

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.06.003

彭希文, 陶家成, 陈光凤, 等. 巫山巴鲩野外种群的栖息地微生境偏好研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(6): 25-33.

## 巫山巴鲩野外种群的栖息地 微生境偏好研究

彭希文, 陶家成, 陈光凤, 胡亿丰, 苏胜齐, 赵天

西南大学 水产学院, 重庆 400715

**摘要:** 巫山巴鲩(*Liua shihi*)是国家二级重点保护野生动物,但面临栖息地丧失、生境破碎化等威胁。因此,解析巫山巴鲩野外种群的栖息地微生境偏好,能对该物种开展更有针对性的保护工作。2023年4-5月在重庆市城口县、巫溪县、巫山县以及湖北省神农架林区的14条森林溪流开展了野外调查工作,总共设置了34个有巫山巴鲩分布的样方和26个无巫山巴鲩分布的对照样方,并测定了每个样方的14个微生境因子。结果显示:巫山巴鲩野外种群倾向于选择沙基质较多的区域,回避或不选择卵石、石块与砾石较多的区域。分布样方和对照样方的水体叶绿素a、水体溶解氧、水体浊度、河宽、水体电导率和水温具有显著差异,而气温、海拔、水体流速、植被覆盖度、空气湿度、河深和水体pH值没有显著差异。其中,水温是巫山巴鲩野外种群数量最重要的预测因子,其次是水体pH值、海拔和河深。

**关键词:** 两栖动物; 微生境选择; 栖息地保护; 野外调查

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2025)06-0025-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Microhabitat Preferences of the Wild Population of *Liua shihi*

PENG Xiwen, TAO Jiacheng, CHEN Guangfeng,

HU Yifeng, SU Shengqi, ZHAO Tian

College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400715, China

**Abstract:** *Liua shihi* is a national second-class protected wild animal, but it faces threats such as habitat loss and fragmentation. Therefore, understanding the microhabitat preferences of *Liua shihi*'s wild popu-

收稿日期: 2024-12-27

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32370553); 重庆思沃生态环境科技有限责任公司两栖类调查项目(M2024027); 重庆市水产科技术创新联盟项目(CQFTIU2022-18)。

作者简介: 彭希文, 讲师, 主要从事动物学研究。

通信作者: 赵天, 副教授, 硕士研究生导师。

lations is crucial for more targeted conservation efforts for this species. To address this problem, a field survey was conducted between April and May of 2023 in 14 forest streams located in Chengkou, Wuxi, Wushan counties in Chongqing, and Shennongjia in Hubei Province. A total of 34 quadrats with *Liua shihi* distribution and 26 control quadrats without *Liua shihi* were established, and 14 microhabitat factors were measured in each quadrat. The results showed that wild populations of *Liua shihi* tended to choose areas with more silt substrates and avoided or did not choose areas with more rubble, rock and gravel substrates. Significant differences were observed in water chlorophyll a, dissolved oxygen, turbidity, river width, conductivity and water temperature between *Liua shihi* distribution quadrats and control quadrats, whereas no significant differences were found in air temperature, altitude, water velocity, vegetation cover, air humidity, river depth and water pH. Among these factors, water temperature was the most important predictor for the abundance of wild *Liua shihi* populations, followed by water pH, altitude and river depth.

**Key words:** amphibian; microhabitat selection; habitat conservation; field survey

近年来,随着人类活动的加剧,地球面临着日益严重的生态危机。由人类活动带来的生境退化和破碎化、气候变化、环境污染、病原体感染等,已经对生物多样性造成了不容忽视的威胁<sup>[1-2]</sup>。在所有的生物类群中,两栖动物的受胁程度最高,亟待开展相关保护研究工作<sup>[3]</sup>。在诸多威胁之中,生境退化或丧失被认为是全球两栖动物所面临的主要挑战之一<sup>[4]</sup>。特别对两栖类中的有尾目物种来说,其生殖周期比其他物种更长,扩散能力普遍偏弱,对新环境的适应能力较差,且种群数量减少后恢复周期更长,因此更容易受到生境退化和破碎化等因素的影响<sup>[5]</sup>。根据对中国两栖动物濒危程度进行的多次统计分析显示,有尾目的受威胁程度高于无尾目和蚓螈目<sup>[6]</sup>。在这一背景下,于 2021 年颁布的新版《国家重点保护野生动物名录》,已经把安吉小鲵(*Hynobius amjiensis*)、中国小鲵(*Hynobius chinensis*)、镇海棘螈(*Echinotriton chinhaiensis*)等 7 种有尾两栖类列为国家一级重点保护野生动物,把新疆北鲵(*Ranodon sibiricus*)、西藏山溪鲵(*Batrachuperus tibetanus*)、金佛拟小鲵(*Pseudohynobius jinpo*)等 57 种有尾两栖类列为国家二级重点保护野生动物<sup>[7]</sup>。

巫山巴鲵(*Liua shihi*)也于 2021 年被列为国家二级重点保护野生动物,其隶属于小鲵科(Hynobiidae)巴鲵属(*Liua*),在世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)的濒危等级为易危(Vulnerable, VU<sup>[8]</sup>)。据历史记载,巫山巴鲵广泛分布于我国四川省东部、重庆市、湖北省西部和陕西省南部,其主要栖息生境位于海拔 900~2 350 m 的山区<sup>[8]</sup>。成鲵主要以毛翅目等水生昆虫及其幼虫和虾类、藻类为食<sup>[8]</sup>,属顶级捕食者,对水生生态系统起着非常重要的下行调控作用,维持着生态系统的稳定和健康。但近年来,由于人类的过度利用和栖息地破坏(如环境污染、生境破碎化、栖息地丧失等),巫山巴鲵的生存状况日益恶化,面临严重的生存危机<sup>[6]</sup>。尽管如此,目前关于巫山巴鲵的研究较为有限,主要集中在基础生态学<sup>[8]</sup>、形态学<sup>[9-10]</sup>以及未来气候变化对其分布格局的潜在影响<sup>[11]</sup>等方面,鲜有关于巫山巴鲵野外种群栖息地微生境偏好的研究。事实上,栖息地环境因子对于巫山巴鲵的生存和繁衍起着至关重要的作用,在一定程度上影响了巫山巴鲵对栖息生境的偏好。

本研究旨在通过系统的野外调查获得巫山巴鲵野外种群栖息地的多个微生境因子,并通过数据分析明确该物种微生境选择的关键因子及驱动机制,为保护这一濒危物种提供科学依据和技术支持。基于以往对同属有尾类的中国大鲵(*Andrias davidianus*)微生境偏好的研究<sup>[4]</sup>,本研究提出假设:水体流速、河深和基质类型等环境因子可能在巫山巴鲵的微生境选择中具有重要作用。

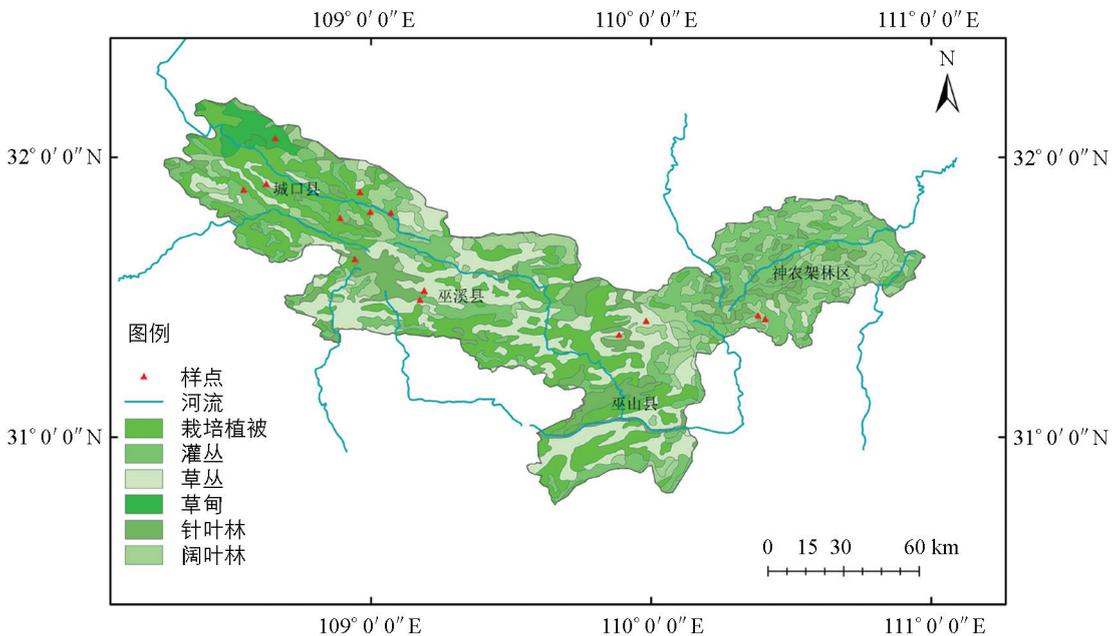
# 1 材料与方法

## 1.1 研究区概况

根据已有的研究, 本研究选择巫山巴鲩聚集分布的大巴山区的 4 个区县作为研究区域开展野外调查工作, 包括重庆市的城口县、巫溪县、巫山县以及湖北省的神农架林区(30°45′—32°12′N, 108°15′—110°58′E)。

## 1.2 样线设置

本研究在城口县、巫溪县、巫山县和神农架林区共选择了 14 条森林溪流作为研究样线, 其中 7 条位于城口县, 3 条位于巫溪县, 2 条位于巫山县, 2 条位于神农架林区(图 1)。样线分布的海拔区间为 766~2 043 m, 样线平均宽度为 4 m, 平均长度为 300 m。在 2023 年 4 月 15—19 日对城口县、巫溪县和巫山县选定的 12 条样线进行野外调查, 在 2023 年 5 月 18—19 日对湖北省神农架林区的 2 条样线进行野外调查。根据巫山巴鲩夜间活动更为活跃的特性, 调查选择在太阳落山后进行(20:00 后)。具体来说, 以每一条样线中有巫山巴鲩分布的点为中心, 设置 1 m × 1 m 的分布样方, 对对照样方的设定是基于分布样方的位置, 使用米尺参照随机数生成器产生的角度(上游: 0~180°; 下游: 181~360°)和距离(0~1 000 cm)来确定位置, 对对照样点中需没有巫山巴鲩的分布, 有巫山巴鲩分布的样点被舍弃。



审图号: GS(2023)2767

图 1 研究区域及样线设置(红色三角形)

## 1.3 野外调查

依据相关文献记载, 小鲩科物种的栖息地主要分布在植被茂密、降雨量充沛、气候温和的高海拔地带<sup>[8]</sup>。野外调查发现, 巫山巴鲩的生活环境主要涵盖沼泽、溪流、水塘以及地下河等生态系统类型(图 2)。因此, 对巫山巴鲩的数量和动态进行精确调查存在一定的难度。为了了解小鲩科的种群数量, 研究人员常常采用间接估计法, 即在个体集中分布的区域通过目测对个体数量进行估算<sup>[12-13]</sup>。尽管间接估计法并不能精确获得小鲩科物种的个体数量, 但通过这种方法, 仍然可以更快速有效地评估这些物种的种群数量状况。本研究中, 针对巫山巴鲩数量较少的样点采用精确计数, 对于极个别地形复杂、数量较多的样点采用间接估计法, 并通过 GPS 记录每一个样点的地理坐标。

本研究选择并记录了可能对巫山巴鲩分布和个体数量产生影响的 14 个微生物境环境因子, 包括 13 个数值型变量: 海拔(El<sub>e</sub>)、气温(At)、空气湿度(Rh)、河宽(Rw)、河深(Rd)、水体流速(Fv)、水温(Wt)、水

体 pH 值(WpH)、水体叶绿素 a(Chl. a)、水体溶解氧(Do)、水体电导率(Con)、植被覆盖度(Fvc)和水体浊度(Nt), 以及 1 个分类变量: 基质类型(Subt)。具体的测量方法如表 1 所示。

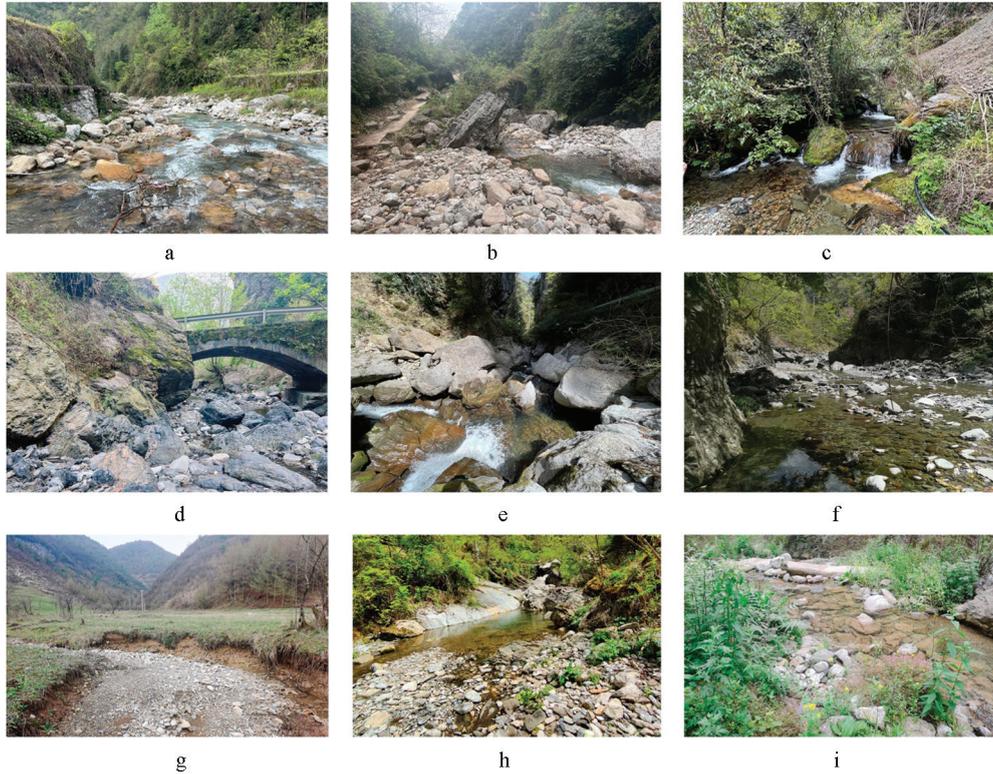


图 2 巫山巴鲃栖息地生境照片

表 1 生境偏好环境因子及其测量方法

环境因子	简写	单位	测定方法
海拔	Ele	m	GPS
气温	At	℃	温湿度计
空气湿度	Rh	%	温湿度计
河宽	Rw	m	卷尺
河深	Rd	m	直尺
水体流速	Fv	m/s	便携式流速仪(LS1206B, China)
水温	Wt	℃	温湿度计
水体 pH 值	WpH	/	便携式水质测定仪(Star A, 520M-01A, Thermo Fisher Scientific, USA)
水体叶绿素 a	Chl. a	μg/L	便携式藻类测定仪(Manta+35, USA)
水体溶解氧	Do	mg/L	便携式水质测定仪(Star A, 520M-01A, Thermo Fisher Scientific, USA)
水体电导率	Con	μS/cm	便携式水质测定仪(Star A, 520M-01A, Thermo Fisher Scientific, USA)
植被覆盖度	Fvc	%	观察估测
水体浊度	Nt	ntu	便携式藻类测定仪(Manta+35, USA)
基质类型	Subt	/	根据颗粒大小分类

## 1.4 数据统计与分析

通过对 14 条样线的详细调查, 本研究共获得了 60 个样方的微生物因子数据, 其中 34 个样方有巫山巴鲩分布, 分别记录了每个样方内的个体数量, 另有 26 个对照样方没有巫山巴鲩分布。通过比较分布样方和对照样方之间环境因子的差异, 并分析环境因子与样方中的个体数量的关系, 解析巫山巴鲩的栖息地微生物偏好。对于无序分类变量, 利用拟合优度卡方检验分析分布样方和对照样方在基质类型上是否存在显著差异<sup>[14]</sup>。然后采用生境喜好系数(Habitat Preference Index, HPI)分析分布样方中有显著差异的基质类型<sup>[15]</sup>。根据野外观察到的实际情况, 将栖息地基质类型分为了 9 种, 包括沙(<1 cm)、砾石(1~10 cm)、卵石(10~20 cm)、石块(>20 cm)、卵石+石块、卵石+沙、砾石+沙、石块+砾石、卵块+砾石。

HPI 用以下公式进行计算:

$$h_{\text{HPI}} = \frac{o - e}{o + e} \quad (1)$$

式中:  $o$  为观测值;  $e$  为期望值。观测值是实际调查中每种基质类型下巫山巴鲩的数量, 期望值是假设巫山巴鲩在每种基质类型下均匀分布的数量。HPI 的取值范围为  $-1 \sim 1$ , 当  $-1.0 \leq h_{\text{HPI}} < -0.5$  时, 表示回避(E);  $-0.5 \leq h_{\text{HPI}} < -0.1$  时, 表示不选择(NS);  $-0.1 \leq h_{\text{HPI}} < 0.1$  时, 表示随机选择(RS);  $0.1 \leq h_{\text{HPI}} < 0.5$  时, 表示选择(S);  $0.5 \leq h_{\text{HPI}} \leq 1.0$  时, 表示偏好(F)。

对于数值型环境变量, 先将两组数据中的 13 个微生物因子进行 min-max 标准化, 以减小极端数值对数据分析的影响, 并提高数据精度和可操作性。使用夏皮罗-威尔克检验法(Shapiro-Wilk)检验每种数值变量是否符合正态分布, 对分布样方与对照样方的微生物因子进行差异性检验。若微生物因子符合正态分布则使用 T 检验(T-test), 若不符合正态分布则使用曼-惠特尼秩和检验(Mann-Whitey U)。“\* \* \* \*”表示  $p < 0.0001$ ; “\* \* \*”表示  $p < 0.001$ ; “\* \*”表示  $p < 0.01$ ; “\*”表示  $0.01 < p < 0.05$ ; “ns”表示  $p > 0.05$ 。

为降低微生物因子之间的共线性对数据分析造成的影响, 还需进行变量间的相关性分析。对符合正态分布的变量采用皮尔逊相关性检验(Pearson), 对不符合正态分布的变量采用斯皮尔曼相关性检验(Spearman)。本研究保留相关性系数  $|r| < 0.3$  的变量, 并在  $|r| \geq 0.3$  的变量中保留生态学意义更大的环境变量。最后采用广义线性模型(Generalized Linear Model, GLM)探讨了微生物因子对巫山巴鲩分布的决定作用。GLM 无要求因变量服从正态分布, 而因变量可按指数分布任意服从概率分布, 因此可直接适用于一般常态线性模型<sup>[16-17]</sup>。GLM 中数据结构可以存在非线性与非常数方差, 所以它的分布模型比较灵活, 可以更好地分析生态学中的相互关系。本研究使用赤池信息准则(Akaike Information Criterion, AIC)逐步向后选择模型, 即每次进行 AIC 分析时, 拟合度最好的模型具有最小的 AIC 值, 剔除  $p$  值最大的环境因子之后, 再次对其进行回归分析, 将  $p$  值最大的变量逐渐剔除, 最终获得 AIC 最小的一个最优模型。

本研究所有的计算和统计分析都在 Excel 2016 和 R 4.2.3 软件中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 巫山巴鲩栖息地微生物特征

野外调查显示, 巫山巴鲩多栖息于灌木茂盛、有水系的周边生境, 多静止于岸边或缓慢移动于水中。从拟合优度卡方检验的结果中显示, 巫山巴鲩对生境中基质类型的偏好有显著的选择性(表 2)。在对其 HPI 计算统计后发现, 巫山巴鲩倾向于选择栖息在沙基质较多的区域, 回避或不选择卵石、石块与砾石较多的区域(表 3)。

Shapiro-Wilk 检验结果表明, 在 13 个数值型环境变量中, 只有水体 pH 值不符合正态分布, 其余 12 个都符合正态分布。对水体 pH 值的两组数据进行 T 检验, 结果表明(表 4), 巫山巴鲩对栖息地中水体 pH 值的选择没有显著差异; 对其余 12 个环境变量进行 Mann-Whitey U 检验, 结果表明, 巫山巴鲩分布样方和对照样方之间的气温、海拔、水体流速、植被覆盖度、空气湿度和河深没有显著差异, 而水体叶绿素 a、水

体溶解氧、水体浊度、河宽、水体电导率和水温存在显著差异。

表 2 分类变量的拟合优度卡方检验

$X^2$ (卡方值)	$df$ (自由度)	$p$
198.36	8	$2.2 \times 10^{-16}$

表 3 巫山巴鲩对生境中基质类型的选择与偏好

基质类型	观测值	期望值	HPI	偏好等级
沙	50	9.78	0.67	偏好(F)
卵石	5	9.78	-0.32	不选择(NS)
石块	1	9.78	-0.81	回避(E)
砾石	2	9.78	-0.66	回避(E)
卵石+石块	10	9.78	0.01	随机选择(RS)
卵石+沙	3	9.78	-0.53	回避(E)
砾石+沙	4	9.78	-0.42	不选择(NS)
石块+砾石	1	9.78	-0.81	回避(E)
卵石+砾石	12	9.78	0.10	选择(S)

表 4 巫山巴鲩生境偏好样点与对照样点环境变量比较

环境变量	类型	分布样方	对照样方	$p$ (校正后)	显著性
气温	数值	34	26	$8.12 \times 10^{-1}$	ns
水体叶绿素 a	数值	34	26	$1.62 \times 10^{-5}$	* * * *
水体溶解氧	数值	34	26	$1.27 \times 10^{-2}$	*
海拔	数值	34	26	$6.06 \times 10^{-1}$	ns
水体流速	数值	34	26	$2.69 \times 10^{-1}$	ns
植被覆盖度	数值	34	26	$6.29 \times 10^{-1}$	ns
水体浊度	数值	34	26	$2.19 \times 10^{-6}$	* * * *
空气湿度	数值	34	26	$6.29 \times 10^{-1}$	ns
河深	数值	34	26	$8.12 \times 10^{-1}$	ns
河宽	数值	34	26	$3.62 \times 10^{-2}$	*
水体电导率	数值	34	26	$2.57 \times 10^{-6}$	* * * *
水温	数值	34	26	$1.27 \times 10^{-2}$	*
水体 pH 值	数值	34	26	$7.85 \times 10^{-1}$	ns

## 2.2 影响巫山巴鲩生境偏好的主要微生境因子

由于单个变量做相关性分析没有统计学意义,因此将水体 pH 值纳入其余 12 个变量,一同做 Spearman 相关性检验。对全部微生境因子进行筛选,保留  $|r| < 0.3$  的变量。对于  $|r| \geq 0.3$  的变量,参考以往的研究<sup>[4, 8, 13, 15]</sup>,选择对有尾类分布影响更大的变量,最终将海拔、河深、水温、水体 pH 值、水体叶绿素 a、水体电导率和水体浊度 7 个数值型变量纳入后续广义线性模型的分析(图 3)。

利用广义线性模型将 7 个微生境因子通过 AIC 逐步向后选择模型,最小 AIC 值的模型结果显示,海拔、水温、河深、水体 pH 值和电导率对巫山巴鲩的个体数量有显著影响。参数预测结果表明(表 5),巫山巴鲩偏好的微生境表现出更低的水温、更浅的河深、较低的海拔、较低的水体 pH 值和较高的电导率

特征,但值得注意的是,电导率( $p=0.136$ )对巫山巴鲩的栖息地选择没有显著影响。在构建最优线性模型时,层次划分的结果表明巫山巴鲩栖息地微生物因子对其分布数量的解释程度各不相同(图 4)。其中,水温是巫山巴鲩栖息数量最重要的预测因子,其解释率达到了 48.94%,其次是水体 pH 值(21.24%)、海拔(19.27%)、水深(7.44%),解释率最低的因子是水体电导率,只有 3.11%。

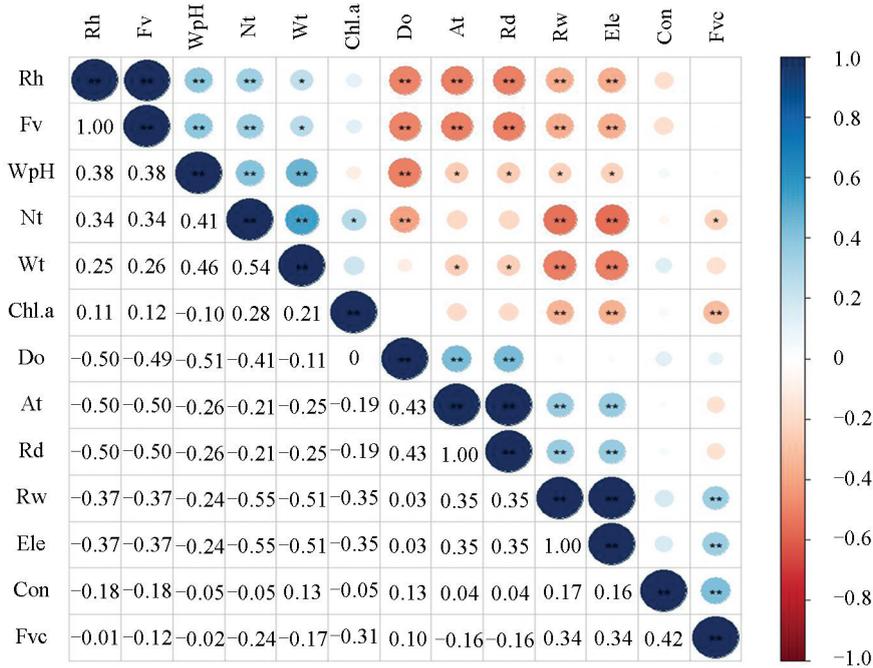


图 3 数值型变量相关性热图

表 5 广义线性模型拟合的微生物因子的 AIC 最优模型

	预测值	标准误	Z 值	$p$	AIC
截距	2.186	0.429	5.099	<0.001***	133.320
海拔	-0.593	0.327	-1.813	0.049*	
水温	-1.839	0.531	-3.461	<0.001***	
水深	-1.267	0.674	-1.879	0.050*	
水体 pH 值	-0.927	0.490	-1.893	0.048*	
水体电导率	0.831	0.557	1.491	0.136	

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

本研究解析了巫山巴鲩野外种群的栖息地微生物境偏好。对于基质类型偏好的研究结果表明,巫山巴鲩多偏向于栖息在环境基质中沙较多的区域,而回避或不选择含有卵石、石块与砾石的区域。以往的研究表明,在森林溪流生态系统中,沙基质较多的区域通常分布有一定数量的水生植物,这些水生植物可提供给巫山巴鲩适合的避难场所。此外,水生植物生长区域往往伴随分布有

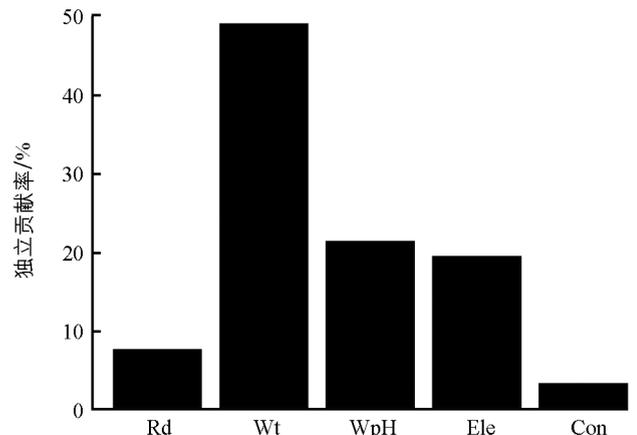


图 4 微生物环境因子对巫山巴鲩数量的决定作用

更多的底栖生物或其他食物来源,因此能够满足巫山巴鲵的生存需求<sup>[18]</sup>。野外调查发现,溪流中卵石、石块与砾石较多的区域一般遮蔽物较少,可能会使巫山巴鲵更容易暴露在捕食者(如鸟类)的视野中。同时,这些区域分布的底栖生物,不足以支持巫山巴鲵的捕食需求<sup>[19]</sup>。对于两栖动物而言,庇护场所对其生存至关重要,尤其是那些主要依靠皮肤进行气体交换的动物,比如无肺螈科(Plethodontidae)和四趾螈属(*Salamandrina*)的物种<sup>[20]</sup>。同时,由于不同种类两栖动物的体型大小不同,也会有不同基质类型的选择偏好,如镇海棘螈(*Echinotriton chinhaiensis*)主要选择石块作为繁殖期间的遮蔽物<sup>[15]</sup>,而猫儿山小鲵(*Hynobius maershanensis*)会倾向于选择腐殖质泥土作为藏身地<sup>[21]</sup>。

对水体微生境因子的分析结果表明,巫山巴鲵的分布样方和对照样方相比,水体叶绿素 a、水体溶解氧、水体浊度、河深、水体电导率和水温存在显著差异。其中,叶绿素 a 含量较高的水域,表示水体中可能有更多的浮游植物,即更高的初级生产力,能给巫山巴鲵提供更丰富的食物资源<sup>[22]</sup>。由于巫山巴鲵需要依靠皮肤辅助呼吸,水中适宜的溶解氧浓度对其生存至关重要,溶解氧浓度较高的水域可以确保巫山巴鲵的呼吸和生存需求。这一研究结果与放归中国大鲵栖息地偏好的结果类似<sup>[4]</sup>,表明水体溶解氧可能是驱动水生有尾类分布的重要因素。水体浊度和水体电导率反映了水体中的悬浮物和电解质含量,浊度和电导率较高的水域,可能表明水体中杂质和盐分含量较高。以往的研究表明,这样的水体有利于水生植物的生长<sup>[23]</sup>,因此同样有利于巫山巴鲵获取更多的食物。此外,水温对于水生生物的生命活动和代谢有重要影响。广义线性模型结果显示,水温与巫山巴鲵数量表现出显著的负相关关系,因为较高的水温可能影响有尾两栖类的繁殖行为和繁殖成功率,增加卵的死亡率或降低孵化率,从而限制种群的数量增长<sup>[24]</sup>。此外,这一结果同样表明巫山巴鲵偏好较低的水温,与东方蝾螈(*Cynops orientalis*)偏好较高温度的表现相反<sup>[25]</sup>。这一结果可能与物种的系统发育关系有关,也在一定程度上反映了物种的热耐受性。而对于气温、海拔、水体流速、植被覆盖度、空气湿度和河深 6 个因子,巫山巴鲵的分布样方和对照样方没有显著差异,可能是由于研究区域内这些因子存在交互作用,也可能因为巫山巴鲵在研究区域内对这些微生境因子具有较高的耐受性和生态适应性<sup>[4]</sup>。但广义线性结果显示,海拔和 pH 值与巫山巴鲵数量也有较为显著的负相关性,较低的海拔可能意味着气候更温暖、湿润,以及更丰富的植物多样性;而较低的 pH 值可能对巫山巴鲵的某些竞争物种不利。由于本研究考虑的微生境因子有限,未来应纳入更多的微生境因子以更为准确地了解其栖息地偏好。此外,巫山巴鲵在其繁殖期是否有特殊的栖息地需求,也需要在未来的研究中进一步深入探讨。

### 3.2 结论

巫山巴鲵为了更有效地提升自身的存活率,同时降低自身被捕食的风险,更倾向于选择栖息沙基质较多的区域,回避或不选择卵石、石块与砾石较多的区域。本研究还揭示了驱动巫山巴鲵分布的微生境因子,有利于针对性地制定其栖息保护对策。基于本研究的结果,未来在开展巫山巴鲵栖息地保护工作时,不仅需要维持一定的水源,还需要通过生态恢复、植被保护和水体管理等措施控制水温,保持沙基质,并保证一定的初级生产力。同时,要加强水体保护和管理,减少污染物特别是持久性有机污染物(如化肥、农药等)的排放。此外,还需要加强对物种和环境因子的监测调查力度,并加强相关教育宣传和法律保护。

### 参考文献:

- [1] TYLIANAKIS J M, DIDHAM R K, BASCOMPTE J, et al. Global Change and Species Interactions in Terrestrial Ecosystems [J]. Ecology Letters, 2008, 11(12): 1351-1363.
- [2] COBOS M E, ALONSO BOSCH R. Recent and Future Threats to the Endangered Cuban Toad *Peltophyryne longinasus*: Potential Additive Impacts of Climate Change and Habitat Loss [J]. Oryx, 2018, 52(1): 116-125.
- [3] 曾丹, 李林, 严峰, 等. 中华鳖 IGF2 和 IGF2R 基因克隆及其功能研究 [J]. 南方农业学报, 2024, 55(4): 1181-1193.
- [4] ZHAO C L, FENG J Y, SUN Z J, et al. Intraspecific Variation in Microhabitat Selection in Reintroduced Chinese Giant Salamanders [J]. Current Zoology, 2022, 69(2): 121-127.

- [5] 谢锋, 刘惠宁, Simon N Stuart, 等. 中国两栖动物保护需求总述 [J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2006, 36(6): 570-581.
- [6] 江建平, 谢锋, 臧春鑫, 等. 中国两栖动物受威胁现状评估 [J]. 生物多样性, 2016, 24(5): 588-597.
- [7] 国家林业和草原局政府网. 国家林业和草原局 农业农村部公告(2021 年第 3 号)(国家重点保护野生动物名录) [EB/OL]. (2021-02-05) [2024-11-10]. <https://www.forestry.gov.cn/c/www/lczc/90131.jhtml>.
- [8] 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖动物彩色图鉴 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2010.
- [9] ZHANG X, XIONG J L, LV Y Y, et al. Sexual Size and Shape Dimorphism in the Wushan Salamander, *Liua shihi* (Liu, 1950) (Urodela: Hynobiidae) [J]. Italian Journal of Zoology, 2014, 81(3): 368-373.
- [10] XIONG J L, LIU X Y, ZHANG X M. Comparison of Skull Morphology in Two Species of Genus *Liua* (Amphibia: Urodela: Hynobiidae), *L-Shihi* and *L-Tsinpaensis* [J]. Asian Herpetological Research, 2016, 7(2): 112-121.
- [11] TAO J C, HU Y F, JIANG J P, et al. Prediction of Potential Suitable Distribution Areas for an Endangered Salamander in China [J]. Animals, 2024, 14(9): 1390.
- [12] 顾辉清, 马小梅, 王珏, 等. 安吉小鲵种群数量和数量动态的研究 [J]. 四川动物, 1999, 18(3): 104-106.
- [13] 马小梅, 顾辉清. 舟山岛中国小鲵种群数量和分布的研究 [J]. 四川动物, 1999, 18(3): 107-108.
- [14] 谭孟雨, 隋璐璐, 张尚明玉, 等. 内蒙古贺兰山国家级自然保护区荒漠沙蜥春秋季节生境选择 [J]. 生态学报, 2019, 39(18): 6889-6897.
- [15] 李婷婷, 朱锡红, 吴光年, 等. 镇海棘螈产卵场微生境选择 [J]. 生物多样性, 2023, 31(1): 207-217.
- [16] ROBINSON T J. Generalized Linear Models with Applications in Engineering and the Sciences [J]. IIE Transactions, 2003, 35(9): 917-918.
- [17] 余德昭, 江晓东, 杨莹颖, 等. 基于 RGB 与高光谱图像的小麦低温胁迫评估模型 [J]. 南方农业学报, 2025, 56(1): 97-110.
- [18] LANGE R, MONRO K, J MARSHALL D. Environment-Dependent Variation in Selection on Life History across Small Spatial Scales [J]. Evolution, 2016, 70(10): 2404-2410.
- [19] SMITH T. Hikers Impact on the North Fork of the Virgin River, Zion National Park, Utah [J]. The American Midland Naturalist, 2009, 161(2): 392-400.
- [20] BASILE M, ROMANO A, COSTA A, et al. Seasonality and Microhabitat Selection in a Forest-Dwelling Salamander [J]. The Science of Nature, 2017, 104(9): 80.
- [21] 黄华苑, 卜荣平, 谢海, 等. 猫儿山小鲵 (*Hynobius maoershanensis*) 繁殖期生境选择 [J]. 生态学报, 2019, 39(17): 6443-6451.
- [22] 孙怡茹, 张继红, 吴文广, 等. 凡纳滨对虾大水面高盐养殖水体叶绿素 a 的变化及与环境因子的关系 [J]. 渔业科学进展, 2024, 45(1): 118-127.
- [23] BOGOTÁ-GREGORY J D, LIMA F C T, CORREA S B, et al. Biogeochemical Water Type Influences Community Composition, Species Richness and Biomass in Megadiverse Amazonian Fish Assemblages [J]. Scientific Reports, 2020, 10: 15349.
- [24] SOMMERS M D, RANDALL L A, BARCLAY R M R. Effects of Environmental Variables on the Calling Behaviour of Northern Leopard Frogs (*Lithobates pipiens*) in Alberta, Canada [J]. Canadian Journal of Zoology, 2018, 96(2): 163-169.
- [25] 陆洪良, 耿军, 徐卫, 等. 东方蝾螈幼体热耐受性和游泳表现的热驯化响应 [J]. 生态学报, 2017, 37(5): 1603-1610.