

文章编号:1001-5485(2012)02-0006-05

# 汉江水华硅藻生物学特性初步研究

殷大聪<sup>1,2</sup>, 黄薇<sup>2</sup>, 吴兴华<sup>3</sup>, 宋立荣<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;

2. 长江科学院水资源综合利用研究所, 武汉 430010; 3. 湖北省环境科学研究院, 武汉 430072)

**摘要:**为探寻汉江中下游早春硅藻水华频繁暴发的原因,于2010年早春硅藻水华暴发的前期,对取自汉江的原水样,从水流速度、光照强度和水体温度3个方面研究了水华硅藻——汉斯冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)的生物学特性。研究表明:在试验设定的流速范围内(0~0.5 m/s),汉江水华硅藻生长状况良好,在2℃环境条件下长势较好;15 μE/(m<sup>2</sup>·s)和25 μE/(m<sup>2</sup>·s)两组光强条件下培养的冠盘藻密度没有显著性差异,表明春季汉江流速偏低和适宜的气候条件是汉江早春硅藻水华频繁暴发的主要诱发因子;汉江水体中的营养盐浓度足以满足硅藻快速增殖的需要而形成水华,显示了汉江近年来污染负荷较重。

**关键词:**水华;汉江;硅藻水华;冠盘藻

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A

## 1 研究背景

自上个世纪90年代以来,汉江中下游干流及支流早春硅藻水华频繁发生,从2000年至今,已陆续报道了7次较为严重的早春硅藻水华,汉江中下游早春硅藻水华的暴发频率似乎有逐渐加剧的趋势。

已有的文献报道显示,汉江硅藻水华的暴发与春季枯水期水流速度低有关。卢大远等<sup>[1]</sup>对汉江水华发生提出了水华的“指示因子”,他认为:当水体流速≤0.8 m/s,流量≤500 m<sup>3</sup>/s,水温≥10℃,pH≥8.0,DO≥12 mg/L的时候,可以作为汉江水华暴发的“警戒值”;陈根祥等<sup>[2]</sup>通过分析研究1992年、1998年、2000年汉江发生水华的年份和未发生水华的年份的汉江相关水文站点的水位、流量,也提出了相应的水文预警参数。

一直以来,针对汉江水华硅藻的生物学研究都是以小环藻为研究对象<sup>[3-5]</sup>,研究对象的错误导致了研究结果的应用失当和解释的错位。郑凌凌等<sup>[6]</sup>通过电子显微技术和现代分子技术,对汉江水华硅藻的分类地位进行了深入的研究鉴定,认为汉江早春水华硅藻为冠盘藻属(*Stephanodiscus* sp.),并在此基础上,对2010年汉江水华硅藻的分类地位作了种的鉴定,认为2010年春季汉江水华硅藻优势种为汉斯冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)。

以往针对汉江水华硅藻的生物学特性研究很少,仅有的一些研究结果是以分离自东湖的小环藻为试验对象开展的,而针对冠盘藻的生物学特性的研究国内至今还未见报道,因此,开展汉江早春水华硅藻优势种——汉斯冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)的生物学特性研究显得尤为必要,这对分析汉江早春硅藻水华爆发的原因,寻找解决的途径有积极的意义。鉴于此,2010年汉江冠盘藻水华暴发初期,在室内进行了针对冠盘藻生物学特性的研究,从水体流速、水体温度以及光照强度3个因素研究其对冠盘藻生长繁殖的影响。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验用水样及培养装置

2010年1月24日在汉江武汉宗关段采集300 L水样,带到室内在环形培养槽培养(图1)。环形培养槽的规格为:外环半径为18 cm,内环半径为7 cm,深度30 cm。每个环形培养槽有两扇搅拌叶,搅拌叶通过中间的传动杆与调速电机相连,6套环形培养槽的电机与各自的变速器相连接,通过调节变速器来控制搅拌叶的转速,从而控制水流速度,试验设计如表1。

2010年2月7日,采集自汉江宗关段的原水样,带回室内置于1 L的烧杯中培养,每个烧杯中注入1 L的汉江原水样,试验设计如表2。

收稿日期:2011-01-27

基金项目:中国科学院创新项目(ZBZX-1);水利部公益性行业科研专项(20090100);中央级公益性科研院所基金项目(CKSF2012023)

作者简介:殷大聪(1973-)男,安徽明光人,工程师,博士,主要从事流域生态学、水电开发生态学效应、藻类生理生态学研究,(电话)027-82926456(电子信箱)dcyin@126.com。

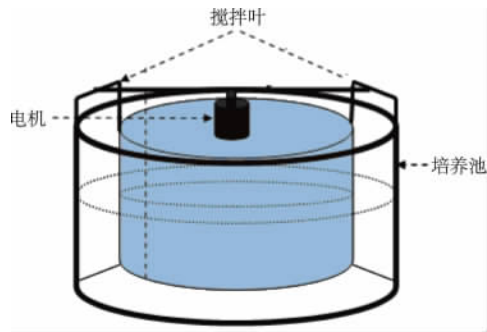


图 1 室内河流模拟装置——环形培养槽

Fig. 1 Annular cultivation tank used in the laboratory for imitating the river hydrological dynamics

表 1 各个环形培养槽的水流速度和光照强度设置  
Table 1 Settings of water velocity and illumination intensity in each annular cultivation tank

培养槽编号	流速/( $m \cdot s^{-1}$ )	光强/( $\mu E \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$ )
槽 1	0.5	15
槽 2	0.4	25
槽 3	0.3	15
槽 4	0.2	25
槽 5	0.1	15
槽 6	0.0	25

注: 其中 6 号槽的流速为 0, 为了保证水体的混合均匀, 每 3 h 搅拌水体 1 次, 每次搅拌 5 min。

表 2 水体流动性及水体温度对冠盘藻生长影响的试验设置

Table 2 Settings of water velocity and water temperature in each beaker for the experiment of *Stephanodiscus hantzschii* growth

烧杯编号	水温/ $^{\circ}C$	电磁搅拌
A1	2	静置
A2	2	静置
B1	7	搅拌
B2	7	静置
C1	15	搅拌
C2	15	静置

注: A 组烧杯侧壁的光照强度都为  $25 \mu E / (m^2 \cdot s)$ 。

从汉江宗关采集来的水样, 用网孔直径为 1.5 mm 的纱网滤去水中较大的颗粒漂浮物后(浮游植物及浮游动物不会被滤去), 不添加任何外源营养物质, 直接将取自汉江的原水注入到环形培养槽中, 每个环形培养槽中水的深度都控制在 28 cm。

## 2.2 试验方案设计

### 2.2.1 光照和流速对冠盘藻生长的影响试验设计

试验过程中水体的流速、光照设置如表 1 所示, 试验期间, 水温控制在  $6^{\circ}C$ , 光暗周期为 12 h: 12 h。

### 2.2.2 水温对冠盘藻生长的影响试验设计

取 6 只 1 L 的大烧杯, 每只烧杯中注入 1 000 mL 的汉江原水样, 利用温控生化培养箱进行培养, 温度分别设置了  $2, 7, 15^{\circ}C$  的 3 个温度梯度, 试验设置如表 2 所示, 水体的搅动采用磁力搅拌子搅拌, 搅拌的速度设置在 10 转/s, 以期达到充分搅拌, 光暗周期为 12 h: 12 h。

### 2.3 样品的分析处理

不定期对这 6 个环形培养槽及 6 只烧杯取样, 每次取水样 5 mL, 加入 1 滴鲁哥氏液固定后进行显微计数; 每次取样之前, 把各个槽(烧杯)的水样进行充分的搅动, 以达到水中藻体均匀分布。

营养盐的测定: 溶解性总氮(STN)、溶解性总磷(STP)和溶解性硅(SSi)的测定方法参照国家环保部颁布的国标方法进行。

## 3 试验结果

### 3.1 光强和流速对汉江水华硅藻生长的影响

从 2010 年 1 月 24 日采自汉江的原水在不同的流速和光照条件下进行培养发现, 经过 7 d 的培养后, 到 1 月 31 日(图 2), 6 个环形培养槽中的冠盘藻的密度由最初的  $6.81 \times 10^6$  个/L, 增加到平均密度为  $29.00 \times 10^6$  个/L(密度范围为  $28.35 \times 10^6 \sim 31.48 \times 10^6$ ) 形成了较为严重的硅藻水华(藻体密度大于  $1.0 \times 10^7$  个/L), 13 d 之后(2 月 7 日), 6 个培养槽中的冠盘藻的密度都达到了密度峰值, 平均

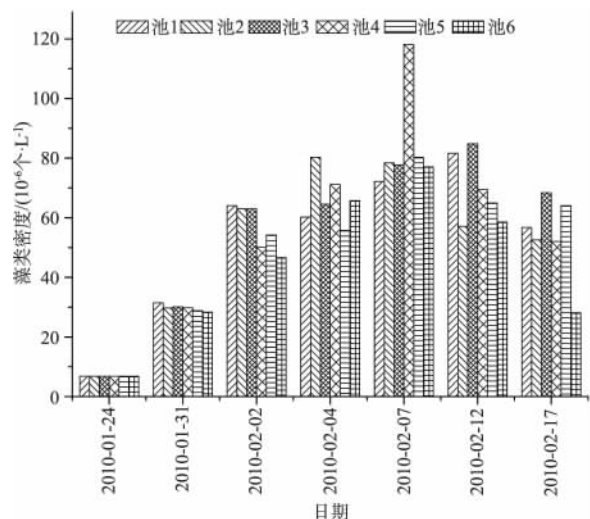


图 2 环形培养槽原江水培养的藻类密度的变动情况  
Fig. 2 Changes of phytoplankton abundance in unamended river water sample in six annular cultivation tanks

密度为  $83.98 \times 10^6$  个/L(密度范围为  $72.18 \times 10^6 \sim 118.17 \times 10^6$ ) ,水色呈现黑褐色,第4个环形培养槽(光强:  $25 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  ,流速:  $0.2 \text{ m/s}$  的环境下)中的冠盘藻的密度最高,达到了  $118.17 \times 10^6$  个/L;而后随着时间的延长,冠盘藻的密度开始下降,到试验结束时2月17日(23 d之后),6个环形培养槽中的冠盘藻的平均密度仍然达到  $5.30 \times 10^7$  个/L。

### 3.2 汉江水华硅藻在不同温度和搅动条件下生长状况研究

采集自汉江的原水样在室内进行了不同温度条件下培养试验,实验过程中冠盘藻的生长状况如图3所示,在初始藻密度一致的条件下,经过9 d的培养,7℃静置培养的烧杯(B2)中藻密度最高,达到了  $75.79 \times 10^6$  个/L;在15℃静置培养环境下(C2)冠盘藻的密度明显高于同温度下搅拌培养(C1)。培养进行到第14 d,处于2℃环境下培养的冠盘藻的密度明显高于15℃(C1,C2),略高于7℃静置培养(B2)条件下的冠盘藻的密度。

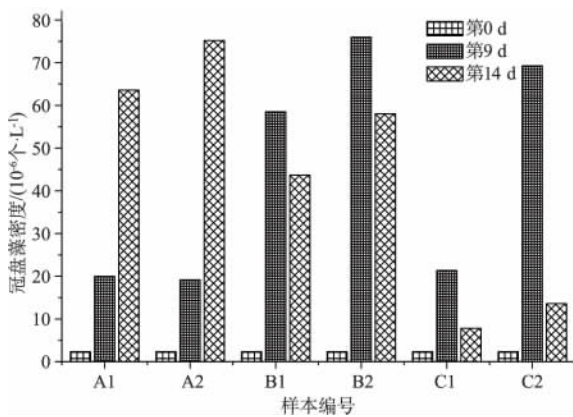


图3 不同温度条件和搅拌作用下冠盘藻的生长状况

Fig.3 *Stephanodiscus hantzschii* abundances in different water temperatures and different flow velocities

### 3.3 环境因子与藻类密度之间的相关关系

在室内进行的环形培养槽实验中,  $15 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $25 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  两组光照条件对冠盘藻生长影响不显著( $p > 0.05$ ),在  $0 \sim 0.5 \text{ m/s}$  的不同的搅拌速度培养条件下对冠盘藻生长影响没有显著差异( $p > 0.05$ )。

在不同的温度条件下,温度与冠盘藻的密度呈一定的负相关,但相关关系不明显(Pearson  $r = -0.180$ ,  $p = 0.475$ )。冠盘藻的密度与溶解性总氮和溶解性总磷呈显著的负相关关系(Pearson  $r = -0.570$ ,  $p = 0.013$ , Pearson  $r = -0.574$ ,  $p = 0.013$ ),与溶解性硅呈极显著的负相关关系(Pearson  $r = 0.600$ ,  $p = 0.009$ )。

表3 藻体密度与理化因子之间的相关性关系

Table 3 Correlations between phytoplankton density and physico-chemical parameters

		冠盘藻 密度	溶解性 总氮	溶解性 总磷	溶解性 硅	水温
冠盘藻 密度	Pearson 相关	1				
	显著性(两尾)					
	样本数(个)	18				
溶解性 总氮	Pearson 相关	-0.57	1			
	显著性(两尾)	0.013				
	样本数	18	18			
溶解性 总磷	Pearson 相关	-0.574	0.923	1		
	显著性(两尾)	0.013	0			
	样本数	18	18	18		
溶解性 硅	Pearson 相关	-0.6	0.989	0.952	1	
	显著性(两尾)	0.009	0	0		
	样本数	18	18	18	18	
水温	Pearson 相关	-0.18	-0.07	-0.089	-0.053	1
	显著性(两尾)	0.475	0.781	0.725	0.834	
	样本数	18	18	18	18	18

## 4 讨论

近年来,世界各地水华事件频繁发生。世界最大规模的三峡工程建成蓄水后不久,在库区及其支流已多次报道了严重的水华事件<sup>[7-9]</sup>;汉江中下游自上个世纪90年代以来,已发生7次影响较大的早春硅藻水华事件。况琪军等<sup>[3]</sup>研究认为,汉江中下游水体中丰富的氮磷营养是导致硅藻大量繁殖形成水华的主要原因;陈根祥等<sup>[2]</sup>通过研究汉江早春期间的水文因素,认为汉江冬春季适应的水文条件的变化是水华发生的主要因素之一,并从水文角度提出了汉江水华的预警水位和流量,另外还指出较高的长江水位对汉江武汉段产生了明显的顶托作用;王红萍等<sup>[10]</sup>等利用模型研究了水文因素对藻类水华的作用机理;殷大聪等<sup>[11]</sup>从种源来源的角度分析了汉江中下游早春硅藻水华暴发的原因。以上这些研究为汉江早春硅藻水华预防控制提供了科学指导。

然而,自上个世纪90年代以来的20多年里,报道了7次大规模的汉江早春硅藻水华事件,针对汉江早春水华硅藻的生物学特性的研究国内至今却未见报道。从我们的研究结果来看,汉江早春水华硅藻——汉斯冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)对低温有着较好的耐受性;Ha等研究了韩国Nakdong河流中藻类的季节演替规律发现,冠盘藻在  $3 \sim 10^\circ\text{C}$  的温度范围内都是其适宜的生长温度区间<sup>[12]</sup>,这与我们的研究结果相一致。从流速对冠盘藻生长的影响结

果看 在试验设定的流速范围内(0~0.5 m/s) 冠盘藻的生长繁殖速率无明显差异,在2010年水华期间 通过对发生硅藻水华的河段进行了流速现场测定 发现水华发生的河段 水体流速范围波动较大,在0~0.76 m/s 流速河段内 都有水华发生,这就解释了汉江中下游硅藻水华为何总是发生在冬春季节 因为这期间汉江正处于枯水期,流量流速都较低 水温也是一年中最低的时期 适宜的气候和水文条件触发了汉江早春硅藻水华的暴发。

在本试验过程中发现 硅元素的浓度与冠盘藻的密度之间有着极显著的相关关系,说明硅元素在硅藻的生长过程中有着非常重要的作用。早在1979年,日本学者Tsunogai<sup>[13]</sup>对硅元素在春季硅藻水华中的作用提出了硅元素地位假说,指出在春季期间,各种营养盐都充足的条件下,硅藻就会成为优势竞争类群而导致硅藻水华;该作者还指出,在海洋中,硅壳中的硅与磷的原子之比远大于海水中的比例,当海水中的硅几乎被硅藻消耗殆尽的时候,鞭毛藻就会取代硅藻而成为优势类群,这一结论也适用于解释汉江早春硅藻水华发生的原因,由于水体中硅元素含量较高,使得硅藻在生长竞争中处于有利地位而成为优势种群,最终导致水华的发生,加上汉江水华发生期,汉江流域处于冬春季节,水温较低,浮游动物的生长繁殖受到抑制,使得硅藻的被摄食压力减小,随着水温的升高,浮游动物增殖加快,增加了对硅藻的摄食压力,促进硅藻水华的消亡。

以往的研究结果认为,当水温为7~15℃左右,水流速度低于0.7 m/s的时候是汉江水华发生的临界阈值,而本研究结果显示,冠盘藻水温为2℃左右生长繁殖良好,与15℃条件下无显著差别,这显示了冠盘藻对低温环境有着较好的适应性。此外,通过采集汉江水华初期的原水样在室内培养的结果表明,汉江水体中的营养盐浓度在短时间内足以满足硅藻快速增殖而形成水华的需要,表明了近年来汉江水体的富营养化形势较为严峻。

#### 参考文献:

- [1] 卢大远,刘培刚,范天俞,等. 汉江下游突发“水华”的调查研究[J]. 环境科学研究,2000,13(2): 28-31. (LU Da-yuan, LIU Pei-gang, FAN Tian-yu, *et al.* The Investigation of “Water Bloom” in the Downstream of the Hanjiang River [J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(2): 28-31. (in Chinese))
- [2] 陈根祥,胡高平,张德兵. 汉江发生“水华”的水文因素[J]. 长江职工大学学报,2002,19(1): 57-58. (CHEN Gen-xiang, HU Gao-ping, ZHANG De-bing. Hydrographic Factors of Water Bloom in the Hanjiang River [J]. Journal of Changjiang Vocational University, 2002, 19(1): 57-58. (in Chinese))
- [3] 况琪军,谭渝云,万登榜,等. 汉江中下游江段藻类现状调查及“水华”成因分析[J]. 长江流域资源与环境,2000,9(1): 63-70. (KUANG Qi-jun, TAN Yu-yun, WAN Deng-bang, *et al.* On the Phytoplankton in the Middle and Lower Reaches of the Hanjiang River and the Prevention of Water Blooms [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000, 9(1): 63-70. (in Chinese))
- [4] 王桂荣. 汉江“水华”成因分析及防治[J]. 城市环境,2002,16(5): 37-38. (WANG Gui-rong. Hanjiang River Algae Boom Cause Analysis and Prevention [J]. Municipal Environment, 2002, 16(5): 37-38. (in Chinese))
- [5] 唐友尧,王桂荣. 汉江“水华”成因分析及防治[J]. 重庆环境科学,2001,23(5): 21-23. (TANG You-rao, WANG Gui-rong. Hanjiang River Algae Bloom Cause Analysis and Prevention [J]. Chongqing Environmental Sciences, 2001, 23(5): 21-23. (in Chinese))
- [6] 郑凌凌,宋立荣,吴兴华,等. 汉江硅藻水华优势种的形态及18S rDNA序列分析[J]. 水生生物学报,2009,33(3): 562-564. (ZHENG Ling-ling, SONG Li-rong, WU Xing-hua, *et al.* Analysis of Morphology and 18S rDNA Gene from the Causative Species Related Diatom Bloom in Hanjiang River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(3): 562-564. (in Chinese))
- [7] 汤宏波,刘国祥,胡征宇. 三峡库区高岚河甲藻水华的初步研究[J]. 水生生物学报,2006,30(1): 47-51. (TANG Hong-bo, LIU Guo-xiang, HU Zheng-yu. Preliminary Research on the Algal Bloom of Peridiniopsis sp. in Gaolan River of the Three Gorges Reservoir [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(1): 47-51. (in Chinese))
- [8] ZENG H, SONG L R, YU Z G, *et al.* Distribution of Phytoplankton in the Three-Gorge Reservoir During Rainy and Dry Seasons [J]. Science of the Total Environment, 2006, 367(2/3): 999-1009.
- [9] 曾辉,宋立荣,于志刚,等. 三峡水库“水华”成因初探[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(3): 336-339. (ZENG Hui, SONG Li-rong, YU Zhi-gang, *et al.* Preliminary Study on Algal Blooms within the Three Gorges Reservoir [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(3): 336-339. (in Chinese))
- [10] 王红萍,夏军,谢平,等. 汉江水华水文因素作用机理[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(3): 282-285. (WANG Hong-ping, XIA Jun, XIE Ping, *et al.* Mechanisms for Hydrobiological Factors Causing Algal

- Blooms in Hanjiang River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(3): 282 - 285. (in Chinese)
- [11] 殷大聪, 郑凌凌, 宋立荣. 汉江中下游早春冠盘藻 (*Stephanodiscus hantzschii*) 水华暴发过程及其成因初探[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(4): 451 - 458. (YIN Da-cong, ZHENG Ling-ling, SONG Li-rong. *Stephanodiscus Hantzschii* Bloom in the Hanjiang River: Spatio-Temporal Distribution and Possible Driving Forces [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(4): 451 - 458. (in Chinese))
- [12] HA K, KIM H, JOO G. The Phytoplankton Succession in the Lower Part of Hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea [J]. Hydrobiologia, 1998, 369: 217 - 227.
- [13] TSUNOGAI S. Dissolved Silica as the Primary Factor Determining the Composition of Phytoplankton Classes in the Ocean [J]. Bulletin Faculty Fisheries Hokkaido University, 1979, 30: 314 - 322.

(编辑: 赵卫兵)

## Preliminary Study on Biological Characteristics of Spring Diatom Bloom in the Hanjiang River

YIN Da-cong<sup>1,2</sup>, HUANG Wei<sup>2</sup>, WU Xing-hua<sup>3</sup>, SONG Li-rong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Water Resources Department, Yangtze River Science Research Institute, Wuhan 430010, China; 3. Hubei Academy of Environmental Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** To explore the causes of early-spring diatom bloom in the middle and lower reaches of Hanjiang River, we took unamended water sample from Hanjiang River before the diatom bloom in the early spring of 2010 to study the biological characteristics of *Stephanodiscus hantzschii* in terms of water velocity, illumination intensity and water temperature. The results indicated that *Stephanodiscus hantzschii* adapted well to water velocity of 0 - 0.5 m/s, and could grow well in the water temperature of 2 - 15°C, especially in 2°C. There was no significant difference in the diatom growth abundance when the illumination intensity is of 15 and 25  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . It's concluded that low water velocity and suitable climate are main incentives of diatom bloom outbreak in early spring. It's also pointed out that the eutrophication is becoming serious as nutrients concentration in the Hanjiang River could meet with the demand of water bloom outbreak.

**Key words:** water bloom; Hanjiang River; diatom bloom; *Stephanodiscus hantzschii*

=====

(上接第 5 页)

adjustment projects are key points for the river regulation, and the top priority is to bring forward specific engineering schemes through mathematical modeling and physical modeling tests. It's suggested that diversion works around Xinhokou on the left bank, and plugging works in the string trench between the upper and lower Hejiazhou and Xintan sandbars should be taken as main schemes, with chamfering projects at the tail of Jiangxinzhou sandbar as auxiliary works. Due to the urgency and effectiveness of these works, it is strongly suggested that relevant government agencies should conduct preliminary works as soon as possible to help implement the regulation projects at an early date to stabilize the river channel.

**Key words:** Ma'anshan river reach; evolution characteristics; river regulation; river regime stabilization