

• 研究简报 •

## 长江上游水下光照度的初步调查

李艳华<sup>1</sup>, 邹远超<sup>2</sup>, 胡佳<sup>1</sup>, 王成友<sup>3</sup>, 危起伟<sup>3</sup>

(1. 铜仁职业技术学院农学院, 贵州铜仁 554300;

2. 内江师范学院生命科学院, 四川内江 641112;

3. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223)

**摘要:** 2009年1月2日—2月10日, 沿长江从上往下选取云南水富码头、四川泸州市合江弥陀镇、重庆江津航道处、宜昌葛洲坝下磨基山四个江段进行了6次不同天气下的水下光照度的测量。水富码头、弥陀镇以及江津航道处三个江段的4次测量, 无论天气是阴雨天、阴天、大雾还是晴天, 其水下照度在水面下0~1.5 m急剧衰减, 在1.5 m处衰减率达到99.5%以上, 以后光照度随着水深呈缓慢衰减之势, 1.5 m以下至江底的照度基本维持在1.2~8.9 lx。而葛洲坝下磨基山江段的水下照度无论是大雾还是晴天, 都呈逐步衰减的态势, 在20 m的水底光度衰减率才达到99.9%, 维持在9~20 lx。根据调查的数据, 从鱼类行为生态学研究与野生鱼类驯养、中华鲟保护及四大家鱼等产漂流性卵鱼类的保护三个方面进行了生态学意义探讨。

**关键词:** 长江; 水下光场; 生态学

中图分类号: S931.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6907-(2016)03-0109-04

DOI:10.13721/j.cnki.dsyy.2016.03.019

### Preliminary investigation of underwater illuminance in the upper reaches of Yangtze River

LI Yan-hua<sup>1</sup>, ZOU Yuan-chao<sup>2</sup>, HU Jia<sup>1</sup>, WANG Cheng-you<sup>3</sup>, WEI Qi-wei<sup>3</sup>

(1. Agricultural Department, Tongren Polytechnic College, Tongren 554300, Guizhou, China;

2. Key Laboratory of Sichuan Province for Fish Conservation and Utilization in the Upper Reaches of the Yangtze River, College of Life Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, Sichuan, China;

3. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture of China, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Wuhan 430223, Hubei, China)

**Abstract:** On January 2th to February 10th, 2009, we surveyed the underwater illuminance of four reaches of the Yangtze River for six times in different weather, they were Shuifu wharf of Yunan, Mituo town Hejiang county Luzhou city of Sichuan, Jiangjin Hydrographic Bureau of Chongqing and Mojishan below the Gezhou Dam of Yichang along Yangtze River. Four surveys in Shuifu wharf, Mituo town and Jiangjin Hydrographic Bureau showed that underwater illumination decayed sharply in water depth from 0m to 1.5 m regardless of the weather was rainy, cloudy, heavy foggy or sunshiny, with a more than 99.5% attenuation rate at 1.5 m depth, and maintained a intensity range from 1.2 lx to 8.9 lx from 1.5 m water depth to river bottom. While underwater illumination of Mojishan below Gezhou Dam decayed gradually regardless of the weather was heavy foggy or sunshiny, with a 99.9% attenuation rate at 20 m depth of river bottom, and maintained a intensity from 9 lx to 20 lx. According to the survey data, we discussed the ecological significance from following three aspects: behavioral ecology research and wild fish cultivation, Chinese sturgeon protection and four major Chinese carps and other floating-egg fish protection.

**Key words:** Yangtze River; underwater light climate; ecology

收稿日期: 2015-09-11; 修订日期: 2016-01-11

资助项目: 铜仁职业技术学院博士科研启动资金、水利部行业专项(200701029)、公益性行业(农业)专项(200903048)。

第一作者简介: 李艳华(1983-), 男, 博士, 副教授, 专业方向为鱼类生态与养殖学。E-mail: liyanhua1983@163.com

通讯作者: 危起伟。E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

水下光照度是影响水生生态系统的重要因子,直接或间接地影响动物的摄食、生长和存活。在长期的进化过程中,有一些动物的摄食和生长不受光照的影响,但大多数动物需要适宜光照环境<sup>[1]</sup>。针对内陆浅水湖泊,众多学者如 Sasaki<sup>[2]</sup>、张运林等<sup>[3-6]</sup>围绕水体光学特性、衰减系数等进行了相关研究。对于滨江潮汐型水体,王华等<sup>[7]</sup>也做了水下光场时空分布规律的研究。但是对于内陆江河,比如长江的水下光强的研究却未见相关报道。本研究通过对长江上游典型江段的水下光场测量,旨在为包括鱼类行为生态学研究与野生鱼类驯养、中华鲟保护及四大家鱼等产漂流性卵鱼类的保护提供光照背景值及理论依据。

## 1 材料和方法

2009年1月2日—2月10日,沿长江从上往下选取云南水富码头、四川泸州市合江弥陀镇、重庆江津航道处、宜昌葛洲坝下磨基山四个江段进行了6次不同天气下的水下照度的测量(表1)。之所以选择这四个江段,是水富码头代表含沙量高的金沙江江段(此期间向家坝还未截流),弥陀镇和江津航道处则代表了长江干流,磨基山则代表库区下泄清水条件下的江段。六种不同天气则是恰好在测量时碰到了这几种天气,并非刻意选择。

测量前,先将水下照度计(上海嘉定学联仪表厂生产,型号:ZDS-10W)光缆线绑在一根40 m长的粗绳上,在粗绳上用彩色胶布标记好刻度,水下照度计放置在一个开窗的铁盒中,铁盒下面绑一石头重物。测量时,选取水流较缓的湾沱进行测量,将科考小快艇(7 m长,88 kW)通过一定功率基本固定在某一水面,然后,选取向阳的一侧先测量一下地表的照度值,然后根据实际水深依次测得水下0.02~30 m(见表1)的水下照度,然后从底部反方向依次再测上述水深的水下照度,二者取平均值,即为不同水深处的水下照度。每个测量点测量水下照度的同时同步用直径为30 cm的塞氏圆盘测量江水的透明度。

## 2 结果与分析

四个江段、六个测量点不同天气下不同水深的光照度见表1。由表1可知,水富码头、弥陀镇以及江津航道处三个江段的四次测量,无论天气是阴雨天、阴天、大雾还是晴天,其水下照度在水面下0~1.5 m急剧衰减,在1.5 m处衰减率达到

99.5%以上,以后光照度随着水深呈缓慢衰减之势,1.5 m以下至江底的照度基本维持在1.2~8.9 lx。而葛洲坝下磨基山江段的水下照度无论是大雾还是晴天,都呈逐步衰减的态势,在20 m的水底光照度衰减率才达到99.9%,维持在9~20 lx。

因此,长江上游水富、弥陀镇、江津三个江段的水下光照度几乎可以归为一类,即急剧衰减型。这与长江上游的高含沙量低透明度是分不开的,同样的结果也见于王华等<sup>[7]</sup>的研究。葛洲坝下磨基山江段由于三峡和葛洲坝两座水电站的清水下泄作用,水中含沙量剧减,透明度大大提高,在冬季甚至达到3 m,水下光照度属于平缓衰减型。应该指出的是,表1中测得的光照度理论上应该随着水深增加而减小,但是受测量当时的云雾变化、水下照度计在水流中的位置摇摆、江底的光照反射及泥沙可能的遮挡,实际光照度与理论值会有小的出入。

## 3 讨论

本次调查结果表明,含沙量高的长江段与湖泊和滨江潮汐水体的光照度衰减规律相似,都是在表层水剧烈衰减,以后随着深度的增加缓慢衰减,但大坝下游含沙量低的长江水体的衰减则随着深度增加一直是平缓衰减,与湖泊和滨江潮汐水体不相同<sup>[3,7]</sup>。调查到的云南水富码头、四川泸州市合江弥陀镇、重庆江津航道处三个江段、六种天气下水面1.5 m以下的水下光照度并不随调查地点、调查天气、不同时段或入射光强的变化而有大的变化,但同时又区别于葛洲坝坝下的低含沙量水体的衰减特征,这表明长江水体光学衰减特征及中下层水体光照度在现有条件下仅取决于含沙量的变化,与天气、太阳高度角、甚至入射光强(季节)关系不是太大。因此,在含沙量周年变化相对不大的情况下,用两种典型水体与六个调查样点来揭示长江的水下光场应该是足够的,且具有典型性和代表性。囿于野外调查的难度与成本,导致了测量样点的不足,使得光强衰减系数与透明度之间的关系难以用方程模拟成为我们此次研究的缺憾。

Zhuang等<sup>[8]</sup>对中华鲟个体发育行为研究的讨论中人为假设认为1995年秋季葛洲坝下江底的光照度为0,但是我们的实际测量可知,即使三峡还没有截流,1995年秋季葛洲坝下江底的光照度也至少可以达到目前长江上游冬季测量的水平,

表 1 长江不同江段不同水深的水下光照度  
Tab. 1 Underwater illumination at different depth in different reaches of Yangtze River

项目	测量序号						
	1	2	4	3	5	6	
测量时间	2009-01-02 9:50	2009-01-05 14:45	2009-01-09 16:35	2009-01-09 9:50	2009-02-10 8:55	2009-02-10 14:20	
测量地点	云南水富码头	合江弥陀镇	合江弥陀镇	江津航道处	葛洲坝下磨基山	葛洲坝下磨基山	
天气状况	阴天	阴雨	晴	大雾	大雾	晴	
水深/m	20	28	30	4.5	20	20	
透明度/m	0.2	0.3	0.25	0.25	3	3	
地表照度/lx	2 020	2 820	10 000	6 700	6 330	20 000	
水面下特定深度的水下照度/lx	0.02m	-	1 540	4 500	4 410	4 170	7 200
	0.12 m	65.80	741	2 500	1 810	3 750	6 800
	0.25 m	21.70	400	1 680	1 344	3 470	6 300
	0.5 m	14.36	175	732	477	3 380	5 500
	0.75 m	10.93	52.60	218	175	3 400	5 330
	1.0 m	9.85	19.30	103	76.70	3 250	5 300
	1.5 m	9.13	7.41	18	16.18	2 880	5 200
	2.0 m	8.93	5.61	3.9	3.43	2 480	4 780
	3.0 m	8.61	5.07	1.21	1.24	1 670	4 150
	4.0 m	8.29	4.86	1.17	1.26	1 160	3 300
	5 m	8.09	4.56	1.17	-	800	2 600
	6 m	7.90	4.54	1.17	-	555	1 950
	7 m	7.72	4.45	1.19	-	390	1 400
	8 m	7.60	4.36	1.18	-	280	1 000
	9 m	7.49	4.28	1.18	-	200	712
	10 m	7.50	4.20	1.18	-	138	500
	12 m	7.34	4.21	1.19	-	74.5	246
	14 m	7.15	4.30	1.20	-	38.5	125
	16 m	7.02	3.71	1.20	-	20	58
	18 m	6.90	5.10	1.21	-	14	29.5
20 m	6.72	5.06	1.23	-	9	20	
22 m	-	5.00	1.24	-	-	-	
24 m	-	4.88	1.23	-	-	-	
26 m	-	4.59	1.15	-	-	-	
28 m	-	4.58	1.51	-	-	-	
30 m	-	-	1.79	-	-	-	

即江底照度至少可以保持在 1.2 ~ 8.9 lx 的水平。路波等<sup>[9]</sup>对葛洲坝下游中华鲟产卵场瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) 摄食活动的试验研究地点靠近试验对象的捕获场所,但是文中没有介绍是否做光照模拟措施。因此,以后鱼类行为试验严谨的做法应该是模拟天然河段的光照度。我们的调查同时表明,在驯化养殖圆口铜鱼 (*Coreius guichenoti*)、瓦氏黄颡鱼、铜鱼 (*C. heterodon*) 等底层鱼类过程中,为了避免不适宜的光照给这些鱼类造成应激反应,白天给与的适宜光照度为 1 ~ 9 lx。

对鲢鳙鱼类的研究<sup>[10-13]</sup>表明,缩短光周期能

促进秋季产卵的鲢鳙鱼类的性腺发育。中华鲟和大多数鲢鳙鱼类一样同属于溯河产卵的鱼类,且都在短日照的秋季产卵。但目前除了产卵场地形、河床质、流速场、自然繁殖活动发生期间水文状况和气象状况对中华鲟自然繁殖的影响进行了一些研究外<sup>[14]</sup>,水下光照度对中华鲟性腺发育及自然繁殖的影响的研究并未进行。而已调查的中华鲟原 16 处产卵场均在长江上游,江水泥沙含量较大,江底光照度在晴天测得也就是 1 ~ 2 lx,这一照度远低于葛洲坝下中华鲟产卵场附近江底 9 ~ 20 lx 的水下光照度。因此,水下光照度是否影响中华鲟的性腺

发育与自然繁殖值得深入研究。

胡德高等<sup>[15]</sup>的研究表明中华鲟卵在产卵场被摄食比例高达90%，虞功亮等<sup>[16]</sup>的研究则发现在所检测的25种鱼类中，有11种底层鱼类属于吞食中华鲟卵的食卵鱼类，其中尤以圆口铜鱼、瓦氏黄颡鱼和铜鱼3种鱼类对中华鲟卵的危害较大。葛洲坝下江底的水下光照度同样可能影响着食中华鲟卵鱼类的摄食活动。但白天9~20 lx的光照度究竟是抑制了食卵鱼类的摄食活动，还是促进了食卵鱼类对中华鲟卵的摄食却需要进一步研究。

坝下气体过饱和有可能对四大家鱼的卵苗发育造成不利影响<sup>[17]</sup>，迄今为止，还没有水下光照度对四大家鱼等产漂流性卵鱼类的卵和苗造成影响的报道。但光线，特别是光线中的紫外线却可以对受精卵及苗造成伤害，甚至死亡<sup>[18-19]</sup>。三峡的修建与运行使得葛洲坝下水体的含沙量骤降，水体对光线与紫外线的衰减大幅降低，表层水体光照度在冬季可以达到3 000~7 200 lx，而在夏季由于太阳辐射的增强，水体表层光照度甚至可能更高<sup>[7]</sup>。因此，清水下泄导致的水体表层水光照度增强是否影响到四大家鱼卵和苗的成活值得进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对水生动物摄食、生长和存活的影响[J]. 水生生物学报, 2000, 24(2): 178-181.
- [2] Sasaki H, Saitoh S I, Kishino M. Bio-optical properties of seawater in the western subarctic Gyre and Alaskan Gyre in the subarctic north Pacific and the southern Bering sea [J]. J Oceanogr, 2001, 57(3): 275-284.
- [3] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体光学衰减系数的分布及其变化特征[J]. 水科学进展, 2003, 14(4): 447-453.
- [4] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体光学衰减系数的特征及参数化[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(3): 209-213.
- [5] 张运林, 秦伯强, 朱广伟, 等. 杭州西湖水体光学状况及影响因子分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 744-

749.

- [6] 张运林, 秦伯强, 胡维平, 等. 太湖典型湖区真光层深度的时空变化及其生态意义[J]. 中国科学 D 辑地球学, 2006, 36(3): 287-296.
- [7] 王华, 逢勇, 张刚, 等. 滨江潮汐型水体水下光场时空分布模拟[J]. 北京理工大学学报, 2009, 29(6): 547-551.
- [8] Zhuang P, Kynard B, Zhang L, et al. Ontogenetic behavior and migration of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* [J]. Environ Biol Fish, 2002, 65(1): 83-97.
- [9] 路波, 白艳勤, 罗佳, 等. 葛洲坝下游中华鲟产卵场瓦氏黄颡鱼摄食活动的试验研究[J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2728-2734.
- [10] De Vlaming V L. Environmental control of teleost reproductive cycle: a brief review [J]. J Fish Biol, 1972, 4(1): 131-140.
- [11] Peter R E, Crim L W. Reproductive endocrinology of fishes: gonadal cycles and gonadotropin in teleosts [J]. Annu Rev Physiol, 1979, 41(5): 323-335.
- [12] Peter R E. Gonadotropin secretion during reproductive cycle in teleosts: Influences of environmental factors [J]. Gen Compar Endocrinol, 1981, 45(3): 294-305.
- [13] 林浩然. 硬骨鱼类促性腺激素的分泌及其调节机制[J]. 水生生物学报, 1982, 6(4): 551-562.
- [14] 张辉. 中华鲟自然繁殖的非生物环境[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [15] 胡德高, 柯福恩, 张国良, 等. 葛洲坝下中华鲟产卵场的调查研究[J]. 淡水渔业, 1992, (5): 6-10.
- [16] 虞功亮, 刘军, 许蕴珩, 等. 葛洲坝下游江段中华鲟产卵场食卵鱼类资源量估算[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 591-598.
- [17] 彭期冬, 廖文根, 李翀, 等. 三峡工程蓄水以来对长江中游四大家鱼自然繁殖影响研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2012, 44(2): 228-232.
- [18] Perlmutter A, White E. Lethal effect of fluorescent light on the eggs of the brook trout [J]. Prog Fish-Cult, 1962, 24(1): 26-30.
- [19] Boeuf G, Bail P Y L. Does light have an influence on fish growth [J]. Aquaculture, 1999, 177(1-4): 129-152.

(责任编辑: 陈细华)