪(*Hystrix brachyuran*)、猪獾、

鼬獾(*Melogale moschata*)、花面狸(*Paguma larvata*) 和豹猫(*Prionailurus bengalensis*)(表2), 平均独立照片拍摄率为40.9%。

2.2 种-面积曲线

岛屿上的大型兽类物种丰富度随着岛屿面积的增大而增大, 表明较大岛屿具有更多的物种数(图2)。千岛湖岛屿大型兽类种-面积曲线的 z 值为0.27。图2中黑色的实心圆点表示大陆的监测样点, 对比于相似面积的岛屿(~1.5 ha), 大陆上的大型兽类物种数约为岛屿上的3倍(表1), 表明建湖后栖息地的减小可能导致了一些对面积或栖息地较为敏感的大型兽类在岛屿上逐渐消失。

2.3 最小监测时长

如表1所示, 除了岛1-3及8号陆地样点, 通过推算得到的总体物种丰富度与实际调查的物种数基本一致, 表明本研究的总体调查强度已经足够发现调查样点中的大型兽类。对于岛1-3和8号陆地样点, 图3表明随着调查强度的增加, 4个样点的物种稀疏曲线都已经渐趋平缓, 亦表明调查强度已经充分。

各个样点的最小监测时长如表1所示: 大岛(> 10 ha)中, 最小监测时长随面积增加而增加, 而小岛没有明显趋势(图4A)。最小监测时长随隔离度(岛

屿边缘距大陆的最近距离)增加而减小, 但相关不显著($d.f. = 20, F = 3.067, P = 0.095$) (图4B)。

3 讨论

在千岛湖西南湖区, 我们使用60台红外相机对32个岛屿及1个大陆样点的动物进行了近3年的监测, 共发现体型较大的地栖兽类9种。我们的结果显示岛屿上的地栖兽类物种丰富度随着岛屿面积的增大而增大, 最小监测时长与岛屿面积成正相关, 而与隔离度相关关系不显著, 但有随着隔离度的增加而减少的趋势。

3.1 为什么大岛上的大型地栖兽类多?

千岛湖陆桥岛屿原为连成一片的山脉, 因修建水库水位上移而形成岛屿, 因此各岛屿形成时间及周围基质一致。32个监测岛屿中有10个未曾记录到任何体型较大的地栖兽类, 原因可能是大型兽类对家域面积、栖息地异质性要求高, 在水库建成、栖息地片段化后对面积的丧失表现敏感, 因此首先在较小岛屿上消失, 而在较大岛屿上继续存活, 从而表现出选择性灭绝机制。如泰国的Chiew Larn水库在建成25年后, 兽类接近于完全灭绝, 剩下的仅有入侵种马来鼠(*Rattus tiomanicus*) (Gibson *et al.*, 2013)。

表2 千岛湖湖区红外相机监测地栖兽类的基本结果
Table 2 Summary of ground-dwelling mammal species detected by camera traps in Thousand Island Lake region, China

目/科 Order/Family	种名 Species	总照片数 No. of photos	独立照片数 Independent photograph	所占比例* %
鳞甲目 Pholidota				
鯮鲤科 Manidae	1 穿山甲 <i>Manis pentadactyla</i>	5	3	60.0
兔形目 Lagomorpha				
兔科 Leporidae	2 华南兔 <i>Lepus sinensis</i>	366	157	42.9
啮齿目 Rodentia				
豪猪科 Hystricidae	3 马来豪猪 <i>Hystrix brachyuran</i>	1	1	100
食肉目 Carnivora				
鼬科 Mustelidae	4 猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>	268	132	49.3
	5 鼬獾 <i>Melogale moschata</i>	922	365	39.6
灵猫科 Viverridae	6 花面狸 <i>Paguma larvata</i>	55	34	61.8
猫科 Felidae	7 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	20	10	50
偶蹄目 Artiodactyla				
猪科 Suidae	8 野猪 <i>Sus scrofa</i>	331	112	33.8
鹿科 Cervidae	9 黄鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	446	174	39.0
	合计	2,414	988	40.9

* 所占比例为独立照片数除以总照片数 The proportion indicates the ratio of the number of individual photographs to the number of record photographs.

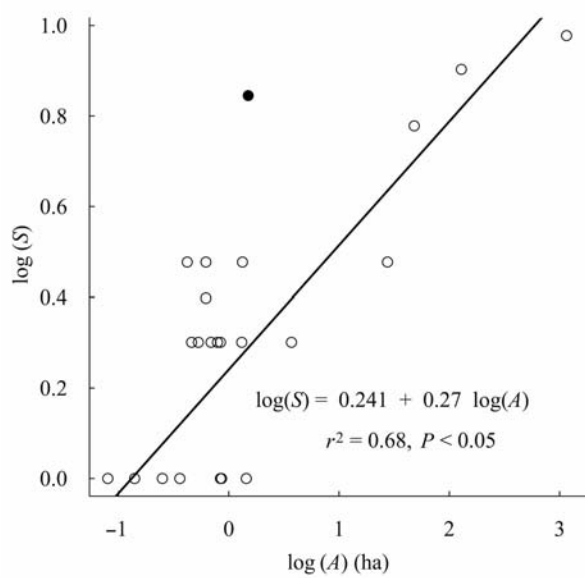


图2 千岛湖湖区调查岛屿上的大型兽类种-面积曲线。黑色实心点表示大陆样点(仅供对照)。缩写: S: 物种丰富度; A: 岛屿面积。
Fig. 2 The species-area relationship of large mammal communities on 32 study islands in Thousand Island Lake. Black circle indicates the site on the mainland (for comparison). Abbreviations: S, Species number; A, Island area.

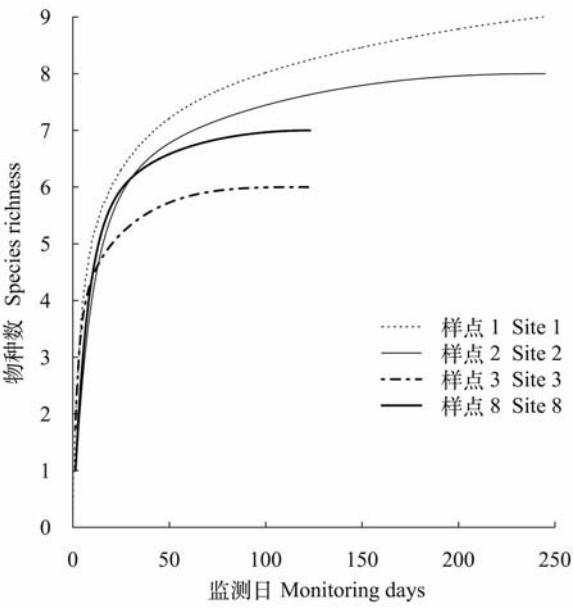


图3 千岛湖湖区部分样点(1, 2, 3和8号)的物种稀疏曲线。监测日表示1个样点中所有相机工作1天。
Fig. 3 Rarefaction curves of large mammal communities on sites 1, 2, 3 and 8 in Thousand Island Lake region. Monitoring day represents all cameras on a site monitoring one day.

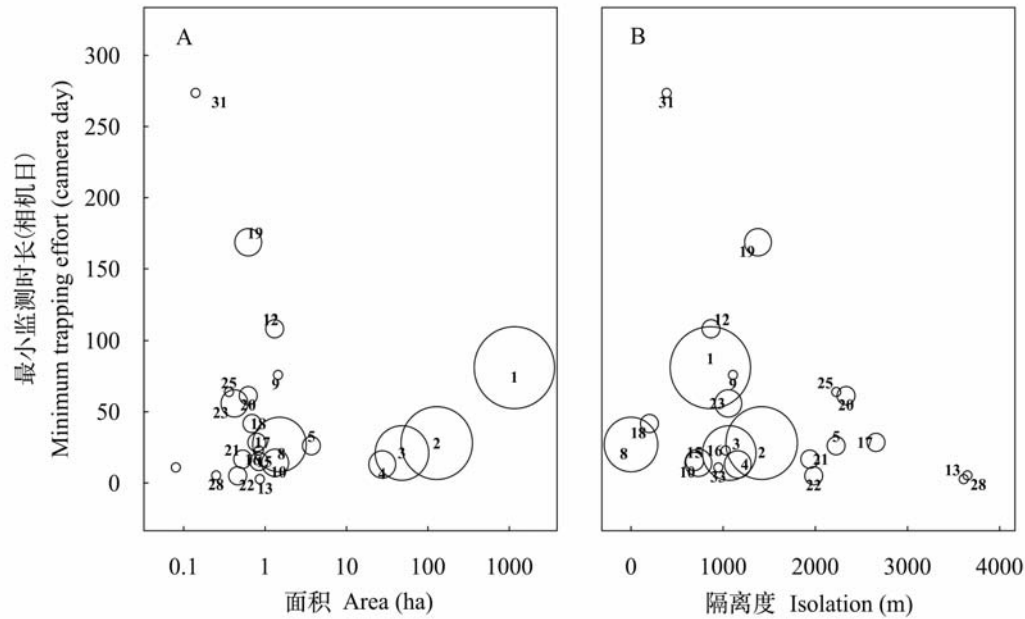


图4 千岛湖湖区大型兽类群落在不同样点间最小监测时长与岛屿面积和隔离度的关系。圆圈的大小表明该样点的大型兽类物种丰富度。样点编号对应于图1。
Fig. 4 Relationships between minimum trapping efforts and island areas and isolations, respectively, on islands and mainland of larger mammal communities in Thousand Island Lake region. The size of each circle indicates the number of species on each site. Site numbers follow Fig. 1.

Ferraz等(2003)的研究也表明, 在面积为1,000 ha的岛屿上, 大型兽类50年后即基本灭绝。千岛湖西南湖区只有界首岛(样点编号1)面积超过1,000 ha, 并且千岛湖建湖至今已有近55年, 据此推测小岛上体型较大的地栖兽类均已局部灭绝(local extinction)。

作为对照的大陆球三村样点, 其植被、气候与岛屿相似。我们在2个月时间内即记录到了7种大型地栖兽类, 具有比相近面积岛屿(1.5 ha)更为丰富的物种多样性, 说明栖息地片段化在一定程度上限制了动物的扩散, 并加速了大型地栖兽类的灭绝速率。

3.2 不同面积、隔离度岛屿的最小监测时长

面积在10 ha以上的岛屿, 随着面积的增加, 地栖兽类的个体数量增多, 拍摄概率增加, 最小监测时长相应增加; 而在面积不足10 ha的小岛上, 最小监测时长并没有如预期那样随着岛屿面积的减少而减少, 最小监测时长超过100相机日的情况都发生在小岛屿上。虽然小岛屿不适合大型兽类长期居留, 但由于千岛湖各岛屿间的隔离度较小(最大3,650 m, 最小200 m), 部分体型较大的地栖兽类可以浮水在岛屿间扩散。若想监测到这些扩散而来的兽类, 需要较长的最小监测时长。

隔离度越大的岛屿, 最小监测时长越小。可能的解释是间隔太远的岛屿(隔离度超过3 km)限制了兽类扩散, 使它们的分布较集中。此外, 地栖兽类在小岛屿上的频繁活动, 增加了被相机拍摄到的概率, 从而缩短了最小监测时长。

3.3 结论

随着人类对野生动物栖息地的不断干扰、破坏和侵占, 越来越多的野生动物栖息地片段化、岛屿化, 对其中的野生动物, 尤其是敏感性较高、体型较大的地栖兽类进行长期的种群及数量监测越来越重要。但传统监测方法不易监测到实体, 红外相机具有人为因素限制少、可24 h全天候持续工作等优点, 已被广泛应用于野生动物种群监测、多样性调查、种群密度评估等研究和保育工作。

对于面积较大的片段化栖息地, 我们建议红外相机应保证较大的最小监测时长, 而面积较小的片段化栖息地在监测中应根据隔离度、基质性质、物种种类适时调整调查强度。

致谢: 千岛湖界首林场全体职工、章庙元等船工及徐美凤女士等为野外工作提供了大量帮助, 特此

致谢!

参考文献

- Carbone C, Christie S, Conforti K, Coulson T, Franklin N, Ginsberg JR, Griffiths M, Holden J, Kawanishi K, Kinnaird M, Laidlaw R, Lynam A, Macdonald DW, Martyr D, McDougal C, Nath L, O'Brien T, Seidensticker J, Smith DJL, Sunquist M, Tilson R, Wan Shahruddin WN (2001) The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals. *Animal Conservation*, **4**, 75–79.
- Chao A (1987) Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*, **43**, 783–791.
- Colwell RK, Coddington JA (1994) Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **345**, 101–118.
- Cutler TL, Swann DE (1999) Using remote photography in wildlife ecology: a review. *Wildlife Society Bulletin*, **27**, 571–581.
- Ding Z, Feeley KJ, Wang Y, Pakeman RJ, Ding P (2013) Patterns of bird functional diversity on land-bridge island fragments. *Journal of Animal Ecology*, **82**, 781–790.
- Ferraz G, Russell GJ, Stouffer PC, Bierregaard RO, Pimm SL, Lovejoy TE (2003) Rates of species loss from Amazonian forest fragments. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **100**, 14069–14073.
- Gibson L, Lynam AJ, Bradshaw CJA, He F, Bickford DP, Woodruff DS, Bumrungsri S, Laurance WF (2013) Near-complete extinction of native small mammal fauna 25 years after forest fragmentation. *Science*, **341**, 1508–1510.
- Gotelli NJ, Colwell RK (2001) Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, **4**, 379–391.
- Gotelli NJ, Graves GR (1996) *Null Models in Ecology*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Hu G (胡广) (2011) *Multi-Scale Effects of Habitat Loss and Fragmentation on Plant Species Diversity: A Case Study in the Thousand Island Lake* (生境丧失和片段化对植物物种多样性的多尺度影响: 以千岛湖陆桥岛屿为例). PhD dissertation, Zhejiang University, Hangzhou. (in Chinese with English abstract)
- Hu G, Feeley K, Wu J, Xu G, Yu M (2011) Determinants of plant species richness and patterns of nestedness in fragmented landscapes: evidence from land-bridge islands. *Landscape Ecology*, **26**, 1405–1417.
- James FC, Rathbun S (1981) Rarefaction, relative abundance, and diversity of avian communities. *Auk*, **98**, 785–800.
- Karanth KU, Nichols JD (1998) Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, **79**, 2852–2862.
- Kauffman MJ, Sanjayan M, Lowenstein J, Nelson A, Jeo RM, Crooks KR (2007) Remote camera-trap methods and analyses reveal impacts of rangeland management on Namibian carnivore communities. *Oryx*, **41**, 70–78.

- MacArthur RH, Wilson EO (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- MacKenzie DI, Nicholas JD, Royle JA, Pollock KH, Bailey LL, Hines JE (2006) *Occupancy Estimation and Modeling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Academic Press, Amsterdam.
- McGarigal K, Cushman SA (2002) Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, **12**, 335–345.
- O'Connell AF, Nichols JD, Karanth KU (2011) *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses*. Springer-Verlag, New York.
- O'Brien TG, Kinnaird MF, Wibisono HT (2003) Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, **6**, 131–139.
- R Development Core Team (2014) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org> (Accessed 2014.11.26).
- Rosenzweig ML (1995) *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Rowcliffe JM, Field J, Turvey ST, Carbone C (2008) Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, **45**, 1228–1236.
- Schoereder JH, Galbati C, Ribas CR, Sobrinho TG, Sperber CF, DeSouza O, Lopes-Andrade C (2004) Should we use proportional sampling for species–area studies? *Journal of Biogeography*, **31**, 1219–1226.
- Si X, Kays R, Ding P (2014a) How long is enough to detect terrestrial animals? Estimating the minimum trapping effort on camera traps. *PeerJ*, **2**, e374.
- Si X, Pimm SL, Russell GJ, Ding P (2014b) Turnover of breeding bird communities on islands in an inundated lake. *Journal of Biogeography*, **41**, 2283–2292.
- Simberloff D (1978) Use of rarefaction and related methods in ecology. In: *Biological Data in Water Pollution Assessment: Quantitative and Statistical Analyses* (eds Dickson TL, Cairns J Jr, Livingston R), pp. 150–165. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Tobler MW, Carrillo-Percegue SE, Leite Pitman R, Mares R, Powell G (2008) An evaluation of camera traps for inventorying large- and medium-sized terrestrial rainforest mammals. *Animal Conservation*, **11**, 169–178.
- Wang Y, Zhang M, Wang S, Ding Z, Zhang J, Sun J, Li P, Ding P (2012) No evidence for the small-island effect in avian communities on islands of an inundated lake. *Oikos*, **121**, 1945–1952.
- Wu AL (武阿莉), Chen P (陈鹏), Zhang XF (张晓峰) (2014) Shooting rate of *Catopuma temminckii* by auto-induction infrared camera and estimation of population density in Changqing Nature Reserve. *Shaanxi Forest Science and Technology* (陕西林业科技), (1), 22–24. (in Chinese with English abstract)
- 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.
- Zhang SS (章书声) (2013) *Infrared-triggered Camera Technology in the Investigation of Mammals in Gutianshan National Nature Reserve* (红外触发相机技术在古田山兽类资源监测中的应用). Master dissertation, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang. (in Chinese with English abstract)
- Zhao QY (赵庆洋), Bao YX (鲍毅新), Sun B (孙波), Zhang LL (张龙龙), Hu ZY (胡知渊) (2009) Community distribution pattern and the affecting factors of small mammals in Qiandao Lake, Zhejiang. *Zoological Research* (动物学研究), **30**, 671–678. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 蒋学龙 责任编辑: 时意专)