

DOI: 10.5846/stxb201909201964

赖水发,余正良,陈上权,刘红,曾治高.江西赣江源区域两栖动物的群落组成和物种多样性特征.生态学报,2020,40(21):8005-8013.

Lai S F, Yu Z L, Chen S Q, Liu H, Zeng Z G. Characteristics of composition and species diversity of the amphibian community in Ganjiangyuan area of Jiangxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21): 8005-8013.

江西赣江源区域两栖动物的群落组成和物种多样性特征

赖水发^{1,2}, 余正良³, 陈上权³, 刘 红³, 曾治高^{2,*}

1 瑞金市农业农村局, 瑞金 342500

2 中国科学院动物研究所动物生态与保护生物学重点实验室, 北京 100101

3 江西赣江源国家级自然保护区管理局, 赣州 342714

摘要:赣江发源于武夷山脉南段西麓的高山岭间, 该区域独特的地理环境和气候特征蕴育了丰富的生物多样性。然而关于该区域两栖动物群落组成和物种多样性调查非常匮乏, 不利于赣江源头两栖动物物种多样性的保护。于 2016 年 4—9 月期间在江西赣江源区域采用样线法调查了两栖动物的资源状况、群落组成及物种多样性特征, 比较了它们在山地森林区、丘陵森林与农田区和盆地农田区 3 类栖息地之间的差异性。结果表明: 赣江源区域分布有 8 科 23 种两栖动物, 新增记录 3 个物种, 包括尖舌浮蛙、寒露林蛙和九龙棘蛙, 泽陆蛙和饰纹姬蛙为优势种。赣江源区域的两栖动物群落组成和物种多样性存在显著的季节间差异和栖息地间差异; 两栖动物季节性繁殖是造成前者差异的主要因素, 而土地利用类型、栖息地特征、空间距离、生活习性的物种特性等因素成就了后者差异的出现。因此, 春、夏季一般有比秋季见到更高的两栖动物物种丰富度和多样性; 山地森林区的两栖动物物种丰富度和多样性最高, 盆地农田区次之, 丘陵森林与农田区的最低。山地森林区应成为赣江源区域两栖动物多样性保护的优先区域。国家 II 级重点保护野生动物虎纹蛙, 在 3 类栖息地中均有分布, 且在盆地农田区和山地森林区能见到更多个体, 但农田区分布的虎纹蛙遭受到更大的威胁, 建议加强对农田区虎纹蛙及其栖息地的保护。

关键词:赣江源; 栖息地; 两栖动物; 群落组成; 物种多样性; 虎纹蛙

Characteristics of composition and species diversity of the amphibian community in Ganjiangyuan area of Jiangxi Province

LAI Shuifa^{1,2}, YU Zhengliang³, CHEN Shangquan³, LIU Hong³, ZENG Zhigao^{2,*}

1 Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Ruijin City, Ruijin 342500, China

2 Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Jiangxi Ganjiangyuan National Nature Reserve, Ganzhou 342714, China

Abstract: Ganjiang River originates from the western foot on the southern range of the Wuyi Mountains in China. The unique geographical environment and climatic characteristics formed a rich diversity of amphibian species for Ganjiangyuan area of Jiangxi Province in China. However, the investigations on the composition and species diversity of amphibian community in this area are very scarce at present. This is not conducive for the conservation of amphibian species diversity in the source area of Ganjiang River. In this study, we investigated the resource status of amphibian and its characteristics of community composition and species diversity using the line transect method in the Ganjiangyuan area of Jiangxi Province from April to September 2016. Subsequently, we compared their differences among three habitats of mountain forest area,

基金项目:生态环境部生物多样性保护专项, 国家自然科学基金项目(31570526)

收稿日期:2019-09-20; **修订日期:**2020-06-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengzhg@ioz.ac.cn

hilly forest and farmland area, and basin farmland area. The three habitats were 8—30 km apart from each other, and 10 sample lines with a length of 200—300 m and a spacing distance of more than 500 m were respectively arranged on each habitat. The results of our investigations showed that the Ganjiangyuan area had 23 amphibian species belonging to 8 families with *Fejervarya multistriata* and *Microhyla fissipes* as the dominant species. Meanwhile, we added 3 new amphibian species recorded in the Ganjiangyuan area, including *Occidozyga lima*, *Rana hanluica* and *Quasipaa jiulongensis*. There were significant seasonal and habitat differences in the composition and species diversity of the amphibian community in the Ganjiangyuan area. Seasonal reproduction of amphibian was the major factor causing the seasonal difference, while factors such as land use types, habitat features, spatial distance, and species habits led to the habitat difference. Therefore, the species richness and diversity index in spring and summer were higher than those of autumn; the amphibian species richness and diversity index were the highest in the mountain forest area, followed by the basin farmland area, and the lowest in the hilly forest and farmland area. The mountain forest area should be the priority area for the conservation of amphibian diversity in the Ganjiangyuan area. *Hoplobatrachus chinensis*, a national second-class protected animal species of China, was distributed in all of the three habitats, with more individuals in the basin farmland area and the mountain forest area, but the endangered species was exposed to a bigger threat in the basin farmland area. Therefore, it was suggested to strengthen the conservation of *H. chinensis* and its habitat in the basin farmland area.

Key Words: Ganjiangyuan; habitat; amphibian; community composition; species diversity; *Hoplobatrachus chinensis*

赣江发源于武夷山脉南段西麓的高山岭间,是长江重要的一级支流,也是江西省境内最大的河流^[1-2]。赣江源头位于江西赣江源自然保护区内,独特的地理位置使该保护区对保障赣江流域乃至长江下游水资源生态安全具有重要作用,湿润季风气候及多样的森林生境也使区内孕育有丰富的生物多样性^[1]。因此,加强对赣江源区域的生态研究对于保护赣江源头生物多样性、维持赣江源头独特的森林生态系统具有重要的意义。

目前对赣江源区域的脊椎动物资源调查较少,有关其生态研究的资料更为匮乏。区域内的赣江源自然保护区进行了综合科学考察,赣江源国家湿地公园也进行过野生动物资源调查,使人们能从中大体了解所分布的脊椎动物资源状况^[1,3]。就该区域的动物生态研究而言,仅见初步探讨过赣江源自然保护区鱼类物种多样性的时空分布特征^[4],而有关两栖动物的生态信息非常有限。

武夷山区是我国两栖动物物种多样性最高的 3 大区域之一^[5]。但目前对位于武夷山脉南段西麓的赣江源区域内两栖动物群落组成及多样性状况仍然缺乏系统的调查研究。赣江源区域的动物栖息地,不仅有源头区的山地森林景观,也有稍下游区的丘陵与盆地景观。生境的异质性会造就两栖动物群落组成的区域差异^[6]。那么,赣江源区域两栖动物的群落组成及物种多样性具有什么样的时空特征呢?这是一个值得关注的问题。研究通过调查不同土地利用类型栖息地中两栖动物群落组成及数量状况,分析探讨了赣江源区域中栖息地差异对两栖动物的群落组成与多样性的影响,以丰富该区域两栖动物的生态研究资料,明确两栖动物多样性保护的优先区域及其珍稀物种的保护对策。

1 研究地区概况

研究地区位于江西省赣南地区的赣江源国家级自然保护区及周边区域(25°49′—26°08′N, 116°01′—116°29′E),地处赣东南部、赣闽边界武夷山脉西南段的末端,跨江西省瑞金市和石城县两地,呈现山地丘陵为主体的地貌格局,海拔高度为 200—1390 m。该区域位于赣江上游,区内水系发达,其中上洞河、石寮河、泮田河汇聚形成了赣江源头水系^[1]。

赣江源自然保护区主要保护对象为中亚热带常绿阔叶林森林生态系统,属中低山地貌森林生态类型自然保护区。保护区气候温暖湿润,具有典型的亚热带湿润季风气候特点,四季分明,夏季多暴雨,秋、冬季干燥。年平均温度 15—18℃,年均降雨量 1698—1750 mm,无霜期平均 284 d^[7]。区内野生动植物资源丰富。分布有

高等植物 252 科 2582 种,其中国家重点保护植物有南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairer*)、伯乐树(*Bretschneidera sinensis*)、香果树(*Emmenopterys henryi*)、光叶槲(*Zelkova serrata*)、半枫荷(*Semiliquidambar cathayensis*)、闽楠(*Phoebe bournei*)、浙江楠(*P. chekiangensis*)等。有野生脊椎动物 93 科 500 多种,其中国家重点保护野生动物有云豹(*Neofelis nebulosa*)、水鹿(*Rusa unicolor*)、白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*)、黄腹角雉(*Tragopan caboti*)、褐翅鸦鹃(*Centropus sinensis*)、虎纹蛙(*Hoplobatrachus chinensis*)等^[7-8]。

保护区西南部周边区域以丘陵盆地为主,海拔高度为 200—260 m,从高海拔到低海拔的土地利用景观由丘陵森林与农田景观演变为纯盆地农田景观格局。农作物以水稻(*Oryza sativa*)为主,也种植大豆(*Glycine max*)、烟草(*Nicotiana tabacum*)、亚洲莲(*Nelumbo nucifera*)和花生(*Arachis hypogaea*)等。

本文依据地形特征及土地利用类型把研究地区划分为山地森林区、丘陵森林与农田区、盆地农田区 3 类。山地森林区指在海拔大于 300 m 的山地丘陵地形上主要覆盖有森林植被(林地)的区域;其植被类型包括常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、竹林、温性针叶林、暖性针叶林、针阔叶混交林、灌木林、山地灌草丛等。丘陵森林与农田区指海拔 300 m 以下的丘陵森林和农田区域,该区域既覆盖有常绿阔叶林、落叶阔叶林、马尾松林、竹林、灌木林、山地灌草丛等自然植被,也覆盖有包括农作物、果树林、用材林等的人工植被。盆地农田区指在盆地地形上主要覆盖有耕地和园地的区域;其植被类型主要为包括农作物、果树林、用材林等的人工植被。

2 研究方法

2.1 两栖动物群落调查

两栖动物群落组成的调查选定在相互间隔 8—30 km 的、土地利用差异较大的 3 类栖息地(样地)进行。这 3 类调查样地包括位于石城县赣江源镇的山地森林区(简称林区;26°01′—26°04′N, 116°19′—116°22′E;海拔高度为 340—600 m),瑞金市泽覃乡的丘陵森林与农田区(简称农林区;25°49′—25°52′N, 116°01′—116°05′E;海拔高度为 210—260 m)与黄柏乡的盆地农田区(简称农区;25°56′—25°58′N, 116°01′—116°04′E;海拔高度为 200—220 m)。样线法是目前两栖动物观测中最为常用的方法^[9]。通过样线法调查每类样地中的两栖动物种类与数量。在每类样地上分别布设 10 条 200—300 m 长的固定样线,各样线相互间隔距离大于 500 m(表 1)。布设每条样线时,首先选定并标记起点,然后使用手持地理信息系统(GPS)记录其位置数据(经纬度和海拔高度),再通过 GPS 记录的行走距离来确定样线长度并做好终点标记。沿样线按 1 km/h 的速度行走调查,调查时记录样线两侧 2 m 宽范围内的两栖动物的种类和个体数量。依据形态特征分类和确定所观察到的两栖动物物种;对野外难以确定的物种,则采集标本带回室内鉴定。物种分类鉴定依据《中国两栖动物及其分布彩色图鉴》^[10]及“中国两栖类”信息系统^[11]。本文参照《中国动物地理》^[12]确定两栖动物的区系成分。

两栖动物的活动期大体分为繁殖期(春季和夏季)和非繁殖期(秋季)。2016 年在春季(4 月下旬)、夏季(6 月下旬)及秋季(9 月上旬)开展了 3 次样线调查,每次调查同时在林区、农林区及农区 3 类样地进行。每次调查观测周期为 5—8 天,在气候条件相似的前提下对每条样线进行 3 次夜间重复调查,每天次的调查时间为夜间 19:00—24:00;每条样线的 3 次重复调查尽量安排在夜间的不同时间段,以增加样线间两栖动物调查数据的可比性。对每条样线进行调查时,记录了具体的栖息地类型,所受干扰和破坏状态及人为活动等

2.2 数据处理与分析

处理数据时,先按每条样线汇总了每次调查记录到的两栖动物种类及其数量,再按调查月份(季节)、调查样地(栖息地)类型和整个研究区域分别汇总了所分布的物种及数量。把种群数量占比>5%的物种定义为优势种,种群数量占比为 1%—5%的物种定义为次优势种。通过列联表卡方检验分别比较了季节之间、栖息地之间的两栖动物群落组成差异。

表 1 在研究区域所设置样线的起点坐标

Table 1 Starting point coordinates of line transects in the study area

样线 Line transect	农区 Agricultural area	农林区 Agricultural and forestry area	林区 Forestry area
1	25 °56'14"N, 116 °02'00"E	25 °49'17"N, 116 °01'58"E	26 °02'33"N, 116 °19'43"E
2	25 °56'21"N, 116 °02'19"E	25 °49'11"N, 116 °02'25"E	26 °02'21"N, 116 °19'34"E
3	25 °56'30"N, 116 °02'33"E	25 °49'18"N, 116 °02'48"E	26 °01'46"N, 116 °19'24"E
4	25 °56'41"N, 116 °02'15"E	25 °49'19"N, 116 °03'28"E	26 °01'26"N, 116 °19'54"E
5	25 °56'30"N, 116 °01'57"E	25 °49'44"N, 116 °03'54"E	26 °01'47"N, 116 °20'27"E
6	25 °56'46"N, 116 °02'41"E	25 °50'27"N, 116 °04'19"E	26 °01'20"N, 116 °21'05"E
7	25 °56'50"N, 116 °03'02"E	25 °50'50"N, 116 °04'32"E	26 °01'11"N, 116 °21'06"E
8	25 °57'02"N, 116 °02'32"E	25 °51'04"N, 116 °04'32"E	26 °01'22"N, 116 °20'36"E
9	25 °56'36"N, 116 °02'57"E	25 °51'34"N, 116 °04'48"E	26 °01'34"N, 116 °20'11"E
10	25 °56'06"N, 116 °03'03"E	25 °51'49"N, 116 °04'59"E	26 °02'35"N, 116 °19'55"E

计算了物种层次的β多样性指数以反映农区、农林区和林区 3 类栖息地间的群落组成变化特征。基于二元属性数据(即物种的存在与否),运用 Cody 指数(β_c)和 Sørensen 指数(β_s)定性地测度了不同栖息地间两栖动物群落的β多样性,β_c反映了不同栖息地间物种组成的变化,β_s反映了栖息地间物种组成的相似程度;其中 β_c = (b + c)/2^[13], β_s = 2a/(2a + b + c)^[13],式中,a 是 2 类栖息地内共有的物种数,b 是沿栖息地梯度失去的物种数,即在前一类栖息地中存在而在后一类栖息地中没有的物种数目,c 是沿栖息地梯度增加的物种数,即在前一类栖息地不存在而在后一类栖息地中存在的物种数目。

此外,计算了每条样线上两栖动物的物种丰富度(R,即两栖动物物种数 S),也计算科属多样性指数分析了每条样线上两栖动物的科间物种多样性[F 指数(D_F)]和属间物种多样性[G 指数(D_G)]^[14]。其中 D_F = $\sum_{k=1}^m D_{Fk}$, $D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$, $D_G = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j$,式中 p_i = s_{ki}/s_k, q_j = s_j/s, s_k 为两栖动物第 k 科的物种数, s_{ki} 为第 k 科第 i 属的物种数, n 为第 k 科的属数, s_j 为样线中两栖动物第 j 属的物种数, m、p 和 s 分别为样线中两栖动物的科数、属数与物种数。然后用单因素方差分析(ANOVA)确定了这些群落的物种多样性指数是否存在显著的栖息地间差异和季节间差异,用 Tukey 检验比较分析了它们在因子之间的两两差异。这些统计分析工作均在 SPSS 25 上进行的。

3 结果

3.1 两栖动物的群落组成

赣江源区域分布有 8 科 23 种两栖动物,均为无尾目(Anura)物种(表 2)。除中华蟾蜍(*Bufo gargarizans*)和黑斑侧褶蛙(*Pelophylax nigromaculatus*)是广布种之外,其余 21 种均为东洋界物种(表 2)。总体来说,研究区域两栖动物的优势种为泽陆蛙(*Fejervarya multistriata*,占比 67.96%)和饰纹姬蛙(*Microhyla fissipes*,占比 16.79%),次优种为沼蛙(*Boulengerana guentheri*)、小弧斑姬蛙(*M. heymonsi*)和黑眶蟾蜍(*Duttaphrynus melanostictus*);这 5 个物种在每季调查中均有记录,小弧斑姬蛙分布在林区,其余 4 种分布在农区、农林区和林区 3 类栖息地(表 2)。虎纹蛙是国家Ⅱ级重点保护野生动物,占总比例 0.67%,在 3 类栖息地中均有分布,农区和林区相对数量较多,林区的虎纹蛙只在海拔相对较低的样线中见到(表 2)。

调查结果表明:2016 年赣江源区域春季(4 月)、夏季(6 月)和秋季(9 月)记录到的两栖类分别为 16、18 和 16 种,泽陆蛙、饰纹姬蛙和小弧斑姬蛙是春季的优势种,其中的小弧斑姬蛙在夏季变为次优种,春夏季的次优种还有沼蛙和黑眶蟾蜍;而秋季的优势种为泽陆蛙,次优物种为饰纹姬蛙、沼蛙、弹琴蛙(*Nidirana adenopleura*)、华南湍蛙(*Amolops ricketti*)和花臭蛙(*Odorrana schmackeri*)。调查区域的两栖动物群落组成存在显著的季节间差异(χ² = 1051.22, df = 44, P < 0.001;表 2)。春、夏季调查监测到的两栖类个体数要明显比秋

表 2 2016 年江西赣江源区域两栖动物的群落组成

Table 2 Composition of the amphibian community in Ganjiangyuan area of Jiangxi in 2016

科名 Family	物种 Species	动物 区系 Fauna	4 月 April		6 月 June		9 月 September		农区 Agricultural area		农林区 Agricultural and forestry area		林区 Forestry area		研究区域 Study area	
			数量/ 只	%	数量/ 只	%	数量/ 只	%	数量/ 只	%	数量/ 只	%	数量/ 只	%	数量/ 只	%
角蟾科 Megophryidae	淡肩角蟾 <i>Megophrys boettgeri</i>	S ₀	2	0.06	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.09	2	0.03
	黑眶蟾蜍 <i>Duttaphrynus melanostictus</i>	S ₀	42	1.23	76	3.98	6	0.65	95	4.46	26	1.30	3	0.14	124	1.98
Bufonidae	中华蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i>	S _W	9	0.26	15	0.79	3	0.33	27	1.27	0	0.00	0	0.00	27	0.43
	中国雨蛙 <i>Hyla chinensis</i>	S ₀	8	0.23	0	0.00	0	0.00	1	0.05	2	0.10	5	0.24	8	0.13
蛙科 Hylidae	华南湍蛙 <i>Amolops ricketti</i>	S ₀	2	0.06	9	0.47	33	3.58	0	0.00	0	0.00	44	2.07	44	0.70
	寒露林蛙 <i>Rana hanluica</i>	S ₀	0	0.00	0	0.00	2	0.22	0	0.00	0	0.00	2	0.09	2	0.03
Ranidae	黑斑侧褶蛙 <i>Pelophylax nigromaculatus</i>	S _W	27	0.79	18	0.94	0	0.00	34	1.60	4	0.20	7	0.33	45	0.72
	阔褶水蛙 <i>Syrrhaptes latouchii</i>	S ₀	1	0.03	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.05	1	0.02
	沼蛙 <i>Boulengerana guentheri</i>	S ₀	149	4.36	82	4.30	30	3.25	53	2.49	70	3.50	138	6.50	261	4.17
	弹琴蛙 <i>Nidirana adenopleura</i>	S ₀	0	0.00	3	0.16	39	4.23	0	0.00	0	0.00	42	1.98	42	0.67
	大绿臭蛙 <i>Odorrana graninea</i>	S ₀	2	0.06	1	0.05	5	0.54	0	0.00	0	0.00	8	0.38	8	0.13
	花臭蛙 <i>O. schneideri</i>	S ₀	3	0.09	10	0.52	32	3.47	0	0.00	0	0.00	45	2.12	45	0.72
叉舌蛙科 Dicroglossidae	泽陆蛙 <i>Femuraria multistriata</i>	S ₀	2103	61.47	1423	74.58	723	78.33	1616	75.94	1592	79.56	1041	49.03	4249	67.96
	虎纹蛙 <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	S ₀	34	0.99	5	0.26	3	0.33	14	0.66	3	0.15	25	1.18	42	0.67
	福建大头蛙 <i>Limnonectes fujianensis</i>	S ₀	0	0.00	0	0.00	2	0.22	0	0.00	0	0.00	2	0.09	2	0.03
	棘胸蛙 <i>Quasipaa spinosa</i>	S ₀	0	0.00	3	0.16	9	0.98	0	0.00	0	0.00	12	0.57	12	0.19
浮蛙科 Occidozygidae	九龙棘蛙 <i>O. jiuolongensis</i>	S ₀	0	0.00	2	0.10	2	0.22	0	0.00	0	0.00	4	0.19	4	0.06
	尖舌浮蛙 <i>Ocicdozyga lima</i>	S ₀	2	0.06	3	0.16	0	0.00	5	0.23	0	0.00	0	0.00	5	0.08
树蛙科 Rhacophoridae	斑腿泛树蛙 <i>Polypedates megacephalus</i>	S ₀	34	0.99	8	0.42	0	0.00	0	0.00	2	0.10	40	1.88	42	0.67
	大树蛙 <i>Rhacophorus dennysi</i>	S ₀	0	0.00	4	0.21	0	0.00	1	0.05	0	0.00	3	0.14	4	0.06
姬蛙科 Microhylidae	粗皮姬蛙 <i>Microhyla butleri</i>	S ₀	0	0.00	13	0.68	2	0.22	0	0.00	0	0.00	15	0.71	15	0.24
	小弧斑姬蛙 <i>M. heymonsi</i>	S ₀	173	5.06	43	2.25	2	0.22	0	0.00	0	0.00	218	10.27	218	3.49
	饰纹姬蛙 <i>M. fissipes</i>	S ₀	830	24.26	190	9.96	30	3.25	282	13.25	302	15.09	466	21.95	1050	16.79
	总计 Total		3421	100	1908	100	923	100	2128	100	2001	100	2123	100	6252	100

S₀: 东洋界物种 Oriental species; S_W: 广布种 Widely-distributed species

季多,但寒露林蛙(*Rana hanluica*)和福建大头蛙(*Limnonectes fujianensis*)更易于在秋季被发现(表2)。寒露林蛙也只在林区海拔相对较高的样线上见到。

在农区、农林区和林区3类栖息地中,记录到的两栖类分别为10、8、21种,群落组成存在栖息地间差异($\chi^2=1333.85$, $df=44$, $P<0.001$;表2)。林区分布的两栖动物种类明显较多,其优势种为泽陆蛙、饰纹姬蛙、小弧斑姬蛙和沼蛙,次优种为弹琴蛙、花臭蛙、斑腿泛树蛙(*Polypedates megacephalus*)、华南湍蛙和虎纹蛙;淡肩角蟾(*Megophrys boettgeri*)、华南湍蛙、寒露林蛙、阔褶水蛙(*Sylvirana latouchii*)、弹琴蛙、大绿臭蛙(*O. graminea*)、花臭蛙、福建大头蛙、棘胸蛙(*Quasipaa spinosa*)、九龙棘蛙(*Q. jiulongensis*)、粗皮姬蛙(*M. butleri*)和小弧斑姬蛙12个物种只在林区有分布。而农区和农林区的优势种均为泽陆蛙和饰纹姬蛙,次优物种为黑眶蟾蜍和沼蛙,但农区的次优种还有黑斑侧褶蛙和中华蟾蜍,中华蟾蜍和尖舌浮蛙(*Occidozyga lima*)仅在农区有分布。农区和林区的共有物种(8种)占比仅为34.78%,3个区的共有种(7种)占比只有30.43%(表2)。

β 多样性指数表明,林区与农区之间、林区与农林区之间的两栖动物群落组成差异明显比农区与农林区之间的大,反之后者物种组成的相似度要比前者大(表3)。

表3 2016年江西赣江源区域不同栖息地间两栖动物群落的 β 多样性

Table 3 β diversity of amphibian communities between different habitat types in Ganjiangyuan area of Jiangxi in 2016

β 指数 β index	农区-农林区 Agricultural area-agricultural and forestry area	农林区-林区 Agricultural and forestry area- forestry area	林区-农区 Forestry area-agricultural area
β_c	2.0	6.5	7.5
β_s	0.778	0.552	0.516

β_c :Cody 指数 Cody index; β_s :Sørensen 指数 Sørensen index

3.2 两栖动物的物种多样性

从整个2016年来看,赣江源区域3类栖息地之间的两栖动物物种多样性存在显著差异($P<0.01$),林区和农区有比农林区显著更高的物种丰富度及科间与属间物种多样性,林区比农区也有显著更高的物种丰富度(表4)。在春季,林区和农区有比农林区显著更高的物种丰富度($P<0.01$),但科间与属间物种多样性在3类栖息地间的差异不显著($P>0.05$);在夏季,林区和农区有比农林区显著更高的物种丰富度及科间与属间物种多样性($P<0.01$);在秋季,林区的物种丰富度及科间与属间物种多样性均最高,农区次之,农林区的最低($P<0.01$;表4)。

表4 2016年江西赣江源区域两栖动物物种多样性的栖息地差异

Table 4 Differences in amphibian species diversity among three habitat types in Ganjiangyuan area of Jiangxi in 2016

时间 Time	多样性指数 Diversity index	农区 Agricultural area	农林区 Agricultural and forestry area	林区 Forestry area	方差分析* Analysis of variance	
					$F_{2,27}$	P
春季 Spring	R	4.70±0.42ab	3.50±0.45b	5.80±0.47a	6.592	0.005
	D_F	0.69±0.18	0.21±0.11	0.62±0.16	2.951	0.069
	D_G	1.51±0.09	1.16±0.16	1.48±0.10	2.605	0.092
夏季 Summer	R	5.50±0.50a	3.00±0.37b	5.30±0.47a	9.544	0.001
	D_F	0.97±0.19a	0.07±0.07b	0.49±0.25ab	6.148	0.006
	D_G	1.65±0.12a	1.02±0.15b	1.34±0.09ab	6.939	0.004
秋季 Autumn	R	2.90±0.23ab	1.70±0.21b	4.30±0.65a	9.707	0.001
	D_F	0.07±0.07b	0.00±0.00b	0.73±0.24a	7.905	0.002
	D_G	1.03±0.08a	0.46±0.13b	1.16±0.13a	10.344	<0.001
全年 Whole year	R	6.50±0.43b	4.10±0.41c	8.40±0.56a	20.965	<0.001
	D_F	1.39±0.23a	0.28±0.11b	1.47±0.21a	12.152	<0.001
	D_G	1.85±0.07a	1.36±0.11b	1.86±0.09a	9.853	0.001

R :物种丰富度 Species richness; D_F : F 指数 F index; D_G : G 指数 G index;各种多样性指数值展示为各条样线($n=10$)的平均值±标准误;#为3类样地之间的两栖动物多样性比较,同一行中标有不同小写字母的数据表示有显著的统计差异($P<0.05$)

对两栖动物群落进行季节间比较,发现农区在春、夏季有比秋季有更高的物种丰富度($F_{2,27} = 11.01, P < 0.001$)、科间物种多样性($F_{2,27} = 9.00, P = 0.001$)与属间物种多样性($F_{2,27} = 10.793, P < 0.001$);农林区的物种丰富度($F_{2,27} = 6.74, P = 0.004$)及属间物种多样性($F_{2,27} = 6.42, P = 0.005$)也是春、夏季更高,但科间物种多样性的季节间差异不显著($F_{2,27} = 2.10, P = 0.142$);林区的物种丰富度及科间与属间物种多样性,虽然春、夏季稍高,但在季节间的差异均不显著($R: F_{2,27} = 2.02, P = 0.152$; $D_F: F_{2,27} = 0.310, P = 0.736$; $D_G: F_{2,27} = 2.179, P = 0.133$)。

4 讨论

本文基于系统调查监测数据,揭示了江西赣江源区域分布有 23 种两栖动物;其中新增记录到 3 物种,包括保护区外农区分布的尖舌浮蛙,及区内林区分布的寒露林蛙和九龙棘蛙(表 2)。2013 年的综合科学考察集记载了赣江源保护区分布有 28 种两栖动物^[1],但其中的日本林蛙(*Rana japonica*)与镇海林蛙(*Rana zhenhaiensis*)应属于同一物种,镇海林蛙是日本林蛙种组(*Rana japonica* group)中的一种^[15]。在本研究的调查区域中,没有记录到此考察集中有尾目(Urodela)的中国大鲵(*Andrias davidianus*)、黑斑肥螈(*Pachytriton brevipes*)与东方蝾螈(*Cynops orientalis*)和无尾目的无斑雨蛙(*Hyla immaculata*)、金线侧褶蛙(*Pelophylax plancyi*)、竹叶蛙(*Bamburana versabilis*)与镇海林蛙共 7 种。需要指出的是,通过访谈了解,认为赣江源区域是否分布有国家Ⅱ级重点保护野生动物中国大鲵,仍需进一步调查确认。即便如此,结合赣江源保护区的科考记录可知,赣江源区域具有比邻近的凌云山保护区(19 种)、及同属于武夷山西南余脉的抚河源保护区(24 种)和金盆山保护区(25 种)更丰富的两栖动物资源,寒露林蛙、九龙棘蛙、尖舌浮蛙和粗皮姬蛙都是未见在这些区域分布的物种^[16-18]。

泽陆蛙是我国南方分布的两栖动物优势种之一^[19]。本研究区域两栖动物的优势种为泽陆蛙和饰纹姬蛙。它们也是邻近保护区内分布的两栖类优势种^[17-18]。虽然分布的虎纹蛙所占比例不到 1%,但是除林区低海拔水域外,农(田)区同样能见到较多个体。虎纹蛙俗称田鸡,偏多分布在水稻田、沟渠、水塘等地^[20]。访谈得知,以前春夏季在所调查的农田区能见到更多的虎纹蛙个体,但是农田大量施用农药及人为捕捉等已使当前虎纹蛙的数量明显减少。栖息地退化或丧失、人为捕捉、环境污染等因素是致使两栖动物受威胁的主要因子^[5,21-24]。调查过程中既碰到过夜间捉蛙人,也记录到样区内有喷射农药的迹象及因农药而大量死亡的两栖类存在。可见,加强赣江源区域农区虎纹蛙及其栖息地的保护,对于这个国家Ⅱ级重点保护野生两栖动物来说,至关重要。在虎纹蛙分布密度高的农田区推行稻蛙共作模式的生态农业^[20],应是一种可行的虎纹蛙保护对策。

赣江源区域的两栖动物群落组成在时间格局上存在差异。动物季节性繁殖是造成此差异的主要因素。研究地区的 28 种两栖动物主要在春季和夏季繁殖,只有少数物种(10.7%)的繁殖跨度到秋季^[1,10]。本调查记录到的 23 种两栖动物中,大部分物种(95.7%)主要在春、夏季繁殖,繁殖时间在春季、夏季、春夏 2 季、春夏秋 3 季和秋季的物种分别有 4 种、2 种、13 种、3 种和 1 种^[1,25]。动物在繁殖季节比较活跃,也能生产较多的后代,因此在多数两栖动物繁殖的春、夏季,能比秋季监测到更多的个体数量(表 2)。但有些两栖动物物种的繁殖季节偏迟,所能监测记录到的时间也可能偏后。本研究新增记录到的寒露林蛙,2 只个体都是在 9 月份监测到的;寒露林蛙的繁殖季节在每年农历寒露节(10 月 8 日)前后^[26]。因此,每年春、夏季所见两栖动物的物种丰富度及多样性总体要比秋季的高。泽陆蛙和饰纹姬蛙是研究区域在春季和夏季的优势种。它们在早春 3—4 月份开始繁殖^[1,25],致使春季(4 月下旬)野外调查时多见到这两物种的幼蛙。本调查中在 9 月初所见到两栖动物个体数少,应该也与此期间地面草本等植被较高有关,这会导致两栖动物不易于被发现。

赣江源区域的两栖动物群落组成和物种多样性均在空间格局上存在显著差异。在 3 类调查栖息地中差异性分布的物种所占的比例很高,农区与农林区之间的两栖动物群落组成相似度要比它们与林区之间的相似度高。这与栖息地间的距离和特征差异有很大的关系^[24,27-28]。两栖动物的迁移扩散能力弱,群落间物种组成

差异易受空间距离的影响^[29]。本调查中农区与农林区之间(8 km)要比它们至林区的距离(30 km 和 28 km)近得多,农林区兼具有农区人工植被的栖息地特点,且两区间有比较一致的海拔高度,这些均使农区与农林区之间两栖动物的群落组成更趋于一致。但农林区的丘陵环境又不同于农区的盆地环境,且两区被人为干扰大的瑞金市区所分隔,以致农林区与农区之间的两栖动物群落出现分化。农林区也兼具森林植被的栖息地特点,但比林区海拔更低的环境,及样线多设置在丘陵农田水域的不周全,可能造成农林区监测到的两栖类异常低于山地林区。农区和林区之间更长的空间距离、更大的海拔高差及明显不一样的土地利用与植被特征,则使两区之间有明显不同的两栖动物群落组成。土地利用改变对两栖动物群落组成的差异性影响会在大的空间格局上呈现^[6,30]。3 类栖息地之间的此结果差异也会受动物生活习性的影响。中华蟾蜍喜温喜暗,主要栖息于水田、旱地、水沟与池塘等水域附近的湿润环境中^[31]。尖舌浮蛙常栖息于低海拔的池塘及较大的水坑内或稻田中^[10]。生活习性的偏好导致本研究仅在农田区见到有中华蟾蜍和尖舌浮蛙的分布。淡肩角蟾、华南湍蛙、寒露林蛙、大绿臭蛙、福建大头蛙、棘胸蛙和九龙棘蛙 7 个物种只在林区有分布,应该也是受其生活习性制约的;它们主要栖息在海拔 330 m 以上的山区溪流附近,溪旁林木茂密^[10]。另外 5 种只见于林区分布的阔褶水蛙、弹琴蛙、花臭蛙、粗皮姬蛙和小弧斑姬蛙,是主要栖息于山区的水田、水沟、水坑、水塘、山溪等水域及其附近潮湿区域的物种^[10];按生活习性推测,它们在农林区可能是有分布的,目前结果估计与样线布设的位置及人类活动干扰有关。农林区更靠近瑞金市区,所受的人类活动干扰的影响应该更大,在调查中碰到的 3 次夜间捉蛙人中有 2 次出现在该区域。可见,土地利用类型、栖息地特征、空间距离、动物生活习性及人为干扰等因素共同造成了林区、农林区和农区两栖动物群落组成的明显不同,相应地也导致了 3 区之间的物种多样性存在显著差异。相比较农林区和农区,本研究揭示了山地林区具有更高的两栖动物物种丰富度及多样性。温暖湿热的武夷山区是具有最高两栖动物物种密度的区域^[5]。此前也有研究表明,在两栖动物物种丰富的热带区域,森林区有比农田区更高的物种多样性^[27]。因此,山地林区应是赣江源区域两栖动物多样性保护的优先区域。

总之,本研究阐明了江西赣江源区域分布有 23 种两栖动物,所分布的泽陆蛙和饰纹姬蛙是优势物种。赣江源区域两栖动物的群落组成和物种多样性在山地林区、丘陵农林区和盆地农区之间存在显著差异,三个区共有分布物种的占比较低;山地林区的物种丰富度和多样性最高,而丘陵农林区的最低。土地利用类型、栖息地特征、空间距离、动物生活习性及人为干扰等因素共同造成了这三区两栖动物群落组成及物种多样性的显著差异。

致谢:研究工作得到江西赣江源国家级自然保护区管理局、瑞金市黄柏乡政府及泽潭乡政府的大力支持和协作配合,感谢吴光东、陈祖根、危恭优、危洪元、刘水林、邓建平、邓科辉、邓海发等人员在野外调查工作中给予的帮助。

参考文献(References):

- [1] 刘仁林. 江西赣江源国家级自然保护区综合科学考察集. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [2] 王朝阳, 黄德才, 胡茂林, 柳俊, 苗春, 王焘, 简少卿. 赣江下游一级支流鱼类多样性比较分析. 水生生态学杂志, 2019, 40(3): 99-106.
- [3] 毛毳, 廖宁, 王晓佳. 江西石城赣江源国家湿地公园野生脊椎动物资源调查. 安徽农业科学, 2016, 44(35): 14-16.
- [4] 胡茂林, 吴志强, 李晴, 黄亮亮. 江西赣江源自然保护区鱼类物种多样性初步研究. 四川动物, 2011, 30(3): 467-470.
- [5] 谢锋, 刘惠宁, Stuart S N, Chanson J S, Cox N A, Fischman D L. 中国两栖动物保护需求总述. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2006, 36(6): 570-581.
- [6] 李贵, 张伟, 束潇潇, 莫英敏, 裴恩乐, 袁晓, 王天厚. 上海郊区三类典型生境的两栖类分布特征. 长江流域资源与环境, 2017, 26(6): 824-831.
- [7] 徐艳琴, 胡生福, 刘勇, 赖学文, 刘庆华, 葛菲. 江西赣江源自然保护区珍稀濒危和优势药用植物资源调查. 江西农业大学学报, 2010, 32(6): 1218-1223, 1244-1244.
- [8] 罗振瑞, 罗水长生. 赣江源自然保护区现状与发展对策. 现代农业科技, 2013, (23): 184-184, 187-187.

- [9] 徐海根, 吴军, 吴延庆, 郭伟波, 何玉晓, 李佳琦, 李建南, 陈萌萌, 蔡蕾. 全国两栖动物多样性观测网络(China BON-Amphibians)建设进展. 生态与农村环境学报, 2018, 34(1): 20-26.
- [10] 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴. 成都: 四川科学技术出版社, 2012.
- [11] 中国两栖类. “中国两栖类”信息系统. 昆明: 中国科学院昆明动物研究所. 2020 [2020-3-10]. <http://www.amphibiachina.org/>.
- [12] 张荣祖. 中国动物地理. 北京: 科学出版社, 1999.
- [13] Koleff P, Gaston K J, Lennon J J. Measuring beta diversity for presence-absence data. Journal of Animal Ecology, 2003, 72(3): 367-382.
- [14] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 $G-F$ 指数方法. 生物多样性, 1999, 7(3): 220-225.
- [15] 谢锋, 费梁, 叶昌媛. 日本林蛙种组(*Rana japonica* group)的分类地位和亲缘关系探讨. 两栖爬行动物学研究, 2000, (8): 74-80.
- [16] 李光运, 胡绍平, 刘美娟, 施红, 王雁, 曾明洪, 刘恒圣, 刘鹏. 江西金盆山省级自然保护区两栖动物资源调查. 江西农业大学学报, 2018, 40(4): 789-796.
- [17] 孙志勇, 应钦, 周正彦, 刘鹏, 黄晓凤, 马建章. 江西抚河源自然保护区两栖动物资源调查及多样性分析. 林业科技, 2019, 44(2): 8-11.
- [18] 周正彦, 张微微, 孙志勇, 陆宇燕, 李丕鹏, 马建章. 江西凌云山自然保护区两栖爬行动物多样性调查与区系分析. 野生动物学报, 2019, 40(2): 389-394.
- [19] 王恒恒, 李斌, 栾晓峰, 顾采薇, 李劭抒. 福建人工林泽陆蛙种群动态研究. 北京林业大学学报, 2013, 35(3): 122-127.
- [20] 李世森, 王宇, 邵晨, 潘太仲. 虎纹蛙(*Hoplobatrachus chinensis*)繁殖后期的生境特征及生境选择. 生态学杂志, 2014, 33(11): 3018-3025.
- [21] 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.
- [22] 陈火结, 李芳林. 人类活动对两栖动物群落结构的影响. 动物学研究, 1990, 11(3): 199-202.
- [23] Shu X, Zhang W, Li B, Pei E, Yuan X, Wang T, Wang Z. Major factors affecting the distribution of anuran communities in the urban, suburban and rural areas of Shanghai, China. Asian Herpetological Research, 2016, 7(4): 287-294.
- [24] Ficetola G F, De Bernardi F. Amphibians in a human-dominated landscape: the community structure is related to habitat features and isolation. Biological Conservation, 2004, 119(2): 219-230.
- [25] 蔡明章. 三十二种福建无尾两栖类繁殖习性的观察. 福建师范大学学报: 自然科学版, 1979, (1): 71-79.
- [26] 沈猷慧, 江建平, 杨道德. 中国林蛙属(无尾目: 蛙科)一新种——寒露林蛙 *Rana hanluica* sp. nov. 动物学报, 2007, 53(3): 481-488.
- [27] Vallan D. Effects of anthropogenic environmental changes on amphibian diversity in the rain forests of eastern Madagascar. Journal of Tropical Ecology, 2002, 18(5): 725-742.
- [28] Van Dyke F, Berthel A, Harju S M, Lamb R L, Thompson D, Ryan J, Pyne E, Dreyer G. Amphibians in forest pools: does habitat clustering affect community diversity and dynamics? Ecosphere, 2017, 8(2): e01671.
- [29] Yiming L, Niemelä J, Dianmo L. Nested distribution of amphibians in the Zhoushan archipelago, China: can selective extinction cause nested subsets of species? Oecologia, 1998, 113: 557-564.
- [30] Wanger T C, Iskandar D T, Motzke I, Brook B W, Sodhi N S, Clough Y, Tschamtké T. Effects of land-use change on community composition of tropical amphibians and reptiles in Sulawesi, Indonesia. Conservation Biology, 2010, 24(3): 795-802.
- [31] 赵建华. 上海郊区中华蟾蜍种群生态学研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.