

艾溪湖水华蓝藻多样性探讨

杨平,戴国飞,方媛媛,钟家有

(江西省水利科学研究院;江西省鄱阳湖水资源与环境重点实验室,江西 南昌 330029)

摘要:本文首次阐明了艾溪湖水华蓝藻的种类、形态及分类学特征,对艾溪湖水华蓝藻的组成和多样性指数进行了分析,并对艾溪湖水华蓝藻种类在全国的分布特征和产毒能力进行了讨论.艾溪湖水华暴发时蓝藻丰度占据绝对优势并导致藻类多样性急剧下降,严重抑制其它藻类生长.显微镜检后发现优势水华蓝藻7种,分别是惠氏微囊藻、挪氏微囊藻、阿氏浮丝藻、螺旋浮丝藻、拉氏拟浮丝藻、依沙矛丝藻、紧密长孢藻.艾溪湖优势水华蓝藻存在季节演替,春季水华蓝藻优势种是微囊藻,夏季是拉氏拟浮丝藻和螺旋浮丝藻.部分种类能够产生微囊藻毒素、神经毒素等藻毒素,对艾溪湖水生态安全具有重大威胁.

关键词:艾溪湖;水华蓝藻;多样性;分类学特征

中图分类号:Q 949

文献标识码:B

文章编号:1004-4701(2017)03-0162-05

0 引言

艾溪湖位于江西省南昌市东部,是市内唯一的一块典型城市天然湿地,具有渔业、灌溉、蓄洪、旅游观光等功能.近年来,艾溪湖工业和生活污水排放量大幅增加,营养盐负荷大大提高,处于严重富营养化状态.污染源主要包括上游大型企业和乡镇企业排放的生产污水及周边排放的生活污水、城市径流污染、农业面源污染和底泥释放^[1].艾溪湖水质由1982年的国家地表水I-II类退化到1995年的IV类,严重区域已接近V类,透明度由1987年的2.20 m下降到2000年的1.13 m^[2].根据南昌市水文局2013~2015年对艾溪湖的监测成果^[3],2013年艾溪湖全年水质均为劣V类,2014年劣V类水质时间占全年50%,2015年水质维持在IV-V类之间,主要超标项目有总氮、总磷、高锰酸盐指数、生化需氧量.

水质的严重下降导致水华现象频繁发生,2015~2016年在艾溪湖不同区域观察到多次不同程度的蓝藻水华,对艾溪湖造成了许多直接或间接的不良影响.水面堆积的藻类导致其它水生生物因缺乏氧气和光照而死亡,大量藻类死亡后散发的异味影响了艾溪湖的景观价值并释放出多种对人体和动物具有强烈致癌作用的

藻毒素.为了应对艾溪湖蓝藻水华暴发及其产生的危害,有必要对产生蓝藻水华的种类进行详细研究,阐明水华蓝藻的多样性和分类学特征,为进一步制定去除水华蓝藻的措施提供参考.

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

艾溪湖是赣江废弃古河积水而成的河成湖,主要入湖河流是沥水河,北边通过闸门与赣江南支相通后,成为由人工调控的水库型湖泊.艾溪湖呈南北走向,面积5.20 km²,蓄水量 1.14×10^7 m³,最大水深3.05 m,平均水深2.27 m.

1.2 样品采集和分离

2016年5月、8月和10月对艾溪湖暴发水华的区域进行了藻类采样,使用25#筛绢制作的浮游生物网进行藻类富集,带回实验室于4℃冷藏保存.采用巴斯德毛细吸管法进行藻类分离培养,将长势良好的藻株转移至玻璃试管内,进行形态学观察和显微拍照.取1L表层水样用鲁哥氏液固定后静置沉淀48 h,抽掉上清液得到35~50 ml沉淀物溶液,用于蓝藻定量分析.

1.3 显微镜观察和拍照

使用Olympus BX53显微镜对采集的新鲜样品和分

离的纯培养藻株进行镜检和拍照,拍照设备为 DP27 数码相机,通过 Olympus CellSens Entry 软件进行细胞大小测量,拍照后的藻类图片使用 Photoshop CS3 进行处理。藻类的形态鉴定主要参考胡鸿钧^[4,5]、虞功亮^[6]、Komárek^[7-9]等。

1.4 数据处理和分析

使用 0.1 ml 细胞计数框和 Olympus BX53 显微镜对样品中藻类细胞数量进行计数,选用 Shannon - Wiener 指数(H')、Pielou 均匀度指数(J_{sw})来评价藻类多样性,计算公式为:

Shannon - Wiener 指数:
$$H' = - \sum P_i * \ln P_i, P_i = n_i / N$$

Pielou 均匀度指数:
$$J = H' / H_{max}, H_{max} = \ln S$$

式中, S 为物种数, N 为浮游植物总细胞数, n_i 为第 i 个种的细胞数。

2 结果

2.1 水华蓝藻组成与多样性分析

2016 年 5 月、8 月和 10 月分别鉴定出藻类 39 种、4 种、41 种,水华蓝藻 15 种、4 种、6 种,优势种分别是微

囊藻、拉氏拟浮丝藻、螺旋浮丝藻(表 1)。水华蓝藻丰度最高的是 8 月份(见图 1),丰度为 1.09×10^{10} cells/L,占比达 100%,拉氏拟浮丝藻和阿氏浮丝藻占藻类总数量的 98%,没有检出其它藻类,表明水华暴发后它们已经成为艾溪湖藻类绝对优势类群,极大的抑制了其它藻类的生长繁殖。5 月和 10 月水华蓝藻丰度分别为 2.61×10^8 cells/L、 1.85×10^7 cells/L,占藻类总数的比例分别为 92.1%、67.5%。尽管水华蓝藻丰度有所降低,但比例很高,仍然是艾溪湖藻类的优势类群。8 月份藻类多样性指数最低,仅为 0.68,远低于 5 月和 10 月的 1.47 和 2.23,表明 8 月份最严重的蓝藻水华暴发后导致藻类多样性急剧下降。从表 1 可知 5 月、8 月和 10 月藻类均匀度指数分别为 0.28、0.34 和 0.42,均匀度指的是一个群落或生境中全部物种个体数目的分配状况,反映的是各个物种个体数目分配的均匀程度。5 月均匀度最低,10 月最高,而 5 月和 10 月藻类丰富度(种类数量)相近,表明与 10 月藻类各个物种的数量分布较 5 月更加均匀。具体分析藻类物种数量分布发现 5 月数量最多的挪氏微囊藻占总藻类数量的 64%,10 月数量最多的螺旋浮丝藻只占 38%,反映出 5 月挪氏微囊藻占绝对优势对藻类均匀度造成了影响。

表 1 艾溪湖藻类群落特征

	藻类种数	水华蓝藻种数	藻类总丰度 /(cells/L)	水华蓝藻丰度 /(cells/L)	水华蓝藻 丰度比例	H'	J
5 月	39	15	2.84×10^8	2.61×10^8	92.1%	1.47	0.28
8 月	4	4	1.09×10^{10}	1.09×10^{10}	100.0%	0.68	0.34
10 月	41	6	2.73×10^7	1.85×10^7	67.5%	2.23	0.42

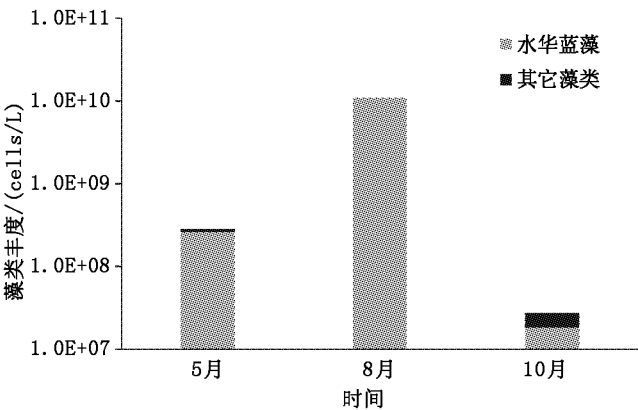


图 1 艾溪湖水华蓝藻丰度

2.2 水华蓝藻分类学特征

对艾溪湖多次水华时期的藻类进行分析鉴定后,发现引起蓝藻水华的主要优势类群归属于色球藻科、颤藻科和念珠藻科的微囊藻属、浮丝藻属、拟浮丝藻属、矛丝藻属、长孢藻属,包括惠氏微囊藻、挪氏微囊藻、阿氏浮丝藻、螺旋浮丝藻、拉氏拟浮丝藻、依沙矛丝藻、紧密长孢藻共 7 种水华蓝藻,详细形态学特征见图 2。主要分类学特征如下:

(1) 惠氏微囊藻 *Microcystis wesenbergii* Komárek, 1968^[4]

深蓝绿色或棕褐色。群体形态变化多样,野外多为球形、椭圆形、卵形、圆筒状,室内纯培养有时出现不规

则的树枝状或网状等。自由漂浮,群体形态肉眼可见。胶被无色,无结构,坚硬,边界清晰、明显,平整,折光。胶被边缘与集聚的细胞相距3~6 μm 。细胞球形,直径4.7~7.9 μm ,具气囊。

(2) 挪氏微囊藻 *Microcystis novacekii* Compère, 1974^[4]

群体黄绿色,长成后肉眼可见,透镜形或几乎球形、不规则球形或略长形。自由漂浮。胶被无色或微黄绿色,明显但边界模糊、无折光。细胞排列较松散,胶被离细胞边缘远,一般15 μm 以上。少数细胞散离群体。细胞圆球形,直径3.6~5.6 μm ,平均为5 μm ,具气囊。

(3) 阿氏浮丝藻 *Planktothrix agardhii* Anagnostidis et Komárek, 1988^[4]

藻丝多为单生,自由漂浮,长可达300 μm ,直出或有些弯,有时成蓝绿色或橄榄绿色的微小的、疏松的簇,偶尔形成底栖的膜状覆盖物,无鞘或非常罕见,特别是幼年时期,具薄的鞘;藻丝宽(2.3)4~6(9.8) μm ,横壁处具颗粒,不收缢或很微弱收缢,顶端渐尖细;细胞长常比宽小或常为方形;细胞内含物蓝绿色,具多数气囊,无藻红素;顶端细胞凸状,有时为钝圆锥形或有点尖,有时具凸的帽状,罕见帽状结构。

(4) 螺旋浮丝藻 *Planktothrix spiroides* Wang & Li, 2013^[10]

藻丝体通常蓝绿色或橄榄绿色,极少数呈淡黄色蓝绿色;单生或有时集成束,自由漂浮。藻丝末端细胞圆形,一端细胞稍或几乎不变细;通常呈规则的疏松螺旋状,或在长期培养后呈不规则卷曲;横壁很少或不收缢;横壁可见,无伪分枝。细胞圆柱形,通常长短于宽;气囊不规则的分布在整个细胞中。藻丝通常宽3.7~6.4 μm (平均宽 $4.6 \pm 0.6 \mu\text{m}$);螺旋宽26~47 μm (平均宽 $36 \pm 5 \mu\text{m}$),螺距30~43 μm (平均 $36 \pm 2 \mu\text{m}$);几乎不运动。罕见胶鞘。通过藻丝断裂繁殖。

(5) 拉氏拟浮丝藻 *Planktothricoides raciborskii* Suda et al., 2002^[4]

藻丝单生,黄绿色或橄榄绿色,长可达1 cm以上,有时可互相缠绕形成块状。横壁无或很浅的收缢,末端短的区段渐细同时弯曲,偶尔具鞘。细胞长3~8 μm ,宽8~9.5 μm ;顶端细胞锥状或钝尖到钝圆,无帽状结构。

(6) 依沙矛丝藻 *Cuspidothrix issatschenkoi* Rajan. et al., 2005^[4]

藻体漂浮,藻丝具圆柱形细胞,横壁不或略收缢;灰蓝绿色到灰蓝色,末端细胞无色,细,尖。细胞长6~9

μm ,宽3~4 μm ;异形胞圆柱形到卵形,每条藻丝具1(2或3)个,长7~11 μm ,宽3~6 μm ,厚壁孢子圆柱形,1~3个一列,长9~19 μm ,宽4~7 μm ,远离异形胞。

(7) 紧密长孢藻 *Dolichospermum compacta* Wacklin, 2009^[9]

营养细胞圆球形到略长形,宽3~6 μm ,长2.5~7.5 μm ,长与宽之比0.5~2.5;异形胞圆球形到略长形;厚壁孢子长椭圆形,远离异形胞,宽6.3~8 μm ,长10~26.3 μm ,长与宽之比1.33~3.51。藻丝规则的卷曲,螺旋宽15~30 μm ,螺间距2~10 μm 。

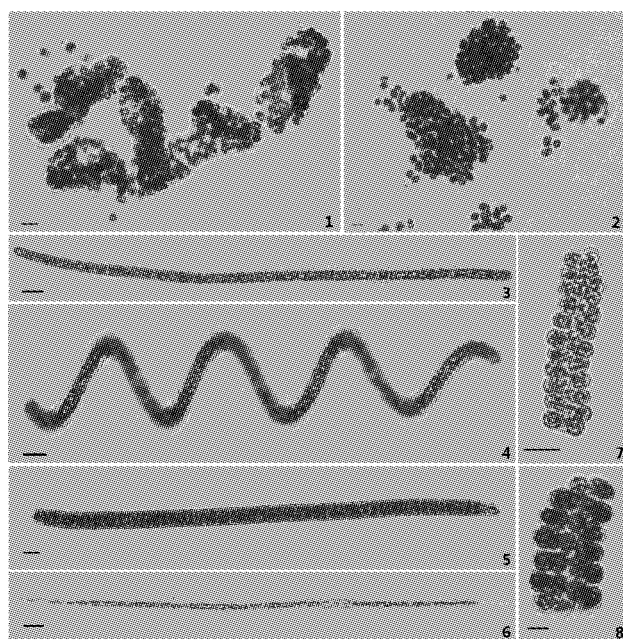


图2 艾溪湖水华蓝藻(1、惠氏微囊藻;2、挪氏微囊藻;3、阿氏浮丝藻;4、螺旋浮丝藻;5、拉氏拟浮丝藻;6、依沙矛丝藻;7-8、紧密长孢藻;bar=10 μm)

3 讨论

艾溪湖暴发水华时蓝藻占据绝对优势并促使藻类多样性降低,危害艾溪湖水生态系统健康,从而使藻类群落逐步单一化。2011年李守淳等^[11]对艾溪湖藻类的调查表明主要优势类群为绿藻和蓝藻,春冬优势种类为绿藻门栅藻属,夏季则为蓝藻门平裂藻属。藻类数量为 $0.62 \sim 3.95 \times 10^8 \text{ cells/L}$,平均为 $2.10 \times 10^8 \text{ cells/L}$ 。然而,2016年艾溪湖春季水华时期藻类密度为 $2.84 \times 10^8 \text{ cells/L}$,夏季水华时期达 $1.08 \times 10^{10} \text{ cells/L}$,秋季为 $2.73 \times 10^7 \text{ cells/L}$,对比发现藻类密度已大大超过往年,表明艾溪湖已经具备了藻类数量和生物量基础,在合适

的水文条件下随时可能暴发蓝藻水华,同时也间接表明近年来艾溪湖营养盐处于不断升高的过程。

艾溪湖7种优势水华蓝藻在全国分布较为广泛,部分种类能够产生毒素,对艾溪湖水生态安全具有重大威胁。惠氏微囊藻广泛分布于我国淡水水体并且具有肝脏毒性^[12],在太湖、三峡、玄武湖等湖泊均以水华优势种存在^[13-15],有时与铜绿微囊藻、绿色微囊藻、水华微囊藻等常见水华种类以不同比例混合在一起,漂浮在水面上形成水华。Sivonen等研究发现浮丝藻属可以产生包括微囊藻毒素(Microcystins)、神经毒性的鱼腥藻毒素-a(Anatoxin-a)在内的多种毒素^[16],浮丝藻并不是我国蓝藻水华的显著优势种,但是已发现浮丝藻可以混合在微囊藻水华中,也有些浮丝藻占优势的蓝藻水华^[17]。螺旋浮丝藻通常伴随微囊藻一起存在,主要分布于我国的长江中下游及南方的部分水体,在黄河以北的新乡市河道中被发现可以长时间维持优势^[18]。拉氏拟浮丝藻分布于高原、长江中下游和我国南方地区淡水水体,目前已报道在四川省成都市发生过大规模水华,尚未检测出微囊藻毒素,然而拉氏拟浮丝藻能够产生较大的异味物质如Geosmin和MIB^[19,20]。依沙矛丝藻(依沙束丝藻)已被报道能够产生神经毒素(PST)并且含有鱼腥藻毒素合成基因序列,具有潜在产鱼腥藻毒素的可能性,这表明依沙束丝藻大量繁殖形成水华时可能将可能对水体生态安全造成严重危害^[21,22]。长孢藻属是从鱼腥藻属中分离出来的浮游类群,是南亚热带水体中常见水华蓝藻之一,常以丝状群体形式存在,该属中的部分种类能产生神经毒素和鱼腥藻毒素^[4,23]。

通过对艾溪湖多次蓝藻水华样品的鉴定,分析了艾溪湖水华蓝藻的组成和多样性,确定了引起艾溪湖水华优势蓝藻的种类、形态和分类学特征。艾溪湖优势水华蓝藻较为多样且存在季节演替,春季水华蓝藻优势种是微囊藻,夏季优势种是拉氏拟浮丝藻和螺旋浮丝藻。探讨了艾溪湖水华蓝藻在国内的分布情况和产毒特性,旨在为今后艾溪湖暴发蓝藻水华时制定相应措施提供参考。

参考文献:

- [1] 黄立章,朱艳芳,张子林. 南昌市艾溪湖 COD, TN, TP 水环境容量研究[J]. 江西水利科技, 2016(1): 32~35.
- [2] 张海荣. 近50年来人类活动与艾溪湖富营养化过程关系研究[D]. 南昌:江西师范大学, 2007.
- [3] 南昌市水文局. 南昌市水资源公报. <http://www.jxncsw.com/list.jsp?classid=51>.
- [4] 胡鸿钧. 水华蓝藻生物学[M]. 北京:科学出版社, 2011.
- [5] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类——系统,分类及生态[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [6] 虞功亮,宋立荣,李仁辉. 中国淡水微囊藻属常见种类的分类学讨论——以滇池为例[J]. 植物分类学报, 2007(05): 727~741.
- [7] Komárek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota; Teil 1: Chroococcales; Elsevier GmbH, Munchen; 1999.
- [8] Komárek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota; Teil 2: Oscillatoriales; Elsevier GmbH, Munchen; 2005.
- [9] Komárek J. Cyanoprokaryota; Teil 3: Heterocytous genera. Germany: Springer Spektrum; 2013.
- [10] Liu Y, Wang Z, Lin S, Yu G, Li R. Polyphasic characterization of *Planktothrix spiroides* sp. nov. (Oscillatoriales, Cyanobacteria), a freshwater bloom-forming alga superficially resembling *Arthrospira* [J]. Phycologia, 2013, 52(4): 326~332.
- [11] 李守淳,柴文波,叶付粥,等. 南昌市艾溪湖浮游藻类的多样性调查与评价[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2013, 37(3): 316~318.
- [12] 何家苑,李络平,俞家禄,等. 我国产毒微囊藻的新发现——惠氏微囊藻及其毒性的初步研究[J]. 水生生物学报, 1996, 20(2): 192~194.
- [13] 孙千千,朱伟,李明. 太湖贡湖湾和梅梁湾微囊藻群落的时空分布及其驱动因子[J]. 湖泊科学, 2015, 27(5): 865~872.
- [14] 汪育文,李建宏,吴敏,等. 南京玄武湖微囊藻水华种类组成的研究[J]. 环境科学, 2007, 28(10): 2187~2191.
- [15] 杨敏,张晟,胡征宇. 三峡水库香溪河库湾蓝藻水华暴发特性及成因探析[J]. 湖泊科学, 2014, 26(3): 371~378.
- [16] Pomati F, Sacchi S, Rossetti C, Giovannardi S, Onodera H, Oshima Y, et al. The freshwater cyanobacterium *Planktothrix* sp. FP1: molecular identification and detection of paralytic shellfish poisoning toxins [J]. Journal of Phycology, 2000, 36(3): 553~562.
- [17] 林燊,彭欣,吴忠兴,等. 我国水华蓝藻的新类群——阿氏浮丝藻(*Planktothrix agardhii*)生理特性[J]. 湖泊科学, 2008, 20(4): 437~442.
- [18] 王钰亮,刘洋,潘文静,等. 蓝藻水华新种——螺旋浮丝藻(*Planktothrix spiroides*)的生理特征研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2016(6): 130~134.
- [19] 税永红,唐亚,李巧巧,等. 成都犀池拟浮丝藻水华成因探析[J]. 四川环境, 2010, 29(1): 17~23.
- [20] 吴忠兴,余博识,彭欣,等. 中国水华蓝藻的新记录属——拟浮丝藻属(*Planktothricoides*) [J]. 武汉植物学研究, 2008(05): 461~465.
- [21] Wood SA, Rasmussen JP, Holland PT, Campbell R, Crowe AL. First report of the cyanotoxin anatoxin-a from *Aphanizomenon issatschenkoi* (cyanobacteria) [J]. Journal of Phycology, 2007, 43(2): 356~365.
- [22] 潘倩倩. 束丝藻中鱼腥藻毒素合成的分子基础研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2013.
- [23] 刘金福,胡切,段雪珂,等. 长孢藻(*Dolichospermum*)丝体长度与丰度的变化关系及其水华指示作用[J]. 生态环境学报, 2016, 25(3): 496~502.

编辑:唐少龙

A Discussion on diversity of bloom – forming cyanobacteria in Aixi Lake

YANG Ping, DAI Guofei, FANG Yuanyuan, ZHONG Jiayou

(Jiangxi Institute of Water Sciences, Jiangxi Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment of Poyang Lake, Nanchang 330029, China)

Abstract: Morphological and taxonomic character of bloom – forming cyanobacteria in Aixi Lake were first reported in this study. The community characteristics and diversity of bloom – forming were analyzed. The distribution of these cyanobacteria in China and toxin producing ability were discussed. Several cyanobacteria – blooms were found in different area of Aixi Lake in 2016, cyanobacteria became the absolutely dominant species, while the diversity of phytoplankton decreased. This phenomenon gave rise to the inhibition in the reproduction of other phytoplankton. Samples were obtained and analyzed by microscope. 7 dominant bloom – forming cyanobacteria were identified in the samples, they were *Microcystis wesenbergii*, *Microcystis novacekii*, *Planktothrix isothrix*, *Planktothrix spiroides*, *Planktothricoides raciborskii*, *Cuspidothrix issatschenkoi*, *Dolichospermum compacta*. The diversity of bloom – forming cyanobacteria was high in the Aixi Lake. Remarkable seasonal succession of dominant bloom – forming cyanobacteria was found in Aixi Lake, *Microcystis* is the dominant bloom – forming species in spring; *Planktothrix spiroides* and *Planktothricoides raciborskii* were dominant species in summer. Several species of bloom – forming cyanobacteria in Aixi Lake can produce microcystins and neurotoxins etc. , indicating that severe threat in water security of Aixi Lake will be caused by these species.

Key words: Aixi Lake; Bloom – forming cyanobacteria; Diversity; Taxonomic character

翻译: 杨 平

长江防总督导组来赣督导江西省长江崩岸应急整治工作

6月1~2日,由长江委水利水电总公司副总经理刘少林率队的长江防总督导组一行3人来赣督导检查江西省长江崩岸应急整治工作。江西省水利厅副巡视员祝水贵,省防汛抗旱总指挥部办公室和九江市、瑞昌市、彭泽县政府及有关单位负责人先后陪同检查。

工作组一行先后赴瑞昌市、彭泽县实地察看崩岸应急整治工作,听取了省、市、县有关工作情况汇报。

刘少林对江西省崩岸应急整治工作进展情况给予充分肯定。他指出,江西省高度重视长江崩岸应急整治工作,不等不靠,多措并举,抓的早,抓的实,行动快,崩岸应急整治工作进展顺利。

刘少林强调,崩岸整治属隐蔽工程,各地要切实加强督导,强化施工管理,强化质量控制,确保崩岸应急整治工作保质保量完成。

江西省2017年长江崩岸应急整治共3处,分别为瑞昌市梁公堤4+500至4+800段、彭泽县芙蓉大堤太字段1+325~1+525和太字段1+725~1+985,整治长度为760m,守护长度760m,采用应急整治措施为抛石固脚护岸,计划抛石方量为23 093 m³。整治工程于5月29日开工,计划6月20日完工。截止6月2日,已完成抛石10 693 m³,占总抛石量的46%。

(江西省防汛抗旱总指挥部办公室 严 义)