

DOI: 10.5846/stxb201906061203

罗庆华, 陶水秀, 周立清, 蒋万胜, 曹威, 付磊, 杨水文, 童芳, 陈荣桂. 旅游干扰的水质模拟对繁殖前期中国大鲵夜间活动节律的影响. 生态学报, 2020, 40(14): 4863-4873.

Luo Q H, Tao S X, Zhou L Q, Jiang W S, Cao W, Fu L, Yang S W, Tong F, Chen R G. Effects of the water quality simulation of tourism disturbance on nocturnal activity rhythm of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) during its pre-reproduction period. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(14): 4863-4873.

旅游干扰的水质模拟对繁殖前期中国大鲵夜间活动节律的影响

罗庆华^{1,2,3,*}, 陶水秀^{1,3}, 周立清⁴, 蒋万胜^{1,2}, 曹 威^{1,3}, 付 磊^{1,3}, 杨水文^{1,3}, 童 芳^{1,3}, 陈荣桂⁵

1 吉首大学大鲵资源保护与综合利用湖南省工程实验室, 张家界 427000

2 吉首大学林产化学加工工程湖南省工程实验室, 张家界 427000

3 吉首大学土木与建筑学院, 张家界 427000

4 桑植县气象局, 张家界 427400

5 张家界竹园大鲵生物科技有限公司, 张家界 427400

摘要: 动物的日活动节律是它们对各种环境条件昼夜变化的综合适应。研究旅游干扰对繁殖前期中国大鲵 (*Andrias davidianus*) 的夜间活动节律影响, 有助于探明旅游干扰是否以及如何影响大鲵繁殖行为的机理。前期研究发现旅游干扰程度与水中溶解氧 (Dissolved Oxygen, DO) 含量显著负相关。在大鲵繁殖前期, 通过控制大鲵生态繁育池水中的进水量 (主要影响 DO 含量) 来模拟重度与轻度旅游干扰下大鲵水环境, 通过监测大鲵夜间出洞与进洞时间、水温 (Water Temperature, WT)、DO 和大肠菌群的动态变化, 比较不同旅游干扰强度下大鲵夜间活动节律的差异, 以明确旅游干扰导致的水质变化对大鲵夜间活动节律的影响。结果表明, 雌/雄鲵出洞时间在模拟重度旅游干扰水质下显著晚于轻度水质中, 雌鲵分别为 19:10±0:22 与 18:53±0:24, 雄鲵分别在 18:29±0:20 与 18:13±0:18。重度干扰导致水质变化分别推迟了雌/雄大鲵出洞时间约 17 min 与 16 min。但是, 雌雄大鲵进洞时间在模拟重度与轻度旅游干扰水质下, 差异不显著, 雌鲵分别为 24:10±0:13 与 24:18±0:17, 雄鲵分别为 6:44±0:23 与 6:40±0:29。此外, 该研究还发现, 雌/雄鲵出洞时间与三种因子 (WT、DO 与大肠菌群) 显著相关, 然而, 雌/雄鲵进洞时间与以上 3 因子不相关, 可能主要由其生物钟决定。重度旅游干扰导致的水质变化对大鲵繁殖前期活动节律影响小, 仅对出洞时间有一定影响。

关键词: 旅游干扰; 活动节律; 中国大鲵; 水温; 溶解氧; 大肠菌群

Effects of the water quality simulation of tourism disturbance on nocturnal activity rhythm of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) during its pre-reproduction period

LUO Qinghua^{1,2,3,*}, TAO Shuixiu^{1,3}, ZHOU Liqing⁴, JIANG Wansheng^{1,2}, CAO Wei^{1,3}, FU Lei^{1,3}, YANG Shuiwen^{1,3}, TONG Fang^{1,3}, CHEN Ronggui⁵

1 Hunan Engineering Laboratory for Chinese Giant Salamander's Resource Protection and Comprehensive Utilization, Jishou University, Zhangjiajie 427000, China

2 Key Laboratory of Hunan Forest Products and Chemical Industry Engineering, Jishou University, Zhangjiajie 427000, China

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31460160); 大鲵实验室开放课题 (DNGC1802, DNGC1805)

收稿日期: 2019-06-06; **网络出版日期:** 2020-04-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lqh700930@126.com

3 School of Civil Engineering and Architecture, Jishou University, Zhangjiajie 427000, China

4 Sangzhi County Meteorological Bureau, Zhangjiajie 427400, China

5 Zhangjiajie Zhuyuan Biological Technology of Chinese Giant Salamander Co. Ltd, Zhangjiajie 427400, China

Abstract: The diurnal rhythm of an animal indicates a comprehensive adaptation to various circumstances. Study on the relationship of tourism disturbance and the nocturnal rhythm of Chinese giant salamanders (CGS, *Andrias davidianus*) could shed lights on whether and how tourism disturbances affect its breeding behaviors. Previous studies have shown a significantly negative correlation between the intensity of tourism disturbance and the content of dissolved oxygen (DO) in water. In this study, we simulated the water environment as high and low tourism disturbances by controlling the influent volume (mainly affecting DO content) in the ecological breeding ponds of CGS. By monitoring the dens exit and entry time of CGS, measuring the dynamic changes of water temperature (WT), DO, and the contents of coliforms, we compared the changes of nocturnal rhythm under different factors of water quality, and discussed the patterns of nocturnal rhythm in response to different tourism disturbances. The results showed that the dens exit time of both female and male CGS in the simulated high tourism disturbance waters were significantly later than that in the low tourist disturbance waters. Under these two water conditions, the dens exit time for females were $19:10 \pm 0:22$ and $18:53 \pm 0:24$, and for males were $18:29 \pm 0:20$ and $18:13 \pm 0:18$, respectively. The time that female and male CGS in the high disturbance water exited from the dens were delayed for about 17 min and 16 min, respectively. However, there were no significant differences between the dens entry time of CGS (including both males and females) under two simulated tourism disturbance waters. Under these two water conditions, the dens entry time for females were $24:10 \pm 0:13$ and $24:18 \pm 0:17$, and for males were $6:44 \pm 0:23$ and $6:40 \pm 0:29$, respectively. In addition, we also found that the dens exit time of CGS had significant correlations with three factors (WT, DO and coliforms). However, there were no significant correlations between the dens entry time of CGS and WT, DO and coliforms, which may indicate that the dens entry time was mainly determined by the circadian clock. In summary, changes in water quality under high tourism disturbance had a moderate impact on the nocturnal rhythm of CGS during the pre-reproduction period, which was mainly reflected from the dens exit time.

Key Words: tourism disturbance; activity rhythm; Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*); water temperature; dissolved oxygen; coliforms

动物日活动节律是动物行为生态学的重要研究内容之一。它是动物每天完成各种活动的一个相对稳定的程序,不仅受形态特征、生理和消化等自身特征的影响,还受外界环境因素的制约,是动物对光照、温度、湿度、食物、天敌和栖息地面积等环境条件的一种综合适应^[1-3]。因此,研究动物活动节律不仅可了解动物的生活状态,还可丰富动物行为生态学的研究内容,并为野生动物的保护与管理提供科学依据^[4]。

中国大鲵(*Andrias davidianus*) (后简称大鲵)是起源于中侏罗纪或前白垩纪的两栖纲有尾目隐鳃鲵科大鲵属动物。该物种是现存最大的两栖动物,能有效反映地质演化历史以及水生脊椎动物向陆生脊椎动物的进化历程,因而被认为是生物进化的“活化石”^[5]。它在食物链中处于关键地位,是水、陆生态系统的重要组成部分,影响着生物多样性和生态系统功能^[6]。自 20 世纪 50 年代起,由于大量收购、非法捕杀和栖息地丧失等原因,大鲵种群数量严重下降^[7],分布区极度萎缩。因此,大鲵又被列为国家二级重点保护野生动物,在 IUCN 国际自然保护联盟的红皮书中被列为极危物种^[8-9]。

湖南省张家界市武陵源自 1992 年被列入世界自然遗产以来,旅游业飞速发展,2017 年全市旅游人数达到各景区共接待游客 7336 万人次。张家界市不仅是享誉全球的武陵源风景名胜区所在地,还是大鲵国家级自然保护区所在地,是国内少有的旅游景区和濒危动物保护区重叠区域。前期研究表明,张家界市的重度旅游干扰(>50 万人次/a)可改变大鲵栖息地水质、增加噪音、减少大鲵洞穴数并降低其生境质量,其中,水质的变化主要表现为水氧(Dissolved Oxygen, DO)含量与大肠菌群数量的变化,且这些变化与游客人数密切相

关^[10]。那么,在张家界市大鲵保护区旅游人数逐年递增的背景下,其旅游活动所导致的水质变化是否会以及如何影响大鲵的活动节律?这是张家界市大鲵保护中亟待探讨的科学问题。目前,有关旅游活动对野生动物活动节律的影响研究还相对较少。少量研究案例揭示表明:人为活动明显减弱了梅花鹿(*Cervus nippon*)和野猪(*Sus scrofa*)在日本中部地区的活动强度,并使其多选择在夜间活动^[11];而人工投食和游客干扰等显著影响了野放獐(*Hydropotes inermis*)的活动规律^[12]。对隐鳃鲵科动物研究发现,有美洲隐鳃鲵(*Cryptobranchus alleganiensis*)日活动高峰出现在天黑后 2 h 左右^[13],活动节律主要受性别、水温(Water Temperature, WT)、光照及季节等因素的影响,且溪流深度与其夜间活动呈正相关^[14]。野生大鲵活动具有明显的昼伏夜出特点^[15],且其繁殖前期的行为活动较为活跃。有研究表明这些活动受到光照和 WT 等环境因子的影响,同时也会影响大鲵的繁殖结果^[16]。在旅游活动日益活跃的当今,大鲵繁殖前期的行为活动是否还会受到由旅游干扰所导致水质变化的影响?在自然生境中,野生大鲵通常生存在人类难以到达的石灰岩溶洞和地下阴河中^[17],因此很难对其繁殖前期的夜间活动节律进行观测,也无法监测旅游干扰所导致的水环境变化对其活动节律的影响。为了回答上述所提出的科学问题,本研究在大鲵仿生态繁育池中,通过控制水中 DO 含量来模拟旅游重度与轻度干扰下大鲵生境的水质变化,比较大鲵繁殖前期的昼夜活动差异,分析旅游干扰与大鲵活动之间的关联性。以此来揭示旅游干扰对大鲵活动节律的影响,丰富大鲵的行为生态学研究内容,为大鲵生态繁育技术优化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验时间与地点

在湖南省张家界市桑植县空壳树乡,张家界竹园大鲵生物科技有限公司生态繁殖基地(29°28'N, 110°22'E, 海拔 471 m)进行试验。按照往年记录,该基地大鲵的产卵时间为 8 月下旬—9 月中旬,确定观察时间为 2017 年 7 月 21 日—2017 年 9 月 21 日,共 63 d。

1.2 实验材料与设备

1.2.1 观察大鲵

体重 9.8—11.5 kg,体长 1.12—1.25 m,9—10 龄。

1.2.2 人工溪流

溪长、宽与深分别为 13.2 m、1.1 m 和 0.4 m,水深 0.2 m,溪岸由卵石和泥土组成,植被覆盖率 30%。试验用洞穴面积为 1.44 m²,洞口高和宽分别为 0.25 m 和 0.3 m,水深 0.2 m,底质为砂子和卵石。

1.2.3 数字监控系统与生态因子监测

在每条溪流的进出口上方安装 2 个摄像头(HIKvision H.265/MJPEG,图 1),观察大鲵进出洞以及在溪流中的活动。分别观察并记录模拟重度干扰与轻度干扰区各 6 尾大鲵(3 雌 3 雄),共 12 尾大鲵的进出洞节律。生态因子监测采用气象监测仪(广州畅运 TWS-3N)(图 1)。分 2 组探头,分别监测模拟重度干扰与轻度干扰 2 个组的水质 WT 与 DO。

1.3 试验方法与观测指标

1.3.1 旅游干扰模拟

在大鲵出/进洞在傍晚至清晨,溪流中 DO 含量主要由溪流中进水 DO 含量决定。在基地选择 2 条人工溪流通过控制水交换量,来模拟重度和轻度旅游干扰下的水体 DO。根据前期研究结果,重度干扰 DO 约为(6.23±1.16)mg/L,轻度干扰约为(8.83±1.20)mg/L^[10]。同时,测定水中大肠菌群数量与前期野外调查的结果进行比较。

1.3.2 大鲵繁殖期夜间活动节律的观察

基于视频回放记录每天出洞与进洞时间。出洞活动是指大鲵身体有 1/3 以上露出洞穴(图 2),在溪流内静止不动或爬行^[14]。记录的出洞和进洞(图 2)时间分别为首次出洞和最后进洞时间,观察 63 d。



图1 大鲵生态繁育池

Fig.1 The ecological breeding pool of the Chinese giant salamander



图2 大鲵出洞、进洞实拍截图

Fig.2 Screenshot pictures show the Chinese giant salamanders' behaviors of exiting and entering the dens

1.3.3 观测方法与指标

气象监测仪监测 WT 与 DO, 多管发酵法测定大肠菌群^[18], 在大鲵出洞 17:00—20:00 时, 雌鲵进洞 23:00—次日 1:00 与雄鲵进洞 6—8 h^[19] 每隔 1 h 取样。分别于 7 月 21 日和 31 日、8 月 10 日、21 日和 31 日、9 月 10 日与 21 日, 每隔 10—11 d 采样测量, 共 7 次。大鲵出/进洞时间大肠菌群的计数根据临近时间的测量值计算。

1.4 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对不同水质下雌/雄大鲵出进洞时间、WT、DO 与大肠菌群按日期进行配对样本 *T* 检验, 比较不同水质下大鲵夜间活动节律以及水生态因子的差别。对不同水质下雌/雄大鲵出洞时间之间进行配对样本 *T* 检验, 并比较雌雄鲵进洞时间差距, 探明大鲵的夜间活动节律。对大鲵出/进洞时间与当时 WT、DO、大肠菌群分别做相关性分析, 探明大鲵出洞时间与主要水生态因子的关系。

2 结果与分析

2.1 不同干扰强度下大鲵昼夜节律

2.1.1 出洞时间

大鲵出洞时, 头部先慢慢伸到洞口, 观察周围环境 5—15 min 左右以确认环境安全后完全出洞(图 2)。在模拟重度与轻度干扰区水质下, 雌鲵出洞时间分别为介于 17:39—20:18 与 17:48—20:13, 高峰期均在 18:30—19:30(图 3); 雄鲵出洞时间分别介于 17:15—19:13 与 17:15—19:21, 高峰期在 18:00—18:45(图

3),雌/雄鲵出洞时间平均值见表1。配对样本 T 检验表明,在模拟重度下雌/雄大鲵出洞时间均极显著晚于轻度($P<0.01$),平均晚 17 min 与 16 min(表1)。在同一水质下,雄鲵出洞时间极显著早于雌鲵($P<0.01$),在重度与轻度干扰水质下,雄鲵早出洞时长分别为 40 min 与 41 min。

表1 不同干扰强度下雌雄鲵出洞时间配对样本 T 检验

Table 1 Paired samples T -test between both female and male Chinese giant salamanders (CGS) about the dens exit time that under different simulated disturbances

干扰强度 Disturbance intensity	雌鲵 Female CGS	雄鲵 Male CGS
重度 High	19:10±0:22A	18:29±0:20C
轻度 Low	18:53±0:24B	18:13±0:18D

同列与同行中标注不同大写字母表示组间差异极显著($P<0.01$)

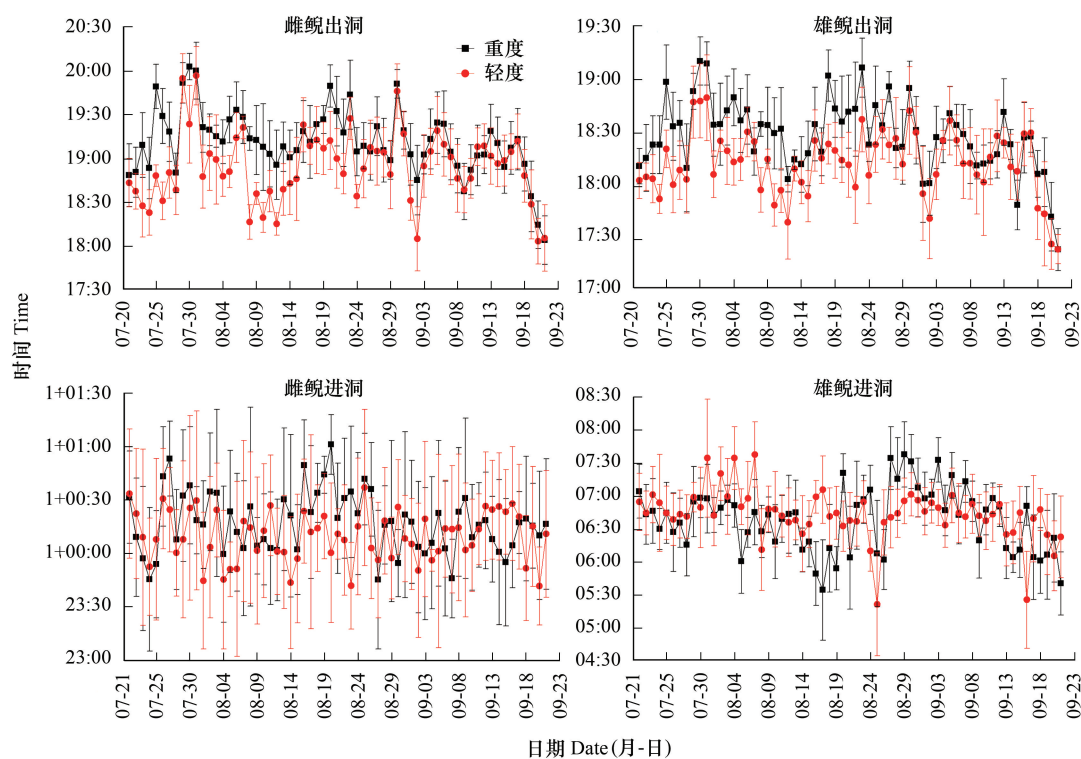


图3 雌雄大鲵出进洞时间分示详图

Fig.3 The dens exit and entry time of both female and male CGS

2.1.2 洞外活动

晴天出洞的大鲵出洞前很少在洞口探头,出洞后在人工溪流中缓慢爬行,或静趴在水中,偶尔会翻转身体,有呼吸、摄食、求偶、冲凉、打架等行为,或串洞、在洞口转圈、追赶鱼群。

雨天大鲵在出洞前多在洞口观望,1—2 h 后露出前肢,有呼吸行为,并且略显焦躁,白天和晚上都会频繁进出洞。当周围环境有动静,大鲵就会骤然反应并迅速回洞。观察期间,雌鲵洞外活动高峰期为 21:00—23:00,雄鲵为 21:30—次日 3:00,此外,雄鲵在 20:35—21:49 与次日 2:18—3:52 期间会频繁进出洞(每隔 10 min 左右进出一趟),雌鲵在 21:50—23:50 期间频繁进出洞。不同模拟干扰强度的水中,大鲵的洞外活动没有明显的差别。

2.1.3 进洞时间

在整个观察期,雌鲵与雄鲵进洞时间较为稳定(图3)。在模拟重度与轻度干扰水质下,雌/雄鲵进洞时间

均接近,雌鲵进洞时间分别介于 23:42—次日 1:21($24:10\pm0:14$)与 23:45—次日 1:20($24:18\pm0:17$),高峰期均在 23:45—次日 0:30(图 3)。在模拟重度与轻度干扰水质下,雄鲵进洞时间分别介于 4:28—8:38($6:44\pm0:23$)与 4:51—8:02($6:39\pm0:29$),高峰期在 6:00—7:30(图 3)。雌/雄鲵进洞平均值见表 1,配对样本 T 检验表明,雌雄鲵进洞时间在不同干扰强度区之间差异不显著($P>0.05$)。在同一水质条件下,雄鲵进洞时间约滞后于雌鲵 5—7 h。

2.2 水生态因子对大鲵昼夜节律影响

2.2.1 WT 对大鲵出/进洞时间的影响

(1) 大鲵出洞 WT

观察期不同水质下大鲵出洞时 WT 见图 4,在重度与轻度干扰水质下雌鲵观察期出洞 WT 分别介于 16.70—22.30℃与 16.65—22.30℃(图 4),雄鲵观察期 WT 分别介于 16.70—22.45℃与 16.64—22.40℃(图 4),均由观察前期至后期呈下降趋势,高峰段分别在 17.5—20.0℃。WT 的均值见表 2,配对样本 T 检验表明,重度干扰水质下雌雄大鲵出洞 WT 极显著高于轻度(表 2),平均水温约高 0.05℃。

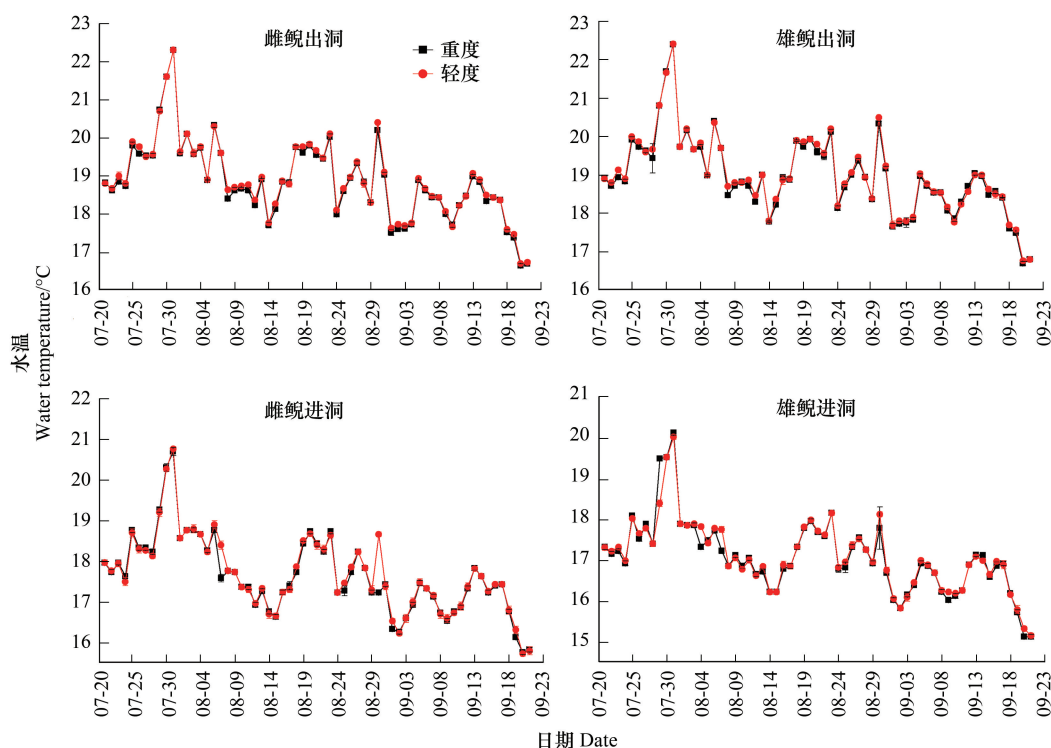


图 4 大鲵出进洞水温动态变化

Fig.4 The dynamic changes of the water temperature (WT) when Chinese giant salamander (CGS) exiting and entering the dens

表 2 不同干扰强度下雌雄鲵出洞水温、水氧与大肠菌群配对样本 T 检验

Table 2 Paired-samples T test of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and coliform when male and female Chinese giant salamanders (CGS) leave den under different disturbance intensities

	水温 WT/℃		水氧 DO/(mg/L)		大肠菌群 Coliform/(CFU/100mL)	
	雌鲵 Female	雄鲵 Male	雌鲵 Female	雄鲵 Male	雌鲵 Female	雄鲵 Male
重度 High	18.92±1.01A	19.01±1.02A	6.58±1.11A	6.52 ±1.16A	313±48A	335±44A
轻度 Low	18.87±1.02B	18.96±1.02B	7.83±1.09B	7.70±1.10B	134±19B	149±22B

同列不同字母表示组间的差异极显著($P<0.01$)

(2) 大鲵进洞 WT

观察期大鲵进洞时 WT 见图 4, 由观察前期至后期呈先上升后下降趋势。在不同水质下, 雌鲵进洞时 WT 分别介于 15.46—20.80℃ 与 15.43—20.80℃, 高峰段在 16—19℃ (图 4)。雄鲵进洞时 WT 分别介于 15.08—20.20℃ 与 15.10—20.10℃, 高峰段在 16.00—18.50℃ (图 4)。出/进洞时 WT 平均值见表 3, 配对样本 *T* 检验表明, 不同水质下雌雄鲵进洞 WT 差异不显著 (表 3)。

表 3 不同干扰强度下大鲵进洞水温、水氧与大肠菌群配对样本 *T* 检验

Table 3 Paired-samples *T* test of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and coliform when Chinese giant salamander (CGS) enter the den under different disturbance intensities

	水温 WT/℃		水氧 DO/(mg/L)		大肠菌群 Coliform/(CFU/100mL)	
	雌鲵 Female	雄鲵 Male	雌鲵 Female	雄鲵 Male	雌鲵 Female	雄鲵 Male
重度 High	17.66±0.94	17.08±0.89	6.74±1.13A	6.80±1.12A	252±54A	233±58A
轻度 Low	17.69±0.94	17.11±0.85	7.96±1.07B	8.03±1.00B	106±18B	92±17B

(3) 日均 WT

观察期日均 WT 介于 16.07—21.34℃, 平均为 (18.20±0.60)℃。从观察前期至后期呈下降趋势, 见图 5。

2.2.2 进/出洞时 DO 含量与大鲵昼夜节律

(1) 大鲵出洞时 DO 含量。大鲵出洞时水体 DO 含量见图 6, 雌/雄鲵出洞 DO 含量在模拟重度与轻度干扰水质下见图 6, 它们的平均值见表 2, 不同水质的 DO 含量每日均值均设置在 DO 范围中。配对样本 *T* 检验表明, 模拟重度干扰强度下雌/雄鲵出洞时 DO 含量极显著低于轻度干扰下的 ($P>0.01$, 表 2)。

(2) 大鲵进洞时 DO 含量。雌/雄鲵进洞时水体的 DO 含量见图 6, 其平均值见表 3, 配对样本 *T* 检验表明, 模拟重度干扰强度下雌/雄鲵进洞时 DO 含量极显著低于轻度干扰下的 ($P<0.01$, 表 3)。

2.2.3 大肠菌群数量

(1) 出洞时大肠菌群含量。雌/雄鲵出洞大肠菌群数量见图 7, 各采样日在观察前期上升, 后期下降, 变化趋势相似, 不同水质中雌/雄鲵出洞时大肠菌群数量平均值见表 2。7 日中大肠菌群配对样本 *T* 检验表明, 雌雄鲵出洞时大肠菌群在模拟重度区与轻度干扰区差异显著 ($P<0.01$, 表 2)。

(2) 进洞时大肠菌群的含量。不同时间段雌/雄鲵大鲵进洞大肠菌群数见图 7。各采样日大肠菌群数在观察前期上升, 后期下降, 变化趋势相似。不同水质下大肠菌群数量平均数见表 3, 配对样本 *T* 检验发现, 大肠菌群在重度干扰区极显著高于轻度干扰区 ($P<0.01$, 表 3)。

2.3 大鲵出洞时间与水生生态因子的相关性

相关性分析结果见表 4, 在 2 种水质状态下, 雌/雄鲵出洞时间与出洞 WT、日均 WT 均极显著正相关 ($P<0.01$), WT 越高, 则出洞的时间越晚。雌/雄鲵出洞时间与出洞时 DO 呈显著负相关 (重度干扰水质下 $P<0.05$, 轻度干扰水质 $P<0.01$), 与大肠菌群显著正相关 ($P<0.05$)。在 2 种水质状态下, 大肠菌群数与雌/雄鲵出洞时间均显著正相关 ($P<0.05$), 但是相关性远低于 WT、DO 与大鲵出洞时间的相关性。雌/雄鲵出洞时间与日均 WT 极显著正相关 ($P<0.01$, 表 4)。

进洞时间仅雄鲵在重度干扰区与 WT、日均 WT 显著正相关 ($P<0.05$), 且进洞时间与 WT 相关系数小 (0.36), 其他雌/雄鲵进洞时间与进洞时 WT、DO 与大肠菌群不显著相关。

两种水质条件下, 大鲵进出洞时大肠菌群与 WT、DO 的相关分析结果见表 5, 可见, 大鲵出/进洞时大肠菌

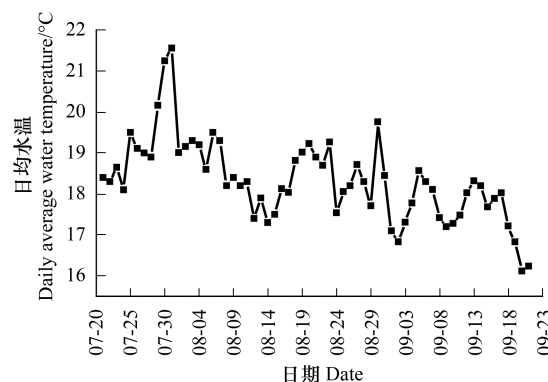


图 5 日均水温变化

Fig.5 Daily changes of average water temperature

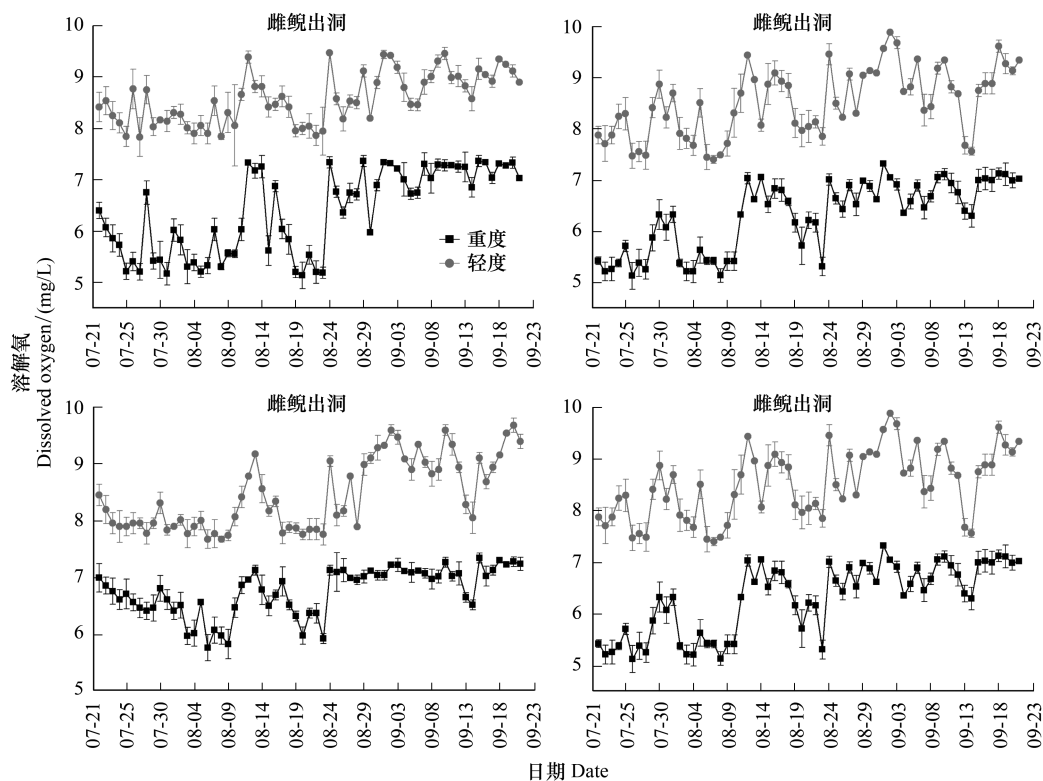


图6 雌雄鳃进出洞时溶解氧变化

Fig.6 The dynamic changes of the dissolved oxygen (DO) when CGS exiting and entering the dens

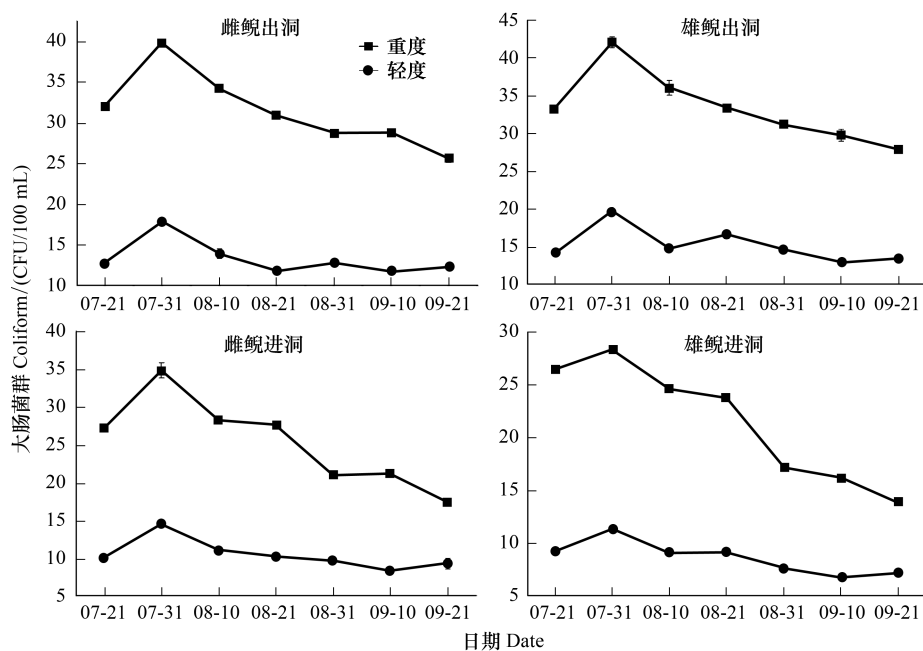


图7 大鳃进出洞时大肠菌群的数量变化

Fig.7 The dynamic changes of the contents of Coliforms when CGS exiting and entering the dens

群均与 WT 极显著正相关($P<0.01$),与 DO 极显著负相关($P<0.01$)。WT 越高,DO 越低,大肠菌群数量越大,大鲵出洞时间越晚。

表 4 不同干扰区大鲵出进洞时间与水温、日均水温、水氧、大肠菌群间的 Pearson 相关系数

Table 4 Pearson correlation coefficients between the dens exit and entry time of Chinese giant salamander (CGS) and other factors including water temperature (WT), daily average water temperature (DAWT), dissolved oxygen (DO), and Coliforms that under different simulated disturbances

指标 Index	出洞时间 Dens exit time of CGS				进洞时间 Dens entry time of CGS			
	雌鲵 Female		雄鲵 Male		雌鲵 Female		雄鲵 Male	
	重度 High	轻度 Low	重度 High	轻度 Low	重度 High	轻度 Low	重度 High	轻度 Low
水温 WT	0.66 **	0.85 **	0.69 **	0.81 **	0.14	0.25	0.36 *	0.23
日均水温 DAWT	0.67 **	0.87 **	0.72 **	0.82 **	0.21	0.21	0.45 *	0.23
水氧 DO	-0.26 *	-0.61 **	-0.26 *	-0.64 **	-0.06	-0.23	-0.24	0.08
大肠菌群 Coliform	0.49 *	0.48 *	0.51 *	0.55 *	0.15	0.13	0.43	0.40

* * $P<0.01$, * $P<0.05$

3 讨论与结论

3.1 旅游干扰对大鲵活动节律的影响

实验模拟重度旅游干扰导致的水质变化,使大鲵出洞时间较轻度干扰水质下推迟,雌/雄平均晚 17 min 与 16 min。对进洞时间影响不显著。为什么重度干扰会导致雌雄鲵出洞时间延迟?

(1)DO 含量对大鲵昼夜活动节律影响。重度旅游干扰区显著增加了大肠菌群数量与降低 DO 含量,不显著影响大鲵栖息地 WT^[10]。DO 分别与重/轻度干扰水质下、雌/雄鲵出洞时间显著负相关。DO 含量越高,大鲵出洞时间越早。在相同温度条件下,水中的 DO 含量与大鲵的摄食量呈正相关,大鲵在高 DO 含量水环境下早出洞去寻找食物^[20]。WT 升高可加速养殖水体中有机物的腐败和分解进程,消耗养殖水中的 DO,WT 高时,DO 低。因此,轻度干扰区水中 DO 高,大鲵出洞时间较早,高强度旅游干扰下水中 DO 低,大鲵出洞较晚去寻找食物。雌/雄鲵进洞时间与进洞时 DO 含量不显著相关。

表 5 大鲵出进洞大肠菌群与大鲵出洞时的水温、水氧的 Pearson 相关性

Table 5 Pearson correlation coefficients between Coliforms and other factors including water temperature (WT) and dissolved oxygen (DO) at the time of Chinese giant salamander (CGS) exiting the dens

指标 Index	出洞时大肠菌群 Coliform when the CGS leave the den				进洞时大肠菌群 Coliform when the CGS enter the den			
	雌鲵 Female		雄鲵 Male		雌鲵 Female		雄鲵 Male	
	重度 High	轻度 Low	重度 High	轻度 Low	重度 High	轻度 Low	重度 High	轻度 Low
水温 WT	0.88 **	0.85 **	0.89 **	0.89 **	0.91 **	0.85 **	0.86 **	0.87 **
水氧 DO	-0.82 **	-0.55 **	-0.81 **	-0.64 **	-0.92 **	-0.64 **	-0.92 **	-0.75 **

* * $P<0.01$, * $P<0.05$

大鲵是两栖动物,主要生活在水中,用肺呼吸,但其肺不发达,需要通过皮肤来辅助呼吸,因此,其栖息的水中需要有足够的 DO^[21]。水中 DO 大于 5 mg/L,能够保障大鲵正常生长对 DO 的需要^[22-23]。该模拟实验中轻度与重度干扰区水中 DO 均大于 5 mg/L,因此,模拟重度干扰水质变化对其昼夜节律影响小。

(2)大肠菌群对大鲵的活动节律影响。大肠菌群是一类需氧及兼性厌氧革兰氏阴性无芽孢杆菌,对旅游人数最为敏感^[10,24],大肠菌群生长温度范围 7—49.5℃,最适生长温度 37℃,在 7—37℃ 之间,随着温度的上升而增加^[25]。因此,在不同干扰强度水质中大肠菌群数量均与 WT 极显著正相关。因此,大鲵出洞时在傍晚,温度高,大肠菌群数量高,进洞时候在夜间与黎明,水温低,大肠菌群数量低。当 DO 高时,水中的有机物分解快,水体中的有机 C 和 N 含量降低,大肠菌群数量下降,其与 DO 极显著负相关。与雌雄鲵出洞显著正相关,与雌雄鲵进洞时间无显著相关(表 4)。因此,WT 高,DO 低时,大肠菌群数量大,大肠菌群数量与雌/雄鲵出

洞显著正相关。但是大肠菌群与大鲵出洞时间的相关性低于 WT、DO 与大鲵出洞时间的相关性,而大肠菌群与 WT 与 DO 极显著相关,此外,该指标监测困难,操作不易。因此,对于旅游导致的水质变化,可以不监测大肠菌群数,仅监测 WT 与 DO 即可。

3.2 大鲵的活动节律

(1)大鲵进出洞时间。通过对 6 尾/雄鲵与 6 尾雌鲵的进出洞时间以及当时的 WT、DO 含量与大肠菌群数量的观测,发现雌鲵出洞时间介于 17:39—20:18,平均 $19:03 \pm 0:28$,高峰期在 18:30—19:30,雄鲵出洞时间介于 17:15—19:21,平均 $18:20 \pm 0:24$,高峰期在 18:00—18:45。雌鲵活动高峰期为 21:00—23:00,雄鲵为 21:00—次日 1:00。雌鲵进洞时间介于 23:01—次日 1:21,平均 $24:13 \pm 0:31$,高峰期均在 23:45—次日 0:30。雄鲵进洞时间介于 4:28—8:38,高峰在 6:00—7:30,平均 $6:42 \pm 0:34$ 。雌鲵出洞时间晚于雄鲵 30—45 min,进洞时间早于雄鲵 6—7 h。

Luo 等报道了 1 对雌雄大鲵出洞时间高峰分别为 18:15—18:35 与 18:00—18:15^[26],比此次研究结果平均值分别早 15—55 min 与 0—30 min,此小的差异应该为大鲵个体差异。此外,不同年间观察期内气候的差异也可能导致此出洞时间差别。Coatney 报道,隐鳃鲵白天很少出来活动,每天天黑后 2 h 活动频繁^[27],本文雌雄鲵出洞高峰期早于其报道,这可能是中国大鲵与隐鳃鲵的活动节律的时间差别。于虎虎等报道,大鲵 19:30 开始出洞活动,其活动高峰为 21:30—1:30,6:30 后返回洞穴^[16]。本研究中大鲵出洞时间较其报道分别早 1—2 h 与 0—1 h,可能是由于研究地区不同,实验场地的气候条件差异造成,但是活动高峰期与本文接近。

该实验发现雄鲵的夜间活动时间长于雌鲵约 6.0—7.5 h,可能是因为繁殖期间雄鲵需要摄取大量食物。此外,一定的运动有益于雄鲵健身,以储备较为丰富的营养物质及体能,为将来产卵与护卵做准备。此外,繁殖前期雄鲵洞外活动时间长,也益于其并寻觅配偶。而雌鲵此时体内怀有大量卵子,体重较大,因此出洞活动较少^[16]。

(2)WT 对大鲵出/进洞时间的影响。大鲵最适宜 WT 为 16—23℃^[28],在整个观察期,大鲵出洞 WT 处于此范围。雌雄鲵出洞活动时间与 WT 显著性正相关,繁殖期间 WT 越高,出洞时间越迟。观察期处于高温季节,洞外温度高于洞内,温度越高,出洞时间越迟。冬季,洞外温度低于洞内,其相关性可能呈负相关,WT 越高,出洞时间越早。大鲵出洞时间与温度的相关性可能有季节性变化。雌/雄鲵出洞时 WT 在重度干扰水质下极显著低于轻度水质中 WT,约 0.05℃,是由于重度干扰水质下 DO 较小,大鲵出洞晚于轻度水质下,在夏天雌雄大鲵出洞时间 17—20 点之间,越晚 WT 越低。

观察期雌鲵进洞 WT 也处于或接近大鲵适宜 WT(16—23℃)^[28]。在整个观察期,雌/雄鲵进洞时间稳定,WT、DO 与大肠菌群对其影响小。进洞时间可能由其生物钟决定^[26]。

于虎虎等报道,大鲵出洞活动的数量与 WT 相关性显著,WT 是决定其出洞活动高峰期的主要因子,在 16.7—16.8℃时回洞隐藏^[16],本文观测的 WT 值略低于该文研究结果。陈云祥等认为大鲵为变温动物,日活动节律是随着气候 WT 条件的改变而变化^[29]。该文与其报告不同的是大鲵的进洞时间与 WT 不显著相关。旅游干扰对水温影响不显著,因此旅游干扰对大鲵活动节律影响小。

3.3 结论

通过受控实验,发现在模拟旅游重度导致的水质变化使雌/雄大鲵出洞时间推迟,推迟时间仅为 17 min 与 16 min 左右;大鲵进洞时间受其影响不显著,其可能更多受到其生物钟的影响。旅游干扰导致的水质变化对大鲵繁殖期活动节律影响较小,预计其对大鲵的产卵率影响不大。

张家界市部分旅游景点的重度旅游干扰(游客人数>50 万人次/a)降低了水体的质量,但其水质仍能满足大鲵的生长要求^[10],对大鲵活动节律影响小,科学的旅游管理可以达到旅游发展与野生动物保护和谐发展。该文系统记录了 12 尾雌/雄亲鲵在繁殖前期的出/进洞的时间,以及当时的 WT、DO 含量与大肠菌群数量,探明了亲鲵在繁殖前期夜间活动节律。

参考文献 (References):

- [1] Clutton-Brock T H. Primate Ecology: Studies of Feeding and Ranging Behavior in Lemurs, Monkey and Apes. London: Academic Press, 1977: 539-556.
- [2] Post D G. Activity patterns of yellow baboons (*Papio cynocephalus*) in the Amboseli National Park, Kenya. *Animal Behaviour*, 1981, 29(2): 357-374.
- [3] Lawes M J, Piper S E. Activity patterns in free-ranging Samango monkeys (*Cercopithecus mitis erythrarchus* Peters, 1852) at the Southern Range Limit. *Folia Primatologica*, 1992, 59(4): 186-201.
- [4] 蒋志刚. 动物行为原理与物种保护方法. 北京: 科学出版社, 2004: 36-36.
- [5] Ijspeert A J, Crespi A, Ryczko D, Cabelguen J M. From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model. *Science*, 2007, 315(5817): 1416-1420.
- [6] Davic R D, Welsh H H Jr. On the ecological roles of salamanders. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2004, 35: 405-434.
- [7] Wang X M, Zhang K J, Wang Z H, Ding Y Z, Wu W, Huang S. The decline of the Chinese giant salamander *Andrias davidianus* and implications for its conservation. *Oryx*, 2004, 38(2): 197-202.
- [8] UNWTO. UNWTO Tourism Highlights, 2016 Edition [2019-01-08]. <http://mkt.unwto.org/publication/unwto-tourism-highlights-2016-edition>.
- [9] Cunningham A A, Turvey S T, Zhou F, Meredith H M R, Guan W, Liu X L, Sun C M, Wang Z Q, Wu M Y. Development of the Chinese giant salamander *Andrias davidianus* farming industry in Shaanxi Province, China: conservation threats and opportunities. *Oryx*, 2016, 50(2): 265-273.
- [10] Luo Q H, Song Y J, Hu X, Zhu S H, Wang H, Ji H B. Effects of tourism disturbance on habitat quality and population size of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*). *Wildlife Research*, 2018, 45(5): 411-420.
- [11] van Doormaal N, Ohashi H, Koike S, Kaji K. Influence of human activities on the activity patterns of Japanese sika deer (*Cervus nippon*) and wild boar (*Sus scrofa*) in Central Japan. *European Journal of Wildlife Research*, 2015, 61(4): 517-527.
- [12] 何鑫, 裴恩乐, 袁晓, 徐桂林, 沈国平, 张恩迪, 蔡锋, 陈珉. 上海地区重引入獐野放后的活动规律. *动物学杂志*, 2016, 51(1): 1-13.
- [13] Noeske T A, Nickerson M A. Diel activity rhythms in the hellbender, *Cryptobranchus alleganiensis* (Caudata: Cryptobranchidae). *Copeia*, 1979, 1979(1): 92-95.
- [14] Humphries W J, Pauley T K. Seasonal changes in nocturnal activity of the Hellbender, *Cryptobranchus alleganiensis*, in West Virginia. *Journal of Herpetology*, 2000, 34(4): 604-607.
- [15] 梁刚, 吴峰. 中国大鲵的活动节律及繁殖行为描记. *动物学杂志*, 2010, 45(1): 77-82.
- [16] 于虎虎, 梁刚, 刘巧巧, 徐文刚. 中国大鲵繁殖前期夜间活动节律及其与环境因子的关系. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 41(3): 56-61.
- [17] 罗庆华, 刘英, 张立云, 陈功建, 康练常. 湖南张家界市大鲵资源调查. *四川动物*, 2009, 28(3): 422-426, 436-436.
- [18] Akeju T, Awojobi K. Enumeration of coliform bacteria and characterization of *Escherichia coli* isolated from staff club swimming pool in Ile-Ife, Nigeria. *Microbiology Research*, 2015, 6: 26-30.
- [19] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3838—2002 地表水环境质量标准. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [20] 陈喜斌, 沈建中, 赵京杨, 熊家军, 张国良. 水温对大鲵摄食的影响. *水产科学*, 1999, 18(1): 20-22.
- [21] 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 黄永昭. 中国动物志 两栖纲(上卷)总论 蚓螈目 有尾目. 北京: 科学出版社, 2006.
- [22] 刘鉴毅, 肖汉兵, 林锡芝. 大鲵饲养池水质状况分析. *淡水渔业*, 1992, (2): 16-18.
- [23] 刘鉴毅, 肖汉兵, 杨焱青. 中国大鲵养殖繁育技术的探讨. *经济动物学报*, 1999, 3(3): 38-42.
- [24] Ikner L A, Toomey R S, Nolan G, Neilson J W, Pryor B M, Maier R M. Culturable microbial diversity and the impact of tourism in Kartchner Caverns, Arizona. *Microbial Ecology*, 2007, 53(1): 30-42.
- [25] 邓婷, 梁漪莲, 骆琼, 黄慧清. 两种方法对水中总大肠菌群和大肠埃希氏菌检测的对比分析. *食品工程*, 2017, (1): 52-54.
- [26] Luo Q H, Song Y J, Ji H B. Nocturnal activity rhythm of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) during the reproductive period. *AMSE Journal*, 2017, 78(2): 125-135.
- [27] Coatney C E. Home Range and Nocturnal Activity of the Ozark Hellbender[D]. Springfield: Southwest Missouri State University, 1982.
- [28] 武思齐, 殷梦光, 徐晓茜, 李灿. 温度和光照条件对大鲵的影响. *经济动物学报*, 2012, 16(1): 43-45.
- [29] 陈云祥, 王伟军, 白洪清, 吴仲春. 饲养条件下大鲵的活动节律初步研究. *水产养殖*, 2006, 27(6): 40-41.