

云南腾冲北海湿地自然保护区 两栖动物多样性现状

闻苡^① 张蔚^② 丁利^③ 张宇^① 慕震^①
贾炬初^① 成功^{①*} 戴蓉^④

① 中央民族大学生命与环境科学学院 北京 100081; ② 腾冲北海湿地省级自然保护区管护局 保山 679100;
③ 中国科学院成都生物研究所 成都 610041; ④ 生态环境部南京环境科学研究所 南京 210042

摘要: 21 世纪以来, 全球近半的两栖动物在物种和种群水平正受到威胁, 我国云南尤为突出。云南腾冲北海湿地具有独特的漂浮状苔草沼泽植被, 两栖类是评价生态系统健康的指示类群, 进行两栖类资源调查有助于推进湿地保护工作。2019 年 5 月、7 月和 8 月以及 2020 年 5 月、6 月和 9 月采用了以样线法为主、访问为辅的方法进行了野外调查, 共记录两栖动物 21 种, 包括入侵种 1 种, 其中 20 种土著种属于 2 目 7 科 17 属。与上一次调查名录 (2008 年) 相比, 此次调查增加北海湿地两栖动物新记录 5 种, 包括腾冲掌突蟾 (*Leptobranchella tengchongensis*)、红蹼树蛙 (*Rhacophorus rhodopus*)、白颌大树蛙 (*Zhangixalus smaragdinus*)、背条螳臂树蛙 (*Chiromantis doriae*) 以及入侵种牛蛙 (*Lithobates catesbeianus* = *Rana catesbeiana*); 新修订 2 科 8 种。用 *G-F* 指数进行数据分析, 与周边县域进行平均动物区系相似性比较。结果显示, 北海湿地两栖类 *G-F* 指数为 0.432; 由平均动物区系相似性比较可知, 北海湿地与腾冲 (高黎贡山国家级自然保护区)、泸水 (高黎贡山国家级自然保护区)、龙陵小黑山省级自然保护区和铜壁关自然保护区盈江片区为周缘关系; 外来入侵种牛蛙数量远多于土著种, 亟需采取针对性保护措施; 需建立北海湿地两栖动物监测体系, 作为湿地生态系统健康的指示标准之一。

关键词: 北海湿地; 两栖动物; 生物多样性; 平均动物区系相似性; 牛蛙

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 06-844-12

Amphibian Biodiversity of Beihai Wetland Nature Reserve in Tengchong County, Yunnan Province

WEN Yi^① ZHANG Wei^② DING Li^③ ZHANG Yu^① MU Zhen^①
JIA Ju-Chu^① CHENG Gong^{①*} DAI Rong^④

① *College of Life Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081*; ② *Beihai Wetland Provincial Nature Reserve Management Office, Baoshan 679100*; ③ *Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041*;

基金项目 生态环境部生物多样性调查、观测和评估项目 (2019-2023 年) (No. 200046-20190151), 中央民族大学双一流生态学学科 (No. yldxxk201819);

* 通讯作者, E-mail: chenggong@muc.edu.cn;

第一作者介绍 闻苡, 女, 硕士研究生; 研究方向: 生物多样性、民族生态学; E-mail: yiwen2011@yeah.net.

收稿日期: 2021-05-06, 修回日期: 2021-09-16 DOI: 10.13859/j.cjz.202106006

④ *Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China*

Abstract: During the 21st century, nearly half of amphibians are facing survival threats for different reasons. In China, such situation is serious in Yunnan Province. A unique floating *Carex* swamp wetland is in Beihai Wetland, Tengchong County, Yunnan Province, which has an important value of scientific research in China and world. Besides, amphibians have often been thought to serve as a particularly desirable ecological indicator species. They can be used to assess environmental conditions. The amphibian resources survey is beneficial to promote Beihai Wetland protection and restoration. From May, July to August 2019, and from May to June and September 2020, the amphibian resources survey was investigated. The investigative methods were mainly based on transect lines. 8 transect lines were chosen (Table 1). Besides, interviewing helped to confirm species. There were 21 species of amphibians, including 1 invasive species. 20 indigenous species belong to 2 orders, 7 families and 17 genera (Table 2). Compared to the last survey (2008), 5 species were recorded in Beihai Wetland for the first time (Table 4). They were *Leptobranchella tengchongensis*, *Rhacophorus rhodopus*, *Zhangixalus smaragdinus*, *Chiromantis doriae* and invasive species American Bullfrogs (*Lithobates catesbeianus* = *Rana catesbeiana*). 2 families and 8 species were newly revised (Table 4). *G-F* index was used to analyse data. The *G*-index reflected the diversity at genus level. The *F*-index reflected the diversity within and among families. Average fauna resemblance (AFR) was used to compare Beihai Wetland with surrounding areas. Firstly, the results show that the *G* index of amphibians in Beihai Wetland is 2.842, the *F* index of amphibians is 5.001 and the *G-F* index of amphibians is 0.432. Secondly, the average fauna resemblance (AFR) value of Beihai Wetland is similar to Tengchong (Gaoligong Mountain National Natural Reserve), Longling (Xiaoheishan Nature Reserve), Yingjiang (Tongbiguan Nature Reserve) and Lushui (Gaoligong Mountain National Natural Reserve) (Table 3). Thirdly, the abundance of American Bullfrogs is far greater than that of indigenous species. American Bullfrogs have become the dominant species and have formed breeding populations. Therefore it is necessary to take a set of protective measures. Fourthly, it is important to establish a monitoring program for amphibians. The monitoring systems are helpful to evaluate wetland ecological health.

Key words: Beihai Wetland; Amphibians; Biodiversity; Average fauna resemblance; *Lithobates catesbeianus*

进入 21 世纪以来, 随着生境破坏、病毒侵入、物种入侵以及资源过度开发利用等, 两栖动物正经历种群快速下降和物种加速灭绝 (Stuart et al. 2004, Hoffmann et al. 2010)。我国两栖类受威胁物种达到 43.1%, 超出 IUCN (世界自然保护联盟, International Union for Conservation of Nature) 红色名录 (2021) 报道的世界平均值 41%, 其中, 云南是受威胁最严重的地区之一 (江建平等 2016, 李成等 2017)。两栖动物是脊椎动物重要的中间类群, 在水生和陆地生态系统之间有关键功能作用 (Zhao et

al. 2018), 也是综合评价湿地生态系统的重要指示类群, 标志着生态系统健康与服务的水平 (傅伯杰等 2001, Pounds et al. 2006, Wake 2007)。两栖动物资源锐减引发了科学界的普遍关注 (Alford et al. 1999, Kieseker et al. 2001), 日益成为自然保护区的重点保护对象。

云南省腾冲市北海湿地是 1994 年国家公布的重点保护湿地名录中唯一的云南湿地 (国家环保局 1994), 于 2005 年成为省级自然保护区 (赵佳等 2007), 具有独特的漂浮状苔草沼泽湿地 (戴丽等 2004), 进行两栖动物多样性

本底调查及监测对保护其独特的湿地生态系统具有重要意义(江建平等 2016, 李成等 2017)。

《云南腾冲北海湿地省级自然保护区总体规划》(以下简称《规划》)记录了部分两栖本底资源(曹子林等 2008), 但缺乏资源时空分布情况及物种多样性分析, 且距今已逾 10 年。其中, 植物类群已发生较大变化(刘晓达 2017, 杨兴媛 2019), 进行两栖动物调查可反映北海湿地生态系统的变化, 为湿地保护和管理提供科学依据(李晓文等 2014, 武建勇等 2016a)。

1 云南腾冲北海湿地省级自然保护区概况

云南腾冲北海湿地省级自然保护区(以下简称北海湿地), 坐落于云南省腾冲市东北部, 横断山南部, 介于东经 98°30'55"~98°35'02" 和北纬 25°06'42"~25°08'49" 之间, 总面积 16.29 km², 海拔 1 731~2 800 m, 平均 1 769 m。地处亚热带北缘, 属西南季风气候区。年平均气温 14.7 °C, 雨季为 5~10 月, 主要受西南东南暖湿气流控制; 干季为 11 月至翌年 4 月, 主要受北方冷气团控制, 相对湿度 79%。面山土壤为黄土壤(沈立新等 2004, 2005, 曹子林等 2008, 冯春红 2013)。保护区内主要区域由北海湖和青海湖两个高原淡水湖泊组成。北海湿地是我国西南唯一高原火山堰塞湖泊(沈立新等 2004), 其中, 北海湖拥有罕见的漂浮状苔草沼泽湿地, 占湖面 70%的面积(刘晓达 2017)。

作为两栖动物的生境植被, 北海湿地可以分为集水面的陆生植物和湖泊上的湿生植物(刘晓达 2017, 杨兴媛 2019)。湿生植物 44 科 73 属 89 种, 优势种为莎草科(Cyperaceae)、禾本科(Poaceae)。湿地湿生植物包括挺水的菰群丛(*Zizania latifolia* Group)、燕子花群丛(*Iris laevigata* Group)、睡菜群丛(*Menyanthes trifoliata* Group)等; 沉水的穗状狐尾藻群丛(*Myriophyllum spicatum* Group)等; 浮水的莼菜(*Brasenia schreberi*)、野菱(*Trapa incisa*)

等; 沼生的水香薷(*Elsholtzia kachinensis*)、水芹(*Oenanthe javanica*)等(沈立新等 2004, 刘晓达 2017)。陆生植物 59 科 102 属 120 种, 包括乔木层的壳斗科(Fagaceae)、松科(Pinaceae)等, 灌木层的山茶科(Theaceae)、蔷薇科(Rosaceae)等, 草本层的菊科(Asteraceae)、禾本科等(杨兴媛 2019)。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

野外调查方法以样线法(Harris et al. 2002)为主, 辅以鸣叫调查法(Weir et al. 2009)、随机监测和访问法(杨道德等 2007, 杨林森等 2009)。

(1) 样线法: 2018 年 8 至 9 月进行了预调查, 之后基于当地气候与物候特征, 考虑两栖动物的生活习性, 于 2019 年 5 月、7 月和 8 月以及 2020 年 5 月、6 月和 9 月进行了 6 次野外调查, 共计 45 d。选取了当地 8 条样线, 样线长度 0.45~15.69 km, 宽度 5~10 m; 调查时间为 20:00 时至翌日 4:00 时之间。调查方式分 3 种, 步行(0.05~2.70 km/h)、开车(17.6~27.1 km/h)、划船(0.52~0.85 km/h), 每条样线进行 2~4 次调查。遇见两栖动物后进行记录, 拍照或捕捉活体, 标本保留在腾冲北海湿地省级自然保护区管护局和中国科学院成都生物研究所。

样线选择参考北海湿地湿生植被调查(刘晓达 2017)和北海湿地集水面陆生植被调查的植物分区(杨兴媛 2019), 及预调查中两栖动物出现频度高的区域, 样线具体信息见表 1。

(2) 鸣叫调查法和随机监测: 通过记录蛙鸣声来辅助辨认种类。与当地村民及护林员合作进行监测, 时间从 2018 年 8 月至 2020 年 10 月, 遇到两栖动物进行拍照、录视频或捕捉活体, 记录时间、地点、天气。

(3) 访问法: 根据《县域两栖类和爬行类多样性调查与评估技术规定》(2017)(环境保护部 2017)对村民进行访问。将《规划》(曹

表 1 北海湿地两栖动物样线

Table 1 Amphibian transect lines in Beihai Wetland

样线名 Transect lines	起点 Starting point	终点 End point	长度 Length (km)	海拔 Elevation (m)	宽度 Width (m)	调查方式 Investigation methods
	经纬度 Longitude and latitude	经纬度 Longitude and latitude				
栈道区 Plank road zone	25°07'40" N 98°33'42" E	25°06'55" N 98°33'11" E	1.70	1 721 ~ 1 747	10	步行 Walk
海口-柴家营农田区 Haikou-Chaijia village farmland zone	25°07'54" N 98°33'25" E	25°07'43" N 98°32'57" E	0.93	1 721 ~ 1 737	10	步行 Walk
草排 1 区 Floating meadows zone 1	25°07'35" N 98°33'02" E	25°07'17" N 98°33'20" E	0.74	1 726 ~ 1 730	10	划船 Boating
草排 2 区 Floating meadows zone 2	25°07'30" N 98°33'14" E	25°07'20" N 98°33'24" E	0.45	1 710 ~ 1 729	10	划船 Boating
两栖北样线区 Amphibious northern transect line	25°08'10" N 98°33'39" E	25°08'34" N 98°33'32" E	3.10	1 752 ~ 1 974	5	步行 Walk
青海湖湖区 Qinghai lake zone	25°07'52" N 98°34'28" E	25°08'05" N 98°34'27" E	1.78	1 815 ~ 1 881	10	步行 Walk
青海湖-玛御谷 Qinghai lake-Mayu valley	25°08'05" N 98°33'26" E	25°00'21" N 98°34'57" E	20.93	1 651 ~ 2 070	7	步行/开车 Walk/ Drive
青海湖-樱花谷 Qinghai lake-Sakura valley	25°07'51" N 98°33'41" E	25°07'11" N 98°39'54" E	15.69	1 382 ~ 1 878	7	步行/开车 Walk/ Drive

子林等 2008) 中两栖动物名录及实际调查中遇见的两栖动物做成图册, 拿给村民进行指认。选取护林员、两栖爬行类爱好者、成长于本地的乡民、乡村医生、年长知识分子等几类不同村的村民, 用访问法补充与确认实地野外调查数据 (杨道德等 2007, 杨林森等 2009)。

2.2 物种鉴定

物种鉴定参考相关专著和文献 (环保总局等 2003, 费梁等 2012, Mahony et al. 2018, 中国两栖类 2021)。种名使用参考《中国两栖、爬行动物更新名录》(王凯等 2020)。保护动物参考相关文献 (蒋志刚等 2016, 国家林业和草原局政府网 2017, 中华人民共和国濒危物种科学委员会 2019, 国家林业和草原局政府网 2021)。特有种参考《中国脊椎动物红色名录》(蒋志刚等 2016)。动物地理区系及分布型参考《中国动物地理》(张荣祖 2011)。

2.3 生态类型划分

参考《中国两栖动物及其分布彩色图鉴》(费梁等 2012) 及野外调查情况, 根据两栖动物栖息环境的不同, 将其生态类型划分为陆栖溪流型、陆栖静水型、树栖型、溪流型和静水型。

2.4 数据处理

2.4.1 资源量等级划分 统计通过野外调查法得到的物种数量, 将两栖动物个体数 7 只以下、8~50 只和 50 只以上, 分别确定为资源量稀少、一般和丰富 (杨岗等 2011)。

2.4.2 G-F 指数分析 该指数用于评估两栖类物种多样性 (蒋志刚等 1999)。

(1) F 指数, 包括一个特定科 k 的 F 指数

$$(D_{Fk}), D_{Fk} = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \text{ 和一个样区的 } F$$

指数 (D_F), $D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk}$, 式中, $p_i = S_{ki}/S_k$,

S_k 为此次调查所得两栖动物名录中 k 科中的物种数, S_{ki} 为此次调查所得两栖动物名录中 k 科 i 属中的物种数, n 为此次调查所得两栖动物名录中 k 科中的属数, m 为此次调查所得两栖动物名录中科数。

(2) G 指数 (D_G), $D_G = -\sum_{j=1}^P q_j \ln q_j$, 式

中, $q_j = S_j/S$, S 为此次调查所得两栖动物名录中的物种数, S_j 为此次调查所得两栖动物名录中 j 属中的物种数, P 为此次调查所得两栖动物名录中的属数。

(3) *G-F* 指数 (D_{G-F}): $D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F}$ 。

2.4.3 平均动物区系相似性 用下述公式计算平均动物区系相似性, $R = \frac{C(A+B)}{2AB}$, 式中, R 表示平均动物区系相似性系数, A 、 B 表示两区域的物种总数, C 为两区域共有物种数。 R 范围为 0~1.00, 当 $R < 0.40$ 、 $0.40 \leq R < 0.59$ 、 $0.60 < R < 0.79$ 、 $0.80 < R < 1.00$ 时, 两区域平均动物区系分别为疏远关系、周缘关系、密切关系、共同关系 (Long 1963, 张勇等 2020)。

3 结果与分析

3.1 腾冲北海湿地调查所得两栖动物名录分析

3.1.1 概况 2018 至 2020 年野外调查期间, 共记录 21 种两栖动物, 包括 1 种外来入侵种——牛蛙 (*Lithobates catesbeianus* = *Rana catesbeiana*)。20 种两栖动物隶属于 2 目 7 科 17 属。土著优势种为黑眶蟾蜍 (*Duttaphrynus melanostictus*)、华西雨蛙 (*Hyla annectans*)、昭觉林蛙 (*Rana chaochiaoensis*)、滇西琴蛙 (*Nidirana occidentalis*)、布氏泛树蛙

(*Polypedates braueri*) 和川村陆蛙 (*Fejervarya kawamurai*) 6 种 (表 2)。对于村民在北海湿地常见的 7 种物种有当地俗称, 包括红瘰疣螈 (*Tylototriton shanjing*) (俗称蛤蚧)、中华蟾蜍 (*Bufo gargarizans*) (俗称癞蛤蟆、抱手鸡、青鸡、老癞、蟾蜍等)、黑眶蟾蜍 (俗称癞蛤蟆、抱手鸡、老癞等)、华西雨蛙 (俗称青蛙、绿青蛙、小田鸡等)、昭觉林蛙 (俗称癞蛤蟆)、布氏泛树蛙 (俗称红青蛙、老癞、黄癞蛤蟆、花田鸡等) 和川村陆蛙 (俗称田鸡、小青蛤蟆、癞蛤蟆等)。

3.1.2 珍稀保护动物 红瘰疣螈为国家 II 级保护动物, CITES 附录 II 物种。云南臭蛙 (*Odorrana andersonii*) 为中国脊椎动物红色名录中的易危物种。红蹼树蛙 (*Rhacophorus rhodopus*) 和昭觉林蛙为我国特有种。属“国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物”包括费氏短腿蟾 (*Megophrys feae*)、克钦湍蛙 (*Amolops afghanus*)、白颌大树蛙 (*Zhangixalus smaragdinus*) 和背条螳臂树蛙 (*Chiromantis doriae*) 等 9 种 (表 2)。

表 2 云南省腾冲市北海湿地自然保护区两栖动物名录

Table 2 Checklist of Amphibian in Beihai Wetland Nature Reserve, Tengchong County, Yunnan Province

类元 Taxon	中国脊椎动物红色名录 Red List of China's Vertebrates	保护级别 Protection class	区系成分 Fauna	分布型 Distribution pattern	遇见数 Detection number (ind)	数量等级 Resources grade	生态类型 Ecotype	数据来源 References
有尾目 Caudata								
一 蝾螈科 Salamandridae								
1 红瘰疣螈 <i>Tylototriton shanjing</i>	NT	II	SW	Sb	17	++	TQ	①/②/③
无尾目 Anuran								
二 角蟾科 Megophryidae								
2 费氏短腿蟾 <i>Megophrys feae</i>	NT	SY	S	Sc	20	++	TR	①
3 藏南角蟾 <i>M. periosa</i>	NE		SW	Wa	12	++	TR	①
4 腾冲拟髭蟾 <i>Leptobrachium tengchongense</i>	NE		SW	Sb	3	+	R	①
5 腾冲掌突蟾 <i>Leptobrachella tengchongensis</i>	NE		SW	Sb	1	+	TR	①
三 蟾蜍科 Bufonidae								
6 中华蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i>	LC	SY	W	Eg	21	++	TQ	①/②/③
7 黑眶蟾蜍 <i>Duttaphrynus melanostictus</i>	LC	SY	O	Wc	>50	+++	TQ	①/②/③

续表 2

类元 Taxon	中国脊椎 动物红色名录 Red List of China's Vertebrates	保护级别 Protection class	区系成分 Fauna	分布型 Distributi on pattern	遇见数 Detection number (ind)	数量等级 Resources grade	生态 类型 Ecotype	数据来源 References
无尾目 Anuran								
四 雨蛙科 Hylidae								
8 华西雨蛙 <i>Hyla annectans</i>	LC		O	Wd	>50	+++	Q	①/②/③
五 蛙科 Ranidae								
9 云南臭蛙 <i>Odorrana andersonii</i>	VU		C/S	Wc	4	+	R	①
10 昭觉林蛙 <i>Rana chaochiaoensis</i> *	LC	SY	O	Hc	>50	+++	TQ	①/②/③
11 滇西琴蛙 <i>Nidirana occidentalis</i>	NE		SW	Sb	>50	+++	Q	①
12 克钦湍蛙 <i>Amolops afghanus</i>		SY	O	Wa	1	+	R	①
六 树蛙科 Rhacophoridae								
13 普洱树蛙 <i>Zhangixalus puerensis</i>	NE		SW	Sb	2	+	A	①
14 布氏泛树蛙 <i>Polypedates braueri</i>	LC		SW	Sb	>50	+++	A	①/②
15 缅甸树蛙 <i>Zhangixalus burmanus</i>	NE		O	Wa	2	+	A	①
16 红蹼树蛙 <i>Rhacophorus rhodopus</i> *	LC	SY	O	Sb	12	++	A	①
17 白颌大树蛙 <i>Z. smaragdinus</i>	NT	SY	SW	Sb	1	+	A	①
18 背条螳臂树蛙 <i>Chiromantis doriae</i>	LC	SY	S	Wb	4	+	A	①
七 叉舌蛙科 Dicroglossidae								
19 川村陆蛙 <i>Fejervarya kawamurai</i>	LC	SY	W	We	>50	+++	TQ	①/②/③
20 云南棘蛙 <i>Nanorana yunnanensis</i>	NE		O	Wa	3	+	R	①
入侵种 Invasive species								
21 牛蛙 <i>Lithobates catesbeianus</i> = <i>Rana catesbeiana</i>	NE				>50	+++	Q	①/②

*: 中国特有种。中国脊椎动物红色名录: VU. 易危; NT. 近危; LC. 无危; NE. 未评估。保护级别: SY. 三有动物, 即国家保护的有益的或者具有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物; II. 国家二级保护动物。区系成分: O. 东洋界种; S. 东洋界华南区; C. 东洋界华中区; SW. 东洋界西南区; W. 东洋界和古北界种。分布型: W. 东洋型; a. 热带; b. 热带-南亚热带; c. 热带-中亚热带; d. 热带-北亚热带; e. 热带-温带; Hc. 喜马拉雅-横断山区型(横断为主); Eg. 季风区型(东部湿润地区为主)包括乌苏里、朝鲜; S. 南中国型; b. 热带-南亚热带; c. 热带-中亚热带。数量等级: + 稀少; ++ 一般; +++ 丰富。生态类型: TQ. 陆栖静水型; TR. 陆栖溪流型; R. 溪流型; A. 树栖型; Q. 静水型。数据来源: ① 实地调查; ② 访问调查; ③ 文献资料记载。

*: Endemic species in China. Red List of China's Vertebrates: VU. Vulnerable; NT. Near threatened; LC. Least concern; NE. Not evaluated. Protection class: SY. Sanyou animals, terrestrial wild animals protected by the state that are beneficial or have important economic or scientific research value; II. Listed in the Directory of the People's Republic of China on Special State Protection of Wildlife, under the category II. Fauna: O. Oriental species; S. Oriental species South China; C. Oriental species Central China; SW. Oriental species southwest China; W. Oriental species and Palaearctic species. Distribution pattern code: W. Oriental pattern; a. tropic; b. tropic-south subtropics; c. tropic-middle subtropics; d. tropic-northern subtropics; e. tropic-temperate zone; Hc. Himalaya-Hengduan mountains pattern (mainly in Hengduan mountains); Eg. Monsoon region pattern (mainly in eastern humid region) including Wusuli and North Korea; S. South china pattern; b. tropic-south subtropics; c. tropic-middle subtropics. Resources grade: + rare species; ++ general species; +++ abundant species. Ecological types: TQ. Terrestrial quiet water type; TR. Terrestrial running water type; R. Running water type; A. Arboreal type; Q. Quiet water type. References: ① Field investigation; ② Questionnaire and interview; ③ References.

3.1.3 生态类型 共 5 种类型, 属于陆栖静水型有 5 种, 陆栖溪流型 3 种, 树栖型 7 种, 静水型 2 种, 溪流型 4 种(表 2)。以树栖型和陆

栖溪流型为主。

3.2 G-F 指数结果

土著种的 G 指数为 2.842, F 指数为 5.001,

G-F 指数为 0.432, *F* 指数高于 *G* 指数。单种科数占总科数的 1/7; 单种属数占总属数的 13/17, 单种科数的占比远低于单种属数。非单种科较多, 说明科内和科间的多样性较高, 对应 *F* 指数会较高, 而属间的多样性较低, 对应 *G* 指数较低。

3.3 区系分析及平均动物区系相似性

3.3.1 区系分析 在中国动物地理区划上, 云南腾冲的北海湿地隶属于东洋界西南区西南山地亚区(张荣祖 2011)。北海湿地 20 种土著两栖动物中(表 2), 广布种 2 种, 为川村陆蛙和中华蟾蜍。东洋界广布种 7 种, 占本次调查两栖动物物种数 35%; 西南区 8 种, 占 40%; 华南区 2 种, 占 10%; 华中华南区 1 种, 占 5%。北海湿地两栖动物区系组成与北海湿地地理区划相符, 区系组成以东洋界广布种和西南区种为主。

分布型涵盖了 4 型(表 2): 东洋型 9 种, 占 45%; 南中国型 9 种, 占 45%; 喜马拉雅-

横断山区型 1 种, 占 5%; 季风区型 1 种, 占 5%。分布型以东洋型和南中国型成分持平并占有优势, 因北海湿地海拔较高, 与喜马拉雅-横断山区型保持一定的联系性。

3.3.2 平均动物区系相似性比较 通过比较北海湿地与腾冲市和周边县域(泸水、保山、龙陵、盈江)平均动物区系相似性(表 3), 发现北海湿地与腾冲(高黎贡山国家级自然保护区)、泸水(高黎贡山国家级自然保护区)、龙陵小黑山省级自然保护区、铜壁关自然保护区盈江片区为周缘关系。其中, 与泸水(高黎贡山国家级自然保护区)和龙陵小黑山省级自然保护区最相似。

4 讨论

4.1 与《规划》文献记录比较

《规划》名录中的两栖动物包括 2 目 6 科 17 种。此次调查共记录土著种 2 目 7 科 20 种和 1 种外来入侵种, 与《规划》相比, 未调查

表 3 北海湿地与周边县域两栖动物区系相似性比较

Table 3 Comparison of average faunal resemblance value for amphibians between Beihai Wetland and surrounding counties

地区 Prefecture-level	县域 County-level	区系成分 Fauna			与北海湿地 共有种数 Common species with Beihai Wetland	平均动物区 系相似性 Average fauna resemblance AFR
		东洋界种 Oriental species	古北界种 Palearctic species	广布种 Widespread species		
保山市 Baoshan	腾冲(高黎贡山国家级自然保护区) Tengchong (Gaoligong Mountain National Natural Reserve)	19	0	1	8	0.400
	保山(高黎贡山国家级自然保护区) Baoshan (Gaoligong Mountain National Natural Reserve)	19	0	2	8	0.390
	龙陵(小黑山省级自然保护区) Longling(Xiaoheishan Nature Reserve)	11	0	1	8	0.533
德宏傣族景颇族自治州 Dehong Dai and Jingpo Autonomous Prefecture	盈江(铜壁关自然保护区) Yingjiang (Tongbiguan Nature Reserve)	11	0	2	7	0.444
怒江傈僳族自治州 Nujiang Lisu Autonomous Prefecture	泸水(高黎贡山国家级自然保护区) Lushui (Gaoligong Mountain National Natural Reserve)	17	0	2	10	0.513

腾冲(高黎贡山国家级自然保护区)、保山(高黎贡山国家级自然保护区)、龙陵小黑山省级自然保护区、铜壁关自然保护区盈江片区、泸水(高黎贡山国家级自然保护区)的两栖动物名录数据参考《云南两栖爬行动物》(杨大同等 2008)。

Amphibian checklists of Tengchong (Gaoligong Mountain National Natural Reserve), Baoshan (Gaoligong Mountain National Natural Reserve), Longling (Xiaoheishan Nature Reserve), Yingjiang (Tongbiguan Nature Reserve), Lushui (Gaoligong Mountain National Natural Reserve) referencing *Amphibia and Reptilia of Yunnan* (Yang et al. 2008).

到两栖动物 1 种, 为无指盘臭蛙 (*Odorrana grahami*), 新增两栖动物分布新记录 5 种, 包括腾冲掌突蟾 (Yang et al. 2016a)、红蹼树蛙、白颌大树蛙、背条螳臂树蛙以及入侵种牛蛙(表 4)。新修订 2 科 8 种 (魏刚等 2010, Zhang et

al. 2010, Doi 2014, Huang et al. 2016, Cheng et al. 2018, Jiang et al. 2019, 王凯等 2020, 中国两栖类 2021) (表 4)。在新修订的物种中, 布氏泛树蛙 (Kuraishi et al. 2012)、滇西琴蛙 (Lyu et al. 2020)、腾冲拟髭蟾 (Yang et al.

表 4 《规划》名录与本次调查名录对比

Table 4 The comparison of Plan checklist with this investigation checklist

《规划》名录 Plan checklist	本次调查 This investigation	
	名录 Checklist	备注 Remarks
有尾目 Caudata	有尾目 Caudata	
蝾螈科 Salamandridae	蝾螈科 Salamandridae	
红瘰疣螈 <i>Tylototriton shanjing</i>	红瘰疣螈 <i>Tylototriton shanjing</i>	
无尾目 Anura	无尾目 Anura	
盘舌蟾科 Discoglossidae	角蟾科 Megophryidae	新修订 New revised
緬北短腿蟾 <i>Brachytarsophrys feae</i>	费氏短腿蟾 <i>Megophrys feae</i>	
白颌大角蟾 <i>Megophrys major</i>	藏南角蟾 <i>M. periosa</i>	新修订 New revised
沙巴拟髭蟾 <i>Leptobranchium chapaense</i>	腾冲拟髭蟾 <i>Leptobranchium tengchongense</i>	新修订 New revised
	腾冲掌突蟾 <i>Leptobranchella tengchongensis</i>	新记录 New recorded
蟾蜍科 Bufonidae	蟾蜍科 Bufonidae	
华西蟾蜍 <i>Bufo andrewsi</i>	中华蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i>	
黑眶蟾蜍 <i>B. melanostictus</i>	黑眶蟾蜍 <i>Duttaphrynus melanostictus</i>	
雨蛙科 Hylidae	雨蛙科 Hylidae	
华西雨蛙 <i>Hyla annectans</i>	华西雨蛙 <i>Hyla annectans</i>	
蛙科 Ranidae	蛙科 Ranidae	
云南臭蛙 <i>Rana andersonii</i>	云南臭蛙 <i>Odorrana andersonii</i>	未发现 Undiscovered
无指盘臭蛙 <i>R. grahami</i>		
昭觉林蛙 <i>R. chaochiaoensis</i>	昭觉林蛙 <i>Rana chaochiaoensis</i>	
滇蛙 <i>R. pleuraden</i>	滇西琴蛙 <i>Nidirana occidentalis</i>	新修订 New revised
绿点湍蛙 <i>Amolops afghanus</i>	克钦湍蛙 <i>Amolops afghanus</i>	新修订 New revised
	叉舌蛙科 Dicroglossidae	新修订 New revised
泽蛙 <i>R. limnocharis</i>	川村陆蛙 <i>Fejervarya kawamurai</i>	新修订 New revised
双团棘胸蛙 <i>R. yunnanensis</i>	云南棘蛙 <i>Nanorana yunnanensis</i>	新修订 New revised
树蛙科 Rhacophoridae	树蛙科 Rhacophoridae	
斑腿泛树蛙 <i>Polypedates megacephalus</i>	布氏泛树蛙 <i>Polypedates braueri</i>	新修订 New revised
杜氏泛树蛙 <i>P. dugritei</i>	普洱树蛙 <i>Zhangixalus puerensis</i>	新修订 New revised
贡山树蛙 <i>Rhacophorus gongshanensis</i>	缅甸树蛙 <i>Z. burmanus</i>	新修订 New revised
	背条螳臂树蛙 <i>Chiromantis doriae</i>	新记录 New recorded
	红蹼树蛙 <i>Rhacophorus rhodopus</i>	新记录 New recorded
	白颌大树蛙 <i>Z. smaragdinus</i>	新记录 New recorded
	入侵种 Invasive species	
	牛蛙 <i>Lithobates catesbeianus</i> = <i>Rana catesbeiana</i>	新记录 New recorded

2016b) 及藏南角蟾 (Mahony et al. 2018, 石胜超等 2020) 这 4 种是近 10 年重新厘定的新种。王凯等 (2020) 研究指出, 我国西南地区持续发现已知物种的新分布记录。如本次北海湿地两栖动物调查结果所示, 分布新记录种和新修订的物种数占此次调查名录物种数的一半以上, 长期深入对北海湿地两栖动物的资源调查可能会有更多发现。而上述物种的种群分布、生境等情况的研究不足, 本文提供了较新的生态学数据, 有利于这些物种的研究与监测。可见北海湿地是滇西横断山脉地区两栖动物重要的生物避难所 (胡忠俊等 2013)。

4.2 G-F 指数和平均动物区系相似性指数

4.2.1 G-F 指数 北海湿地两栖动物 (20 种) 与爬行动物 (20 种) (张蔚等 2021, 待发表) 在物种数量上一致。北海湿地爬行动物共 7 科 16 属 20 种, *G* 指数 2.718, *F* 指数 4.795, *G-F* 指数 0.433, 单种科数占比 28.57%, 单种属数占比 75.00% (张蔚等 2021, 待发表)。*F* 指数反映科间多样性, *G* 指数反映属间多样性 (蒋志刚等 1999)。北海湿地两栖动物的 *G* 指数 (2.842) 和 *F* 指数 (5.001) 分别高于爬行动物的 *G* 指数和 *F* 指数, 并且两栖动物的单种科数占比 (1/7) 和单种属数占比 (13/17) 均低于爬行动物的对应值, 即两栖动物的非单种科数和非单种属数占比都较高。由此说明, 北海湿地两栖动物的科间和属间多样性均高于爬行动物。

4.2.2 平均动物区系相似性指数讨论 北海湿地与对照的腾冲 (高黎贡山国家级自然保护区)、泸水 (高黎贡山国家级自然保护区) (王志恒等 2004)、龙陵小黑山省级自然保护区 (王玉兵等 2007)、铜壁关自然保护区盈江片区 (肖之强等 2016) 相比, 海拔跨度较小, 这可能是北海湿地平均动物相似性与地理位置较近的保护区域为周缘关系, 而非密切关系的原因。其中, 北海湿地与龙陵小黑山省级自然保护区和泸水 (高黎贡山国家级自然保护区) 最为相似, 这三个保护区均位于高黎贡山的南部西坡 (王

志恒等 2004, 王玉兵等 2007, 肖之强等 2016), 具有相似的气候条件, 可能是两栖动物地理区系相似的原因。从岛屿生物地理学角度来说 (赵淑清等 2001), 三个保护区构成了相互隔离的相似生境。龙陵小黑山省级自然保护区和泸水 (高黎贡山国家级自然保护区) 两个保护区可视为 2 个大岛屿, 北海湿地位于两个保护区中间, 可视为小岛屿。北海湿地对于该区域两栖动物种群迁徙与物种保护具有关键性作用。

4.3 外来入侵种牛蛙

北海湿地本次调查期间, 以样线“海口-柴家营农田区”和“栈道区”为例, 土著两栖动物总数分别为 14 只和 1 只, 而牛蛙分别为 110 只和 572 只。北海湿地牛蛙的分布范围呈现由北海湖向青海湖蔓延的趋势。2000 年牛蛙被入侵种专家组 (Invasive Species Specialist Group, ISSG) 列为世界 100 种恶性外来入侵种之一 (Lowe et al. 2000), 吕敬才等 (2020) 的报道中, 与北海湿地同为高海拔地区的贵州草海湿地, 其牛蛙入侵面积达水域 90% 以上, 呈泛滥孳生趋势。采取措施对北海湿地牛蛙入侵情况进行管理较为急迫。牛蛙与土著两栖动物相比, 具有多方面的竞争优势, 例如缺少天敌、更强的繁殖力、体型大, 易捕食小型土著蛙如昭觉林蛙和川村陆蛙等, 且食性广。牛蛙对于本地食物链结构的影响亟待观测, 长此以往将威胁湿地生态系统健康 (李成等 2004)。

通过访问法得知, 北海湿地牛蛙的泛滥与养殖业逃逸相关。有村民称北海湿地曾有一个牛蛙养殖水塘, 后经营不善水塘弃用, 牛蛙从水塘逃逸至北海湖。针对牛蛙的泛滥情况, 建议当地采取措施捕捉和消耗牛蛙 (环保总局等 2003, 李成等 2004)。在牛蛙幼体阶段, 如对牛蛙卵常附着的湿地沉水植物、废弃木杆木船等进行适当清理; 对具有经济价值的牛蛙成体, 应许可专项捕捞行为。建立北海湿地牛蛙评估与诊治体系, 进行长期监测直至消除入侵的危害。监测时可关注以下方面: (1) 牛蛙的分布

扩散及其影响；(2) 关注受到威胁的物种或生境的状况；(3) 牛蛙对北海湿地生物多样性、生态系统、生态系统服务和社会经济的影响 (Roy et al. 2017)。

4.4 建立两栖动物监测体系

本次调查为北海湿地 2008 年《规划》两栖动物名录 (曹子林等 2008) 之后最新一次的两栖动物本底资源调查, 实地调查的结果为后期建立两栖动物监测体系提供了本底数据支撑 (武建勇等 2016b)。对于长期监测需注意以下几点。

4.4.1 监测区域及重点 由平均动物相似性的结果可知, 北海湿地两栖动物与周边地区物种具有一定的相似性, 物种灭绝压力较小, 但在牛蛙入侵的压力下建立监测系统依然是必要的 (Urban 2015)。对北海湿地两栖类的系统监测提示, 青海湖区域的物种多样性高于北海湖南部的邵家营区域, 邵家营区域的两栖类物种有减少的趋势, 监测时此区域可作为重点。威胁因素的监测可重点关注以下方面, 栖息地的改造、入侵物种、污染、紫外线 B (ultraviolet-B UV-B) 辐射、壶菌等两栖类病原体、气候变化以及各类威胁间的协同作用 (Whitfield et al. 2016)。其中, 栖息地的破碎化与改变土地利用方式、建设道路管网、水电工程等密切相关, 监测时应对这些变化进行记录 (江建平 2016)。在以上数据的基础上, 可对两栖动物与环境相互作用的关系有更为清晰的认识, 为进一步制订保护措施提供量化指标 (Antonelli et al. 2018)。

4.4.2 加强自然保护区的管理监督 腾冲北海湿地省级自然保护区管护局在北海湿地的两栖动物保护中, 承担了主要管理者的角色, 并通过持之以恒的努力, 改善了北海湿地的生态环境。但由于人员有限、经费紧张, 执法受到限制。与此同时, 需要加强保护区人员的能力建设, 提高业务素质, 增强执法能力 (李成等 2017)。

4.4.3 促进当地居民的公众参与 由于北海湿地两栖动物的生存空间与当地居民的生计空

间高度重叠, 因此受到人类活动的干扰较大 (刘晓达 2017, 杨兴媛 2019)。故此, 针对当地村民开展普法活动, 进行科普宣传, 是保护北海湿地两栖动物的必要举措, 也是当地村民对于保护区公众参与的体现 (马洪军等 2008)。

致谢 感谢腾冲北海湿地省级自然保护区管护局工作人员毕贵才、邵生荣在野外调查中的帮助。感谢两位匿名审稿人细致深入的审稿意见。

参 考 文 献

- Alford R A, Richards S J. 1999. Global amphibian declines: a problem in applied ecology. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 30(1): 133–165.
- Antonelli A, Kissling W D, Flantua S G A, et al. 2018. Geological and climatic influences on mountain biodiversity. *Nature Geoscience*, 11(10): 718–725.
- Cheng J X, Cai Y T, Zheng Y J, et al. 2018. The complete mitochondrial genome of *Fejervarya kawamurai* (Anura: Dicroglossidae) and its phylogeny. *Mitochondrial DNA Part B*, 3(2): 551–553.
- Doi T. 2014. Field observations of predatory behavior by juvenile rice frogs (*Fejervarya kawamurai*) on Japanese Tree Frogs (*Hyla japonica*). *Current Herpetology*, 33(2): 129–134.
- Harris R B, Burnham K P. 2002. On estimating wildlife densities from line transect data. *Acta Zoologica Sinica*, 48(6): 812–818.
- Hoffmann M, Hilton-taylor C, Angulo A, et al. 2010. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science*, 330(6010): 1503–1509.
- Huang Z H, Tu F Y. 2016. Mitogenome of *Fejervarya multistriata*: a novel gene arrangement and its evolutionary implications. *Genetics and Molecular Research*, 15(3): 1–9.
- IUCN. 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021–1. [EB/OL]. [2021-06-28]. <https://www.iucnredlist.org>.
- Jiang D C, Jiang K, Ren J L, et al. 2019. Resurrection of the genus *Leptomantis*, with description of a new genus to the family Rhacophoridae (Amphibia: Anura). *Asian Herpetological Research*, 10(1): 1–12.
- Kiesecker J M, Blaustein A R, Belden L K. 2001. Complex causes of

- amphibian population decline. *Nature*, 410(6829): 681–684.
- Kuraishi N, Matsui M, Hamidy A, et al. 2012. Phylogenetic and taxonomic relationships of the *Polypedates leucomystax* complex (Amphibia). *Zoologica Scripta*, 42(1): 54–70.
- Long C A. 1963. Mathematical formulas expressing faunal resemblance. *Transactions of the Kansas Academy Science*, 66(1): 138–140.
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S, et al. 2000. 100 of the World's worst invasive alien species: A selection from the Global Invasive Species Database. Auckland: The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN). [R/OL]. [2021-03-31]. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2000-126.pdf>.
- Lyu Z T, Chen Y, Yang J H, et al. 2020. A new species of *Nidirana* from the *N. pleuraden* group (Anura, Ranidae) from western Yunnan, China. *Zootaxa*, 4861(1): 43–62.
- Mahony S, Kamei R G, Teeling E C, et al. 2018. Cryptic diversity within the *Megophrys major* species group (Amphibia: Megophryidae) of the Asian Horned Frogs: Phylogenetic perspectives and a taxonomic revision of South Asian taxa, with descriptions of four new species. *Zootaxa*, 4523(1): 1–96.
- Pounds J A, Bustamante M R, Coloma L A, et al. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, 439(7073): 161–167.
- Roy H E, Rabitsch W, Scalera R, et al. 2017. Developing a framework of minimum standards for the risk assessment of alien species. *Journal of Applied Ecology*, 55(2): 526–538.
- Stuart S N, Chanson J S, Cox N A, et al. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702): 1783–1786.
- Urban M C. 2015. Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, 348(6234): 571–573.
- Wake D B. 2007. Climate change implicated in amphibian and lizard declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(20): 8201–8202.
- Weir L, Fiske I J, Royle J A. 2009. Trends in anuran occupancy from northeastern states of the North American Amphibian Monitoring Program. *Herpetological Conservation and Biology*, 4(3): 389–402.
- Whitfield S M, Lips K R, Donnelly M A. 2016. Amphibian decline and conservation in Central America. *Copeia*, 104(2): 351–379.
- Yang J H, Wang Y Y, Chan B P L. 2016b. A new species of the genus *Leptobrachium* (Anura: Megophryidae) from the Gaoligongshan Mountain Range, China. *Zootaxa*, 4150(2): 133–148.
- Yang J H, Wang Y Y, Chen G L, et al. 2016a. A new species of the genus *Leptolalax* (Anura: Megophryidae) from Mt. Gaoligongshan of western Yunnan Province, China. *Zootaxa*, 4088(3): 379–394.
- Zhang D R, Chen M Y, Murphy R W, et al. 2010. Genealogy and palaeodrainage basins in Yunnan Province: phylogeography of the Yunnan spiny frog, *Nanorana yunnanensis* (Dicroglossidae). *Molecular Ecology*, 19(16): 3406–3420.
- Zhao T, Wang B, Shu G C, et al. 2018. Amphibian species contribute similarly to taxonomic, but not functional and phylogenetic diversity: inferences from amphibian biodiversity on Emei Mountain. *Asian Herpetological Research*, 9(2): 110–118.
- 曹子林, 李桐森, 李小龙, 等. 2008. 云南腾冲北海湿地省级自然保护区总体规划(2008-2020年). 昆明: 西南林学院, 10–169.
- 戴丽, 张涛, 胡玉洪, 等. 2004. 云南省腾冲北海湿地保护工程方案研究分析. *环境科学导刊*, 23(增刊 1): 1–4.
- 费梁, 叶昌媛, 江建平. 2012. 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, 18–557.
- 冯春红. 2013. 云南省腾冲北海湿地径流区水文特性分析. *中国农村水利水电*, 4(10): 46–48.
- 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 2001. 生态系统综合评价的内容与方法. *生态学报*, 21(11): 1885–1892.
- 国家环保局. 1994. 关于发布国家重点保护湿地名录(第一批)的通知(环然[1994]573号). [EB/OL]. (1994-11-04). [2021-07-08]. http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_171868.htm.
- 国家林业和草原局政府网. 2017. 国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物名录(2000年8月1日以国家林业局令第7号发布实施). [EB/OL]. (2017-03-15). [2021-03-31]. <http://www.forestry.gov.cn/main/3954/content-959027.html>.
- 国家林业和草原局政府网. 2021. 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]. (2021-02-01). [2021-03-31]. <http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html>.

- 胡忠俊, 张镜铨, 刘林山, 等. 2013. 生物避难所及其识别方法评述. 生态学杂志, 32(12): 3397–3406.
- 环保总局, 中科院. 2003. 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知(环发(2003)11号). [EB/OL]. (2003-01-10). [2021-03-31]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62285.htm.
- 环境保护部. 2017. 县域两栖类和爬行类多样性调查与评估技术规范. [EB/OL]. (2017-12-29). [2021-03-31]. <http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201801/W020180108485750441333.pdf>.
- 江建平, 谢锋, 臧春鑫, 等. 2016. 中国两栖动物受威胁现状评估. 生物多样性, 24(5): 588–597.
- 蒋志刚, 纪力强. 1999. 鸟兽物种多样性测度的 *G-F* 指数方法. 生物多样性, 7(3): 220–225.
- 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 2016. 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24(5): 500–551.
- 李成, 谢锋. 2004. 牛蛙入侵新案例与管理对策分析. 应用与环境生物学报, 10(1): 95–98.
- 李成, 谢锋, 车静, 等. 2017. 中国关键地区两栖爬行动物多样性监测与研究. 生物多样性, 25(3): 246–254.
- 李晓文, 李梦迪, 梁晨, 等. 2014. 湿地恢复若干问题探讨. 自然资源学报, 29(7): 1257–1269.
- 刘晓达. 2017. 腾冲北海湿地湿生植物资源与可持续性研究. 北京: 中央民族大学硕士学位论文, 11–38.
- 吕敬才, 李亚龙, 代亮亮, 等. 2020. 贵州草海湿地牛蛙的分布现状及生境选择特征. 水生态学杂志, 41(6): 133–140.
- 马洪军, 蒋东明. 2008. 云南省腾冲北海湿地社区共管研究. 西南林业大学学报, 28(3): 67–70.
- 沈立新, 段成波. 2004. 北海湿地保护区植被类型及其环境状况的研究. 西部林业科学, 33(4): 13–16.
- 沈立新, 梁洛辉. 2005. 腾冲北海湿地保护区动植物多样性及其环境状况的分析. 东北林业大学学报, 33(5): 100–102.
- 石胜超, 王斌, 朱文博, 等. 2020. 云南省发现藏南角蟾及其蝌蚪描述. 动物学杂志, 55(6): 730–740.
- 王凯, 任金龙, 陈宏满, 等. 2020. 中国两栖、爬行动物更新名录. 生物多样性, 28(2): 189–218.
- 王玉兵, 杜凡. 2007. 云南省小黑山自然保护区兰科植物多样性及保护评价. 武汉植物学研究, 25(1): 59–64.
- 王志恒, 陈安平, 朴世龙, 等. 2004. 高黎贡山种子植物物种丰富度沿海拔梯度的变化. 生物多样性, 12(1): 82–88.
- 魏刚, 李子忠, 江建平. 2010. 角蟾科 Megophryidae 系统研究进展. 四川动物, 29(5): 652–658.
- 武建勇, 彭华, 蒋学龙, 等. 2016a. 滇西北县域生物多样性本底调查与评估. 生物多样性, 24(12): 1414–1420.
- 武建勇, 薛达元, 王爱华, 等. 2016b. 生物多样性重要区域识别——国外案例、国内研究进展. 生态学报, 36(10): 3108–3114.
- 肖之强, 马晨晨, 代俊, 等. 2016. 铜壁关自然保护区藤本植物多样性研究. 热带亚热带植物学报, 24(4): 437–443.
- 杨大同, 饶定齐. 2008. 云南两栖爬行动物. 昆明: 云南科技出版社, 18–127.
- 杨道德, 谷颖乐, 刘松, 等. 2007. 江西庐山自然保护区两栖动物资源调查与评价. 四川动物, 26(2): 362–365.
- 杨岗, 李东, 余辰星, 等. 2011. 广西弄岗国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查. 动物学杂志, 46(4): 47–52.
- 杨林森, Kevin Messenger, 廖明尧. 2009. 湖北神农架国家级自然保护区两栖爬行动物物种多样性. 四川动物, 28(2): 286–291.
- 杨兴媛. 2019. 腾冲北海湿地保护区汇水面陆生植物资源与管理研究. 北京: 中央民族大学硕士学位论文, 14–40.
- 张荣祖. 2011. 中国动物地理. 北京: 科学出版社, 179–281.
- 张蔚, 闻苡, 丁利, 等. 2021. 云南腾冲北海湿地自然保护区爬行动物多样性现状研究. 云南农业大学学报: 自然科学, (待发表).
- 张勇, 龚大洁, 黄帅, 等. 2020. 民勤连古城国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查及分析. 干旱区资源与环境, 34(4): 148–153.
- 赵佳, 李希昆, 张树兴. 2007. 关于对腾冲北海湿地保护的思考. 昆明理工大学学报: 社会科学版, 7(1): 11–14.
- 赵淑清, 方精云, 雷光春. 2001. 物种保护的理论基础——从岛屿生物地理学理论到集合种群理论. 生态学报, 21(7): 1171–1179.
- 中国两栖类. 2021. 中国两栖类信息系统. 中国, 云南省, 昆明市: 中国科学院昆明动物研究所. [EB/OL]. (2021-03-29). [2021-09-13]. <http://www.amphibiachina.org/>.
- 中华人民共和国濒危物种科学委员会. 2019. 2019年 CITES 附录中文版. [EB/OL]. (2019-11-26). [2021-03-31]. http://www.cites.org.cn/citesgy/fl/201911/t20191111_524091.html.