

DOI: 10.5846/stxb201804270953

黄华苑, 卜荣平, 谢海, 侯绍兵, 武正军. 猫儿山小鲵 (*Hynobius maoershanensis*) 繁殖期的生境选择. 生态学报, 2019, 39(17): - .
Huang H Y, Bu R P, Xie H, Hou S B, Wu Z J. Habitat selection by *Hynobius maoershanensis* during its breeding period. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(17): - .

猫儿山小鲵 (*Hynobius maoershanensis*) 繁殖期的生境选择

黄华苑^{1,2}, 卜荣平², 谢海², 侯绍兵², 武正军^{1,2,*}

1 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西师范大学, 桂林 541004

2 广西珍稀濒危动物生态学重点实验室, 广西师范大学, 桂林 541004

摘要:在广西猫儿山自然保护区的山顶湖、三江源、野人湖等地区, 基于植被类型、水体类型、岸边条件、卵袋悬挂物、水中覆盖物、人为干扰程度等 20 种生境因子, 通过 61 个样方 (26 个选择样方和 35 个对照样方), 对猫儿山小鲵繁殖期的生境选择进行了研究, 并得出以下 4 个主要结论: (1) 在基于描述型生态因子的研究中, 结果显示选择样方与对照样方在水体类型、岸边条件、水中覆盖物 3 种因子上差异显著, 而植被类型、卵袋悬挂物、人为干扰程度 3 种生态因子对其生境选择无显著影响。 (2) 基于 14 种数值型生态因子的研究结果显示, 选择样方和对照样方间的植被盖度、水体面积、水体流速和水底泥沙比方面具有显著差异。植被盖度较低、水体面积较大的水域、水体流速低和水底泥沙比较低的水域是猫儿山小鲵的优选繁殖地。 (3) 基于 14 种数值型生态因子的逐步判别表明, 通过植被盖度和水底泥沙比 2 个生态因子可分辨选择样方和对照样方, 正确判别率达 80.3%, 且对于检验也具有最大的贡献值, 分别为 0.840 和 0.622。 (4) 对猫儿山小鲵卵袋对数和 14 种数值型生态因子的逐步回归分析结果显示猫儿山小鲵在繁殖期生境选择与地表湿度显著正相关, 与植被盖度呈显著负相关, 高地表湿度和低植被盖度对猫儿山小鲵的产卵量起促进作用。猫儿山小鲵繁殖期间偏好的微生境为较低植被盖度、较大面积水体和较低流速、低水底泥沙、多水中覆盖物、复杂岸边条件的静水型水塘, 与选择偏好的微生境相关的生态因子是猫儿山小鲵繁殖期生境选择的主要因子。
关键词:猫儿山小鲵; 繁殖期; 生境选择; 生境特征

Habitat selection by *Hynobius maoershanensis* during its breeding period

HUANG Huayuan^{1,2}, BU Rongping², XIE Hai², HOU Shaobing², WU Zhengjun^{1,2,*}

1 Key Laboratory of Rare and Endangered Animal and Plant Ecology and Environmental Protection, Ministry of Education, Guangxi Normal University, Guilin 541004

2 Guangxi Key Laboratory of Rare and Endangered Animal Ecology, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

Abstract: Habitat selection by *Hynobius maoershanensis* was performed during the reproductive period in Maoershan Natural Reserve in Guangxi, including Peak Lake, Three Rivers, and Savage Lake. Sixty-one plots were randomly set up, with egg bags for the selected plots and no egg bags for the control plots, to survey 20 types of habitat factors (e.g., temperature and humidity, vegetation type, vegetation coverage, water area, water depth, water type, bottom sand ratio, and human disturbance). (1) The results of 6 descriptive ecological factors revealed significant differences among 3 factors (shore condition, water cover, and water body) for selecting quadrats and control plots and no significant differences in the other 3 ecological factors (vegetation type, degree of human disturbance, and egg bag suspension). (2) The results of 9 factors with abnormal distribution showed that vegetation coverage, water-sediment ratio, water flow rate, and water area were

基金项目:国家自然科学基金 (31860609); 广西自然科学基金 (2015GXNSFAA139066, 2018GXNSFAA138114); 广西师范大学博士科研启动基金 (2016BQ001)

收稿日期: 2018-04-27; 网络出版日期: 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wu_zhengjun@aliyun.com

significantly different between the selected quadrats and control plots, indicating that *H. maoershanensis* favored lower vegetation cover, lower water sediment, lower water velocity, and larger water body area to lay eggs. (3) The stepwise discrimination of 14 numerical ecological factors showed that the correct discrimination rate for the selected quadrats and control plots by vegetation coverage (largest contribution, 0.840) and sediment concentration (second largest contribution, 0.622) was 80.3%. (4) Stepwise regression analysis of the number of egg bags and 14 types of ecological factors showed a significant positive correlation between the selected habitat and surface humidity for *H. maoershanensis* and a significant negative correlation with vegetation cover. The high surface humidity and low vegetation coverage promoted the spawning capacity of *H. maoershanensis*. In conclusion, the micro-habitat preferred by *H. maoershanensis* is a hydrostatic pond with low water velocity, low vegetation coverage, large amount of water cover, relatively low sediment concentration, complex shore condition, and large water area, which act as the main factors for habitat selection during the breeding period of *H. maoershanensis*.

Key Words: *Hynobius maoershanensis*; breeding season; habitat selection; habitat characteristic

动物的生境选择指动物权衡各种生存条件、综合多种生态因子、选择最适合其生存的栖息环境的过程,包括获得食物、休息场所、繁殖条件、迁移或躲避敌害等^[1]。动物的生境选择是动物根据生存条件、环境因子等综合决定所形成的最终结果^[1-2]。例如,在生境因子的不断变化过程中,多数野生动物都具有根据需要综合诸如温度、湿度、食物、天敌等各种环境因子变化所得出的固定繁殖期,体现了动物在时间尺度上的动态生境选择^[3]。据研究,快速选择和基于综合分析之后的更深的抽样选择是动物在生境选择中所采用的两种模式^[4]。伴随着研究的发展,动物的生境选择行为的特定内在规律得到了很大的发展,包括 Lawlor 提出的个体非密度制约的生境选择理论^[6]、Macarthur 等提出的最适生境选择理论^[5]、Rosenzweig 等提出的两个物种或种群密度制约的生境选择理论^[8]、Holt 提出的种内竞争下的生境选择理论^[7]等。基于这些理论,在两栖类(凹耳蛙 *Odorrana tormota*^[9]、蝾螈 *Speleomantes strinatii* 和 *Salamandrina perspicillata*^[10])、鸟类(骨顶鸡 *Fulica atra*^[11]、白颈长尾雉 *Syrnaticus ellioti*^[12]、栗斑腹鹑 *Emberiza jankowskii*^[13]、鹌科 *Pycnonotidae*^[14])、兽类(驯鹿 *Rangifer tarandus*^[15]、藏獭 *Meles leucurus*^[16])等动物中得到了广泛的运用和验证。

由于独特的生活类型和扩散能力,两栖类动物对生存条件、环境因子具有较强的依赖性,如温度、湿度、水体、植被盖度、酸碱度、隐蔽场所、离水源距离等,而两栖动物的生存、繁殖和种群动态稳定的关键因素就是适宜的环境条件^[17]。正因为如此,栖息地破碎化和斑块化所带来的栖息地质量的下降对两栖动物具有极其严重的影响,如分布范围逐渐缩小、种群遗传多样性持续下降、种群衰退^[18-22]。鉴于两栖动物对生境的选择具有很强的目的性,它们的生境选择与其个体发育、生活习性、形态特征等因素表现除了一定程度的适应性^[20,23]。因此,针对两栖动物的生存条件、环境因子等生境因子的研究在揭示两栖动物的生境选择的一般规律方面具有重大意义。目前,关于两栖动物生境选择研究涉及了多个动物类群,主要包含有尾类和无尾类^[9,24-39],例如,在若尔盖湿地自然保护区分布的高原林蛙(*Rana kukunoris*)、倭蛙(*Nanorana pleskei*)和岷山蟾蜍(*Bufo minshanicus*)的生境选择研究中,结果显示主要夏季生境选择因子为地表温度、草本高度、地表湿度等因素^[24];浙江安吉龙王山自然保护区分布的安吉小鲵(*Hynobius amjiensis*)的生境选择研究表明,繁殖期的安吉小鲵对温湿度、人为干扰和食物因素具有选择性^[35];分布于若尔盖高寒湿地的高原林蛙,在繁殖期间趋向于选择具有较大的空气湿度、较高温度的微生境^[36];在湖南莽山国家级自然保护区宜章臭蛙(*Odorrana yizhangensis*)与花臭蛙(*R. schmackeri*)繁殖期在产卵场的生境选择研究得出,这两个物种在活动时间、活动范围、植被类型等多个生态因子差异显著,有效的规避种间竞争^[39];在皖南地区凹耳臭蛙的生境选择及人为干扰强度研究中,显示其对乔木、灌木丛、草本植物、岩石、沙滩和倒伏朽木等不同生境的选择具有显著差异,草本植物和灌丛是优选的生境类型^[9]。由此可见,两栖动物对生境的选择,在时间和空间尺度上表现出很大的差异。而决定其生境类型的选择则取决于多种环境因子,如温湿度、植被盖度、植被类型、离水源距

离等^[21-22]。作为对于环境变化十分敏感的两栖类动物,它的生存、繁殖和种群动态稳定的关键因素体现在生活、繁殖时的适宜环境条件、人为干扰程度等因子的选择^[17]。因此,针对两栖动物的生境选择的深入研究,能够更好的体现两栖动物偏好生境的变化规律,对野生动物保护及生境管理的具有重大意义。

由于人为干扰和全球气温变暖,小鲵科动物的种群数量急剧下降,生存环境恶化,生境整体呈现出破碎化、斑块化特征,导致在斑块化的区域内小鲵科动物具有较高的种群密度,而食物、生存空间的需求导致种内竞争的加剧。另外,斑块间种群的基因流减少,也会导致动物类群面临着巨大的生存和繁殖压力。为了详细了解小鲵科动物的生存现状及精确制定保护策略,针对小鲵科物种生境选择特征也展开了一些研究^[35,40-41]。例如,王宏元对小鲵科 10 个物种的生境选择特征的研究结果显示得出大部分的小鲵科物种都面临着巨大的生存压力,为渐危物种^[42]。猫儿山小鲵(*Hynobius maoershanensis*)隶属于小鲵科小鲵属,体型较大,背部黑色,仅分布于广西地区的猫儿山海拔 1950—2000 m 左右的高山沼泽周围地带^[43]。据研究,猫儿山小鲵产卵期为当年 11 月初至次年 2 月^[43]。在非繁殖期间,猫儿山小鲵多见于水体边的洞穴或枯枝落叶中,行动十分隐蔽;而在繁殖期,猫儿山小鲵会聚集于附近的水体中进行交配产卵。鉴于此,针对猫儿山小鲵的相关研究相对有限,尤其是体现在繁殖生态学和种群生态学方面。另一方面,在江建平等的研究中指出广西两栖动物受威胁率高达 39.2%^[44],猫儿山小鲵位于广西地区,其种群数量极低,被列为濒危物种^[40,45]。因此,针对猫儿山小鲵这种濒危物种,进一步的种群生态学、生存状况以及受胁因素的方面研究需亟待展开,为更好地制定猫儿山小鲵的保护和管理措施,本文对广西猫儿山自然保护区的山顶湖、三江源、野人湖等地区的猫儿山小鲵繁殖期间的生境特征及选择状况进行了相对较为深入的研究。

1 研究区域概况

广西猫儿山国家级自然保护区(110°19′—110°31′E,25°44′—25°58′N)位于广西东北部的兴安、资源和龙胜 3 个县内,为漓江、资江、浔江的源头地区,与长江、珠江水系均有连接。该地区主峰猫儿山海拔高 2141.5 m,为典型的亚热带山地气候,年平均温度为 12.8℃,年均降水量 2546.0 mm,空气湿度平均 92%,霜冻期约 95 d。由于该地区特殊的地理与气候环境,广西猫儿山国家级自然保护区目前仍保存相对较好的原始森林植被和较高的生物多样性。

2 研究方法

目前,在广西猫儿山自然保护区,猫儿山小鲵仅发现于三江源、野人湖和山顶湖 3 个主要区域(110°24′—110°26′E;25°52′—25°53′N),海拔为 2000 m 左右的沼泽地、静水池塘。该区域内的主要植被类型为竹林、山顶矮林、南方铁杉林。鉴于猫儿山小鲵主要生境特点,在发现卵袋的水体区域随机设置 10 m×10 m 的大样方,再从每个大样方中选取 1 m×1 m 的小选择样方和对照样方;为丰富研究数据,对部分面积不足 100 m²水域则直接进行选择样方及对照样方的设置。本研究共设置了 26 个选择小样方和 35 个对照样方。研究中,结合此前的研究方法^[9,24-25,34-35],选取植被类型、水体类型、岸边条件、卵袋悬挂物、水中覆盖物、人为干扰程度等 20 种生境因子(6 种描述型生态因子和 14 种数值型生境因子)来探讨猫儿山小鲵繁殖期间对生境的选择^[46]。在这些因子中,描述性变量的等级划分主要基于前人研究的方法以及结合野外调查;非描述性变量则以实测数值作为指标。研究中,数据分析均基于 SPSS 18.0 和 Excel 2007 两个软件。在该研究中,20 种生境因子的数据采集及简单方法描述如下^[46]:

(1) 植被类型:依据该生境植被的特点划分 3 类:1) 乔木,2) 竹林,3) 山顶矮林。

(2) 水体类型:划分为 2 类:1) 静水,2) 流水(以集水区作为研究范围)。

(3) 岸边条件:通过目测,根据样方中溪沟两侧微生境基质复杂程度(如落叶、石缝、遮蔽物等的多少)划分为三个等级:1) 较复杂,2) 中等复杂,3) 较简单。

(4) 卵袋悬挂物:猫儿山小鲵卵带主要附着于水底或者岸边的枯枝、石块等。本研究将卵带悬挂物分为

三个方面:1)没有,2)少量(数目小于5个,或者小于样方大小的30%),3)大量(数量大于等于5,或体积大于样方大小的30%)。

(5)水中覆盖物:水中覆盖物的多少与猫儿山小鲵的繁殖、捕食、躲避敌害等行为密切相关。本研究中,根据观察小样方内水底覆盖物覆盖水体面积和复杂程度,划分为3个等级:1)没有,2)少量,3)大量。

(6)人为干扰程度:人为干扰程度与诸多因素相关,如行人、环境破坏等。本研究中,主要针对人为活动对猫儿山小鲵的栖息环境所带来的影响或人为活动所遗留的痕迹。根据小样方内人为活动对产卵场的影响程度,划分为3个等级:1)较低程度人为干扰,2)中等程度人为干扰,3)较高程度人为干扰。

(7)海拔(m):用GPS直接测量海拔高度。

(8)地表温度(℃):用温湿度计直接测定。

(9)地表湿度(%):用温湿度计直接测定。

(10)水体温度(℃):用温度计测量水体温度。

(11)水体酸碱度:用PH计测量样方水体的PH。

(12)植被盖度:据植物树冠在样方内所占比例,估测样方内植被盖度,其表示形式为百分比。

(13)植被高度(m):针对样方内能够用卷尺测量、高度适中的所有植被,根据卷尺实测高度得出整体植被的平均高度;针对部分高度太高难以测量的植被根据比例估算其高度,再计算整体植被的平均高度。

(14)水体面积(m²):将不规则水域根据规则几何图形将其规则化,再采用用100 m皮尺测量并估算小样方所在水体的面积。其中,流水区的面积以集水区的面积为准。

(15)水体深度(cm):根据卷尺实测小样方内的平均水体深度。

(16)水体流速(m/s):用流速仪直接测量。

(17)水底泥沙比(%):根据小样方内水底的泥质和沙质土壤所覆盖的面积与样方面积的比例,估算其百分比。

(18)岸边坡度(°):根据罗盘测量实测值记录小样方周边坡度。

(19)距景点距离(m):旅游景点的人为活动对野生动物具有深远的影响。因此,本研究中,用100 m皮尺实测小样方到最近的旅游景点的直线距离,从而进一步评价人为活动对猫儿山小鲵的繁殖行为的影响。

(20)距道路距离(m):用100 m皮尺实测样方到最近的道路的直线距离。

本研究,利用卡方检验分析探讨6种描述型生态因子(植被类型、水体类型、岸边条件、卵袋悬挂物、水中覆盖物、人为干扰程度)在选择样方和对照样方中的差异。对植被盖度、地表湿度、水底泥沙比3个百分数型因子先作反正弦函数转换为角度型变量用于后面的分析;用非参数检验中的单个样本Kolmogorov-Smirnov Test 检验海拔、地表温度、地表湿度、水体温度、水体酸碱度、植被盖度、植被高度、水体面积、水深、水体流速、泥沙比、岸边坡度、距景点距离、距道路距离这14种数值型生态因子的数据是否呈正态分布,对符合正态分布的数据用T-test 检验选择样方与对照样方的差异。而对于不符合正态分布的用非参数检验中Mann-Whitney U Test 检验选择样方与对照样方的差异^[41]。研究中,对这14种数值型生态因子中不符合正态分布的数据先进行标准化^[47],然后采用逐步判别分析进行分析,以确定影响猫儿山小鲵繁殖期生境选择的关键因子。最后,采用逐步回归的方式分析各生境因子与卵袋对数之间的关系。

3 结果

3.1 差异性检验

此次共调查61个样方,包括26个选择样方和35个对照样方。对猫儿山小鲵繁殖期生境选择的20类生境因子进行差异性检验,其中对6种描述型生态因子进行卡方检验,对14种数值型生态因子进行T-test。在基于6种描述型生境因子的生境选择结果显示,选择样方与对照样方在岸边条件($X^2 = 12.768$, $DF = 2$, $P = 0.002 < 0.01$)、水中覆盖物($X^2 = 7.366$, $df = 2$, $P = 0.025 < 0.05$)、水体类型($X^2 = 6.753$, $DF = 1$, $P = 0.009 < 0.01$)

3 个因子上差异显著,而在植被类型 ($X^2 = 4.473, DF = 2, P = 0.107$)、人为干扰程度 ($X^2 = 0.212, DF = 2, P = 0.889$)、卵袋悬挂物 ($X^2 = 3.708, DF = 2, P = 0.157$) 3 种生态因子上没有显著的差异性。

14 种数值型生境因子结果如表 1 所示,选择样方与对照样方在水体流速 ($P = 0.004$)、植被盖度 ($P = 0.000 < 0.05$)、水底泥沙比 ($P = 0.001 < 0.05$)、水体面积 ($P = 0.000 < 0.05$) 这 4 种生境因子上差异显著,而在地表温度、地表湿度、水温、水体酸碱度、水体深度、距景点距离、距道路距离、海拔、植被高度、岸边坡度这 10 种生态因子无显著性差异。差异性检验结果表明,猫儿山小鲵对于植被盖度、水底泥沙比等 7 种具有显著性差异的生境因子具有选择性,而对于植被类型、水深等 13 种没有显著性差异的生境因子没有选择性。

表 1 猫儿山小鲵繁殖期选择样方与对照样方 14 个数值型变量生态因子的比较

Table 1 Comparison of 14 numeral ecological factors between selected samples of *Hynobius maoershanensis* and comparing samples in breeding period

生境因子 Ecological factors	选择样方 Selected sample Mean±SD	对照样方 Comparing sample Mean±SD	<i>T</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
地表温度 Surface temperature/℃	7.450±1.9265	6.703±1.7659	1.572		0.121
地表湿度 Surface humidity/%	77.0462±12.78437	79.3483±8.41406	-0.486		0.630
水温 Water temperature/℃	5.8123±2.23849	4.8320±1.64641	1.972		0.053
水体酸碱度 Water pH	5.3146±0.37504	5.0714±0.61669	1.906		0.062
水深 Depth of water/cm	28.8308±19.28806	23.0829±14.14674	1.344		0.184
距景点距离 Distance from scenic spot/m	35.42±44.801	40.83±39.656		-1.215	0.224
海拔 Altitude/m	1998.42±26.346	1993.06±19.808		-0.287	0.774
水体流速 Velocity of water/(m/s)	0.00135±0.003888	0.00906±0.11924		-2.877	0.004
水底泥沙比 Percentage of sand/%	20.96±29.190	60.00±41.142		-3.459	0.001
距道路距离 Distance from road/m	36.69±47.629	34.11±49.834		-0.250	0.803
植被盖度 Vegetation coverage/%	27.69±33.711	70.86±25.480		-4.426	0.000
植被高度 Vegetation coverage/m	3.038±1.3633	3.637±1.8205		-1.266	0.206
水体面积 Water area/m ²	591.385±810.675	249.943±643.4078		-4.366	0.000
岸边坡度 Slope of bank/(°)	25.688±24.2795	25.214±19.1143		-0.573	0.567

3.2 逐步判别分析

逐步判别结果表明,判别特征值为 0.748,方差百分比 100%,方差累计比也为 100%,正则相关系数 0.654,只有一个判别函数,Wilks' Lambda 值分别为 0.655 和 0.572,精确 *F* 检验的统计量分别为 31.143 和 21.695,并得到极显著的支持 ($P < 0.001$)。结果表明,判别函数 $F = 0.965 \times \text{植被盖度} + 0.614 \times \text{泥沙比} + 0.000$,Wilks' Lambda 值为 0.572,卡方统计量为 32.394,得到了极显著支持 ($P < 0.001$),证明了该判别函数的有效性。由判别函数可知“植被盖度”和“水底泥沙比”变量是影响猫儿山小鲵的重要因素。在繁殖期,通过植被盖度和水底泥沙比两个生态因子分辨选择样方和对照样方的正确判别率高达 80.3%。如表 2 所示,植被盖度和水底泥沙比的差异检验的相伴概率 $P < 0.001$,表明这两组在各个指标上存在显著差异,可以进行判别分析。植被盖度和水底泥沙比对于检验具有较大的贡献值,分别为 0.840 和 0.622。结果表明,与对照样方相比,猫儿山小鲵繁殖期倾向于选择植被盖度较低、水体流速较低、水底泥沙比较低、水体面积较大的生境进行产卵。

3.3 单因素分析和逐步回归分析

通过对猫儿山小鲵卵袋对数和各个数值型生态因子之间进行单因素分析,结果如下所示(表 3)。通过对猫儿山小鲵卵袋对数和各个数值型生境因子之间进行逐步回归分析。单因素分析结果表明,植被盖度、水体面积、地表湿度和水温这 4 个生境因子具有显著差异性 ($P < 0.05$),说明猫儿山小鲵对于这 4 种生境具有选择性。根据逐步回归结果,建立逐步回归方程: $F = 160.254 \times \text{地表湿度} - \text{植被盖度} \times 29.527 - 124.304$ 。由回归方程可以看出,猫儿山小鲵在繁殖期生境选择与地表湿度显著正相关,与植被盖度呈显著负相关,*F* 统计量为 13.374,并得到显著性支持 ($P < 0.05$)。由该结果可知,猫儿山小鲵选择的生境是地表湿度较高、植被盖度较低

的场所产卵。

表 2 逐步判别分析结果
Table 2 The result of stepwise discriminant analysis

生境因子 Ecological factors	Wilks 统计量 Wilks' lambda	F	结构矩阵 Structure matrix	P
海拔 Altitude/m	0.986	0.826	0.840	0.367
植被盖度 Vegetation coverage/%	0.655	31.143	0.622	0.000
植被高度 Vegetation coverage/m	0.967	1.982	-0.581	0.164
水体面积 Water area/m ²	0.946	3.364	-0.493	0.072
水体流速 Velocity of water/(m/s)	0.855	10.041	-0.460	0.002
水底泥沙比 Percentage of sand/%	0.776	17.054	0.358	0.000
岸边坡度 Slope of bank/(°)	1.000	0.007	-0.288	0.932
距景点距离 Distance from scenic spot/m	0.996	0.248	-0.243	0.620
距道路距离 Distance from road/m	0.999	0.041	-0.215	0.839
地表温度 Surface temperature/°C	0.960	2.471	0.184	0.121
地表湿度 Surface humidit/%y	0.996	0.265	0.174	0.609
水温 Water temperature/°C	0.938	3.890	-0.137	0.053
水体酸碱度 Water pH	0.949	3.165	-0.118	0.080
水深 Depth of water/cm	0.970	1.806	-0.099	0.184

表 3 猫儿山小鲵的生境因子单因素相关及逐步回归分析结果
Table 3 Results of Pearson regression and stepwise mulpleregressions for *Hynobius maoershanensis*

生境因子 Ecological factors	单因素分析 Pearson regression		逐步回归 Stepwise mulpleregressions	
	F	Sig.	回归系数 B	P
海拔 Altitude/m	1.710	0.073	0.088	0.420
植被盖度 Vegetation coverage/%	3.362	0.001	-0.312	0.002
植被高度 Vegetation coverage/m	0.706	0.801	-0.045	0.479
水体面积 Water area/m ²	1.847	0.048	-0.175	0.062
水体流速 Velocity of water/(m/s)	0.486	0.960	0.001	0.989
水底泥沙比 Percentage of sand/%	0.906	0.585	-0.155	0.075
岸边坡度 Slope of bank/(°)	0.644	0.858	-0.059	0.433
距景点距离 Distance from scenic spot/m	1.448	0.156	0.085	0.369
距道路距离 Distance from road/m	1.079	0.407	0.150	0.102
温度 Surface temperature/°C	1.667	0.082	-0.034	0.768
湿度 Surface humidity/%	2.644	0.004	0.015	0.891
水温 Water temperature/°C	2.720	0.003	-0.090	0.356
水体酸碱度 Water pH	0.556	0.924	0.071	0.287
水深 Depth of water/cm	0.812	0.690	0.024	0.735

4 讨论

4.1 繁殖期生境选择

自然条件下,对特定生境的选择是动物权衡各种资源之后做出趋利避害的决定,选择适宜的生境有利于物种生存^[1]。对动物的栖息地特征及其生境选择策略的深入了解,是制定科学有效的保护策略重要的理论基础和依据,同时能够有效的避免由于人为活动对动物的生存和繁衍所造成的不良影响^[48]。在我们的研究中,针对猫儿山小鲵繁殖期间的生境选择作了深入的研究,评价了影响其生境选择的主要因素,以下为基于猫儿山小鲵的生理、行为特性和环境的特点对其生境选择各因子的详细分析^[46]:

首先,研究中指出猫儿山小鲵倾向于选择水中覆盖物多、水底泥沙比低和岸边条件复杂的静水型水域产

卵。根据研究经验可知,在这类生境中,小型无脊椎水生生物较多,比如蚯蚓和石蛾幼体,能够为猫儿山小鲵幼体提供丰富的食物,从而提高发育时期的幼体成活率,增加繁殖回报。另一方面,鉴于对外界的干扰十分敏感,猫儿山小鲵遇到灯光、声音和拨水等干扰时会迅速选择覆盖物或者腐殖质泥土作为藏身地。再者,为在繁殖期具有护卵行为的猫儿山小鲵雄性提供更好的躲避天敌的场所。从卵袋的安全性方面考虑,在静水型水域,由于水体晃动等较少,对卵袋损伤的风险较小,从而能够有效减少由于水体流动对繁殖过程造成的影响,进一步降低猫儿山小鲵的繁殖风险。

其次,鉴于目前的研究结果表明小鲵产卵场在人为干扰程度、植被类型因素上选择无显著差异。这一结果可能提示由于野人湖、状元桥、山顶湖等主要产卵场均是旅游景点、景区用水水库,对猫儿山小鲵的产卵场造成了强烈干扰。鉴于猫儿山小鲵对选择产卵场的条件苛刻,限制其产卵场分布范围,导致其无法选择其他未受人为干扰程度、植被类型影响的产卵场。另一方面,猫儿山小鲵也可能表现出对不影响栖息环境变化的人为干扰不敏感,同时,由于猫儿山小鲵产卵场所选择的产卵场为大型的静水型水体,周围的植被类型相对复杂,而不同繁殖点之间的植被类型很难体现出差异。

再者,猫儿山小鲵对于产卵场的水深具有相对较低的选择性。猫儿山小鲵具有两种产卵模式:卵袋悬挂于覆盖物和直接产于水体底泥。卵袋的悬挂能够有效防止水体晃动等对卵袋造成的损伤;水体底泥中腐殖质较多,具有很强的缓冲作用,也能够减少因为摩擦、水体晃动等原因导致的卵袋损伤。根据监测结果,第一种产卵模式的产卵场主要位于水体深度在 15—40 cm,有较多利于其产卵的悬挂物,包括枯枝、石块等;第二种模式的产卵场,水体深度与卵袋直径基本一致,保持在 6—8 cm 之间,水体晃动、摩擦明显小于水体深度较大区域。这两种模式都能够极大的保证后代的成活率。

再次,猫儿山小鲵产卵场倾向于选择大型水体或者沼泽地,或者选择距离大型水体较近的静水型水体,这是权衡繁殖场所和捕食风险的综合选择。河流和大型水体有较多的取食两栖类卵袋和蝌蚪的天敌,包括肉食性鱼类和水体周边水鸟^[49-50]。猫儿山小鲵选择大型水体,有利于小鲵幼体的发育,小鲵卵孵化和幼体生活与水密切相关,而大型水域是长期性水域,可以保证猫儿山小鲵的水环境需求。另一方面,大型的静水域或者附近有大型水域的水体能为产卵结束后的猫儿山小鲵提供较多的隐蔽场所,最大限度的降低被捕食的风险,降低繁殖成本。

最后,植被盖度、水底泥沙比是猫儿山小鲵繁殖期生境选择的重要生境因子。猫儿山小鲵作为变温动物,环境温度和水质制约其分布,盖度较低的植被能够为产卵场提供较为充足的光照,提高地表温度和水体温度,利于满足产卵时所需的温度条件,一定程度上反映了猫儿山对产卵场温度具有严格选择性。另一方面,泥沙比较低、腐殖质较多的水底为更多的无脊椎水生生物提供栖息场所,为猫儿山小鲵提供充分的食物保障。

综合分析结果,为了有效的提高自身的繁殖成功率、规避被捕食风险等,猫儿山小鲵更偏好选择的微生境是较低植被盖度、较大面积水体、较低流速、低水底泥沙、较低植被盖度、多水中覆盖物、低水底泥沙、复杂岸边条件的静水型水塘,而这些生态因子也是猫儿山小鲵繁殖期生境选择的主要因素,为后期猫儿山小鲵的保护策略的制定提供可靠的研究基础。

4.2 保护策略

近些年,研究表明栖息地的片段化与丧失导致两栖动物的种群数量下降的一个重要原因^[51]。生境的破碎化会导致连续大种群的隔离,从而形成隔离小种群,影响种群间的扩散与基因流,进而导致种群的适应性和遗传多样性下降^[18]。例如,人为修筑截水渠、水坝等,使得两栖动物原来固有的栖息地面积的减少或者增多,且引起栖息地内水位的季节性变化,从而导致两栖动物停止繁殖或者阻碍幼体发育和迁移^[52-53]。在本研究中,针对猫儿山小鲵生境选择的结果显示,较低植被盖度、较大面积水体和较低流速、低水底泥沙、较低植被盖度、多水中覆盖物、低水底泥沙、复杂岸边条件的静水型水塘是其繁殖期生境选择的主要因子。且证明了广西猫儿山自然保护区的山顶湖、三江源、野人湖等地区的猫儿山小鲵分布的范围相对较小,且适宜其繁殖的静水塘数量及面积占有比例相对较小。因此,通过保护具有上述几个特点的静水型水塘能够对该物种的保护起到

很重要的作用。然而,伴随着旅游开发和环境资源的过度利用,栖息环境的恶化直接导致猫儿山小鲵种群数量的下降,影响生存与繁殖。例如在沼泽区域的人工道路对猫儿山小鲵各产卵场之间的交流造成了严重的阻碍,进一步造成其生境的极端破碎化。同时,人为活动的增加对林下、水环境中猫儿山小鲵也造成严重的威胁。

综上所述,针对该物种的保护可以体现在以下三个方面^[46]:(1)以猫儿山小鲵繁殖场为中心,在其周边建立保护该物种的核心区域,并设置密度适宜的动态观测站,以期获得实时的种群动态数据,从而为该区域内减少人为活动作指导,避免对其繁殖区域产生干扰和破坏;(2)增强对猫儿山小鲵已经被破坏的生境进行修复,为其增加适宜的栖息地面积;(3)加强针对猫儿山小鲵的繁殖生态学和种群生态学多方面研究,包括野外调查和实验室研究,补充该物种的种群生态学和繁殖生态学研究的基础性资料,为其生存现状、活动特点、人工繁殖等方面制定切实可行的保护策略。

参考文献(References):

- [1] 颜忠诚, 陈永林. 动物的生境选择. 生态学杂志, 1998, 17(2): 43-49.
- [2] 魏辅文, 冯祚建, 王祖望. 野生动物对生境选择的研究概况. 动物学杂志, 1998, 33(4): 48-52.
- [3] Hutto R L. Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds//Cody M L, ed. Habitat Selection in Birds. London: Academic Press, 1985: 455-476.
- [4] Johnson D H. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. Ecology, 1980, 61(1): 65-71.
- [5] MacArthur R, Recher H, Cody M. On the relation between habitat selection and species diversity. The American Naturalist, 1966, 100(913): 319-332.
- [6] Rosenzweig M L. On the evolution of habitat selection. Proc Int Congr Ecol 1st, 1974: 401-404.
- [7] Holt R D. Population dynamics in two-patch environments; some anomalous consequences of an optimal habitat distribution. Theoretical Population Biology, 1985, 28(2): 181-208.
- [8] Lawlor L R, Smith J M. The coevolution and stability of competing species. The American Naturalist, 1976, 110(971): 79-99.
- [9] 冯骏, 张继辉, 疏义林, 姚龙, 唐鑫生, 吴海龙. 皖南凹耳臭蛙地理分布格局与生境选择. 生态学报, 2015, 35(17): 5638-5647.
- [10] Sebastiano S, Antonio R, Fabrizio O, Dario O, Roberta M. Different season, different strategies: feeding ecology of two syntopic forest-dwelling salamanders. Acta Oecologica, 2012, 43: 42-50.
- [11] 肖玥, 赵晨皓, 刘伟, 吴永杰, 冉江洪. 若尔盖湿地骨顶鸡的繁殖生态及适应性探讨. 四川动物, 2017, 36(2): 217-222.
- [12] 刘鹏, 张微微. 官山自然保护区白颈长尾雉季节性生境选择. 生态学报, 2017, 37(18): 6005-6013.
- [13] 陈乐勇, 张立世, 吴慧, 秦博, 李时, 姜云奎. 放牧干扰对栗斑腹鸨繁殖的影响. 东北林业大学学报, 2017, 45(5): 96-100.
- [14] 丁虎林, 张航, 陈旭才, 刘伟, 李凯, 石永志, 唐思贤. 浙江天童三种鹌科鸟类栖息地利用和季节变化. 复旦学报: 自然科学版, 2013, (6), 737-745.
- [15] 葛小芳, 孟凡露, 王朋, 盛岩, 王卫平, 冯金朝, 薛达元, 孟秀祥. 大兴安岭驯鹿(*Rangifer tarandus*)的春季生境选择. 生态学报, 2015, 35(15): 5000-5008.
- [16] 李路云, 杨会涛, 滕丽微, 刘振生. 张广才岭藏獭洞穴生境选择. 生态学报, 2015, 35(14): 4836-4842.
- [17] Wilen B O, Frayer W E. Status and trends of U.S. wetlands and deepwater habitats. Forest Ecology and Management, 1990, 33-34: 181-192.
- [18] Hitchings S P, Beebe T J C. Loss of genetic diversity and fitness in common toad (*Bufo bufo*) populations isolated by inimical habitat. Journal of Evolutionary Biology, 1998, 11(3): 269-283.
- [19] 周洲, 谢锋, 江建平, 郑中华. 两栖动物种群衰退研究进展. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 128-132.
- [20] 周立志, 宋榆钧, 田蕴. 长春市南湖公园两栖类的生境选择和营养生态的初步研究. 淮北煤师院学报, 1998, 19(1): 64-70.
- [21] Anderson A M, Haukos D A, Anderson J T. Habitat use by anurans emerging and breeding in Playa Wetlands. Wildlife Society Bulletin, 1999, 27(3): 759-769.
- [22] Parris K M. Distribution, habitat requirements and conservation of the cascade treefrog (*Litoria pearsoniana*, Anura: Hylidae). Biological Conservation, 2001, 99(3): 285-292.
- [23] 周伟, 李明会. 鲢科鱼类多样性与栖境的关系. 云南农业大学学报, 2006, 21(6): 811-815, 830-830.
- [24] 戴建洪, 戴强, 张明, 张晋东, 李成, 刘兵, 刘志军, 王跃招. 若尔盖湿地自然保护区三种无尾两栖类夏秋季生境选择. 动物学研究, 2005, 26(3): 263-271.
- [25] 罗玉梅, 朴正吉, 王卓聪, 王超, 睢亚橙. 长白山两栖类繁殖期路域水生境选择性分析. 四川动物, 2015, 34(4): 559-564.

- [26] 吴迪, 岳峰, 罗祖奎, 王天厚. 上海大莲湖湖泊湿地两栖动物群落分布及生境选择模式. 复旦学报: 自然科学版, 2011, 50(3): 268-273.
- [27] 周绍春, 孟根同, 尹远新, 杨娇, 于洪伟, 任梦飞, 刘浩. 完达山东部林区生境特征对东北林蛙产卵的影响. 生态学报, 2016, 36(9): 2521-2527.
- [28] Keating K A, Cherry S. Use and interpretation of logistic regression in habitat-selection studies. Journal of Wildlife Management, 2004, 68(4): 774-789.
- [29] Garnham J I, Stockwell M P, Pollard C J, et al. Winter microhabitat selection of a threatened pond amphibian in constructed urban wetlands. Austral Ecology, 2015, 40(7): 816-826.
- [30] Sanuy D, Joly P. Olfactory cues and breeding habitat selection in the natterjack toad, *Bufo calamita*. Amphibia-Reptilia, 2009, 30(4): 555-559.
- [31] Burger R M, Boylan J, Aucone B M. The effects of phototaxis and thigmotaxis on microhabitat selection by a caecilian amphibian (genus *Ichthyophis*). The Herpetological Journal, 2007, 17(1): 19-23.
- [32] 庾太林, 张良建, 刘晓辉, 吴云韩. 广西北部湾海陆交错带两栖动物对生境的选择. 四川动物, 2013, 32(6): 883-888.
- [33] Hairston N G. An experimental test of a guild: salamander competition. Ecology, 1981, 62(1): 65-72.
- [34] Keen W H. Habitat selection and interspecific competition in two species of plethodontid salamanders. Ecology, 1982, 63(1): 94-102.
- [35] 叶林骏. 安吉小鲵生存现状及其繁殖期生境特征研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2012.
- [36] 齐银, Felix Z, 戴强, 王勇, 杨勇, 王波, 王跃招. 若尔盖高寒湿地高原林蛙繁殖后期运动、家域和微生境选择. 动物学报, 2007, 53(6): 974-981.
- [37] 鲍方印, 高国富, 王松, 崔峰, 康健. 鹞落坪自然保护区文县疣螈的生境选择和食性分析. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2012, 46(2): 208-213.
- [38] 王松, 鲍方印, 戚永跃, 徐景霞. 鹞落坪自然保护区商城肥鲵的资源分布及生境选择. 氨基酸和生物资源, 2009, 31(1): 4-7, 12-12.
- [39] 费冬波. 湖南莽山国家级自然保护区宜章臭蛙与花臭蛙繁殖期的生境选择与种群动态研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.
- [40] 郭克疾. 挂榜山小鲵的繁殖生态学研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2006.
- [41] 姜雅凤, 王丽文, 阎学林, 卜宁. 千山地区东北小鲵的生态资料. 四川动物, 1987, 6(3): 32-34.
- [42] 王宏元, 柴丽红, 李忻怡, 张育辉. 中国 11 种有尾两栖动物生存状况的统计评估. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2010, 38(2): 73-75, 82-82.
- [43] 周放, 蒋爱伍, 蒋得斌. 中国两栖类一新种(有尾目, 小鲵科). 动物分类学报, 2006, 31(3): 670-674.
- [44] 江建平, 谢锋, 臧春鑫, 蔡蕾, 李成, 王斌, 李家堂, 王杰, 胡军华, 王燕, 刘炯宇. 中国两栖动物受威胁现状评估. 生物多样性, 2016, 24(5): 588-597.
- [45] 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴. 四川科学技术出版社, 2012.
- [46] 卜荣平. 猫儿山小鲵(*Hynobius maoershanensis*)繁殖行为和繁殖期生境选择研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2017.
- [47] 武正军, 戴冬亮, 宁加佳, 黄乘明, 于海. 广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异. 生态学报, 2012, 32(15): 4691-4699.
- [48] 石玉帛. 崇明地区无尾两栖类现状分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2018.
- [49] Pilliod D S, Peterson C R. Local and landscape effects of introduced trout on amphibians in historically fishless watersheds. Ecosystems, 2001, 4(4): 322-333.
- [50] 张迎梅, 阮禄章, 董元华, 龚钟明, 李运东, 王辉, Mauro F. 无锡太湖地区夜鹭及白鹭繁殖生物学研究. 动物学研究, 2000, 21(4): 275-278.
- [51] Alford R A, Richards S J. Global amphibian declines: a problem in applied ecology. Annual Review of Ecology and Systematics, 1999, 30: 133-165.
- [52] 余志伟, 邓其祥, 吴毅, 周材权, 李操, 陈秀眉, 苏舟, 陈德川, 刘继东. 二滩水电站的兴建对陆生脊椎动物的影响及对策. 四川师范学院学报: 自然科学版, 1998, 19(1): 129-134.
- [53] Karsen S J, Lau M W N, Bogadek A. Hong Kong Amphibians and Reptiles. 2nd ed. Hong Kong, China: Provisional Urban Council, 1998.