

·研究论文·

DOI:10.16605/j.cnki.1007-7847.2020.03.004

# 旅游干扰对张家界市大鲵饵料鱼及大鲵种群数量的影响

罗庆华<sup>1\*</sup>, 陶水秀<sup>1</sup>, 蒋万胜<sup>1</sup>, 胡 骁<sup>2</sup>, 刘 柯<sup>1</sup>, 陈进豪<sup>1</sup>, 付 磊<sup>1</sup>, 曹 威<sup>1</sup>

(1. 吉首大学 大鲵资源保护与综合利用湖南省工程实验室 林产化工湖南省重点实验室 土木工程与建筑学院, 中国湖南 张家界 427000; 2. 吉首大学 生物资源与环境科学学院, 中国湖南 吉首 416000)

**摘 要:** 为了探究旅游干扰对国家Ⅱ级保护动物——中国大鲵(*Andrias davidianus*)种群数量及其饵料鱼种类、资源量的影响,对湖南省张家界市重度与轻度旅游干扰下大鲵栖息地的旅游干扰内容、饵料鱼的种类与渔获量、大鲵种群数量进行了同步调查与估算,并比较了旅游重度干扰区在旅游开发前后饵料鱼种类的差异,以及旅游重度与轻度干扰区饵料鱼种类与渔获量的差异。结果表明:在湖南省张家界市的大鲵栖息地共发现饵料鱼类4目10科22属25种;旅游重度干扰区现在饵料鱼的物种数大于旅游开发前,也大于轻度干扰区,但统计上无显著差别;Jaccard系数分析显示重度与轻度干扰区之间饵料鱼物种组成的相似性较小;与轻度干扰区相比,重度干扰区的渔获量较多,但大鲵种群数量较少。以上信息提示,在张家界市目前适度开发和管理模式下,旅游干扰对大鲵饵料鱼资源没有产生明显的负面影响,但重度干扰区可能由于游客活动带来的噪声增加或者洞穴数的减少等其他干扰因素使大鲵种群数量有所下降。

**关键词:** 旅游干扰; 饵料鱼; 栖息地; 中国大鲵(*Andrias davidianus*); 张家界

中图分类号: Q142.9

文献标识码: A

文章编号: 1007-7847(2020)03-0199-09

## Influence of Tourism Disturbance on Prey Fish and Population Size of Chinese Giant Salamander (*Andrias davidianus*) in Zhangjiajie City

LUO Qing-hua<sup>1\*</sup>, TAO Shui-xiu<sup>1</sup>, JIANG Wan-sheng<sup>1</sup>, HU Xiao<sup>2</sup>, LIU Ke<sup>1</sup>, CHEN Jin-hao<sup>1</sup>, FU Lei<sup>1</sup>, CAO Wei<sup>1</sup>

(1. Hunan Engineering Laboratory for Chinese Giant Salamander's Resource Protection and Comprehensive Utilization, Key Laboratory of Hunan Forest Products and Chemical Industry Engineering, School of Civil Engineering and Architecture, Jishou University, Zhangjiajie 427000, Hunan, China; 2. College of Biological Resources and Environmental Science, Jishou University, Jishou 416000, Hunan, China)

**Abstract:** In order to evaluate the influence of the tourism disturbance on the species and the resource of prey fish and population size of Chinese giant salamander (CGS, *Andrias davidianus*), the intensity of disturbance, the number and catch of the prey fish species, and the population size of the CGS under different intensities of tourism disturbance were investigated and analyzed in Zhangjiajie City, Hunan Province. The present species and catch of the prey fish on the sampling localities under high tourism disturbance have been compared with those historic records before tourism development, as well as those areas under low tourism disturbance. A total of 25 species (belonging to 4 orders, 10 families, and 22 genera) of prey fish were found in the sampled habitats of CGS. The number of prey fish in high tourism disturbance areas was greater

收稿日期: 2019-09-01; 修回日期: 2019-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31460160); 大鲵资源保护与综合利用湖南省工程实验室开放课题(DNGC1604)

作者简介: \*通信作者: 罗庆华(1970—), 女, 湖南耒阳人, 博士, 吉首大学教授, 主要从事水生动物资源保护与利用研究, E-mail: dani2017@126.com.

than those in the areas both before tourism development and under low disturbance (but without statistical significance). According to Jaccard index, the compositional similarities of the prey fish between high and low tourism disturbance areas were generally small. The catch of prey fish in high disturbance areas was also greater than those in low disturbance areas, however, the population size of CGS in high disturbance areas was less than that in the low disturbance areas. Currently, the reasonable and manageable tourism development in Zhangjiajie City had no distinctly negative effect on the prey fish of CGS, but the more intensive disturbance would bring other interferences such as increased noise and decreased dens, thus lowering the population size of CGS.

**key words:** tourism disturbance; prey fish; habitat; Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*); Zhangjiajie (*Life Science Research*, 2020, 24(3): 199~207)

研究旅游对野生动物的影响能够为旅游业与野生动物保护关系的协调发展, 以及旅游资源开发和旅游业可持续发展提供重要的科学依据, 是科学发展与生态文明建设中重要的研究课题。目前, 国内外已有较多关于旅游活动对野生动物栖息地质量与种群数量存在负面影响的研究报道。例如: 在印度的科贝特老虎保护区, 旅游业损坏了主要草地和动物栖息地, 并阻碍了老虎与大象的生态廊道<sup>[1]</sup>; 旅游干扰导致尼泊尔萨加玛塔国家公园的高海拔湖水水质恶化, 使得其中的水生生态系统受到诸多不利影响<sup>[2]</sup>; 开曼群岛旅游开放区的黄貂鱼因食用更多的非天然食物, 出现寄生虫载量升高, 引起其对疾病的防御能力下降<sup>[3]</sup>; 在肯尼亚基西特国家海洋公园, 水上旅游活动的增加, 导致海岸保护区的海豚数量不断减少<sup>[4]</sup>; 在国内一些湖泊湿地, 大众旅游活动带来的污水破坏了旅游区的水体环境, 降低了水体和沉积物中溶解氧的含量, 导致水体加速富营养化, 使生态旅游区水生动物的多样性受到影响<sup>[5]</sup>。相对于国外而言, 我国在旅游对保护动物的影响研究方面积累还比较薄弱, 缺乏对构成保护物种生境需求各方面的系统定量研究<sup>[6]</sup>。此外, 旅游活动对不同区域、不同野生动物的影响也不完全相同。到目前为止, 未见旅游干扰对重点保护野生动物饵料生物影响等方面的研究报道。

中国大鲵(*Andrias davidianus*, 后简称“大鲵”)隶属两栖纲、有尾目、隐鳃鲵科、大鲵属, 是我国特有的国家 II 级重点保护野生动物, 在国际自然保护联盟的红皮书中被列为极危物种<sup>[7]</sup>。大鲵被称为水中活化石, 能较好地反映地质演化、水生脊椎动物向陆生脊椎动物的进化及生存历史<sup>[8]</sup>。同时, 大鲵又是水、陆生态系统的重要组成部分, 在食物链中处于关键地位, 影响着所在区域的生物

多样性和生态系统功能<sup>[9]</sup>。为了保护大鲵资源, 中国已建立了 52 个以大鲵为保护主体对象的自然保护区<sup>[10]</sup>, 其中湖南张家界大鲵自然保护区是我国批准成立的第一个国家级自然保护区。张家界地质地理条件特殊, 是享誉全球的武陵源风景名胜区所在地, 大鲵保护区与风景名胜地在地理空间上的交叉, 形成了国内最为典型的旅游产业与濒危动物保护共存的局面。

大鲵是肉食性动物, 在其自然生境中, 幼鲵主要摄食蟹类和虾类幼体以及水蜈蚣和多种昆虫幼虫等, 而成鲵主要摄食鱼类、蟹类、虾类、昆虫、蛙类和蛇类等<sup>[11]</sup>。其中, 泉水鱼、云南光唇鱼、马口鱼等种类的氨基酸比例与大鲵相似, 是大鲵重要的饵料鱼类资源<sup>[12]</sup>。本研究对湖南省张家界市不同旅游干扰强度下大鲵栖息地的旅游干扰内容、饵料鱼与大鲵种群数量进行了调查与估算, 比较了重度旅游干扰区在旅游开发前后饵料鱼物种组成的不同, 探究了张家界旅游干扰对大鲵饵料鱼的影响规律。本研究的结论可为张家界市大鲵资源保护与旅游业的可持续发展提供理论依据, 丰富了旅游活动对野生保护动物影响的研究内容。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查点选择

湖南张家界大鲵国家级自然保护区(109°42'56"~111°16'05"E, 27°44'28"~30°00'43"N)主要位于张家界市境内。市内所有河段与溪流, 全部划归为自然保护区域, 水域面积 14 285 hm<sup>2</sup>。张家界市属山地季风湿润气候, 年均气温 16 ℃, 境内溶洞、深潭、阴河、泉水众多, 为大鲵的生长繁殖提供了得天独厚的生态环境。

根据旅游的年人次(以近年景点实际统计人数为准), 将调查水域(属索水、酉水、澧水南源)划

分为重度旅游干扰区与轻度旅游干扰区<sup>[13]</sup>。其中,年游客量达到50万人次以上的区域为重度旅游干扰区,年游客量在1万人次以下的区域为轻度旅游干扰区。在不同强度的干扰区各选择3个典型的调查位点。重度干扰区的调查位点包括金鞭溪、索溪河与黄龙洞;轻度干扰区的调查位点有乌木峪、骡子塔与院子村。每个调查位点分别选择两个样点进行野外实地调查与取样分析(调查位点信息见表1),并同时调查该样点的大鲵种群数量。

各样点分别属于索水、酉水与澧水南源,而索水与酉水分别是澧水与沅水支流上游。历史调查资料表明:澧水与沅水的鱼类区系组成较为相近<sup>[14]</sup>。此外,各样点的生态环境也相近,具有河流较窄、河水较浅、多为石质底质、流速较小、两岸坡度较大和采样点植被覆盖度大等特点<sup>[15]</sup>。

## 1.2 调查方法

### 1.2.1 旅游干扰内容的调查

调查分两次进行,分别于2016年6月和9月(旅游旺季)对各样点的主要旅游干扰内容展开调查。其中,年接待人数来自于景点管理部门;旅游设施面积:测量(激光测距仪Leica, DISTO)并计算以样点为中心、直径为100m的旅游设施面积。根据表2的项目类型观察并记录游客的活动情况;采用GPS eTrex测定样点的海拔;采用HS56-71B型噪音频谱分析仪(嘉兴恒升电子有限责任公司)测定噪音,在样点的东南西北4个方位,距样点5m的位置各测定3次,每次测定1min,取平均值。

### 1.2.2 饵料鱼种类调查

在征得行政主管部门同意下,采用便携式小

型电鱼机、定置地笼(网目4mm,长16m,高35cm,入口直径14cm)与抄网采集鱼类标本。于2016年6月和9月分别进行了两次鱼类野外调查,分别代表丰水期和平水期,最大限度地保证了调查的完整性。对所有采集到的标本用福尔马林固定,后转为乙醇保存。标本鉴定依据《中国动物志 鲤形目》<sup>[16]</sup>《中国淡水鱼类检索》<sup>[17]</sup>《湖南鱼类志》<sup>[18]</sup>等相关资料进行。对于调查中疑似新种或新记录种的鱼类,首先进行形态特征观察与测量比较,其次通过线粒体Cyt b基因进行分子鉴定<sup>[19]</sup>。

### 1.2.3 饵料鱼组成的相似性分析

基于Jaccard相似性系数( $q$ ),对不同条件下饵料鱼组成的相似性进行计算。首先对重度干扰区的现有鱼类组成与旅游开发前的历史记录<sup>[20]</sup>进行比较,其次对重度干扰与轻度干扰区的鱼类进行比较分析。Jaccard相似性系数的计算公式为 $q=c/(a+b-c)$ , $a$ 为其中一个样点记录到的鱼类种数; $b$ 为另一个样点记录到的鱼类种数; $c$ 为两个样点共有的鱼类种数。 $q$ 等于0~0.25为极不相似;0.25~0.5为中等不相似;0.5~0.75为中等相似;0.75~1.0为极相似<sup>[21]</sup>。

### 1.2.4 饵料鱼资源量调查

对每个样点每次捕捞的饵料鱼进行称量,将其除以采样范围所覆盖的面积,获得饵料的渔获量,以此代表饵料鱼单位面积的资源量。

### 1.2.5 大鲵种群资源量同步调查

采用项目组前期建立的野生鲵苗推算法与河段密度推算法对调查样点的大鲵资源量进行估算,以此统计大鲵的数量和资源量。野生鲵苗推

表1 研究区大鲵栖息地调查点信息

Table 1 Information on sampling sites at the studied habitat of *A. davidianus*

旅游干扰 Tourism disturbance	调查点信息			所属河流 Subordinate river	经纬度 Coordinate	海拔 Altitude/m	所属区域 Region
	Investigating site information						
	编号 Number	调查点 Site	取样点 Sampling point				
重度 High	1	金鞭溪	紫草潭	索水	29°20'31"N, 110°27'09"E	590	武陵源区张家界森林公园
	2		水绕四门		29°20'50"N, 110°28'44"E	462	
	3	黄龙洞	龙泉	索水	29°22'09"N, 110°37'19"E	242	武陵源区索溪峪镇
	4		洞口		29°22'16"N, 110°37'33"E	245	
	5	索溪河	水坝	索水	29°20'47"N, 110°33'27"E	313	武陵源区军地坪街道
轻度 Low	6		溪步街		29°35'03"N, 110°56'54"E	313	
	7	乌木峪	观测站	酉水	28°57'09"N, 110°19'42"E	528	永定区四都坪乡
	8		村部		28°57'02"N, 110°19'52"E	508	
	9	骡子塔	观测站	酉水	28°55'28"N, 110°26'24"E	333	永定区四都坪乡
	10		河边		28°55'25"N, 110°26'25"E	331	
	11	院子村	入口	澧水南源	29°19'04"N, 109°57'14"E	351	桑植县上洞街乡
	12		出口		29°19'08"N, 109°57'24"E	381	

算法是根据每年冬季从大鲵栖息洞穴游出大鲵幼苗的数量,对洞穴内大鲵资源总量进行估计,具体测算公式:大鲵资源量(尾)=年游出大鲵幼苗数量(尾) $\times 0.2976^{[22]}$ 。河段密度推算法:通过向河段周边的渔政管理人员与渔民调查他们遇见大鲵的记录,由专家结合历史情况与大鲵放流数量,确定河段大鲵分布密度,以此估算大鲵资源量<sup>[22]</sup>。

### 1.3 数据统计分析

采用 SPSS 19.0 软件对不同旅游干扰强度下样点旅游干扰定量值、大鲵饵料鱼种类数、渔获量、大鲵种群资源量进行独立样本  $t$ -检验。差异显著的因子之间进行 Pearson 相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 调查样点旅游干扰内容与强度

各样点旅游干扰情况见表 2。在重度干扰区,金鞭溪、黄龙洞与索溪河的旅游人数较多,2016 年接待游客量达 161~339 万人次。同样,3 个景点的旅游接待设施也较多,样点直径 100 m 以内的旅游设施面积为 110~260 m<sup>2</sup>,游客多且活动频繁。在轻度干扰区,采样点院子村位于大鲵自然保护区的核心区,仅有附近村民的生产生活;乌木峪与骡子塔靠近公路,在春末至秋初,有少量市民郊游经过,2016 年的游客量为 0.10~0.60 万人次。

在重度与轻度旅游干扰区,从样点到游道的距离分别介于 0~35 m 与 4~352 m。独立样本  $t$ -检验表明:在重度与轻度干扰区之间,各调查样点至游道的距离差异不显著,但旅游人数、旅游设施面积与噪音差异极显著( $P < 0.01$ )。

### 2.2 不同干扰强度下大鲵栖息地的饵料鱼种类

#### 2.2.1 大鲵栖息地的鱼类组成

12 个调查样点共采集到鱼类 25 种,隶属于 4 目 10 科 22 属,生态类型的分类<sup>[16-18, 23]</sup>见表 3。种类组成以鲤科鱼类为主,共有 12 种,占总物种数的 48%,与澧水中鲤科鱼类的比例(50.53%)<sup>[23]</sup>和沅水中鲤科鱼类的比例(53.54%)<sup>[24]</sup>较为相似。调查中发现疑似湖南鱼类新记录种 1 种,通过对样本进行基于线粒体 *Cyt b* 基因的分子鉴定,结合其形态学特点,初步判断该鱼类为长鳍异华鲮<sup>[19]</sup>。

在不同旅游强度干扰区均有较广分布的土著鱼类有 5 种,分别是粗须白甲鱼(*Onychostoma barbata*)、大斑原缨口鳅(*Vanmanenia maculate*)、溪吻鰕虎鱼(*Rhinogobius duospilus*)、马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、中华花鳅(*Cobitis sinensis*);而光唇裂腹鱼(*Schizothorax lissolabiatu*s)仅分布于轻度干扰区。粗须白甲鱼具有半洄游的习性,大多栖息于水流较湍急、底质多砾石的河段底层。每年雨水季节成群溯河上游,立秋前后则顺水而下,冬季在

表 2 调查点旅游干扰的基本情况

Table 2 Tourism disturbance situation of the investigated sites

旅游干扰 Tourism disturbance	样点编号 Sampling point number	旅游类型 Tour type	旅游活动 Tourist activity	旅游设施 Tourism facility	旅游面积 Tourism area/m <sup>2</sup>	样点至游道的 距离 Distance from pavement/m	噪音 Noise/dB	游客数量 Tourist quantity (10 000 per year)
重度 High	1	山水游	下水游玩或休息	桥与休息厅	230	11	72.25	339
	2		游客行走	购物廊道	210	12	65.20	271
	3	溶洞游	游客活动频繁	行政办公楼	260	35	69.76	161
	4		游船行驶	游道	110	0	72.08	161
	5	休闲游	游客行走	游客休息亭	150	2	72.05	180
	6		同上	水坝	190	5	73.60	195
	Mean $\pm$ SD				191.67 $\pm$ 54.56A	10.83 $\pm$ 12.77	70.82 $\pm$ 3.02B	217.83 $\pm$ 72.00C
轻度 Low	7	郊游	市民郊游	村道	24	5	48.63	0.50
	8		同上	村道	26	4	66.55	0.50
	9	郊游	少许车辆,居民生产	省道	110	21	60.33	0.60
	10		居民生产	村道	15	12	50.33	0.60
	11	无	居民生活	无	0	352	51.40	0.10
	12		居民生活	观测站	90	115	63.50	0.20
	Mean $\pm$ SD				44.17 $\pm$ 44.66A'	84.83 $\pm$ 137.53	56.79 $\pm$ 7.62B'	0.42 $\pm$ 0.21C'

注:在同列中,成对大写字母表示组间的差异在  $P < 0.01$ 。独立样本  $t$ -检验结果: A-A' 组、B-B' 组、C-C' 组的  $t$  值分别为 5.12、4.19 与 7.40,自由度分别为 10.00、6.53 与 5.00,  $P$  值分别为 0.000、0.005 与 0.001。

Notes: In the same column, paired capital letters mean significant difference among groups at 0.01 level. Results from independent sample  $t$ -test showed that the  $t$ -values for groups A-A', B-B' and C-C' were 5.12, 4.19 and 7.40, respectively; their  $df$  were 10.00, 6.53 and 5.00, respectively; and  $P$ -values were 0.000, 0.005 and 0.001, respectively.

江河干流的深水处乱石堆中越冬,取食着生藻类及少量的摇蚊幼虫、寡毛类和高等植物的碎片。原缨口鳅为生活在山涧急流环境中的小型底栖性鱼类,以着生藻类、水生昆虫为食。溪吻鰕虎鱼为底层小型鱼类,生活于底质为砂石的山涧溪流中,摄食水生昆虫、底栖甲壳类生物。马口鱼多生活于山涧溪流上层,尤其是水流较急、底质为砂石的小溪或江河支流,以昆虫、小鱼等为食。中华花鳅同样为小型鱼类,生活于山涧溪流,以着生藻类、水生昆虫为食。光唇裂腹鱼喜栖息于石砾底质、水清流急之河溪中,常铲食石块上的苔藓及藻类。可见,大鲵栖息地饵料鱼以山溪流水性或湖泊定居性小型土著鱼类为主,没有“四大家鱼”等中型大小的短距离洄游性鱼类,且鱼类整体小型化现象明显。

从物种数量来看,旅游重度干扰区现有鱼类是17种,多于旅游开发前的9种<sup>[20]</sup>,也多于旅游轻度干扰区统计到的13种。但是,独立样本 $t$ -检验发现,它们之间的差异并不显著( $P>0.05$ )。

#### 2.2.2 鱼类相似性

各样点鱼类相似性分析见表4与表5。旅游重度干扰区现在较过去的 $q$ 值为0.25~0.40,为中等不相似;旅游重度干扰区与轻度干扰区之间的 $q$ 值为0.10~0.36,除骡子塔与重度干扰区中等不相似外,其他均为极不相似。此外,重度干扰区样点间的 $q$ 值为0.2~0.4,轻度干扰区样点间的 $q$ 值为0.17~0.33,介于极不相似至中等不相似之间。

#### 2.3 大鲵饵料鱼的渔获量

研究区各样点采集到的大鲵饵料鱼的渔获量见表6。其中,金鞭溪采样点紫草潭的渔获量最大,为1035 g/m<sup>2</sup>,黄龙洞洞口最小,仅338 g/m<sup>2</sup>。独立样本 $t$ -检验表明:重度干扰区饵料鱼的资源量大于轻度干扰区,但差异不显著( $t=2.46, P>0.05$ )。

#### 2.4 大鲵种群数量

同步大鲵种群数量调查与估计结果(表7)表明,重度干扰区域大鲵种群数量极显著少于轻度干扰区( $t$ -检验,  $t=-4.82, P<0.01$ )。

#### 2.5 旅游干扰、饵料鱼与大鲵种群数量的相关性分析

表8展示了旅游干扰、饵料鱼与大鲵种群数量的相关性。分析结果表明:旅游人数与旅游设施面积( $P<0.01$ )、噪音( $P<0.05$ )呈显著正相关;饵料鱼物种数与渔获量呈极显著正相关( $P<0.01$ )。以上信息说明:饵料鱼种类越多,其渔获量也越多。

与上述趋势相反,研究区大鲵种群数量与鱼的种类( $P<0.01$ )、旅游人数、设施面积和噪音( $P<0.05$ )均呈现负相关关系。

### 3 讨论

#### 3.1 旅游干扰与大鲵种群数量的关系

本研究结果表明:不同干扰强度下,旅游人数差异显著,旅游人数与旅游设施面积、噪音等显著正相关(表2),而这些因子与保护物种大鲵的种群数量普遍负相关(表8)。这意味着游客人数多的地方旅游设施建设也多,游客的活动对大鲵种群数量呈现出一定程度的负面影响。旅游干扰泛指由旅游活动或旅游设施建设所产生的对环境与生态方面的所有影响,从旅游人数与大鲵种群数量的负相关关系来看,将旅游人数作为旅游对保护物种干扰强度指标之一的建议<sup>[13]</sup>是较为合理的。

旅游干扰对大鲵种群数量的负面影响主要表现在旅游人数、设施面积与噪音等3个方面(表8)。就张家界保护区而言,游客活动带来的大量噪声污染是旅游对大鲵种群最直接的影响<sup>[15]</sup>。噪音会导致部分敏感水生生物的摄食数量下降,捕食失误率增加,摄食积极性下降<sup>[25]</sup>;对长江江豚等水生哺乳动物而言,噪声还可能造成其暂时性听觉阈移伤害<sup>[26]</sup>。离开噪音源是鱼类等水生动物避免有害噪音最有效的方法<sup>[26-27]</sup>。空间相关的环境噪音会导致其中的水生动物种群同步波动<sup>[28]</sup>。大鲵喜安静环境,但在生殖期,需要一定的流水声和流水环境以刺激其性腺发育<sup>[29]</sup>。噪音太大很可能会影响大鲵摄食和繁殖。由于这种负相关关系的存在,因此,在大鲵栖息地,应该合理控制游客人数,并引导游客保持安静游览。此外,大鲵的听力阈、栖息地的背景噪声以及大鲵能够承受的适宜噪音范围仍有待于进一步研究。

#### 3.2 旅游干扰与大鲵饵料鱼的关系

从大鲵饵料鱼的物种数来看,旅游重度干扰区目前的饵料鱼种类,较旅游开发前与轻度干扰区有所增加,但差异并不显著(表3)。从鱼类的相似性上来看,旅游重度干扰区现在的饵料鱼种类与旅游开发前为中等不相似(表4),与旅游轻度干扰区为中等不相似至极不相似(表5)。造成大鲵饵料鱼的物种数、渔获量和物种相似性方面出现以上格局的主要原因可能是样点数量较少所带来的随机偏差。此外,本次调查与历史记录之间的差异也可能是由于个别鱼类在分类鉴定方面存在误

表3 调查点饵料鱼种类组成、丰度与生态类型  
Table 3 The species composition, abundance, and ecological type of prey fish at investigated sites

目 Order	科 Family	种名 Species name	金鞭溪 Golden Whip Stream		黄龙洞 Huanglong Cave		索溪河 Suoxi River		乌木峪 Wumu Valley	骡子塔 Mule Tower	院子村 Yuanzi Village	生态类型 Ecological type	
			现	前	现	前	现	前					
			Now	Before	Now	Before	Now	Before					
I 鲤形目 CYPRINI- FORMES	1. 鲤科 Cyprinidae	马口鱼	++	+	++		+++	+++		++		MS, C, U	
		<i>Opsariichthys bidens</i>											
		高体鳊鲂	+										SE, O, L
		<i>Rhodeus ocellatus</i>											
		鳊条						++		++			SE, O, U
		<i>Hemiculter leucisculus</i>											
		麦穗鱼						++			++		MS, O, L
		<i>Pseudorasbora parva</i>											
		粗须白甲鱼	+++	+++	++	++		+++	+++			+++	RL, MS, O, De
		<i>Onychostoma barbata</i>											
		异华鲮			+	++		++					MS, H, De
		<i>Parasinilabeo assimilis</i>											
		长鳍异华鲮				+++							MS, H, De
		<i>Parasinilabeo longiventralis</i>											
		泸溪直口鲮							++				MS, O, De
		<i>Rectoris luxiensis</i>											
		泉水鱼								+++			SE, O, De
<i>Semilabeo procheilus</i>													
光唇裂腹鱼								++	++	+++	MS, H, L		
<i>Schizothorax lissolabiatu</i>													
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>							++				SE, O, De		
鲫 <i>Carassius auratus</i>							++				SE, O, De		
2. 爬鳅科 Balitoridae	大斑原缨口鳅	+++	+++	+	++	+++	+++		++		MS, O, De		
		<i>Vanmanenia maculate</i>											
		3. 鳅科 Cobitidae	中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	+			+	+		++	++	MS, O, De	
泥鳅						+++				SE, O, De			
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>													
II 合鳃鱼目 SYNBRAN- CHIFORMES	1. 合鳃鱼科 Synbran- chidae	黄鳝 <i>Monopterus albus</i>					+			+		SE, C, De	
III 鲇形目 SILURIFORMES	1. 鲇科 Bagridae	圆尾拟鲇								++		SE, O, De	
		<i>Pseudobagrus tenuis</i>											
		黄颡鱼							++			SE, O, De	
		<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>											
		2. 钝头鲇科 Amblyci- pitidae	黑尾鲇	++									SE, C, De
		<i>Liobagrus nigricauda</i>											
		白缘鲇	+	+		+	++	++				SE, O, De	
		<i>Liobagrus marginatus</i>											
		3. 鲇科 Siluridae	鲇					+					SE, C, L
		<i>Silurus asotus</i>											
4. 鮡科 Sisoridae	中华纹胸鮡		++								MS, C, De		
<i>Glyptothorax sinense</i>													
IV 鲈形目 PERCIFORMES	1. 鰕虎鱼科 Gobiidae	溪吻鰕虎鱼	+++		++		++		+++	++		MS, C, De	
		<i>Rhinogobius duospilus</i>											
		2. 沙塘鳢科 Odonto- butidae	洞庭栉鰕虎鱼		++			++					MS, C, De
		<i>Ctenogobius cliffordpopi</i>											
沙塘鳢							++		++		SE, C, De		
<i>Odontobutis obscuru</i>													
种类总数 Total number			8	6	6	5	12	8	7	7	5		

注: RL, 河湖洄游性; SE, 定居性; MS, 山溪流水性; H, 植食性; C, 肉食性; O, 杂食性; U, 中上层; L, 中下层; De, 底栖(调查点饵料鱼的生态类型依据文献[16~18, 23]展开分析)。符号+++、++与+分别表示该种鱼类被捕捞的次数较多、多与较少。  
Notes: RL, river and lake migration; SE, settled; MS, mountain stream; H, herbivorous; C, carnivorous; O, omnivorous; U, upper-middle-class; L, lower-middle-class; De, demersal (the ecological type of prey fish at investigated sites cited from references [16~18, 23]). Symbols of +++, ++ and + indicate that the fish were caught more, many and less times, respectively.

表 4 重度旅游干扰区调查点旅游开发前后鱼类群落的相似性系数

Table 4 Similarity coefficient between the sites before and after tourism development under high disturbance

调查点 Site	金鞭溪 Golden Whip Stream	黄龙洞 Huanglong Cave	索溪河 Suoxi River
相似性系数 Similarity index	0.40	0.38	0.25
共有种数 Species in common	4	3	4

表 5 不同干扰强度各样点间鱼类群落的相似性系数

Table 5 Similarity coefficient among the sites under different intensities of tourism disturbance

旅游干扰 Tourism disturbance	调查点 Site	金鞭溪 Golden Whip Stream	黄龙洞 Huanglong Cave	索溪河 Suoxi River	乌木峪 Wumu Valley	骆子塔 Mule Tower	院子村 Yuanzi Village
	种数	8	6	12	7	7	5
重度 High	金鞭溪		0.40	0.33	0.15	0.36	0.18
	黄龙洞	4		0.20	0.18	0.30	0.10
	索溪河	5	3		0.12	0.36	0.13
轻度 Low	乌木峪	2	2	2		0.17	0.33
	骆子塔	4	3	5	2		0.20
	院子村	2	1	2	3	2	

注:对角线上方为 Jaccard 相似性系数,对角线下方为共有物种数。

Notes: The Jaccard similarity index is above the diagonal and the number of common species is below the diagonal.

表 6 各调查样点大鲵的饵料鱼渔获量

Table 6 The catch of prey fish of *A. davidianus* at each sampling point

重度干扰 High disturbance		轻度干扰 Low disturbance	
样点编号 Sampling point number	渔获量 Catch of prey fish/(g·m <sup>-2</sup> )	样点编号 Sampling point number	渔获量 Catch of prey fish/(g·m <sup>-2</sup> )
1	1 035	7	521
2	932	8	492
3	484	9	531
4	338	10	476
5	997	11	421
6	915	12	482
Mean±SD	783.50±295.41	Mean±SD	487.17±39.04

注:独立样本 *t*-检验结果是  $t=2.46$ ,  $df=5.18$ ,  $P=0.057$ 。

Note: Results from independent sample *t*-test showed  $t=2.46$ ,  $df=5.18$  and  $P=0.057$ .

表 7 调查区大鲵种群数量

Table 7 Population size of *A. davidianus* in the investigated sites

旅游干扰 Tourism disturbance	样点编号 Sampling point number	栖息地类型 Habitat type	栖息地面积 Habitat area/m <sup>2</sup>	鲵苗流出数 Seedling outflow quantity (number per year)	河段密度 Stream segment density (individual per 100 m <sup>2</sup> )	种群数量 Population size
重度 High	1	河段	5 000	—	0.8	40
	2	河段	5 000	—	1.2	60
	3	河段	5 000	—	1.2	60
	4	河段	5 000	—	1.0	50
	5	河段	5 000	—	0.6	30
	6	河段	5 000	—	0.6	30
	Mean±SD					45.00±13.78A
轻度 Low	7	溶洞	3 000	310	—	92
	8	溪河段	5 000	—	1.6	80
	9	溶洞	3 000	350	—	104
	10	溶洞	3 000	280	—	83
	11	溶洞	3 000	410	—	122
	12	溶洞	3 000	510	—	152
	Mean±SD					105.50±27.48B

注:“—”表示缺失数据;在同列中,不同的大写字母表示组间的差异在  $P<0.01$ 。独立样本 *t*-检验结果:  $t=-4.82$ ,  $df=10.00$ ,  $P=0.001$ 。

Notes: “—” indicates missing data. Different capital letters between the same column mean significant difference among groups at 0.01 level. Results from SPSS 19.0 independent sample *t*-test showed  $t=-4.82$ ,  $df=10.00$  and  $P=0.001$ .

表8 旅游干扰因子、饵料鱼种类及渔获量与大鲵种群间的 Pearson 相关系数

Table 8 Pearson correlation coefficient between paired factors among tourist number, tourism equipment, noise, fish number, catch of prey fish and the population size of *A. davidianus*

	设施面积	噪音	鱼的种类	渔获量	大鲵种群数量
	Facility area	Noise	Species of prey fish	Catch of prey fish	Population size of <i>A. davidianus</i>
旅游人数 Tourist number	0.85**	0.71*	0.48	0.76*	-0.77*
设施面积 Facility area		0.75*	0.38	0.62*	-0.60*
噪音 Noise			0.48	0.50	-0.65*
鱼的种类 Species of prey fish				0.79**	-0.74**
渔获量 Catch of prey fish					-0.33

注: \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Notes: \* significant difference at 0.05 level, \*\* significant difference at 0.01 level.

差, 比如: 过去记录的洞庭栉鰕虎鱼可能就是现在的溪吻鰕虎鱼的同物异名(但无考证标本)。尽管如此, 本研究中透射出来的其他可能原因同样不容忽视, 比如: 旅游活动使部分对生境极其敏感的土著鱼类(如中华纹胸鮡)在重度干扰区消失; 与此同时, 由于旅游开发所带来的经济需求, 一些常规养殖鱼类, 如鲤、鲫、泥鳅、鲇与黄鳝等, 出现在重度干扰区。

张家界大鲵保护区各调查样点饵料鱼的生态类型主要以山溪流水性或湖泊定居性为主, 彼此之间生态型分化程度较小。但所捕捞鱼类小型化现象明显, 这一方面是由于溪水水体空间小, 承载大型个体的数量有限; 另一方面, 某些区域(如索溪河)中鱼类的过度捕捞或滚水坝等水利工程的存在也可能会导致鱼类资源小型化<sup>[24]</sup>。以往研究表明, 旅游活动产生的垃圾、有机废物和污水会普遍改变环境水质<sup>[3]</sup>。我们前期的研究也反映, 在张家界重度旅游干扰增加了水中总氮、总磷和铵态氮含量<sup>[15]</sup>。此外, 相关研究亦表明在金鞭溪水域中, 游客的活动一定程度增加了水中氮与磷的含量<sup>[30]</sup>。本研究报道的饵料鱼的物种数和渔获量在重度旅游干扰区较大, 这可能也和其水环境中初级生物量的增加有关。总之, 一定程度的旅游干扰没有降低饵料鱼的种类与渔获量, 反而略有增加。

### 3.3 旅游干扰对饵料鱼及大鲵的综合影响及大鲵保护对策

在重度旅游干扰区, 饵料鱼的种类与渔获量增加, 为大鲵的生长与繁殖提供了更加丰富的饵料, 理论上应当有益于大鲵种群数量的增加。但是, 大量游客活动显著提高了环境噪音, 使得大

鲵可能被动远离重度旅游开发区域。同时, 重度旅游干扰区在修建旅游设施的过程中, 不可避免地破坏了部分洞穴<sup>[15]</sup>, 减少了大鲵的栖息空间。此外, 重度旅游干扰所带来的水体中初级生物量的增加可能导致水体中溶解氧含量降低。大鲵作为主水栖型动物, 很大程度依赖于皮肤的辅助呼吸来从水中获得氧气, 低溶解氧可能也会驱使大鲵的离开<sup>[15]</sup>。综合而言, 一定程度的旅游干扰虽然没有降低饵料鱼的种类与资源量(反而略有增加), 但重度干扰区可能由于游客活动带来的噪声等干扰, 使得大鲵种群数量有所下降。

本研究表明, 旅游开发对保护动物的影响可能要具体区分不同的层面。目前, 在湖南张家界大鲵国家级自然保护区, 一定强度的旅游开发对大鲵饵料鱼资源没有产生明显的负面影响。但即便如此, 大鲵种群数量在重度干扰区还是显著低于轻度干扰区, 这提醒我们一方面需继续控制旅游人数及旅游设施开发的规模, 另一方面需加大旅游干扰各因子的分类以及定向研究, 在明确各因子不同程度的负面作用下采取有针对性的保护措施, 以减少张家界旅游开发对国家 II 级保护动物——中国大鲵的负面影响。

### 参考文献(References):

- [1] BINDRA P, KARANTH K K. Tourism turf wars: debating the benefits and costs of wildlife tourism in India[J]. *Oryx*, 2013, 47(1): 15-16.
- [2] GHIMIRE N P, JHA P K, CARAVELLO G. Water quality of high-altitude lakes in the Sagarmatha (Everest) National Park, Nepal[J]. *Journal of Environmental Protection*, 2013, 4(7): 22-28.

- [3] SEMENIUK C A D, BOURGEON S, SMITH S L, *et al.* Hematological differences between stingrays at tourist and non-visited sites suggest physiological costs of wildlife tourism[J]. *Biological Conservation*, 2009, 142(8): 1818–1829.
- [4] PEREZ-JORGE S, GOMES I, HAYES K, *et al.* Effects of nature-based tourism and environmental drivers on the demography of a small dolphin population[J]. *Biological Conservation*, 2016, 197: 200–208.
- [5] 刘伟华, 张正旺. 生态旅游对水生动物多样性的影响[J]. 天津师范大学学报(自然科学版) (LIU Wei-hua, ZHANG Zheng-wang. Impacts of ecotourism on biodiversity of aquatic animal[J]. *Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition)*, 2015, 35(3): 174–178.
- [6] 马建章, 程鲲. 自然保护区生态旅游对野生动物的影响[J]. 生态学报(MA Jian-zhang, CHENG Kun. Impacts of ecotourism on wildlife in nature reserves: monitoring and management[J]. *Acta Ecologica Sinica*), 2008, 28(6): 2818–2827.
- [7] WANG X, ZHANG K, WANG Z, *et al.* The decline of the Chinese giant salamander *Andrias davidianus* and implications for its conservation[J]. *Oryx*, 2004, 38(2): 197–202.
- [8] IJSPEERT A J, CRESPI A, RYCZKO D, *et al.* From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model[J]. *Science*, 2007, 315(5817): 1416–1420.
- [9] DAVIC R D, WELSH H H. On the ecological roles of salamanders[J]. *Annual Review of Ecology Evolution & Systematics*, 2004, 12(35): 405–434.
- [10] 中南林业调查规划设计院. 湖南张家界大鲵国家级自然保护区功能区调整论证报告[R] (Inventory, Planning and Design Institute of Central South Forest. Demonstration report on functional area adjustment for Zhangjiajie Giant Salamander National Nature Reserve in Hunan Province[R]). 2015.
- [11] 宋鸣涛. 中国大鲵的食性研究[J]. 动物学杂志(SONG Ming-tao. Food habit of great salamander of China[J]. *Chinese Journal of Zoology*), 1994, 29(4): 38–42.
- [12] 杨代勤. 大鲵肌肉及其天然饵料营养成分的比较研究[J]. 水产学报(YANG Dai-qin. Study on nutrient composition in muscle and its natural diets of the giant salamander[J]. *Journal of Fisheries of China*), 1990, 14(4): 351–356.
- [13] IKNER L A, TOOMEY R S, NOLAN G, *et al.* Culturable microbial diversity and the impact of tourism in Kartchner Caverns, Arizona[J]. *Microbial Ecology*, 2007, 53(1): 30–42.
- [14] 陈景星, 唐文乔, 张春光, 等. 武陵山地区水系鱼类资源及渔业现状 [M]//宋大祥. 西南武陵山地区动物资源和评价. 北京: 科学出版社(CHEN Jing-xing, TANG Wen-qiao, ZHANG Chun-guang, *et al.* Present situation of fisheries and fish resources in water system in Wuling Mountain area[M]//SONG Da-xiang. *Animal Resources and Evaluation in Wuling Mountain Area of Southwest of China*. Beijing: Science Press), 1994: 84–98.
- [15] LUO Q H, SONG Y J, HU X, *et al.* Effects of tourism disturbance on habitat quality and population size of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) [J]. *Wildlife Research*, 2018, 45: 411–420.
- [16] 中国科学院中国动物志委员会. 中国动物志, 硬骨鱼纲, 鲤形目. 中卷[M]. 北京: 科学出版社(Chinese Animal Records Committee of the Chinese Academy of Sciences. *Chinese Animal Chronicles, Osteichthyes, Cypriniformes. Middle Volume* [M]. Beijing: Science Press), 1998.
- [17] 朱松泉. 中国淡水鱼类检索[M]. 南京: 江苏科学技术出版社(ZHU Song-quan. *Synopsis of Freshwater Fishes of China* [M]. Nanjing: Phoenix Science Press), 1995.
- [18] 湖南省水产科学研究所. 湖南鱼类志[M]. 修订重版. 长沙: 湖南科学技术出版社(Hunan Fisheries Science Institute. *Fishes of Hunan Province* [M]. Revised reprint. Changsha: Hunan Science and Technology Press), 1980.
- [19] 罗庆华, 胡晓, 陶水秀, 等. 湖南鱼类新记录种——长鳍异华鲮[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版) (LUO Qing-hua, HU Xiao, TAO Shui-xiu, *et al.* A new record species of fish, *Parasini-labeo longiventralis* (Teleostei: Cyprinidae), from Hunan, China[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2018, 44(6): 650–654.
- [20] 陈景星, 曹文宣, 陈毅峰. 索溪峪的鱼类[M]//黎尚豪. 湖南武陵源自然保护区水生生物. 北京: 科学出版社(CHEH Jing-xing, CAO Wen-xuan, CHEN Yi-feng. *Fish of Suoxiyu, Hunan* [M]//LI Shang-hao. *Aquatic Organisms of Wulingyuan Nature Reserves, Hunan*. Beijing: Science Press), 1989: 122–127.
- [21] 陈小华, 李小平, 程曦. 黄浦江和苏州河上游鱼类多样性组成的时空特征[J]. 生物多样性(CHEN Xiao-hua, LI Xiao-ping, CHENG Xi. Spatial-temporal distribution of fish assemblages in the upstreams of Huangpu River and Suzhou Creek[J]. *Biodiversity Science*), 2008, 16(2): 191–196.
- [22] 罗庆华, 刘英, 张立云, 等. 湖南张家界市大鲵资源调查[J]. 四川动物(LUO Qing-hua, LIU Ying, ZHANG Li-yun, *et al.* Investigation on resources of Chinese giant salamander in Zhangjiajie City[J]. *Sichuan Journal of Zoology*), 2009, 28(3): 422–426.
- [23] 刘良国, 杨品红, 杨春英, 等. 湖南境内澧水鱼类资源现状与多样性研究[J]. 长江流域资源与环境(LIU Liang-guo, YANG Pin-hong, YANG Chun-ying, *et al.* Status and diversity of fish resources of Lishui River in Hunan Province, China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*), 2013, 22(9): 1165–1171.
- [24] 刘良国, 杨春英, 杨品红, 等. 湖南境内沅水鱼类资源现状与多样性分析[J]. 海洋与湖沼(LIU Liang-guo, YANG Chun-ying, YANG Pin-hong, *et al.* Status and diversity of fish resources of Yuanshui River in Hunan Province, China[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*), 2013, 44(1): 148–158.
- [25] VOELLMY I K, PURSER J, FLYNN D, *et al.* Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms[J]. *Animal Behaviour*, 2014, 89(3): 191–198.
- [26] 时文静, 王志陶, 方亮, 等. 打桩水下噪声对长江江豚影响初探[J]. 水生生物学报(SHI Wen-jing, WANG Zhi-tao, FANG Liang, *et al.* A preliminary study on impact of piling underwater noise on the Yangtze finless porpoise (*Neophocaena Asiaeorientalis Asiaeorientalis*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*), 2015, 39(2): 399–407.
- [27] HAWKINS A D, PEMBROKE A E, POPPER A N. Information gaps in understanding the effects of noise on fishes and invertebrates[J]. *Reviews in Fish Biology & Fisheries*, 2015, 25(1): 39–64.
- [28] WANG G, QIAN L, CHEN T, *et al.* Evaluation of tourism environmental comfort and its spatial-temporal differentiation: a case study of West Lake in Hangzhou, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(7): 2206–2216.
- [29] 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 中国动物志, 两栖纲. 上卷, 总论, 蚓螈目有尾目[M]. 北京: 科学出版社(FEI Liang, HU Shu-qin, YE Chang-yuan, *et al.* *Fauna Sinica Amphibia, Upper Volume, Pandect Caeciliformes Caudata* [M]. Beijing: Science Press), 2006.
- [30] 全华, 陈田, 杨竹萃. 张家界水环境演变与旅游发展关系[J]. 地理学报(QUAN Hua, CHEN Tian, YANG Zhu-xin. The dynamic threshold and the tendency in Zhangjiajie tourist and ecological environment[J]. *Acta Geographica Sinica*), 2002, 57(5): 619–624.