



基于贝叶斯权重估计 方法的两栖动物多样性分析 ——以广东粤北华南虎省级自然保护区为例

康桐铭^{1,2}, 谢和平³, 李文^{1,2}, 周阳阳^{1,2}, 张新旺⁴, 蒋磊^{1,2}, 钟文勇^{1,2*}

- (1. 核工业二九〇研究所, 广东省环境保护核辐射追踪研究重点实验室, 韶关, 512029;
2. 广东省放射性生态环境保护工程技术研究中心, 韶关, 512029;
3. 广东粤北华南虎省级自然保护区, 韶关, 512023;
4. 车八岭国家级自然保护区, 韶关, 512500)

稿件运行过程

收稿日期: 2023-12-17

修回日期: 2024-01-08



关键词: 贝叶斯权重估计方法;

两栖动物;

多样性;

粤北华南虎省级自然保护区

Keywords: Bayesian-weighted approach;

Amphibian;

Diversity;

South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong

中图分类号: Q959.5

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2024)-04-0830-11

DOI: 10.12375/ysdwx.20240416

摘要

野外调查是采集生物多样性数据最常用的方法,但在实际应用中,样本量总是有限的,部分稀有种可能不会出现在样本中。因此野外调查结果往往无法全面地反映研究区域的整体物种多样性。为充分掌握广东粤北华南虎省级自然保护区两栖动物多样性现状,于2022年6—10月采用样线法对该保护区的两栖动物展开调查;基于野外调查数据,采用贝叶斯权重估计方法估计保护区的物种总数目。通过野外调查记录到26种两栖动物,结合往期的调查资料,保护区现记录有35种两栖动物。贝叶斯权重估计方法的估计结果为34种,与保护区现有的两栖动物多样性记录(35种)十分接近。调查到的两栖动物包括国家二级重点保护野生动物1种(虎纹蛙 *Hoplobatrachus chinensis*),广东省重点保护陆生野生动物4种(福建掌突蟾 *Paramegophrys liui*、浦式短腿蟾 *Brachytarsophrys popei*、东方短腿蟾 *Brachytarsophrys orientalis*、莽山刘角蟾 *Liuophrys mangshanensis*)。区系组成以17个东洋界种类占优势,另有9个广布种。不同生境类型的两栖动物多样性呈现出明显差别,其中,阔叶林的两栖动物多样性最高。本文在已有研究的基础之上,进一步验证了贝叶斯权重估计方法的准确性,为贝叶斯权重估计方法在生物多样性数据校正、野生动物调查规划等领域的应用提供了依据。

基金项目: 2022年度自然资源事务专项资金-生态林业建设(省级组织实施)项目(199021)

第一作者简介: 康桐铭(1996—),男,硕士研究生;主要从事生物多样性研究。E-mail: timiki96@outlook.com

*通信作者: 钟文勇, E-mail: 363934044@qq.com

Amphibian Diversity Analysis Based on Bayesian-weighted Approach: A Case Study in South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong

KANG Tongming^{1,2}, XIE Heping³, LI Wen^{1,2},
ZHOU Yangyang^{1,2}, ZHANG Xinwang⁴, JIANG Lei^{1,2}, ZHONG Wenyong^{1,2*}

(1. Research Institute No. 290, CNNC, Guangdong Provincial Key Laboratory of Environmental Protection and Nuclear Radiation Tracking Research, Shaoguan, 512029, China;

2. Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Radioactive Eco-environmental Protection, Shaoguan, 512029, China;

3. South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong, Shaoguan, 512023, China;

4. Chebaling National Nature Reserve, Shaoguan, 512500, China)

Abstract: Field survey is the most used method for collecting biodiversity data, but in practice, the sample size is always limited, and some rare species might not be included in the samples. Therefore, the outcome of field survey usually can't completely reflect the overall species diversity of the study area. To fully understand the amphibian diversity in the South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong, we conducted a field survey using line transect sampling during June to October 2022. Based on the field survey data, the Bayesian-weighted approach was applied to estimate the total number of amphibian species in this nature reserve. A total of 26 amphibian species were observed, and combined with the previous inventory data, there have been 35 amphibian species recorded in the nature reserve. The species number estimated via Bayesian-weighted approach was 34, which is very close to the recorded number of amphibian species in the nature reserve (35). The recorded amphibians included one grade II key state-protected wild animal (*Hoplobatrachus chinensis*) and four key protected terrestrial wild animals of Guangdong Province (*Paramegophrys liui*, *Brachytarsophrys popei*, *Brachytarsophrys orientalis*, *Liuophrys mangshanensis*). Fauna composition is dominated by 17 Oriental Realm species and nine widely distributed species. Amphibian diversity varies significantly across different habitat types, with broad-leaved forest hosting the highest amphibian diversity. The present study further proved the accuracy of estimates via Bayesian-weighted approach based on existing research and provides a basis for its application in biodiversity data correction and wildlife survey planning.

两栖动物是最古老的陆生脊椎动物类群之一^[1]。它们既是消费者,自身又被更高级的消费者所捕食,对于维持食物网平衡和生态系统稳定具有重要作用^[2]。两栖动物大多具有巢域较小、扩散能力偏弱的特点,且对环境变化十分敏感,因而非常容易受到人类活动的威胁^[3-4]。在我国目前已知的408种两栖动物中,受威胁物种的比例达到了43.1%^[5]。以自然保护区的形式展开就地保护是保护生物多样性最有力、最高效的途径^[6]。通过对自然保护区的科学建设与精细管理,保护区内的物种及其栖息繁

衍的生境和所处的生态系统能够被完好地保存下来,有利于维持、增强物种对其天然分布区的适应能力^[7]。

物种丰富度,即特定区域内物种数目的多少,是物种多样性最直观的衡量指标^[8],是保护区制定、落实生物多样性保护措施的重要基础信息。多样性指数也是测度物种多样性的常用工具,然而常见的物种多样性指数,如香农-维纳指数(Shannon-Wiener index),多是建立在全部物种均落入观测样本的假设之上,其计算误差会随着观测物种数占物种总数

比例的减小而增大^[9]。当研究区域内的大多数物种均被观测到时,计算多样性指数才具有实际意义。一个生物群落通常是由许多稀有种和少数优势种组成的^[10-11],因此,稀有种的观测情况是摸清研究区域整体物种多样性的关键所在。对于面积较大的保护区而言,野外调查工作受限于人力和经费,往往无法实现全域覆盖,很难确保观测到全部物种,进而无法准确反映区域的整体物种多样性。在这样的情况下,通过有限的野外调查数据来估计整个保护区的物种数目则十分重要。

根据调查样本中各物种的相对多度(sample relative abundance)绘制的物种累积曲线(species accumulation curve)可以用于研究区域物种总数的估计^[12]。Chao *et al.*^[13]提出了由调查样本物种相对多度推导物种真实相对多度(true relative abundance)的无偏估计的方法,并建议用这一无偏估计取代被普遍使用的样本相对多度,从而获取更为准确的物种累积曲线。基于Chao *et al.*^[13]推导出的真实相对多度的无偏估计,Shen *et al.*^[14]进一步提出了贝叶斯权重估计方法,该方法可基于野外观测获取的物种多度信息,估计研究区域的整体物种多样性以及额外观测样本中可能新发现的稀有物种的数目;本研究应用了6个生物群落数据集对贝叶斯权重估计方法进行了验证,在大部分情况下,95%置信区间能够包含实际观测值。

本研究于2022年6月、8月、10月对粤北华南虎省级自然保护区的两栖动物展开野外观测;基于野外观测数据,应用贝叶斯权重估计方法估计了保护区两栖动物的物种总数;对野外观测数据与保护区科学考察成果数据(内部资料)进行整合,得到截至目前保护区两栖动物的记录总数,并以此为依据验证贝叶斯权重估计方法的估计结果;分析了保护区两栖动物的物种多样性、区系特征、珍稀濒危程度和生境分布;探讨了贝叶斯权重估计方法的应用意义。

1 研究区概况

广东粤北华南虎省级自然保护区分为仁化长江(25° 19' 59.95" — 25° 27' 23.92" N, 113° 49' 33.37" — 114° 2' 27.42" E)和乐昌沙坪(24° 56' 37.73" — 25° 3' 50.71" N, 112° 58' 22.26" — 113° 5' 1.03" E)两个片区,长江片区地处广东、湖南和江西3省交界处,位于广东省韶关市仁化县长江镇;沙坪片区地处广东、

湖南两省交界处,位于广东省韶关市乐昌市沙坪镇。保护区总面积16 360.8 km²,海拔320 ~ 1 737 m,是南亚热带与中亚热带的过渡、交会地区,属季风湿润气候,年均气温18 ~ 20 °C,年降雨量约1 500 mm^[15]。保护区内分布有集中连片、保存完好的亚热带常绿阔叶林^[16],自然生境复杂多样。保护区建立于1990年,属于省级森林和野生动物类型自然保护区,以保护地带性植被亚热带常绿阔叶林和华南虎的潜在栖息环境为主。

2 研究方法

2.1 调查方法

采用走样线的方法调查保护区的两栖动物。总共布设44条样线(沙坪片区13条、长江片区31条),样线总长度达49.17 km;样线长度为0.44 ~ 2.26 km,宽度为10 m(图1)。样线海拔为322 ~ 1 183 m,涵盖了保护区60.76%的海拔区间(表1)。设置的样线穿越保护区的各类典型生境与植被类型,具有较好的代表性。于2022年6月、8月、10月对布设的样线展开3次野外调查。每日主要调查时段为06:00—10:00、15:00—18:00和20:00—24:00。调查人员沿预设的样线行进,步行速度控制在1 ~ 2 km/h,根据两栖动物的生态习性特点,在样线范围内仔细搜寻(夜间使用照明工具辅助调查),重点关注枯枝落叶堆、石穴、水潭和水洼等两栖动物易躲藏的小生境^[17],记录发现的两栖类动物种类、数量和生境类型,并对物种及其生境进行拍照记录。针对无法在野外鉴定、识别的物种,采用徒手捕捉法和网捕法采集适量标本,保存于75%乙醇中以备室内鉴定。

2.2 物种鉴定

物种鉴定主要参考《中国两栖动物图鉴(野外版)》^[18]和《广东省两栖动物和爬行动物》^[19],所用学名参考《中国两栖、爬行动物更新名录》^[20],物种濒危等级及中国特有种参考《中国生物多样性红色名录:脊椎动物》^[21],动物地理区系及分布型的确定参考《中国动物地理》^[22]。根据两栖动物栖息环境的不同,将其生态类型划分为陆栖-流水型、陆栖-静水型、树栖型、流水型和静水型^[23]。统计两栖动物野外调查数据,确定各个物种的资源量等级。将两栖动物个体数7只以下、8 ~ 50只和50只以上,分别确定为稀少、一般和丰富^[24]。

表1 广东粤北华南虎省级自然保护区两栖动物观测样线信息

Tab. 1 The transect sampling lines for amphibians in South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong

样线编号 Number of transect sampling line	片区 District	起点经纬度 Longitude and latitude of starting point	终点经纬度 Longitude and latitude of end point	样线长度 /km Length of transect sampling line	起点海拔 /m Altitude of starting point	终点海拔 /m Altitude of end point	主要生境类型 Main habitat type
1	沙坪	25°1'27" N, 113°1'12" E	25°0'56" N, 113°1'3" E	1.03	892	853	农田
2	沙坪	25°0'51" N, 113°1'4" E	25°0'18" N, 113°1'2" E	1.12	844	793	灌草丛
3	沙坪	25°0'16" N, 113°1'2" E	24°59'38" N, 113°0'52" E	1.35	788	752	农田
4	沙坪	25°0'35" N, 113°1'30" E	25°0'1" N, 113°1'24" E	1.26	994	1026	阔叶林
5	沙坪	24°59'58" N, 113°1'26" E	24°59'26" N, 113°1'44" E	1.39	1048	1115	针叶林
6	沙坪	24°59'13" N, 113°1'42" E	24°59'25" N, 113°1'46" E	0.44	1102	1121	阔叶林
7	沙坪	25°0'20" N, 113°3'14" E	24°59'50" N, 113°3'1" E	1.16	1086	1064	灌草丛
8	沙坪	24°59'16" N, 113°3'14" E	24°59'45" N, 113°3'10" E	1.83	1055	1047	农田
9	沙坪	24°59'17" N, 113°3'19" E	24°58'55" N, 113°3'35" E	0.83	1061	1082	阔叶林
10	沙坪	24°59'5" N, 113°0'9" E	24°59'11" N, 113°0'53" E	1.53	893	1054	阔叶林
11	沙坪	24°59'9" N, 113°0'55" E	24°58'55" N, 113°1'10" E	0.82	1077	1115	针阔叶混交林
12	沙坪	24°58'51" N, 113°1'12" E	24°58'40" N, 113°1'24" E	0.66	1130	1121	阔叶林
13	沙坪	24°59'8" N, 113°0'17" E	24°59'8" N, 113°0'48" E	1.25	888	1099	阔叶林
14	长江	25°21'8" N, 113°49'49" E	25°21'10" N, 113°50'19" E	1.15	904	982	针阔叶混交林
15	长江	25°21'11" N, 113°50'22" E	25°21'23" N, 113°51'12" E	1.51	999	985	农田
16	长江	25°21'23" N, 113°51'16" E	25°21'7" N, 113°51'37" E	0.82	1026	1061	针阔叶混交林
17	长江	25°22'46" N, 113°53'2" E	25°22'55" N, 113°53'13" E	0.53	556	541	阔叶林
18	长江	25°23'3" N, 113°53'20" E	25°23'22" N, 113°53'53" E	1.19	601	643	竹林
19	长江	25°23'18" N, 113°53'55" E	25°22'46" N, 113°53'59" E	1.06	650	622	针叶林
20	长江	25°22'42" N, 113°53'59" E	25°22'15" N, 113°54'10" E	1.03	668	672	阔叶林
21	长江	25°26'1" N, 113°53'40" E	25°25'36" N, 113°53'21" E	1.24	477	457	竹林
22	长江	25°25'31" N, 113°53'23" E	25°24'54" N, 113°53'40" E	1.36	432	404	阔叶林
23	长江	25°24'51" N, 113°53'40" E	25°24'26" N, 113°53'36" E	0.87	378	399	竹林
24	长江	25°24'22" N, 113°53'37" E	25°23'43" N, 113°53'46" E	1.28	403	384	针阔叶混交林
25	长江	25°23'41" N, 113°53'51" E	25°23'25" N, 113°54'14" E	0.87	375	361	农田
26	长江	25°25'17" N, 113°55'32" E	25°24'59" N, 113°55'1" E	1.08	465	737	阔叶林
27	长江	25°24'57" N, 113°54'57" E	25°24'47" N, 113°54'46" E	0.44	766	825	竹林
28	长江	25°24'46" N, 113°54'41" E	25°24'16" N, 113°54'23" E	1.12	863	952	农田
29	长江	25°24'13" N, 113°54'22" E	25°23'45" N, 113°54'4" E	1.00	938	950	针叶林
30	长江	25°25'49" N, 113°57'18" E	25°25'47" N, 113°57'41" E	1.51	429	710	竹林
31	长江	25°25'44" N, 113°57'43" E	25°25'28" N, 113°57'49" E	0.70	722	604	阔叶林
32	长江	25°25'26" N, 113°57'53" E	25°24'43" N, 113°57'31" E	1.63	657	738	农田
33	长江	25°25'52" N, 113°59'21" E	25°25'44" N, 113°58'47" E	1.54	544	731	阔叶林
34	长江	25°25'42" N, 113°58'43" E	25°25'24" N, 113°58'19" E	0.93	698	803	竹林
35	长江	25°25'21" N, 113°58'23" E	25°25'10" N, 113°58'2" E	1.11	775	850	阔叶林
36	长江	25°22'43" N, 113°56'38" E	25°22'58" N, 113°57'11" E	1.64	695	869	竹林
37	长江	25°22'5" N, 113°55'50" E	25°22'42" N, 113°56'35" E	2.26	917	1183	针叶林
38	长江	25°24'17" N, 113°59'13" E	25°23'49" N, 113°58'58" E	1.01	322	602	阔叶林
39	长江	25°23'44" N, 113°58'56" E	25°23'21" N, 113°58'26" E	1.19	616	776	竹林
40	长江	25°23'19" N, 113°58'27" E	25°22'47" N, 113°58'21" E	1.10	760	821	农田
41	长江	25°22'43" N, 113°58'18" E	25°22'21" N, 113°57'56" E	0.94	847	1013	针叶林
42	长江	25°22'30" N, 113°59'52" E	25°22'42" N, 114°0'6" E	0.67	342	401	竹林
43	长江	25°22'18" N, 113°59'39" E	25°22'28" N, 113°59'52" E	0.54	436	410	农田
44	长江	25°22'19" N, 113°59'0" E	25°22'18" N, 113°59'38" E	1.18	475	579	竹林

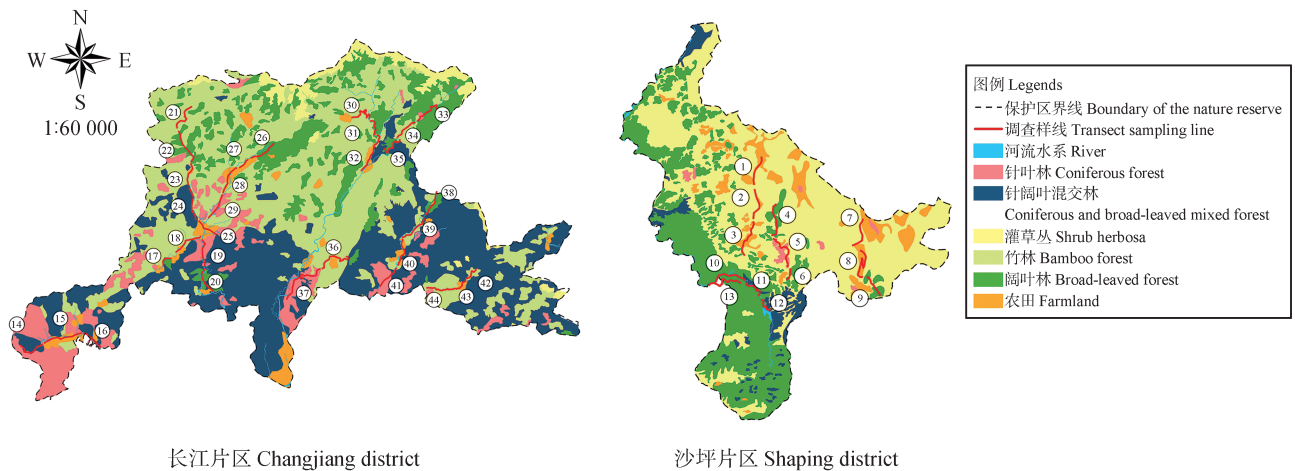


图1 广东粤北华南虎省级自然保护区样线设置

Fig. 1 The transect sampling lines in South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong

2.3 数据处理

2.3.1 物种总数及未见稀有物种数目的估计

采用贝叶斯权重估计方法,估计保护区的物种总数以及在额外的调查样本中可能发现的潜在稀有物种数^[14]。贝叶斯权重估计法的具体公式为

$$\hat{F}_k(m) = \frac{\binom{m}{k}}{\binom{m+n}{k} - \binom{m}{k}} \sum_{q=1}^k f_q \binom{m}{k-q} \hat{\delta}_q^{k-q} (1 - \hat{\delta}_q)^{m-(k-q)} \quad (1)$$

式中: $\hat{F}_k(m)$ 为出现在拟额外调查样本(样本量为 m)中个体数为 k 的新物种的数量, k 为物种的出现次数(个体数), m 为拟额外调查的样本量, n 为初始观测样本的样本量, f_q 为出现在初始观测样本中个体数为 q 的物种的数目, $\hat{\delta}_q$ 为个体数为 q 的物种的真实相对多度的无偏估计。由此可见,基于样线调查获取的物种丰富度数据(即观测到的物种总数目)以及各物种的多度数据(即观测到的每个物种的个体数目),便可应用贝叶斯权重估计方法对研究区域的物种总数进行估计。

运用稀有物种估计软件包(rare species estimation, RSE; <http://github.com/ecomol/RSE>)来实现对研究区域总体物种多样性以及未见稀有物种数目的估计。

2.3.2 多样性指数计算

通过贝叶斯权重估计方法判定野外调查结果已覆盖保护区的大多数物种后,再采用群落生态学数据分析软件包(community ecology package, vegan;

<http://github.com/vegandevs/vegan>)计算各类生境中两栖动物的香农-维纳指数、不同生境之间两栖动物群落的杰卡德距离(Jaccard distance)。本研究涉及农田、灌草丛、竹林、针叶林、针阔叶混交林和阔叶林6种生境类型。

香农-维纳指数(H')计算公式为

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中: P_i 为物种 i 的个体数在全部个体中的比例, S 为物种总数。

杰卡德距离(J_s)计算公式^[25]为

$$J_s(A, B) = 1 - \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (3)$$

式中: $A \cap B$ 为生境A与生境B共有的物种数量, $A \cup B$ 为生境A与生境B的全体物种的总数。杰卡德距离数值越大,表明两个生物群落的差异越大。

3 结果与分析

3.1 物种组成、资源量和生态类型

此次在粤北华南虎自然保护区累计观测到两栖动物1目6科26种,包括蛙科(Ranidae)8种、叉舌蛙科(Dicroglossidae)5种、角蟾科(Megophryidae)4种、姬蛙科(Microhylidae)4种、树蛙科(Rhacophoridae)3种和蟾蜍科(Bufonidae)2种。

调查到的两栖动物中,黑眶蟾蜍(*Duttaphrynus melanostictus*)、泽陆蛙(*Fejervarya multistriata*)、小弧斑姬蛙(*Microhyla heymonsi*)和饰纹姬蛙(*M. fissipes*)最为常见,资源较为丰富;其次为福建大头蛙(*Lim-*

nonectes fujianensis)、棘胸蛙(*Quasipaa spinosa*)和花姬蛙(*Microhyla pulchra*),资源量中等;剩余的19个物种资源量相对较少。共划分出5种生态类型,陆栖-静水型有11种,流水型和陆栖-流水型各有5种,树栖型3种,静水型2种。

3.2 区系特征

观测到的26种两栖动物中,有9种为广布种,占34.62%;有17种为东洋界种,占65.38%,其中华中区与华南区共有种12种,华南区物种4种,东洋界广布种1种。由此可见,该保护区的两栖动物区系呈现出明显的华中-华南特征。

3.3 珍稀濒危、重点保护和特有物种

本次调查到的两栖动物中,有8种被列入《中国生物多样性红色名录:脊椎动物》,其中濒危等级(EN)1种(虎纹蛙*Hoplobatrachus chinensis*);易危等级(VU)2种(小棘蛙*Quasipaa exilispinosa*、棘胸蛙);近危等级(NT)5种(浦式短腿蟾*Brachytarsophrys po-*

pei、莽山刘角蟾*Liuophrys mangshanensis*、沼蛙*Boulengerana guentheri*、竹叶蛙*Bamburana versabilis*、福建大头蛙)。有国家二级重点保护野生动物1种(虎纹蛙)。另有广东省重点保护陆生野生动物4种(福建掌突蟾*Paramegophrys liui*、浦式短腿蟾、东方短腿蟾*Brachytarsophrys orientalis*、莽山刘角蟾)。有中国特有种10种,包括福建掌突蟾、浦式短腿蟾、莽山刘角蟾、长肢林蛙(*Rana longicus*)、粤琴蛙(*Nidirana guangdongensis*)、竹叶蛙、黄岗臭蛙(*Odorrana huanggangensis*)、福建大头蛙、小棘蛙和大树蛙(*Rhacophorus dennysi*)。

3.4 两栖动物物种总数估计结果

贝叶斯权重估计结果表明,广东粤北华南虎省级自然保护区的两栖动物物种总数为34种。如果继续开展额外的样线调查工作,则在额外增加500或1000个样本的情况下,可能新发现的稀有种数量很少(表2)。

表2 广东粤北华南虎省级自然保护区两栖动物物种总数和稀有种数估计结果

Tab. 2 Total number of species and rare species of amphibians estimated using Bayesian-weighted approach in South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong 个

原始样本(<i>n</i>) Original sample size	额外样本(<i>m</i>) Additional sample size	观测物种数 Number of species observed	估计物种总数 Expected total number of species	稀有种个体数目(<i>k</i>) Abundance of rare species	个体数为 <i>k</i> 的未见稀有种 (95%置信区间) Number of new rare species with abundance = <i>k</i> (Confidence interval is 95%)
427	500	26	34	1	1.5(0.3, 2.6)
427	500	26	34	2	0.6(0.2, 1.1)
427	500	26	34	3	0.2(0.1, 0.3)
427	1 000	26	34	1	0.9(0.2, 1.7)
427	1 000	26	34	2	0.9(0.2, 1.6)
427	1 000	26	34	3	0.6(0.1, 1.0)

3.5 生境分布

保护区6种主要生境中,两栖动物物种数由多到少依次为阔叶林、针阔叶混交林、竹林(针叶林)、农田和灌草丛,香农-维纳指数由大到小为阔叶林、针阔叶混交林、竹林、农田、针叶林和灌草丛(表3)。杰卡德距离分析结果表明,阔叶林与针阔叶混交林的两栖动物群落最为相似($J_s = 0.375$);其次,针阔叶混交林与竹林也表现出较高的相似性($J_s = 0.400$);灌草丛的两栖动物群落明显区别于其他生境类型,其中,灌草丛与阔叶林的差异最大($J_s = 0.833$)(表4)。

4 讨论

4.1 广东粤北华南虎省级自然保护区两栖动物资源及生境分布

本次在广东粤北华南虎省级自然保护区共调查到1目6科26种两栖动物,占广东省两栖动物物种总数(75)的34.67%^[26],两栖类物种多样性较为丰富,且珍稀、特有成分突出,具有较高的保护价值。在中国动物地理区划上,广东粤北华南虎省级自然保护区隶属于东洋界华中区东部丘陵平原亚区^[22],该亚区的代表性两栖物种黑眶蟾蜍、饰纹姬蛙和虎

表3 广东粤北华南虎省级自然保护区不同生境两栖动物多样性统计

Tab. 3 Amphibian diversity of different habitats in South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong

生境类型 Habitat type	物种数量/种 No. of species	香农-维纳指数 Shannon-Wiener index
阔叶林 Broad-leaved forest	21	2.663
针阔叶混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	11	2.218
竹林 Bamboo forest	9	1.957
针叶林 Coniferous forest	9	1.507
农田 Farmland	8	1.765
灌草丛 Shrub herbosa	3	0.900

表4 广东粤北华南虎省级自然保护区以杰卡德距离表示的不同生境间两栖动物群落差异性

Tab. 4 Dissimilarity between amphibian communities of different habitats indicated by Jaccard distance in South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong

生境类型 Habitat type	灌草丛 Shrub herbosa	阔叶林 Broad-leaved forest	农田 Farmland	针阔叶混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	针叶林 Coniferous forest	竹林 Bamboo forest
灌草丛 Shrub herbosa		0.833	0.818	0.714	0.667	0.500
阔叶林 Broad-leaved forest			0.586	0.375	0.467	0.533
农田 Farmland				0.474	0.647	0.647
针阔叶混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest					0.500	0.400
针叶林 Coniferous forest						0.556
竹林 Bamboo forest						

纹蛙在调查样本中均有体现。此外,观测到的东洋界种又以华中区与华南区共有种占绝对优势,还包含有少量的华南区物种,表明保护区的动物区系具有由华中区向华南区过渡的特征,体现了该地区作为中亚热带与南亚热带交会地带的动物地理分布特点。调查样本中包含有4个角蟾科物种,分别为福建掌突蟾、浦式短腿蟾、东方短腿蟾和莽山刘角蟾。角蟾科是亚洲特有的两栖类群,在中国主要分布于华南地区和喜马拉雅山地,其物种多样性演化极其依赖于山区森林环境^[27]。广东粤北华南虎省级自然保护区位于南岭山脉中段,交通相对闭塞,受人为干扰较少,拥有较大面积保存完好的原生森林植被,为角蟾科的物种分化提供了优良环境。

本研究中,不同生境类型的两栖动物多样性存在明显差异。阔叶林具有最高的两栖动物物种多样性,其次是针阔叶混交林,而灌草丛的两栖动物多样性最低。保护区的阔叶林以亚热带常绿阔叶林为主,是该地区植物群落结构最复杂、环境异质性最高和小气候变化最多的生境类型,能够为不同生态位

的物种提供充裕多样的食物、空间资源^[28],因此阔叶林生境能够维持较高的两栖类多样性。另一方面,在保护区内,尤其是在沙坪片区,阔叶林与水资源的分布具有较高的叠合度。沙坪片区属于典型的粤北岩溶山区,地表水资源整体较为缺乏,仅在核心区内有河流分布,而沙坪片区的核心区也是其阔叶林面积最大、最集中的区域。在沙坪片区共调查到19个两栖物种,其中有12个物种出现于核心区内的阔叶林生境(10、12、13号样线)。因此粤北华南虎省级自然保护区内的阔叶林生境对于依赖水环境的两栖动物而言具有特别的适宜性。

4.2 贝叶斯权重估计方法对生物多样性调查的意义

生物多样性调查是一项重要的基础性工作,是自然保护区编制总体规划、开展日常管理的必要前提。基于样线的目视遇测法是调查生物多样性最基本、最常用的方法^[29],在实际应用中往往存在样本量受限的问题,因此很难通过目视遇测法调查到研究区域的所有物种。贝叶斯权重估计方法可以利用有限的野外观测数据推测研究区域的物种总数和稀有

种数目。该方法被应用于浙江省古田山国家级自然保护区^[30]、四川省画稿溪自然保护区^[31]的两栖爬行动物多样性研究,得出的估计结果与历史文献记录以及长期监测数据具有较强的一致性。广东粤北华南虎省级自然保护区在2007年开展过一次科学考察,共记录到9科30种两栖动物(内部资料)^[32]。本次调查发现的两栖动物中,有5种是保护区的新记录种,包括福建掌突蟾、浦式短腿蟾、东方短腿蟾、长肢林蛙和布氏泛树蛙(*Polypedates braueri*),因此,保

护区的两栖动物记录现已增至9科35种(表5)。采用贝叶斯权重估计方法推测出的两栖动物物种总数目为34种,与保护区目前的两栖动物记录总数(35种)十分接近,这在一定程度上印证了贝叶斯权重估计方法估计结果的准确性。贝叶斯权重估计方法可以用于校核区域生物多样性数据的完整性,还能够为野外调查工作的样线布设、样本量确定提供指导,在生物多样性保护备受重视的当下,有着广阔的应用前景。

表5 广东粤北华南虎省级自然保护区两栖动物名录

Tab. 5 Species checklist of amphibians in South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong

物种名称 Species	分布型 Distribution type	资源状况 Resource status	生态类型 Ecotype	保护类别 Protection category	濒危等级 China's red list category	保护区 新纪录 New records	数据来源 Data sources	样线序号 The number of transect sampling line
两栖纲 AMPHIBIA								
一 有尾目 URODELA								
(一) 蝾螈科 Salamandridae								
1 中国瘰螈 <i>Paramesotriton chinensis</i> *	C,S	+	R	二级	NT		B	
2 无斑瘰螈 <i>Paramesotriton labiatus</i> *	S	+	R	二级	VU		B	
二 无尾目 ANURA								
(二) 角蟾科 Megophryidae								
3 福建掌突蟾 <i>Paramegophrys liui</i> *	C,S	+	TR	▲	LC	√	F	12,24
4 浦式短腿蟾 <i>Brachytarsophrys popei</i> *	S	+	R	▲	NT	√	F	10
5 东方短腿蟾 <i>Brachytarsophrys orientalis</i>	S	+	R	▲	LC	√	F	10
6 莽山刘角蟾 <i>Liuophrys mangshanensis</i> *	C,S	+	TR	▲	NT		F	13
(三) 蟾蜍科 Bufonidae								
7 中华蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i>	W	+	TQ		LC		F	11,12,31,34
8 黑眶蟾蜍 <i>Duttaphrynus melanostictus</i>	OW	+++	TQ		LC		F	7,14,16,17,27,33,35,41
(四) 雨蛙科 Hylidae								
9 中国雨蛙 <i>Hyla chinensis</i>	C,S	+	A		LC		B	
10 华南雨蛙 <i>Hyla simplex</i>	C,S	+	A		LC		B	
(五) 蛙科 Ranidae								
11 长肢林蛙 <i>Rana longicrus</i> *	S	+	TQ		LC	√	F	12,23,33
12 台北水蛙 <i>Hylarana taipehensis</i>	S	+	TQ		NT		B	
13 粤琴蛙 <i>Nidirana guangdongensis</i> *	S	+	Q		LC		F	14,16,17,20,22,26,28,31,33,39
14 沼蛙 <i>Boulengerana guentheri</i>	W	+	TQ		NT		F	5,14,15,16,18,19,26,28,29,39,40

续表 5

物种名称 Species	分布型 Distribution type	资源状况 Resource status	生态类型 Ecotype	保护类别 Protection category	濒危等级 China's red list category	保护区 新纪录 New records	数据来源 Data sources	样线序号 The number of transect sampling line
15 阔褶水蛙 <i>Sylvirana latouchii</i>	C,S	+	TQ		LC		F	7,18
16 竹叶蛙 <i>Bamburana versabilis</i> *	C,S	+	TR		NT		F	10,13,19
17 大绿臭蛙 <i>Odorrana graminea</i>	C,S	+	TR		LC		F	11,12,14,18,19,20,31
18 黄岗臭蛙 <i>Odorrana huanggangensis</i> *	C,S	+	TR		LC		F	10,11,12,13,14,31
19 绿臭蛙 <i>Odorrana margaretae</i>	S	+	TR		LC		B	
20 华南湍蛙 <i>Amolops ricketti</i>	C,S	+	R		LC		F	33,35,41
(六)叉舌蛙科 Dicroglossidae								
21 泽陆蛙 <i>Fejervarya multistriata</i>	W	+++	TQ		LC		F	7,14,18,19,26,28,36,38,39
22 虎纹蛙 <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	C,S	+	TQ	二级	EN		F	26
23 福建大头蛙 <i>Limnonectes fujianensis</i> *	W	++	Q		NT		F	10,22,24,28,33,35
24 小棘蛙 <i>Quasipaa exilispinosa</i> *	C,S	+	R		VU		F	12,33
25 棘胸蛙 <i>Quasipaa spinosa</i>	C,S	++	R		VU		F	10,11,12,19,22,31,38
(七)浮蛙科 Occidozygidae								
26 尖舌浮蛙 <i>Occidozyga lima</i>	C,S	+	TQ		VU		B	
(八)树蛙科 Rhacophoridae								
27 布氏泛树蛙 <i>Polypedates braueri</i>	C,S	+	A		LC	√	F	8
28 斑腿泛树蛙 <i>Polypedates megacephalus</i>	W	+	A		LC		F	19,29
29 无声囊泛树蛙 <i>Polypedates mutus</i>	OW	+	A		LC		B	
30 大树蛙 <i>Rhacophorus dennysi</i> *	W	+	A		LC		F	13,31
(九)姬蛙科 Microhylidae								
31 粗皮姬蛙 <i>Microhyla butleri</i>	W	+	TQ		LC		F	16,28
32 小弧斑姬蛙 <i>Microhyla heymonsi</i>	W	+++	TQ		LC		F	28,33
33 饰纹姬蛙 <i>Microhyla fissipes</i>	W	+++	TQ		LC		F	27
34 花姬蛙 <i>Microhyla pulchra</i>	C,S	++	TQ		LC		F	5,12,13,28
35 花狭口蛙 <i>Kaloula pulchra</i>	C,S	+	TQ		LC		B	

注: (1)*. 中国特有种; (2)分布型, C为东洋界华中区, S为东洋界华南区, OW为东洋界广布, W为世界广布; (3)资源状况, +为稀少, ++为中等, +++为丰富; (4)生态类型, Q为静水型, TQ为陆栖-静水型, R为流水型, TR为陆栖-流水型, A为树栖型; (5)保护类别, 二级为国家二级重点保护野生动物, ▲为广东省重点保护陆生野生动物; (6)濒危等级, EN为濒危, VU为易危, NT为近危, LC为无危; (7)数据来源, F为实地调查, B为文献资料。

Note: (1) *. Species endemic to China; (2) Distribution type includes central China (C), south China (S), widespread in oriental region (OW) and widespread (W); (3) Resource status includes rare (+), medium (++) and abundant (+++); (4) Ecotype includes quiet water type (Q), terrestrial-quiet water type (TQ), running water type (R), terrestrial-running water type (TR), and arboreal type (A); (5) Protection category includes grade II key state-protected wild animal (II) and key protected terrestrial wild animals of Guangdong Province (▲); (6) China's red list category includes endangered (EN), vulnerable (VU), near threatened (NT), and least concerned (LC); (7) Data source includes field survey (F) and book and literature (B).

参考文献:

- [1] BAILLIE J E M, GRIFFITHS J, TURVEY S T, *et al.* Evolution lost: status and trends of the world's vertebrates [M]. London: Zoological Society of London, 2010.
- [2] POUGH F H, ANDREWS R M, CRUMP M L, *et al.* Herpetology [M]. 4th ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2015.
- [3] BELLIS E D. Home range and movements of the wood frog in a northern bog[J]. *Ecology*, 1965, 46(1/2): 90-98.
- [4] KERBY J L, RICHARDS-HRDLIČKA K L, STORFER A, *et al.* An examination of amphibian sensitivity to environmental contaminants: Are amphibians poor canaries? [J]. *Ecology Letters*, 2010, 13(1): 60-67.
- [5] 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.
- JIANG J P, XIE F, ZANG C X, *et al.* Assessing the threat status of amphibians in China [J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(5): 588-597.
- [6] 金鉴明, 薛达元. 我国生物多样性及其保护战略 [J]. *农村生态环境*, 1991, 7(2): 1-5.
- JIN J M, XUE D Y. The biodiversity and conservation strategy in China [J]. *Rural Eco-environment*, 1991, 7(2): 1-5.
- [7] 何霄嘉, 张于光, 张九天, 等. 中国生物多样性适应气候变化策略研究 [J]. *现代生物医学进展*, 2012, 12(20): 3966-3969; 3984.
- HE X J, ZHANG Y G, ZHANG J T, *et al.* Study on strategies of how biodiversity adapt to climate change in China [J]. *Progress in Modern Biomedicine*, 2012, 12(20): 3966-3969; 3984.
- [8] PEET R K. The measurement of species diversity [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1974, 5: 285-307.
- [9] BECK J, SCHWANGHART W. Comparing measures of species diversity from incomplete inventories: an update [J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2010, 1(1): 38-44.
- [10] ENQUIST B J, FENG X, BOYLE B, *et al.* The commonness of rarity: global and future distribution of rarity across land plants [J]. *Science Advances*, 2019, 5(11): eaaz0414.
- [11] VÁZQUEZ L B, GASTON K J. Rarity, commonness, and patterns of species richness: the mammals of Mexico [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13(6): 535-542.
- [12] UGLAND K I, GRAY J S, ELLINGSEN K E. The species-accumulation curve and estimation of species richness [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2003, 72(5): 888-897.
- [13] CHAO A, HSIEH T C, CHAZDON R L, *et al.* Unveiling the species-rank abundance distribution by generalizing the Good-Turing sample coverage theory [J]. *Ecology*, 2015, 96(5): 1189-1201.
- [14] SHEN T J, CHEN Y H. A Bayesian-weighted approach to predicting the number of newly discovered rare species [J]. *Conservation Biology*, 2019, 33(2): 444-455.
- [15] 缪绅裕, 王厚麟, 黄金玲, 等. 广东北部山区若干森林群落 [J]. *广西植物*, 2010, 30(4): 493-500.
- MIAO S Y, WANG H L, HUANG J L, *et al.* Some forest communities in north of Guangdong, China [J]. *Guihaia*, 2010, 30(4): 493-500.
- [16] 苏志尧, 陈北光. 粤北珍稀濒危植物的区系特点和保护对策 [J]. *林业科学研究*, 1999, 12(1): 23-30.
- SU Z Y, CHEN B G. Floristic characteristics of the rare and endangered plant species in north Guangdong and their conservation strategies [J]. *Forest Research*, 1999, 12(1): 23-30.
- [17] 张建军. 山西阳城蟒河猕猴国家级自然保护区两栖爬行动物多样性及保护 [J]. *野生动物学报*, 2019, 40(4): 969-978.
- ZHANG J J. Diversity and protection of amphibians and reptiles in Yangcheng Manghe Rhesus Monkey National Nature Reserve, Yangcheng, Shanxi Province [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2019, 40(4): 969-978.
- [18] 费梁. 中国两栖动物图鉴(野外版) [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2020.
- FEI L. Atlas of amphibians in China (field edition) [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2020.
- [19] 黎振昌, 肖智, 刘少容. 广东两栖动物和爬行动物 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2011.
- LI Z C, XIAO Z, LIU S R. Amphibians and reptiles of Guangdong [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2011.
- [20] 王凯, 任金龙, 陈宏满, 等. 中国两栖、爬行动物更新名录 [J]. *生物多样性*, 2020, 28(2): 189-218.
- WANG K, REN J L, CHEN H M, *et al.* The updated checklists of amphibians and reptiles of China [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(2): 189-218.
- [21] 江建平, 谢锋, 李成, 等. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物: 第4卷: 两栖动物: 上下册 [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- JIANG J P, XIE F, LI C, *et al.* China's red list of biodiversity: vertebrates: Vol. IV: amphibians: I and II [M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [22] 张荣祖. 中国动物地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- ZHANG R Z. Zoogeography of China [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [23] 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2012.
- FEI L, YE C Y, JIANG J P. Colored atlas of Chinese amphibians and their distributions [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 2012.
- [24] 杨岗, 李东, 余辰星, 等. 广西弄岗国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查 [J]. *动物学杂志*, 2011, 46(4): 47-52.
- YANG G, LI D, YU C X, *et al.* Field survey on amphibians and reptiles in Nonggang National Nature Reserve, Guangxi [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2011, 46(4): 47-52.
- [25] JACCARD P. The distribution of the flora in the alpine zone [J]. *The New Phytologist*, 1912, 11(2): 37-50.

- [26] 邹发生, 叶冠锋. 广东陆生脊椎动物分布名录[M]. 广州: 广东科技出版社, 2016.
- ZOU F S, YE G F. Atlas and distributions of vertebrates in Guangdong[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2016.
- [27] CHEN J M, POYARKOV N A, Jr, SUWANNAPOOM C, *et al.* Large-scale phylogenetic analyses provide insights into unrecognized diversity and historical biogeography of Asian leaf-litter frogs, genus *Leptotalax* (Anura: Megophryidae)[J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2018, 124: 162–171.
- [28] ATAURI J A, DE LUCIO J V. The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes[J]. *Landscape Ecology*, 2001, 16: 147–159.
- [29] 郜二虎, 王志臣, 王维胜, 等. 全国第二次陆生野生动物资源调查总体思路[J]. *野生动物学报*, 2014, 35(2): 238–240.
- GAO E H, WANG Z C, WANG W S, *et al.* Technical plan for the second national survey of terrestrial wildlife in China[J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2014, 35(2): 238–240.
- [30] 李成, 章文艳, 高军, 等. 基于贝叶斯权重估计方法估计浙江省古田山国家级自然保护区两栖爬行动物多样性[J]. *四川动物*, 2022, 41(1): 92–98.
- LI C, ZHANG W Y, GAO J, *et al.* Based on Bayesian-weighted approach to estimating the amphibians and reptiles diversity in the Gutianshan National Nature Reserve, Zhejiang[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2022, 41(1): 92–98.
- [31] 李成, 章文艳, 熊姍, 等. 贝叶斯权重估计方法在两栖动物多样性观测中的应用: 以四川省画稿溪自然保护区为例[J]. *生态与农村环境学报*, 2022, 38(4): 504–510.
- LI C, ZHANG W Y, XIONG S, *et al.* Application of Bayesian-weighted approach on the amphibian diversity monitoring: a case study in Huagaoxi Nature Reserve, Sichuan, China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2022, 38(4): 504–510.
- [32] 广州大学, 广东省华南濒危动物研究所, 广东省韶关市林业局, 等. 广东粤北华南虎省级自然保护区科学考察报告[R]. 韶关: 广东粤北华南虎省级自然保护区, 2007.
- University of Guangzhou, South China Institute of Endangered Animals of Guangdong Province, Forestry Bureau of Shaoguan City, Guangdong Province, *et al.* Scientific expedition report of South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong[R]. Shaoguan: South China Tiger Provincial Nature Reserve of Northern Guangdong, 2007.