

DOI: 10.20103/j.stxb.202306071210

吴清姐, 伍丽艳, 向冬琴, 向海洋, 程小洁, 刘志霄. 武陵洞蛭种群的月动态及其微生境特征. 生态学报, 2025, 45(15): - .

Wu Q J, Wu L Y, Xiang D Q, Xiang H Y, Cheng X J, Liu Z X. Monthly population dynamics and microhabitat characteristics of *Sinospelaeobdella wulingensis*. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(15): - .

武陵洞蛭种群的月动态及其微生境特征

吴清姐^{1,2}, 伍丽艳¹, 向冬琴¹, 向海洋¹, 程小洁¹, 刘志霄^{1,*}

1 吉首大学生物资源与环境科学学院, 吉首 416000

2 麻阳苗族自治县锦江中学, 怀化 419400

摘要:武陵洞蛭(*Sinospelaeobdella wulingensis*)是中国洞蛭属(*Sinospelaeobdella*)的模式种,以洞栖性蝙蝠的血液为食,属于真洞穴蛭类。2021年8月—2022年8月,对湖南省湘西州三个代表性溶洞中武陵洞蛭的种群数量、空间分布、微生境特征及其种群动态的影响因素进行了逐月调查,采用灰色系统关联度分析等方法进行数据分析,主要研究结果如下:①在该年周期内,共观察到武陵洞蛭3575条次,新鲜卵茧318个次;②洞蛭全年均可交配产卵,没有明显的繁殖季节,但2—4月份幼体数量较多,5—7月份亚成体的数量较多,而8—11月份成体数量较多;③卵的孵化期约为3个月,9—10月份是成体生产卵茧的高峰期,而次年的1—2月份是幼体从卵茧中孵出的高峰期;④武陵洞蛭喜栖于黑暗潮湿、温湿度相对稳定、岩屑较薄的洞顶壁及侧壁,在蝙蝠的常栖点附近可形成稳定的种群;⑤在其微生境的各生态因子中,湿球温度(衡量空气湿度的一项重要指标)对其种群数量的影响最大,其种群动态与蝙蝠的类群动态密切相关。结论:武陵洞蛭对溶洞中的微生境有特殊需求,其种群动态是各种生态因子综合作用的结果,但主要的影响因素是湿球温度和蝙蝠的类群动态,它们长期适应于溶洞生活,已演化成为依赖于洞栖性蝙蝠而生存和繁衍的真洞穴动物。

关键词:武陵洞蛭;种群动态;微生境;洞栖性蝙蝠;真洞穴动物

Monthly population dynamics and microhabitat characteristics of *Sinospelaeobdella wulingensis*

WU Qingjie^{1,2}, WU Liyan¹, XIANG Dongqin¹, XIANG Haiyang¹, CHENG Xiaojie¹, LIU Zhixiao^{1,*}

1 College of Biology and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou 416000, China

2 Jinjiang Middle School of Mayang Miao Autonomous County, Huaihua 419400, China

Abstract: *Sinospelaeobdella wulingensis*, the type species of *Sinospelaeobdella*, is a unique new species of troglobites exclusively bloodsucking cave-dwelling bats. From August 2021 to August 2022, a monthly investigation was carried out into the population size, spatial distribution, microhabitat characteristics and population dynamic impact factors about this species in three representative karstic caves of Xiangxi Prefecture, Hunan Province, China, and the relevant data were analyzed by method of Grey System Correlation Analysis, etc.. The main results were as follows: ① A total of 3575 individual-by-time live leeches and 318 individual-by-time fresh cocoons were recorded in the annual cycle; ② These cave leeches could mate and lay cocoons all year round, and there was no obvious reproduction season, inspite of the young number being more from February to April (accounting for 59.42% of all the youngs observed), the subadult number more from May to July (33.08% of all the subadults observed), and the adult number more from August to November (64.07% of all the adults observed); ③ The incubation period of cocoons was about 3 months, and the peaks for cocoon production

基金项目:国家自然科学基金项目(32160241);国家自然科学基金重点国际(地区)合作与交流项目(31961123003)委托子项目;湖南省自然科学基金项目(2021JJ30554)

收稿日期:2023-06-07; **网络出版日期:**2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zxliu1965@163.com

and hatching out were mainly during September to October and during January to February of next year, respectively; ④ This species preferred to live in dark and damp microhabitats of relatively stable temperature and humidity as well as thin cuttings on ceilings of caves, and they could establish stable populations by the often-roostsites of cave-dwelling bats; ⑤ Among the ecological factors in their microhabitats, the wet-bulb temperature (an important index to measure air humidity) had the greatest impact on their population size, and the population dynamics were closely related to community dynamics of cave-dwelling bats. Conclusion: This leech species had special eco-needs for microhabitats in Karstic caves, and its population dynamics was a result of the combined effects of various ecological factors, but the main influencing factors were the wet-bulb temperature and colony dynamics of cave-dwelling bats. These leeches had been adapted to cave environments, and evolved into a peculiar troglobite completely depending on cave-dwelling bats.

Key Words: *Sinospelaeobdella wulingensis*; population dynamics; microhabitat; cave-dwelling bats; troglobite

溶洞,是喀斯特地区独特的地质景观,中国是世界上溶洞资源最丰富的国家,而西南武陵山地区是我国溶洞分布最为集中的地区之一^[1-2]。溶洞的生态条件较为特殊,在洞穴深处缺乏光照,温度、湿度等生态因子也相对稳定,在长期的进化过程中,一些动物衍生出了洞生性特征,已演化成为真洞穴动物(troglobites)^[3-4]。可是,绝大多数运动能力较强的动物只是在洞穴中栖息或隐藏,而必须到洞外去觅食,属于洞栖性动物,其中蝙蝠就是典型的洞栖性动物,并且洞栖性蝙蝠(cave-dwelling bats)在洞穴生态系统中占有主导性的地位,许多洞穴生物类群的生存和繁衍都依赖于洞栖性蝙蝠^[5],溶洞也因此成为洞穴动物种间关系和食物网研究的理想场所。

蛭类是一类具有吸盘并依靠吸盘进行运动的无脊椎动物,隶属于环节动物门(Annelida)蛭纲(Hirudinea),通常分为“水蛭”和“陆蛭”两大生态类群。过去已知的洞穴蛭类主要是“水蛭”,如石蛭科(Erpbodellidae)和沙蛭科(Salifidae)的水生种类^[6]。然而,有研究发现^[6-7],有些陆蛭因长期适应于洞穴环境,已演化成为真洞穴蛭类。近年,先后在湖南省湘西州境内的几个溶洞中发现了隶属于山蛭科(Haemadipsidae)的“陆蛭”,Huang等(2019)经与其他相关的蛭种进行综合性的比较研究之后建立了一个新属——中国洞蛭属(*Sinospelaeobdella*),其模式种确定为武陵洞蛭(*S. wulingensis*),同时将洞穴山蛭(*Haemadipsa cavatuses*)的学名修订为(*S. cavatuses*)^[7]。

迄今,全球已记录的典型洞生性陆蛭仅2属3种,即分布在湖南^[7]、四川^[8]、贵州^[9]的武陵洞蛭,分布于云南境内的洞穴山蛭^[6-7]和仅分布于南半球的岛国巴布亚新几内亚的新几内亚光蛭(*Leiobdella jawarerenis*)^[10-11]。虽然这3个物种的地理分布相距甚远,形态差异明显,但它们具有共同的生态与行为习性,终生都栖息在黑暗潮湿的溶洞顶壁(或侧壁),体表缺乏色素,专一性地吸食洞栖性蝙蝠的血液,在洞顶壁完成其全部生活史,已演化成为真洞穴动物。鉴于这些共同的特征,我们将它们统称为“洞蛭”(cave leeches),以区分于人们所熟知的“水蛭”(water leeches)和“陆蛭”(land leeches)。显然,洞蛭是一个特殊的生态类群,具有重要的洞穴生物学、行为生态学和进化生物学研究意义。

武陵洞蛭(以下简称“洞蛭”)作为模式种,目前还发现于四川省邻水县老龙洞^[8]和贵州省遵义市马福林自然保护区的简家沟洞^[9],迄今对其研究仅限于行为谱^[12]、血餐 iDNA^[13]。鉴于该属种在生物学、生态学、洞穴学和自然保护领域的特殊性、典型性和代表性,对其种群动态和微生境特征进行逐月观测与研究,有助于理解洞蛭与洞栖性蝙蝠的暂寄生关系,提高对洞穴生态系统动态的新认识,也可为洞穴生态系统的保护提供理论依据。

1 研究方法

湘西土家族苗族自治州(109°10′—110°22.5′E, 27°44.5′—29°38′N)位于武陵山脉东段,地处我国第二阶梯向第三阶梯的过渡地带,域内属亚热带季风湿润性气候,雨量丰沛,溶洞众多,为洞穴动物的栖息和繁衍提

供了良好的生态条件^[14-15]。

基于前期研究^[7,12,15-18],综合考虑洞穴内部空间结构复杂程度的典型性、代表性及研究条件,选择吉首市境内的堂乐洞、旧寨坪岩洞和金牛洞作为样洞(sample caves),进行逐月的数据采集,而将永顺县的金鸡洞(头洞)、黄泥洞和古丈县的鸡公洞作为参考洞穴。

2021 年 8 月至 2022 年 8 月,每月 1 次,每次 3—5 人进入洞内采集数据,采用直接观察法计数肉眼所及或借助望远镜可观察到的洞蛭数量,分别记录洞蛭 4 个生活史阶段的个体数:①卵茧,新鲜的卵茧颜色清亮,茧内的卵粒正在发育;陈旧的卵茧幼蛭已孵出,颜色较暗或已枯黄;②幼体,从卵茧中孵出后尚未吸血,呈乳白色半透明状,或只吸了一次血,体内嗦囊呈现鲜红色;③亚成体,嗦囊内有黑色沉积物,但体表尚未出现环带(生殖带);④成体,身体前段具有明显的环带(图 1)。

利用 T391+激光测距仪、尼康 D7200 相机以及高性能手机等工具测量及拍摄记录洞蛭、蝙蝠的栖点位置,现场手绘洞道结构简图,并在图上标记洞蛭、蝙蝠的大体位置。在冬眠期,可直接对洞内的蝙蝠个体进行计数、种类鉴定和拍照记录;在非冬眠期,一些蝙蝠处于日眠深睡或浅睡状态,也可直接进行现场拍照、鉴定和计数。同时,观察记录蝙蝠粪场和洞内其他动物的分布情况。将一些疑难物种的标本带回室内,参考相关文献或工具书进行类群鉴定。

观察记录洞壁的质地、岩屑、滴水或壁面水珠、平整或凹凸情况等非生物因子。每次将 DJL-18 型温湿光三参数记录仪、Kestrel 5500 型便携式气象站和 TNHY-5-A 型手持式环境监测仪分别放置于洞口区、无蛭区和有蛭区(指有蛭群分布和卵茧群粘附的洞段,或洞蛭集中分布之处)固定的具有代表性的位置,以自动测量干球温度、湿球温度、相对湿度、大气压、热指数、露点温度、风寒指数和空气中 CO₂ 含量等数据。

在室内,统计洞蛭的全年总数和月平均值,分析其种群数量的月变化。使用专用软件导出仪器中的气象数据,采用 Excel、SPSS 26.0、GraphPad 8.0 对数据进行分析并作图。利用独立样本 *t* 检验和单因素方差分析对数据进行显著性检验。采用灰色系统关联度分析法^[19]分析 3 个溶洞内洞蛭种群数量与各气象因子之间的关联度。在进行相关性分析时,洞蛭的种群数量用 *Y_i* 表示,各气象因子用 *X_j* 表示,将 3 个洞穴的关联度进行积分加和,得出积分值,积分值的大小可以显示主要的影响因子。

2 结果与分析

2.1 种群组成与数量动态

洞蛭生活史 4 个阶段的主要特征如图 1 所示。调查期间,共记录到新鲜卵茧 318 个次,蛭体 3575 条次,其中幼体 557 条次(占 15.58%)、亚成体 2497 条次(69.85%)、成体 521 条次(14.57%)。洞蛭全年均可交配繁殖,没有明显的繁殖季节,但数据分析发现(图 2),2—4 月份幼体的数量较多,占所观察到的幼体总数的 59.42%;5—7 月份亚成体的数量较多,占所观察到的亚成体总数的 33.08%;在 8—11 月份成体的数量较多,占所观察到的成体总数的 64.07%。卵茧从亲体身上产下,直到幼体从卵茧中孵出,约需 3 个月的时间。9—10 月份是成体生产卵茧的高峰期,而次年的 1—2 月份是幼体从卵茧中孵出的高峰期。



图 1 武陵洞蛭生活史 4 个阶段的外形特征

Fig.1 Morphological characters in four stages of life cycle of *Sinospelaeobdella wulingensis*

卵茧(可见幼体正在孵出);幼体(尚未吸血,呈透明状);亚成体;成体

与所观察到的洞蛭个体总数的波动情况(图2)相比,三个样洞内洞蛭种群数量变化的情况不尽相同。堂乐洞内洞蛭各生活史阶段的波动与总体波动情况大体相符,而旧寨坪岩洞和水牛洞的情况与总体波动情况稍有不同。在旧寨坪岩洞中,幼体数量较多的是3—5月份,亚成体数量较多的是6—8月份,而成体数量较多的是8—11月份(图2)。在水牛洞中,2—4月份幼体相对较多(主要集中于3—4月份),5—7月份亚成体较多,而成体在8—11月份数量较多(以9月份最多)(图2)。

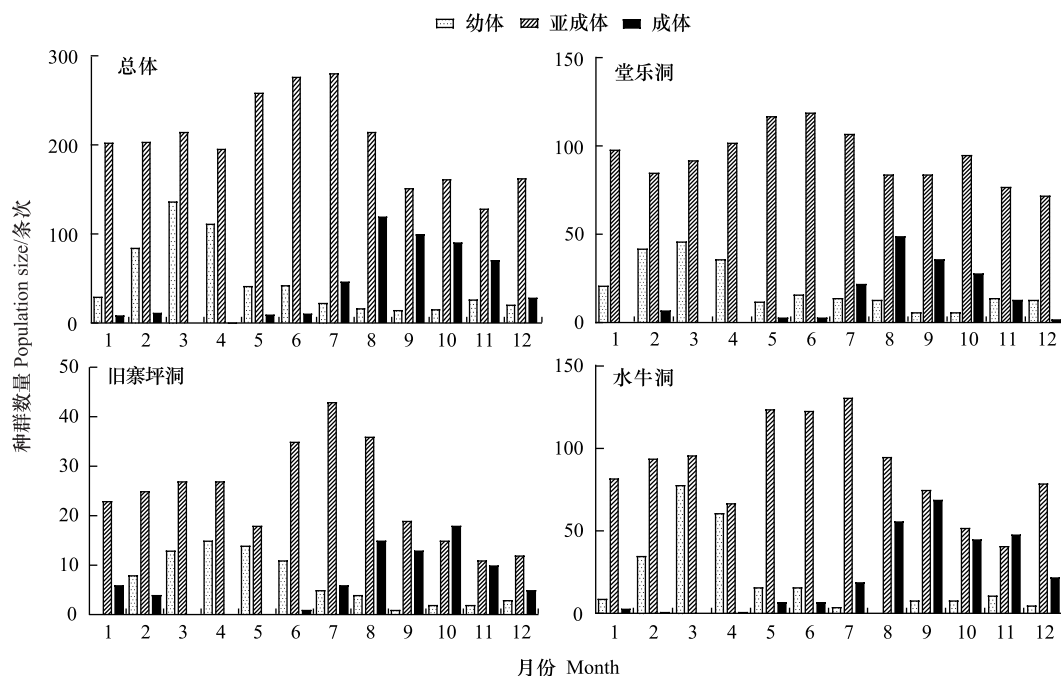


图2 武陵洞蛭种群数量(条次)的月变化

Fig.2 Monthly changes of population size (individual-by-time) of *Sinospelaobdella wulingensis*

2.2 洞蛭和洞栖性蝙蝠的空间分布

洞蛭在溶洞中大体上呈现“小区块+点”状分布格局。有的洞穴(如黄泥洞和金鸡洞)虽全洞段都可见到洞蛭,但洞蛭个体通常仅零星或呈点状分布于洞道的顶壁或侧壁,只在少数特殊的洞段(小区块)可能存在稳定的种群。有的洞穴只在部分洞段有洞蛭分布(如堂乐洞和鸡公洞),通常集中分布在较为封闭且有明显转弯(如旧寨坪岩洞)或洞道突然变窄之后(如水牛洞)的宽阔洞段。分布点最接近洞口的当属金鸡洞的头洞,该洞的洞口段仅约5 m,之后向左侧有两个小洞口斜向下伸(坡度约为45°),仅能够容纳一人向下倒爬约8 m才可进到洞内的宽阔处,洞外的天气或季节性变化对洞内的影响很小。由于该洞比较封闭,在离洞口约13 m处的洞壁上有时也可见到少数洞蛭活动,但未见卵茧,而该洞中洞蛭的集中分布处(小区块)距离洞口的最小距离约为50 m。在三个样洞中,洞蛭集中分布处距离洞口的最小距离约为60 m,而距离洞道地面的最小距离为0.4 m。87.6%的洞蛭个体附着在洞顶壁,12.4%的个体吸附于洞侧壁。

项目组以前多年的野外观察发现,有的洞段其顶壁常年都有或季节性有一定数量的蝙蝠集群栖息,蝙蝠集群栖挂处相对应的地面上通常有大量落散的或厚积的蝠粪堆,我们将这样的洞顶壁称为蝙蝠的“常栖点”(often-roostsite),而将偶尔有蝙蝠停留休憩(或停留时间短暂)的洞顶壁称为蝙蝠的“偶栖点”(occasion-roostsite)。在比较封闭的洞穴深处,蝙蝠的常栖点附近通常都有洞蛭种群的繁衍,且数量较为稳定。在蝙蝠的偶栖点附近虽偶尔可见洞蛭个体,但零星的个体难以形成稳定的种群。

堂乐洞的洞道结构较为复杂,洞内蝙蝠的种类、数量较多,蝙蝠的常栖点和偶栖点较多,洞蛭种群的分布点也较多,除了在离洞口较近的常栖点附近没有形成稳定的种群外,在洞内各蝙蝠的常栖点附近都发现有洞

蛭的稳定种群;水牛洞的洞道简单,但洞内蝙蝠的数量相对较多,常栖点的分布也较为集中,在洞穴深处常栖点附近形成了两个数量较多且相当稳定的群体;旧寨坪岩洞的洞道也比较简单,蝙蝠的常栖点更为集中,稳定的洞蛭种群同样分布于洞穴深处蝙蝠的常栖点附近(图3)。在3个参考洞穴中,金鸡洞的洞道结构比较简单,黄泥洞和鸡公洞的洞道结构较为复杂,但无论如何,洞蛭个体数量较多且比较稳定的区块也都是卵茧的集中分布区,其附近同时也是蝙蝠群体的常栖点。

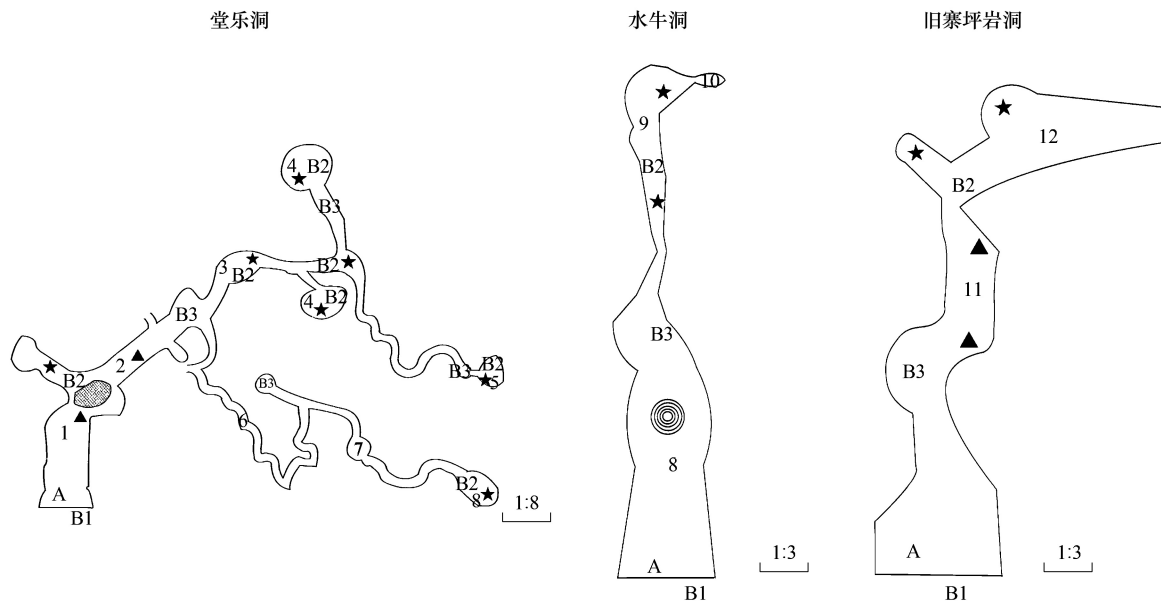


图3 三个溶洞的洞道简图(示蝙蝠和洞蛭的主要分布点)

Fig.3 Schematic diagram of tunnels in the three Karstic caves (showing the main distribution sites of cave-dwelling bats and cave leeches)

★洞蛭已建立稳定小种群的洞段;▲偶尔发现洞蛭个体的洞段;A:洞口;B1:洞口气象仪放置处(用于测量洞口附近的气象因子;在多个无蛭区和有蛭区的不同位置都放置过仪器,为简化图示,就未在图中标注);B2:有蛭区;B3:无蛭区;1:西南鼠耳蝠集中冬眠的洞段;2:多种蝙蝠迁飞的主要通道(蝙蝠偶栖点集中分布区);3:中华菊头蝠集群冬眠处;4、5:多种菊头蝠的常栖点(5.洞中洞——南瓜洞景点);6:皮氏菊头蝠集群冬眠处(石壁长廊景点);7:菊头蝠的繁育场所(该处极小且隐蔽,人体无法进入);8:大蹄蝠的常栖点;9、10:菊头蝠或大蹄蝠的常栖点;11:菊头蝠的偶栖点;12:大蹄蝠、菊头蝠的常栖点

2.3 洞蛭与洞栖性蝙蝠之间的关系

蝙蝠在洞穴中的时空分布是动态的,既具有随机性,也有一定的规律性。在样洞中常见的蝙蝠有中华菊头蝠(*Rinolophus sinicus*)、皮氏菊头蝠(*R. pearsonii*)、小菊头蝠(*R. pusillus*)、西南鼠耳蝠(*Myotis altarium*)、大蹄蝠(*Hipposideros armiger*)等。在调查期间,我们共记录到蝙蝠9286只次(其中小菊头蝠187只次,中华菊头蝠5837只次,皮氏菊头蝠450只次,西南鼠耳蝠279只次,大蹄蝠2533只次),并对蝙蝠的数量进行逐月统计。

将洞蛭数量的月变化(图2)与蝙蝠数量的月变化进行相关性分析,结果显示(表1):洞蛭幼体与皮氏菊头蝠有正相关关系,亚成体与中华菊头蝠、大蹄蝠有正相关关系,而成体与小菊头蝠有正相关关系。2—4月份,洞蛭幼体的数量较多,与菊头蝠的苏醒和出蛰期相衔接;5—7月份,洞蛭的亚成体居多,与中华菊头蝠和大蹄蝠的繁育期相对应。4—7月份,中华菊头蝠和大蹄蝠的活动非常频繁,洞蛭幼体及亚成体也非常活跃,因此春末至盛夏既是湘西州境内这两个优势蝠种种群数量的急增期,也是洞蛭有机会大量吸取蝙蝠血液,身体快速生长发育的高峰期。

2.4 洞蛭与微生境中气象因子之间的关系

将洞口区、无蛭区和有蛭区的气象数据进行比较和整合分析,结果显示:有蛭区全年内空气温度为(17.46 ± 4.71) $^{\circ}\text{C}$ (12.55 — 22.68°C)、湿球温度为(16.44 ± 3.73) $^{\circ}\text{C}$ (12.47 — 20.4°C)、空气湿度为(93.66 ± 3.95)%

(84.11%—100%)、空气中 CO_2 浓度为 $(1461.76 \pm 14.61) \text{ mg/m}^3$ (1161.17 — 1932.21 mg/m^3)、大气压为 $(975.26 \pm 6.37) \text{ hpa}$ (964.21 — 991.31 hpa)、风寒指数为 $(17.37 \pm 4.94)^\circ\text{C}$ (12.51 — 22.45°C)。这些气象因子存在季节性差异,其中空气温度、湿球温度、热指数和风寒指数:春季(洞口区>有蛭区>无蛭区)、夏季(洞口区>无蛭区>有蛭区)、秋季(洞口区>有蛭区 $\geq$ 无蛭区)、冬季(有蛭区>无蛭区>洞口区);有蛭区的空气湿度和 CO_2 含量都高于无蛭区和洞口区(表2)。

表1 武陵洞蛭与洞栖性蝙蝠种群数量的相关性

Table 1 Correlation of population sizes between *Sinospelaobdella wulingensis* and cave-dwelling bats

物种 Species	幼体 Young	亚成体 Subadult	成体 Adult
小菊头蝠 <i>Rinolophus pusillus</i>	0.568	-0.1274	0.747 *
中华菊头蝠 <i>R. sinicus</i>	-0.279	0.714 *	0.017
皮氏菊头蝠 <i>R. pearsonii</i>	0.657 *	-0.076	0.576
西南鼠耳蝠 <i>Myotis altarium</i>	0.3403	0.498	-0.431
大蹄蝠 <i>Hipposideros armiger</i>	0.324	0.725 *	-0.230

* 相关性显著 ($P < 0.05$)

表2 每季度有蛭区各气象因子分别与洞口区、无蛭区各气象因子之间的差异性分析

Table 2 Difference analysis of the meteorological factors between Leech area, Leech-free area and Entrance area, respectively

季节 Seasons	洞段 Section of cave	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
春 Spring	洞口区	19.35 $\pm$ 3.58a	17.84 $\pm$ 3.37a	82.27 $\pm$ 12.13a	973.24 $\pm$ 7.34a	19.88 $\pm$ 3.89a	17.05 $\pm$ 3.59a	19.31 $\pm$ 3.58a	487.00 $\pm$ 7.49a
	无蛭区	16.66 $\pm$ 2.35b	15.51 $\pm$ 2.28b	86.67 $\pm$ 4.18a	973.55 $\pm$ 7.48a	16.85 $\pm$ 2.51b	14.87 $\pm$ 2.37b	16.55 $\pm$ 2.39b	601.95 $\pm$ 21.54b
	有蛭区	16.97 $\pm$ 1.71b	15.94 $\pm$ 1.67b	93.30 $\pm$ 2.63b	973.39 $\pm$ 7.50a	17.23 $\pm$ 1.75b	15.35 $\pm$ 1.76b	16.92 $\pm$ 1.71b	764.32 $\pm$ 40.59c
	<i>F</i>	2.745	2.149	4.886	0.004	2.991	1.636	2.812	26.855
	<i>P</i>	0.084	0.139	0.017	0.996	0.069	0.216	0.080	0.001
夏 Summer	洞口区	26.98 $\pm$ 1.38a	24.39 $\pm$ 1.82a	76.92 $\pm$ 4.91a	968.06 $\pm$ 2.92a	31.55 $\pm$ 3.07a	23.50 $\pm$ 2.13a	26.99 $\pm$ 1.31a	481.92 $\pm$ 16.16a
	无蛭区	21.97 $\pm$ 3.59b	20.69 $\pm$ 2.83b	86.76 $\pm$ 5.84b	968.26 $\pm$ 2.52a	22.95 $\pm$ 4.72b	19.76 $\pm$ 2.91b	21.57 $\pm$ 3.87b	604.80 $\pm$ 4.64b
	有蛭区	18.73 $\pm$ 1.25c	18.05 $\pm$ 1.49c	92.91 $\pm$ 1.23c	967.82 $\pm$ 2.37a	19.16 $\pm$ 1.68c	17.41 $\pm$ 1.58c	18.60 $\pm$ 1.49c	884.67 $\pm$ 51.36c
	<i>F</i>	28.342	20.205	29.354	0.065	31.434	16.414	25.816	393.825
	<i>P</i>	0.001	0.001	0.001	0.937	0.001	0.001	0.001	0.001
秋 Autumn	洞口区	22.63 $\pm$ 6.61a	19.99 $\pm$ 4.76a	79.83 $\pm$ 12.87a	975.53 $\pm$ 5.30a	24.33 $\pm$ 7.76a	19.12 $\pm$ 4.29a	22.61 $\pm$ 6.63a	512.46 $\pm$ 24.82a
	无蛭区	18.39 $\pm$ 3.09b	17.35 $\pm$ 2.17b	84.41 $\pm$ 5.40b	976.26 $\pm$ 6.07b	18.94 $\pm$ 3.15b	16.83 $\pm$ 1.92b	18.40 $\pm$ 3.06b	642.58 $\pm$ 42.74b
	有蛭区	19.12 $\pm$ 2.81b	17.73 $\pm$ 1.76b	93.60 $\pm$ 6.00c	975.58 $\pm$ 6.31a	19.69 $\pm$ 2.93c	17.05 $\pm$ 1.40b	19.00 $\pm$ 2.71b	975.07 $\pm$ 7.10c
	<i>F</i>	2.273	1.808	5.748	0.043	2.921	1.775	2.306	616.235
	<i>P</i>	0.125	0.186	0.009	0.958	0.073	0.191	0.121	0.001
冬 Winter	洞口区	11.08 $\pm$ 2.65a	9.87 $\pm$ 2.24a	84.74 $\pm$ 11.82a	984.14 $\pm$ 5.49a	11.07 $\pm$ 2.49a	8.85 $\pm$ 2.49a	11.04 $\pm$ 2.65a	420.93 $\pm$ 18.46a
	无蛭区	12.33 $\pm$ 2.23b	11.13 $\pm$ 1.80b	83.09 $\pm$ 7.22a	984.52 $\pm$ 5.67a	12.36 $\pm$ 2.06b	10.23 $\pm$ 1.89b	12.29 $\pm$ 2.22b	535.96 $\pm$ 14.39b
	有蛭区	15.00 $\pm$ 1.84c	14.05 $\pm$ 1.57c	94.82 $\pm$ 5.31b	984.24 $\pm$ 5.72a	15.22 $\pm$ 1.69c	13.44 $\pm$ 1.88c	14.95 $\pm$ 1.85c	872.22 $\pm$ 29.75c
	<i>F</i>	7.005	11.575	4.945	0.012	9.171	11.233	7.006	115.084
	<i>P</i>	0.004	0.001	0.016	0.988	0.001	0.001	0.004	0.001

X_1 :干球温度 dry bulb temperature; X_2 :湿球温度 wet bulb temperature; X_3 :相对湿度 relative humidity; X_4 :大气压 barometric pressure; X_5 :热指数 heat index; X_6 :露点温度 dew point temperature; X_7 :风寒指数 wind chill index; X_8 : CO_2 浓度 concentration of carbon dioxide in the air;不同小写字母表示组内比较的差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)

统计分析有蛭区与洞口区、无蛭区各气象因子之间的相关性,结果显示(表3):有蛭区与其他两区在空气温度、湿球温度、大气压、热指数、露点温度和风寒指数等气象因子方面存在正相关关系,而空气湿度、 CO_2 浓度则不存在相关关系。

表 3 有蛭区与无蛭区/洞口区之间一些气象因子的相关性

Table 3 Correlation of some meteorological factors between Leech area and Leech-free area/ Entrance area

洞段 Section of cave	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
有蛭区与洞口区 Leech area and Entrance area	0.822 *	0.814 *	-0.081	0.978 *	0.800 *	0.771 *	0.811 *	0.100
有蛭区与无蛭区 Leech area and Leech-free area	0.713 *	0.794 *	0.166	0.983 *	0.699 *	0.796 *	0.735 *	0.165

X₁—X₈的含义同表 2; * 相关性显著($P < 0.05$)

将三个样洞内洞蛭种群数量的月平均值与其微生境(有蛭区)中气象因子的月平均值进行灰色系统关联度分析,结果显示:在影响洞蛭种群数量的气象因子中,影响程度最大的是湿球温度,其次是大气压、空气温度、相对湿度和风寒指数,然后是热指数和 CO₂ 浓度,影响最小的是露点温度(表 4)。

表 4 三个样洞内武陵洞蛭的种群数量(Y_i)与有蛭区微生境中主要气象因子(X_i)之间的关联度Table 4 Correlation degrees between population sizes of *Sinospelaeobdella wulingensis* (Y_i) and main meteorologic factors (X_i) in the microhabitats of Leech area in the three sample caves

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
堂乐洞 Tangle cave	0.668(5)	0.681(7)	0.683(8)	0.671(6)	0.654(4)	0.650(2)	0.651(3)	0.619(1)
旧寨坪岩洞 Jiuzhaiping cave	0.578(3)	0.578(5)	0.579(6)	0.590(7)	0.570(2)	0.561(1)	0.578(4)	0.618(8)
水牛洞 Shuiniu cave	0.750(7)	0.723(5)	0.673(1)	0.695(3)	0.736(6)	0.713(4)	0.750(8)	0.682(2)
积分序 Integral order	15	17	15	16	12	7	15	11

X₁—X₈的含义同表 2

3 讨论

3.1 洞蛭的微生境特征

洞蛭终生栖息在长年恒黑、空气温湿度相当稳定,以及质地较硬、岩屑较薄的洞顶壁及侧壁。洞蛭数量较多,活动频繁之处必定是蝙蝠种群的常栖点,洞顶壁有适于蝙蝠栖挂的许多凸突,但附近又有不适合于蝙蝠栖挂却适合于洞蛭卵茧粘附的比较平坦光滑的石灰岩质顶壁。洞蛭通常将卵茧产在光滑而不利于蝙蝠栖挂的洞顶壁,以免蝙蝠栖挂及起飞时撞碰卵茧,使卵茧掉落到地面(我们曾多次看到过掉落在地面上的卵茧及蛭体,而蛭体一旦掉落到地面或水中,它可能再也难以返回到顶壁)。若顶壁为泥岩,或岩壁上岩屑较厚,或岩壁上有光滑而密集的小乳突(图 4),则既不利用蝙蝠栖挂,也不适合于洞蛭栖息、运动和卵茧粘附。



图 4 三种不同洞穴顶壁的特征

Fig.4 Characteristics of three different cave ceilings

图 4 左:适宜的蝙蝠栖挂场所(顶壁多凸突,有利于蝙蝠栖挂);图 4 中:适宜的卵茧粘附场所(顶壁较为光滑平整,不利于蝙蝠栖挂);图 4 右:表面凹凸不平,乳突状突起密集的顶壁(不利于卵茧粘附、洞蛭运动和蝙蝠栖挂,因为光滑的乳突状突起既不利于蝙蝠足爪的抓握,也不便于蛭体的运动、觅食和产卵)

与其他的蛭类不同^[20],洞蛭的微生境相对稳定,因此洞蛭全年均可交配产卵。洞蛭卵茧的上述分布模式

非常有利于其种群繁衍,因为幼蛭从卵茧中孵出后,能够很快地找到蝙蝠,从蝙蝠身上吸取血液,以维持生长发育。已在洞蛭的卵茧内检测到 68 种功能不同的蛋白质(如抗氧化蛋白、酶蛋白、热休克蛋白、细胞骨架蛋白等),卵茧内丰富的蛋白质可为胚胎及幼体早期发育提供足够的营养保障。无论是形态结构,还是化学组成,洞蛭卵茧都呈现对洞穴生态环境的适应性特征^[21]。

光滑、平整且质地坚硬的洞顶壁既有利于洞蛭卵茧的粘附,也有利于蛭体的运动。若洞顶壁岩屑过厚,则既不利于卵茧的粘附,也不利于蛭体的“倒悬式”负重运动,因为有时蛭体可能会因所吸附的岩屑脱落而掉落到地面上,增加死亡率。

3.2 洞蛭的食物条件与天敌

在样洞中,常见的洞穴动物除了多种蝙蝠以外,主要有白腹巨鼠/小泡巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*)、紫啸鸫(*Myiophoneus caeruleus*)、绿臭蛙(*Odorrana margaretae*)、花臭蛙(*O. schmackeri*),以及涡虫、线虫、烟管螺、鼠妇、虾、蟹、伪蝎、蜘蛛、马陆、蜈蚣、灶马、菌蚊、摇蚊、尺蛾等无脊椎动物。在脊椎动物中,除蝙蝠外,其他物种皆由于重力因素的影响而不可能在洞顶壁运动,几乎没有机会接触到洞蛭。其他一些无脊椎动物(如马陆、灶马、菌蚊、摇蚊等)虽有时可见其在洞顶壁活动,但迄今尚未发现洞蛭吸食这些动物的血液或体液的情况。基于项目组以前多年的野外观察^[7,12-13,15-18,22],洞栖性蝙蝠可能是洞蛭唯一的食物来源。

虽然洞蛭不太可能吸食灶马、马陆、伪蝎等动物的血液或体液,但这三类动物最有可能捕食洞蛭。因为野外观察发现,灶马经常会在洞蛭及其卵茧周围活动或逗留,而当我们把灶马与洞蛭放在一个瓶内,过了一段时间之后,洞蛭身上有被咬过的伤痕。由于在洞顶壁活动的灶马数量较多,它们可能会对洞蛭种群造成一定程度上的危害。偶尔也可见到马陆和伪蝎在洞蛭及其卵茧周围活动,它们很可能是洞蛭或其卵茧潜在的捕食者,但由于伪蝎的数量很少,能爬到洞顶壁上去的马陆(通常在地面粪堆周围活动及取食)也是极少数个体,因此它们对洞蛭种群的影响可能很小。

3.3 洞蛭的种群动态及其影响因素

种群动态是一个复杂的过程,与种群自身特征、环境、气候、人为影响以及物种相互关系等密切相关^[23-25]。国内关于蛭类种群动态的研究较少,主要有对宽体金线蛭(*Whitmania pigra*)、海南山蛭(*Haemadipsa hainana*)种群数量动态与环境因子关系的研究^[26-29]。马来西亚学者 Gasiorek & Rozycka 则对路径上的彩纹山蛭(*H. picta*)与次捷山蛭(*H. subagilis*)的数量变化进行研究,发现陆蛭种群数量的波动除了受到地理环境因素的影响以外,也存在明显的种间差异^[30]。对于洞蛭而言,虽然其微生境中缺乏植被和光照,但影响其种群数量动态的因素仍然较多,主要包括生物因子和非生物因子两大类。通过多年的实地调查与研究^[5,7-9,12-13,15-18,21-22],我们发现,洞蛭微生境中的各种生态因子都是直接或间接地通过影响其种群的出生率、死亡率、迁入率和迁出率而对种群的数量动态产生作用(图 5),其中洞栖性蝙蝠和湿球温度是主要的影响因素。在长期的进化过程中,洞蛭趋利避害,逐渐适应于洞穴特殊的生态环境,衍生出了独特的行为生态特征:在洞顶壁专门吸食洞栖性蝙蝠的血液,以维持种群的繁衍。

蝙蝠为洞蛭提供食物或营养条件,洞蛭的种群动态主要依赖于洞栖性蝙蝠的类群动态变化。实际上,洞栖性蝙蝠在整个洞穴生态系统中都发挥着关键性的作用和“伞护种”的功能,因为蝙蝠的体表和体内寄生着蜱、螨、线虫、蠕虫以及病毒、细菌等各类微生物;许多腐生、粪生性动物都直接以蝙蝠的尸体或粪便作为营养来源,而洞栖性蝙蝠的种类和数量可作为洞穴生物多样性与洞穴生态系统复杂性和稳定性的衡量指标^[5]。鉴于洞栖性蝙蝠大量捕食洞外的夜行性昆虫,在自然生态系统、农林生态系统和洞穴生态系统中具有重要的生态作用,因此建议各地方相关部门应加强对洞栖性蝙蝠和洞穴生态系统的保护实践。

3.4 洞蛭的扩散

生物进化适应的一个重要标志就是种群的顺利流动或成功扩散,种群流动有助于物种扩展其分布区域,获得更多新的资源,从而改善其营养结构^[31],获得新的形态、生理与行为习性。洞蛭种群本身的扩散能力较弱,虽然由于觅食活动,蛭体可能会在短距离内运动到一个新的地方,但因受到微环境中多种因素的影响,其

- [6] 杨潼, 莫潇, 王德斌. 洞穴吸血陆蛭一新种在中国云南省西陲的发现. 动物分类学报, 2009, 34(1): 125-129.
- [7] Huang T F, Liu Z W, Gong X Y, Wu T, Liu H, Deng J X, Zhang Y X, Peng Q Z, Zhang L B, Liu Z X. Vampire in the darkness: a new genus and species of land leech exclusively bloodsucking cave-dwelling bats from China (Hirudinea: Arhynchobdellida: Haemadipsidae). Zootaxa, 2019, 4560(2): 257-275.
- [8] 任伯淞, 黄太福, 伍丽艳, 袁小玥, 刘志霄. 四川省邻水县发现武陵洞蛭. 四川动物, 2020, 39(6): 679-683.
- [9] 吴清姐, 黄太福, 兰香英, 吴涛, 龚小燕, 伍丽艳, 刘志霄. 贵州省首次发现武陵洞蛭. 世界生态学, 2023, 12(1): 94-100.
- [10] Ewers W H. *Trypanosoma aunawa* sp. n. from an insectivorous bat, *Miniopterus tristis*, in New Guinea, which may be transmitted by a leech. The Journal of Parasitology, 1974, 60(1): 172-178.
- [11] Tessler M, Barrio A, Borda E, Rood-Goldman R, Hill M, Siddall M E. Description of a soft-bodied invertebrate with microcomputed tomography and revision of the genus *Chtonobdella* (Hirudinea: Haemadipsidae). Zoologica Scripta, 2016, 45(5): 552-565.
- [12] 伍丽艳, 刘力, 任伯淞, 严思思, 刘志霄. 基于 PAE 编码系统对武陵洞蛭行为谱的初步研究. 生命科学研究, 2022, 26(3): 239-246.
- [13] 吴清姐, 向冬琴, 向海洋, 廖金屏, 李金美, 刘志霄. 基于血常规 iDNA 技术对武陵洞蛭专吸蝠血性的研究. 生命科学研究, 2024, 28(3): 247-257.
- [14] 戴贤. 中国西部概览-湘西州. 北京: 民族出版社, 2002: 4-9.
- [15] 吴涛, 龚小燕, 黄太福, 彭乐, 张佑祥, 刘志霄. 湘西州洞栖性蝙蝠物种多样性的初步调查. 野生动物学报, 2018, 39(4): 775-781.
- [16] 龚小燕, 黄太福, 吴涛, 张佑祥, 彭清忠, 刘志霄. 西南鼠耳蝠(*Myotis altarium*)栖息生态学. 生态学报, 2018, 38(21): 7549-7556.
- [17] 龚小燕, 黄太福, 吴涛, 张佑祥, 彭清忠, 刘志霄. 皮氏菊头蝠(*Rhinolophus pearsoni*)的栖息生态特征. 生态学报, 2019, 39(15): 5718-5724.
- [18] 伍丽艳, 任伯淞, 吴涛, 黄太福, 龚小燕, 刘志霄. 中华菊头蝠的栖息生态特征及种群保护. 生态学报, 2022, 42(12): 5079-5088.
- [19] 赵晓芬. 灰色系统理论概述. 吉林省教育学院学报. 2011, 27(3): 152-154.
- [20] 杨潼. 中国动物志(环节动物门·蛭纲). 北京: 科学出版社, 1996.
- [21] 蒋能, 伍丽艳, 吴清姐, 刘志霄. 武陵洞蛭卵茧的形态结构和化学组成. 生命科学研究. DOI:10.16605/j.cnki.1007-7847.2022.09.0204.
- [22] 程小洁, 殷梓涵, 张格菲, 伍丽艳, 吴清姐, 向冬琴, 向海洋, 刘志霄. 武陵洞蛭对洞顶壁吸蝠血行为的生态适应. 世界生态学, 2023, 12(2): 182-190.
- [23] Stearns S C. Life-history tactics: a review of the ideas. The Quarterly Review of Biology, 1976, 51(1): 3-47.
- [24] Daszak P, Cunningham A A, Hyatt A D. Emerging infectious diseases of wildlife—threats to biodiversity and human health. Science, 2000, 287(5452): 443-449.
- [25] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, Changnon S A, Karl T R, Mearns L O. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. Science, 2000, 289(5487): 2068-2074.
- [26] 谭恩光, 潘志刚, 黄立英. 光润金线蛭种群数量动态与水体化学因子关系的研究. 应用生态学报, 2002, 13(5): 593-595.
- [27] 谭恩光, 梁传精. 海南山蛭种群数量动态与气象因素关系研究. 生态学报, 2000, 20(4): 611-614.
- [28] 谭恩光, 谭琳, 王波, 梁传精. 七个气象因子对海南山蛭种群数量动态影响八年观测研究. 生物数学学报, 1998, (4): 502-505.
- [29] 谭恩光. 橡胶林内人类活动对海南山蛭种群数量的影响. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(1): 27-30.
- [30] Gasior P, Rozycka H. Feeding strategies and competition between terrestrial *Haemadipsa* leeches (Euhirudinea: Arhynchobdellida) in Danum Valley rainforest (Borneo, Sabah). Folia Parasitologica, 2017, 64: 031.
- [31] 蔡晓明. 生态系统生态学. 北京: 科学出版社, 2000.