

福建宁德人口聚集区两栖动物多样性现状及保护对策

陈晨, 朱琳, 钟俊, 计翔

(南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 两栖动物因其生态功能和营养结构中的位置, 成为生态系统中重要的类群, 对维持群落结构和生态稳定具有重要意义。监测和分析两栖动物多样性, 可以准确地掌握种群动态和主要致危因素, 进而对其进行及时有效的保护。本研究于2018年4月、6月和8月, 在福建宁德样区设置了10条样线, 针对两栖动物进行了3次样线调查; 依据农田、公路、池塘、河流4种样线类型, 用Shannon-Wiener、Simpson和Pielou指数量化不同月份的物种多样性并进行差异性分析, 同时分析了人口聚集区对物种多样性的影响。调查期间共监测到两栖动物513只, 隶属1目5科9属10种; 其中虎纹蛙(*Hoplobatrachus rugulosus*)为“国家二级”和易危(VU)保护动物、其余9种为国家“三有”保护动物; 泽陆蛙(*Fejervarya multistriata*)、黑眶蟾蜍(*Duttaphrynus melanostictus*)、沼水蛙(*Hylarana guentheri*)均具有较高的优势度指数(P_i), 为该样区的优势物种。不同月份间物种多样性存在显著差异, 6月份的多样性指数均最高。物种的交替出现与生活史周期相吻合, 说明该地较适宜两栖动物生存, 种间竞争压力不大。人口聚集区对两栖动物的分布具有一定的影响, 与人口聚集区的地理距离越远, 物种多样性越高。另外, 结合当地两栖动物分布格局与经济发展, 对其多样性保护提供了对策与建议。

[关键词] 物种多样性, 两栖动物, 样线法, 人口聚集区, 宁德, 福建

[中图分类号] Q89, X176 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2021)02-0085-07

The Current Situation and Protection Strategy of Amphibian Diversity in the Densely-Populated Area of Ningde, Fujian Province

Chen Chen, Zhu Lin, Zhong Jun, Ji Xiang

(School of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Amphibians, because of their ecological function and position in the nutritional structure, have become one of the most important taxa in the ecosystem, playing a critical role in maintaining community structure and ecological stability. Monitoring and analyzing amphibian diversity are of importance in obtaining accurate information about their population dynamics and the main factors affecting such dynamics. In this study, ten sampling lines of four types (farmland, road, pond and stream) set up in the densely-populated area of Ningde, Fujian, East China, were surveyed thrice in April, June and August 2018 for amphibians. We quantified species diversity and its seasonal variation by calculating Shannon-Wiener, Simpson and Pielou indices based on data collected in the three months. We also assessed the anthropogenic impact on species biodiversity in this densely-populated area. A total of 513 amphibians were observed in the survey, and these individuals belonged to one order, five families, nine genera and ten species. All the ten species are protected due to their scientific, economic and/or social values, with *Hoplobatrachus rugulosus* being the only second-class protected and vulnerable (VU) animal. *Fejervarya multistriata*, *Duttaphrynus melanostictus*, and *Hylarana guentheri* were the three dominant species in this area. Seasonal changes in species diversity were evident, with the greatest diversity index recorded in June. Our data allow the following conclusions. Firstly, the alternating occurrence of species coincides with the life cycle. Secondly, the area we sampled is suitable for amphibians to survive. Thirdly, interspecific competition is not strong, and anthropogenic impact is a factor affecting the distribution of amphibians as revealed by the positive correlation between geographical distance from human habitation and species diversity in this area. Considering the local economic development and distribution pattern of amphibians, we proposed several strategies for protection of amphibian diversity in this densely-populated area.

Key words: species diversity, amphibians, line transect method, densely-populated area, Ningde, Fujian

收稿日期: 2020-04-26.

基金项目: 生态环境部生物多样性保护专项(2018YFC0507206).

通讯作者: 计翔, 教授, 研究方向: 进化生理生态学. E-mail: jixiang@njnu.edu.cn

两栖动物作为从水生向陆生进化的过渡类群,皮肤的高通透性使其对栖息地环境有较高要求,环境的细微变化都可能造成种群数量变化,因而两栖动物也成为了环境变化的指示物种^[1-2]。同时,两栖动物也因其营养结构中所处的重要位置和自身所具有的生态功能,对生态系统的稳定发展和功能维持起着重要作用^[3-4]。两栖动物数量的减少和种群的衰退不仅会导致营养关系发生混乱,而且会对其他物种的生存和分布产生直接或间接的影响^[2-3],甚至会导致区域内整个生态系统的崩溃。

我国现分布的两栖动物有3目13科81属410种(或亚种),其中特有种281种,约占总数的69.2%^[5]。两栖动物在害虫防治^[6]、科学研究^[7-8]、药用价值^[9]等方面都有不可估量的价值,是非常重要的生物资源。随着人类社会的发展,全球气候暖化、栖息地破坏和水体污染等问题严重限制和影响了两栖动物的生存与繁殖^[1,10]。近几年来,生物多样性监测作为最直观有效的调查方法,成为研究物种多样性的重要手段。与此同时,作为群落结构和生态稳定的“晴雨表”,两栖动物的生存现状也越来越受到重视。对不同样区开展两栖动物多样性监测不仅对两栖动物的保护具有巨大推进作用^[11],对全国生态环境的监测也具有重要价值。

掌握两栖动物的动态变化和空间格局不仅可以更加有效的开展针对性监测,更可以对两栖动物聚集的生境类型进行重点保护^[12]。因此,本研究在2018年4月、6月和8月对福建宁德样区的人口聚集区进行了三次样线法调查(line transect method),对该地区两栖动物种群动态和分布格局进行了研究,并根据该样区两栖动物资源数量及栖息地现状,结合当地农村建设和经济发展对两栖动物保护提出了相关建议。

1 研究区域概况

本研究的监测样区位于福建省宁德市(118°32'E~120°44'E,26°18'N~27°4'N)。宁德样区地处福建东北部,属于沿海城市,地形以丘陵山地为主,沿海为小平原,属于中亚热带海洋性季风气候。年均气温17.5℃、年日照时长1637.7h、年均降水量2350mm,境内水系发达,河流密布。内陆拥有森林公园、湿地公园、自然保护区等共计18个,温暖潮湿的气候条件与种类丰富的植被资源十分适合两栖动物生存。上世纪80年代的调查发现,宁德地区的两栖动物共有23种,占福建全省两栖动物物种总数的52.27%^[13]。2004年的调查发现闽东地区共有两栖动物26种,与宁德市相邻的罗源县、古田县两栖动物多样性G-F指数为0.499,物种丰富度(species richness)位居福建省前列^[14]。近20年来,随着我国经济的发展,宁德地区在现代化进程建设中也对土地进行了大规模的改造和开发,两栖类及其他动物栖息地日益减少。并且该地区已有15年未对两栖动物进行调查,野外两栖动物种群动态与资源情况不明,因此十分有必要再次开展对宁德地区两栖动物的监测与保护。

2 材料与方法

2.1 样线设置

宁德样区由霞浦县和杨家溪自然保护区两个样区组成,为监测不同生境类型中物种多样性的情况,每个样区各选择5条样线(样线位置及编号见图1)。霞浦县样区以玉潭樱花谷景区大门为起点直至墓斗村,沿途选取农田(水田与旱田)、池塘、公路等生境设置监测样线;杨家溪自然保护区以杨家溪村下坪洋为起点直至渡头村,沿途选择河流、公路(山路)、农田(果林)等生境设置监测样线。在2018年的4月、6月和8月开展调查。

根据两栖动物的生活习性和《中国第二次全国陆地野生动物调查技术计划》中的监测原则,样线调查于日落0.5h至日落后4h内限时步行调查单侧2m内发现的两栖动物种类及数量,并记录各样线气温、水温、空气湿度、水体pH、海拔、栖息地类型以及人为干扰程度,使用手持GPS记录样线起始点和轨迹,对监测到的物种进行拍照保留,依据《中国两栖动物彩色图鉴》^[5]进行物种鉴定。

2.2 生物多样性指数计算

Shannon-Wiener指数、Simpson指数、Pielou指数是生物多样性研究常用的3个指标,表示群落中物种的多样性以及个体数的均匀性,可以适用于不同群落大小的物种多样性调查^[15-17]。Shannon-Wiener指数主要表示群落中的物种组成以及物种个体数的均匀性;Simpson指数表示连续两次抽样所得的个体同属于一个物种的概率,用于判断物种的丰富度与多样性,指数越大,说明多样性越高;Pielou均匀度指数由

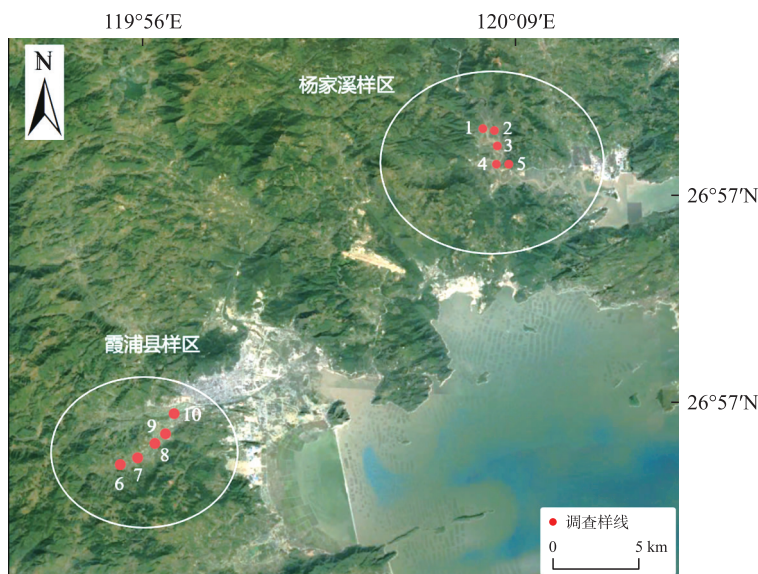


图1 宁德地区两栖动物调查样区分布示意图

Fig. 1 Demonstration map of sample areas in Ningde

Shannon-Wiener 指数计算得出,用来衡量群落物种的均一性,均匀度指数越大,物种间的个体数越均匀. P_i 优势度指数表示某两栖动物(i)的个体数占总个体数(N)的比值,数值越大,表示该物种在群落中占据着越大的生态位空间,越有可能成为该群落的优势种. 根据监测结果计算出各样线每月的多样性指标(Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数)及优势度 P_i . 计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数 $H^{[15]}$

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

Simpson 多样性指数 $C^{[16]}$

$$C = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数 $J^{[17]}$

$$J = \frac{H}{H_{\max}} \quad (3)$$

式(1)中, S 为监测到的两栖动物物种数量(物种丰富度), i 为某两栖动物;式(3)中, $H_{\max} = \ln S$.

2.3 人口聚集区对两栖动物分布的影响

人口聚集区,特别是距离野外环境较近的乡镇、农村,日常生活产生的垃圾、废水等往往会对周围环境造成污染(尤其是水质),使两栖动物生存环境发生巨大变化,直接或间接的对两栖动物分布格局造成影响^[18]. 为了解该地区人口聚集区对周围两栖类多样性和分布格局的影响程度,特地在同一农村附近设置了2条不同生境类型的样线(农田和池塘生境类型,8号和9号),使用R中“SP”包计算各样线与最近的人口聚集区之间的地理距离(km). 由于地理距离数值较大,对地理距离取对数后与各样线的多样性指数、两栖动物总数进行回归分析.

多样性指数由R 3.6.1中“vegan”包(R Core Team, 2019)进行计算,采用SPSS 26.0(IBM, NY, USA)对各月份多样性指数进行非参数Friedman检验,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$.

3 结果与讨论

3.1 宁德样区的物种组成

本次监测共发现两栖动物513只,隶属1目5科9属10种. 4月份共监测到两栖动物7种,共270只个体;6月份监测到8种,共160只;8月份监测到7种,共83只. 其中蟾蜍科2种;蛙科3种;树蛙科2种;姬蛙科1种;叉舌蛙科1种. 其中,虎纹蛙属于国家二级保护且易危(VU, IUCN)动物(表1),其他9种两

栖动物为国家“三有保护动物”且在国内分布广泛数量相对较多。

表 1 宁德样区两栖动物物种名录
Table 1 The checklist of amphibians in Ningde

序号	目名	科名	种名	IUCN	存在样线	生境类型
1	无尾目	蟾蜍科 Bufonidae	黑眶蟾蜍 <i>Duttaphrynus melanostictus</i>	LC	All	All
2	Anura	蛙科 Ranidae	中华大蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i>	LC	7	Fa
3			花臭蛙 <i>Odorrana schmackeri</i>	LC	1,2,5,6	Ri,Ro
4			沼水蛙 <i>Boulengerana guentheri</i>	LC	1,2,3,4,5,6,8,9	All
5		叉舌蛙科 Dicroglossidae	虎纹蛙 <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	VU, II	4,9,10	Ri,Fa,Po
6			泽陆蛙 <i>Fejervarya multistriata</i>	DD	All	All
7		姬蛙科 Microhylidae	饰纹姬蛙 <i>Microhyla fissipes</i>	LC	1,2,4,5,6,7,8	Ri,Ro,Fa
8			粗皮姬蛙 <i>Microhyla butleri</i>	LC	7,8	Po,Fa
9		树蛙科 Rhacophoridae	斑腿泛树蛙 <i>Polypedates megacephalus</i>	LC	5,6,8,9	Po,Ro,Fa
10			大树蛙 <i>Rhacophorus dennysi</i>	LC	5	Ro

LC,无危;DD,数据缺失;VU,易危;II,国家二级保护动物. Ri,河流生境;Po,池塘生境;Ro,公路生境;Fa,农田生境.

3.2 物种优势度指数及多样性指数变化

在 3 个月的监测中,优势度指数较高的两栖类物种依次为泽陆蛙 ($P_i=0.44$)、黑眶蟾蜍 ($P_i=0.33$)、沼水蛙 ($P_i=0.11$) (图 2),观测数量分别占总数的 43.3%、33.5%、11.3%,说明这 3 个物种为该地区的优势物种. 优势度指数最低的是国内分布众多且无危(LC)的大树蛙和中华大蟾蜍 ($P_i=0.004$) (图 2),中华大蟾蜍数量较低的原因可能是该地区为物种分布区的边缘;大树蛙数量低的原因可能是栖息地更多的是在山林(竹林)中,本研究并没有对竹林生境进行单独监测,只有观测到大树蛙的 2 号样线部分一侧为山林(竹林). 各样线的平均 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数均是 6 月份最高,其次是 8 月份,4 月份最低(all $P<0.05$). 除 3 个优势物种外,其他物种如斑腿泛树蛙、沼水蛙、虎纹蛙等在 6 月份相继出现或数量最多,说明 6 月份是该地区动物的活动高峰期.

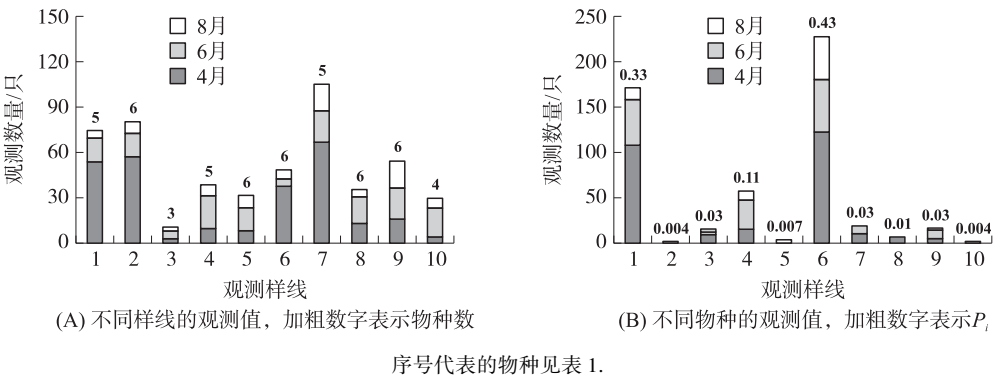


图 2 宁德样区两栖动物观测数量
Fig. 2 The number of amphibians observed in sampling area, Ningde

表 2 生物多样性指数的月际变化,数据表示为平均值(±标准误)和范围

Table 2 Monthly variation of biodiversity index, data are expressed as mean±SE and range

	4 月份	6 月份	8 月份	统计结果
Shannon-Wiener 指数(H)	0.838±0.104 0.390~1.210	1.062±0.102 0.480~1.570	0.863±0.125 0.000~1.560	$H_{(2,N=30)}=9.897$ $P<0.05$
Pielou 均匀度指数(J)	0.690±0.084 0.280~1.000	0.876±0.028 0.700~0.970	0.829±0.182 0.000~2.250	$H_{(2,N=30)}=5.664$ $P<0.05$
Simpson 指数(C)	0.460±0.063 0.170~0.660	0.600±0.043 0.300~0.780	0.503±0.065 0.000~0.780	$H_{(2,N=30)}=5.664$ $P<0.05$

3.3 不同生境类型中物种的差异

样线主要包括农田(旱田和水田)、河流、池塘、公路 4 种生境类型(位于杨家溪的 5 号样线是一条有坡度的上山小路,本文将其归入到公路生境类型中). 其中,两栖动物个体数目最多的是位于霞浦县的

7号农田样线;总数最少的出现在同属农田生境类型的3号样线。单条样线物种数最多为6种,分别为2、5、6、8、9号样线,隶属于公路生境和农田生境类型。在河流生境类型中,两栖动物的总数占22.4%,共监测到6种动物(图3),2条样线平均监测到两栖动物约为58只,是样线监测个体数平均值最多的生境类型。池塘生境类型只有1条样线,两栖动物数量占到了10.7%;公路生境和农田生境类型分别有3条和4条样线,两栖动物总数分别占到了31.2%和35.7%。

3.4 人口聚集区对动物分布格局的影响

将地理距离进行对数转换后与各样线的Shannon-Wiener指数、Simpson指数、Pielou指数、观测数量进行线性回归分析。结果显示,Simpson指数与地理距离具有显著的线性回归关系,并随着地理距离的增大而增加($r=0.706$, $P=0.023$;图4)。Shannon-Wiener指数与Pielou指数虽然与地理距离线性关系不显著,但也有增加的趋势。在同一村庄附近的2条样线,虽然两栖类物种数相同,但9号样线监测到的两栖动物较8号样线个体数要多(图2),生物多样性指数也较高,这很大程度上与9号样线的池塘生境有关,同时也体现出该地区附近的水质并没有受到生活生产太大的影响(实际监测中该样线水质pH为 6.9 ± 0.2)。值得注意的是,虽然物种多样性指数都随着距人口聚集区地理距离的增大而增加,但是两栖动物数量却显著减小。这可能是因本研究所选择的河流、池塘等生境类型都距人口聚集区较近所致。

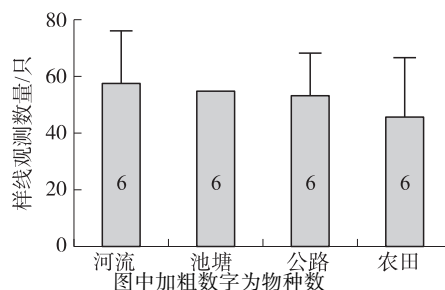


图3 不同生境类型的观测样线中两栖动物数量平均值

Fig. 3 Average number of amphibians in observation transect lines of different habitat types

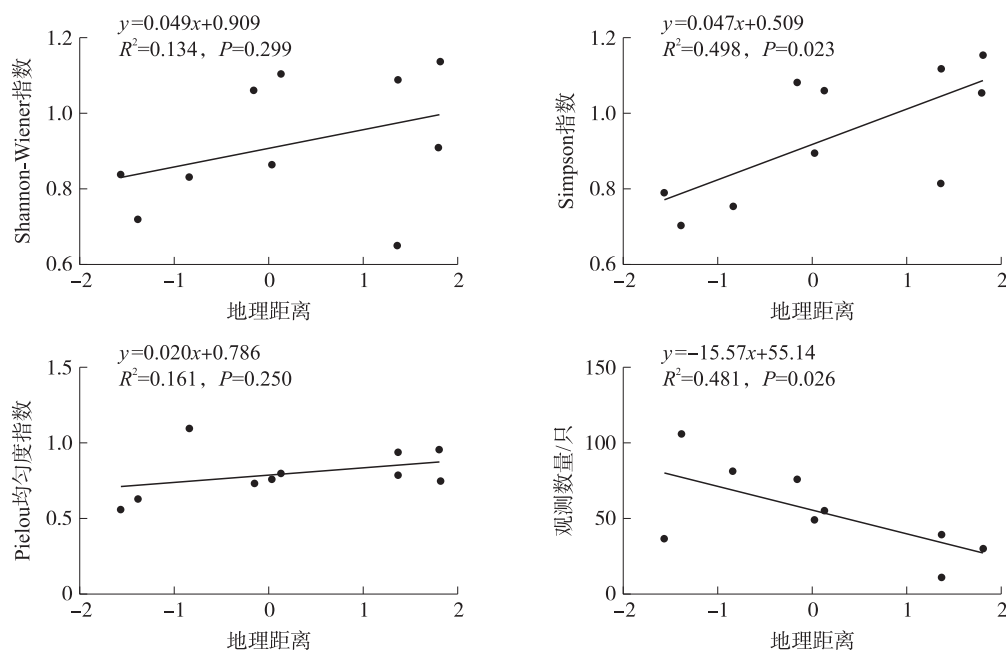


图4 生物多样性与地理距离的线性回归

Fig. 4 Linear regressions between species diversity indices and geographic distance

4 结论

一些物种的生存明显受到季节性和生存类型限制。如大树蛙只出现在一侧为山林的2号样线(公路生境类型)中,粗皮姬蛙只在4月份的农田生境和池塘生境类型中出现;虎纹蛙只出现在6、8月份的河流、池塘以及一条距离水源较近的农田样线中(表1)。导致物种交替出现的原因一方面可能是因为生活史周期的差异^[19-20],繁殖期的差异导致了物种活动高峰期的交错;另一方面可能由于资源有限,与优势种和广布种相比,特有种的生态位较窄^[21-22],与优势种的竞争压力过大,进而通过错开活动时间或延长自身活动时间来缓解生存压力。

泽陆蛙、黑眶蟾蜍作为该地的优势种,在6月份、8月份的数量与4月份相比明显下降。在6月份,沼

水蛙和斑腿泛树蛙的数量有所增加,同时也监测到了虎纹蛙。根据动物的生活习性,4月中旬到5月中旬是泽陆蛙、黑眶蟾蜍的繁殖期^[23-24],而虎纹蛙、沼水蛙的产卵盛期要推迟到6月份左右^[25-26]。

该地区6月份的生物多样性最高,且各物种的个体数目分布较均匀。虽然4月份观测到的个体总数最多,但是物种之间个体数差异较大,且以当地的优势物种黑眶蟾蜍和泽陆蛙为主,均匀度不高;8月份的物种丰富度比4、6月份高(4月至8月物种丰富度依次为7、8、7),并且物种间个体数差异较小,但由于温度、生活史周期等原因观测到的两栖动物个体总数最少。优势种的繁殖期过后,数量显著下降,为多数6月份繁殖但生态位较窄的两栖动物提供了空间,因此6月份的生物多样性指数均最高,并与其他月份差异显著(图2,表2)。动物(尤其是优势种)活动高峰期及生物多样性指数变化规律与其生活史周期相吻合,说明物种出现的月际变化大概率是因为长期以来种间竞争而形成的生活史(繁殖期)差异。结果说明宁德样区生态环境目前较好,仍有利于两栖动物的生存与发展。

水体对两栖动物生活史各个阶段都有至关重要的作用^[27]。两栖动物虽然在失水风险这一生存压力上采取了行为、形态结构和生理上等一系列方面的适应性进化,但不完善的身体构造和独特的生活方式仍不能允许其长时间缺水或者距水体较远^[27]。同时,水体可以为两栖动物提供生长、繁殖、庇护等多种生态学功能,因此拥有稳定水体的生境具有较高的物种丰富度^[27-28]。并且在实际监测中,水资源丰富的样线更容易吸引两栖动物(图3)。

生物多样性 Simpson 指数的增长与人口聚集区距离具有显著的正相关(图4),虽然其他两个生物多样性指数并没有表现出显著的相关性,但也有增加的趋势,说明人类活动对两栖动物的分布具有一定的影响^[29-30]。由于宁德样区地处东南沿海,雨水丰富,再加上需要稳定水源来进行农业生产,因此人口聚集区附近的池塘较稳定,9号样线的多样性指数和两栖类数量目前来看仍较高。在调查过程中,该地区居民对调查十分支持并积极配合,说明当地居民对两栖动物具有一定的保护意识。目前来看,宁德样区的环境仍适宜两栖动物生存。但在实际监测中发现宁德样区大片的土地改造成农田和果林种植,且大多都位于水源附近,水域面积不断减少,致使适宜两栖动物的生境面积较往年减少,种类和数量呈下降趋势,往年监测到的阔褶水蛙(*Hylarana latouchii*)等多个物种未出现在本年度调查中。

杨家溪样区近几年旅游业发展迅速,餐馆、民宿等商家明显增多;霞浦样区靠近山地,农田开发没有合理规划 and 有效管理,但该地区温热潮湿且灌溉水大多来于山上,适合果树(如 *citrus maxima* (Burm) Merr.、*Eriobotrya japonica* (Trunb.) Lindl.等)生长且当地的种植规模也日益扩大。在继续加强对该地区两栖动物监测的同时,政府也应当对农田开发和土地利用进行更加规范的管理,在两栖动物密集的地区制定“生态红线”。加大对杨家溪等风景区的宣传力度和公共设施的建设,通过推动旅游业的发展来减少对农业的依赖;“退耕还林”,在保证地表植被不受破坏的前提下,选择经济效益更高的果树种植代替传统农业,尽量禁止或少量使用微毒的农药。灵活变通“厕所革命”,对人口聚集区尤其是靠近河流、池塘的乡镇农村生活垃圾集中处理,以减少对周边环境的污染。

[参考文献]

- [1] MILLER D A, GRANT E H, MUTHS E, et al. Quantifying climate sensitivity and climate-driven change in North American amphibian communities[J]. *Nature communications*, 2018, 9(3926): 1-15.
- [2] LI C, XIE F, CHE J, et al. Monitoring and research of amphibians and reptiles diversity in key areas of China[J]. *Biodiversity science*, 2017, 25(3): 246-254.
- [3] FAN Y L, HU N, DING S Y, et al. Progress in terrestrial ecosystem services and biodiversity[J]. *Acta ecologica sinica*, 2016, 36(15): 4583-4593.
- [4] ZIPJIN E F, DIRENZO G V, RAY J M, et al. Tropical snake diversity collapses after widespread amphibian loss[J]. *Science*, 2020, 367(6479): 814-816.
- [5] 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.
- [6] BOKONY V, MÓRICZ Á M, TÓTH Z, et al. Variation in chemical defense among natural populations of common toad, *Bufo bufo*, tadpoles; the role of environmental factors[J]. *Journal of chemical ecology*, 2016, 42(4): 329-338.

- [7] BLENNERHASSETT R A, BELL A K, SHINE R, et al. The cost of chemical defence: the impact of toxin depletion on growth and behaviour of cane toads (*Rhinella marina*) [J]. Proceedings of the royal society B, 2019, 286(1902): 20190867.
- [8] GAO F, WANG X, Li Z, et al. Identification of anti-tumor components from toad venom [J]. Oncology letters, 2017, 14(1): 15–22.
- [9] YANG Q, ZHOU X, ZHANG M, et al. Angel of human health: current research updates in toad medicine [J]. American journal of translational research, 2015, 7(1): 1–14.
- [10] OLIVER T H. How much biodiversity loss is too much? [J]. Science, 2016, 353: 220–221.
- [11] XU H G, WU J, WU Y Q, et al. Progress in construction of China amphibian diversity observation network (China BON-Amphibians) [J]. Journal of ecology and rural environment, 2018, 34(1): 20–26.
- [12] LI X H, GAO E H, LI B D, et al. Estimating abundance of Tibetan wild ass, Tibetan gazelle and Tibetan antelope using species distribution model and distance sampling [J]. Scientia sinica vitae, 2019, 49(2): 151–162.
- [13] DING H B, ZHENG J, CAI M Z. A study on geographical distribution and regional faunistic composition of the amphibia and reptilian of Fujian Province [J]. Journal of Fujian Normal University (natural science edition), 1980(1): 59–76.
- [14] GENG B R. Evaluation of amphibian species diversity in Fujian [J]. Biodiversity science, 2004, 12(6): 618–625.
- [15] SHANNON C E, WEINER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: Univlinosi Press, 1949.
- [16] SIMPOSN E H. Measurement of diversity [J]. Nature, 1949, 163: 688–689.
- [17] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections [J]. Journal of theoretical biology, 1966, 13(1): 131–144.
- [18] JEREM P, MATHEWS F. Trends and knowledge gaps in field research investigating effects of anthropogenic noise [J]. Conservation biology, 2020, 35(1): 1–14.
- [19] GROFF L A, CALHOUN A J K, LOFTIN C S. Amphibian terrestrial habitat selection and movement patterns vary with annual life history period [J]. Canadian journal of zoology, 2017, 95(6): 433–442.
- [20] LI B, ZHANG W, SHU X X, et al. The impacts of urbanization on the distribution and body condition of the rice-paddy frog (*Fejervarya multistriata*) and gold-striped pond frog (*Pelophylax plancyi*) in Shanghai, China [J]. Asian herpetological research, 2016, 7: 200–209.
- [21] LIN Z H, JI X. Sexual dimorphism in morphological traits and food habits in tiger frogs, *Hoplobatrachus rugulosus* in Lishui, Zhejiang [J]. Zoological research, 2005, 26(3): 255–262.
- [22] LIANG G F, LI C X, BAI X, et al. Effects of environmental factors on the distribution of amphibians in agricultural landscape [J]. Chinese journal of applied ecology, 2019, 30: 301–308.
- [23] FAN X L, LIN Z H, JI X. Male size does not correlate with fertilization success in two bufonid toads that show size-assortative mating [J]. Current zoology, 2013, 59: 740–746.
- [24] JIA L L, WANG T L, ZHAI X F. Acoustic characteristics and temporal rhythms of the calling behavior of *Hylarana guentheri* during the breeding season [J]. Chinese journal of zoology, 2019, 54(4): 659–667.
- [25] BOORSE G C, DENVER R J. Endocrine mechanisms underlying plasticity in metamorphic timing in spadefoot toads [J]. Integrative and comparative biology, 2003, 43(5): 646–657.
- [26] WEI L, LIN Z H, MA X M, et al. Acoustic characteristics of the tiger frog, *Hoplobatrachus rugulosus*, during the breeding season [J]. Zoological research, 2011, 32(4): 456–460.
- [27] ZUK M. Shallow ponds prompt fitness-favorable species interbreeding [J]. Science, 2020, 367(6768): 1304–1305.
- [28] PÉNTEK A L, VAD C F, ZSUGA K, et al. Metacommunity dynamics of amphibians in years with differing rainfall [J]. Aquatic ecology, 2017, 51(1): 45–57.
- [29] CRIST E, MORA C, ENGELMAN R. The interaction of human population, food, production and biodiversity protection [J]. Science, 2017, 356(6335): 260–264.
- [30] FICETOLA G F, MAIORANO L. Contrasting effects of temperature and precipitation change on amphibian phenology, abundance and performance [J]. Oecologia, 2016, 181(3): 683–693.

[责任编辑:黄 敏]