

# 京杭运河常州老运河段底栖动物多样性研究

张 皓<sup>1,2</sup>, 徐东炯<sup>1,2</sup>, 张 翔<sup>1,2</sup>, 曹志俊<sup>1</sup>

(1. 江苏省环境保护水环境生物监测重点实验室, 常州 213001;

2. 江苏省常州市环境监测中心, 常州 213001)

**摘要:**为探究常州段底栖动物的多样性和变化趋势,进一步开展河道生态监测与水质评价,通过连续多年对京杭运河常州老运河段底栖动物的调查,分析其群落结构分布特征和变化规律,采用 Shannon-Wiener 指数、BI 指数对河段的底栖动物多样性进行评价,并利用污染生物效应指数(BPI)对水质进行评价。结果表明,常州段上游的底栖动物种类最多、种群丰富度最高、群落完整性最好、多样性状况最好、生态污染效应最小,中游次之,下游最差,底栖动物多样性正逐年得到恢复;2009-2013年,常州段的污染生物效应指数逐年上升,污染效应逐年下降,污染程度逐年减轻,由此说明该河段的水质正逐年得到改善,生态环境逐步好转。

**关键词:**底栖动物;生物多样性;京杭运河常州段

**中图分类号:**Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2014)04-0022-07

底栖动物是河流生态系统重要的组成部分,由于其个体较大、寿命长、活动能力和活动范围较小、群落结构比较稳定、对环境条件反应敏感,可综合反映出污染物对环境和生物产生的影响;因此,利用底栖动物进行水质监测,不但能较好地反映一段时间内水质的变化情况,还能反映出水体中各种污染物协同与拮抗作用的结果,即各种污染物的综合毒性,从而为污染防治和生物多样性保护提供有价值的参考依据 (Green & Vascatto, 1978; Abmitage et al, 1983; Walley & Hawkes, 1996; 刘缠民和冯照军, 2008; 王亚超等, 2013)。京杭大运河是我国从南至北沟通钱塘江、太湖、长江、淮河、黄河、海河流域的大动脉,江苏段是整个南水北调东线的重要通道,也是工农业生产用水和城市排水的重要河道 (冯启言等, 2002; 王备新等, 2007)。刘缠民和冯照军 (2008) 利用底栖动物多样性对江苏地区京杭运河上游徐州段的水质进行了评价,共发现了 24 种底栖动物,以寡毛类为优势种,水质整体评价为中污染;王亚超等 (2013) 通过连续 6 年对江苏地区京杭运河下游苏州段的底栖动物进行了调查,共发现底栖动物 12 种,以寡毛类为优势种,且上游和中游的底栖动物种类数量均要多于下游和老城区河段。

为了更好地了解京杭运河底栖动物的整体情况,探究其在河流生态系统中的演替规律,评价人类活动对底栖动物的影响,同时为水环境保护与水质评价积累基础资料,本次研究通过连续多年对京杭运河中游常州老运河段底栖动物的调查,分析其群落结构特征与变化规律,采用相关生物学指数对河段底栖动物多样性和水质进行评价。

## 1 方法

### 1.1 点位设置

京杭运河常州段原长约 44.5 km,随着常州市区改线段工程于 2009 年末竣工验收,整个京杭运河常州段就形成了老运河和新运河并存的河道格局。本次研究主要针对近年来污染较为严重的老运河段展开。经过现场勘查,最终在河道上、中、下游各设 1 个调查点位,分别是位于上游的新河口、中游的水门桥和下游的横洛涧,具体点位分布见图 1。



图 1 京杭运河常州老运河段调查点位

Fig. 1 Investigation sites in Changzhou section of Beijing-Hangzhou Canal (the old section of the canal)

收稿日期:2014-03-26

基金项目:国家水体与污染治理科技重大专项 (2012ZX07506-003, 2012ZX07301-007);江苏省环境监测科科研基金 (1313);常州市科技支撑计划项目 (CE20125009)。

作者简介:张皓,1984年生,男,硕士,主要从事生物多样性和生态毒理方面的研究工作。Email: mrcool19840608@163.com

## 1.2 采样调查

调查历时5年,从2009年开始到2013年结束;期间每隔1年对该河段底栖动物进行1次调查,即分别在2009年、2011年和2013年对京杭运河常州老运河段的调查点位进行底栖动物采样,在当年的5月和9月各开展1次。定量采样工具采用改良彼得生采泥器(1/16 m<sup>2</sup>),以40目分样筛过滤后,将底栖生物捞出,装入样本瓶中。每点连续采集2次。样品带回室内后,在解剖镜和显微镜下进行活体种类鉴定,以分析天平称重。定性采集使用三角拖网,方法同定量分析(金相灿,1990;张觉民,1991;国家环境保护总局,2002)。

## 1.3 评价指数

采用物种分类单元数、Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、BI指数( $B$ )对各采样点的底栖动物进行分析(钱迎倩和马克平,1994;马克明等,2001;王备新和杨莲芳,2001);并利用污染生物效应指数

(BPI)对河段水质进行评价。

$$\text{Shannon-Wiener 指数: } H' = - \sum_{i=1}^s P_i \cdot \log P_i$$

$$\text{BI 指数: } B = \sum_{i=1}^s P_i \times B_i \quad P_i = N_i / N$$

式中: $P_i$ 代表第*i*个物种的相对多度或相对显著度; $N$ 代表所有物种的个体数之和; $N_i$ 代表第*i*个物种的个体数, $B_i$ 为第*i*种的耐污值(张跃平,2006)。一般情况下, $H'$ 值越大,多样性越高; $B$ 值越大,污染生态效应越重,环境生态状况越差。

污染生物效应指数(BPI) = (Shannon-Wiener多样性指数得分 + BI指数得分 + 颤蚓密度指数得分) / 3

各指数具体得分参照表1确定(常州市环境保护局,2013)。BPI分值越高,说明污染生物效应越轻,水质受污染程度越低;其等级划分、评分范围及分级标准见表2(常州市环境保护局,2013;王亚超等,2013)。

表1 污染生物效应指数计算分值

Tab. 1 Scores of biological effects index of pollution (BPI)

指 数	分 值				
	4	3	2	1	0
Shannon-Wiener	>3.0	3.0~2.0	2.0~1.0	1.0~0	无大型无脊椎动物存在
BI	<5.50	5.50~6.60	6.61~7.70	7.71~8.80	>8.80
颤蚓密度/个·m <sup>-2</sup>	有其他大型无脊椎动物			只有颤蚓类	无大型无
	<100	100~1000	>1000	生物存在	脊椎动物存在

表2 污染生物效应等级划分、评分范围及分级标准

Tab. 2 Score range and grading standards of biological effects of pollution

生物效应等级	无污染	轻污染	中污染	重污染	严重污染
水质污染程度	清洁	轻污染	$\alpha$ -中污染	$\beta$ -中污染	重污染
评分范围	>3	2~3	1~2	0~1	0

## 2 结果与分析

### 2.1 底栖动物群落结构

通过连续3年的调查,京杭运河常州老运河段共发现底栖动物26种,其中环节动物(寡毛类)7种,占总种类数的26.9%,水生昆虫9种,占34.6%,软体动物7种,占26.9%,甲壳动物3种,占11.5%(表3)。从各调查点位情况来看,上游新河口断面共发现底栖动物18种,其中环节动物(寡毛类)5种,水生昆虫7种,软体动物3种,甲壳动物3种;中游水门桥断面共发现底栖动物13种,其中环节动物(寡毛类)6种,水生昆虫3种,软体动物4种;下游横洛涧断面共发现底栖动物4种,均为环节动物(寡毛类)。由此可见,常州上游河段的底栖动物数量最多,种类最丰富,群落完整性最好,中游河段次之,下游河段最差。

从空间上对京杭运河常州老运河段的底栖动物群落进行比较(表4),发现位于上游的新河口底栖动物物种数明显高于中游和下游,且种群丰富程度更高,群落结构更为合理;位于中游的水门桥底栖动物物种数低于上游但高于下游,种群丰富度较上游有所下降,部分种群常年缺失,群落结构完整性较差;而位于下游的横洛涧底栖动物物种数在3个调查点位中最低,种群极度单一,群落结构极不完整。造成这一结果的原因可能是运河常州段上游来水水质相对较好,周边主要以村庄农田为主,受到工业和生活污染的影响较小,生境条件保持较好;而随着河道的延伸,中游和下游河段沿岸的工业和城镇建筑逐步密集,加上来自城区支浜河水的汇入带来了大量的生活污染物,对河道形成极大的冲击,导致水质污染逐渐加重,生境条件逐步恶化,底栖动物群落的多样性遭到破坏(张跃平,2006)。

从时间上对京杭运河常州老运河段的底栖动物群落进行比较(表4),2009年运河常州段共发现底栖动物6种,其中环节动物(寡毛类)4种,软体动物2种;2011年共发现底栖动物12种,其中环节动物(寡毛类)3种,水生昆虫4种,软体动物4种,甲壳动物1种;2013年共发现底栖动物16种,其中环节动物(寡毛类)5种,水生昆虫6种,软体动物3种,

甲壳动物2种。2009-2013年各调查点位的优势种均为霍甫水丝蚓,优势度为58.0%~100%。随着时间的推移,运河常州段底栖动物物种数量呈显著上升趋势,同时新发现的物种多数为软体动物和水生昆虫,说明常州段的底栖动物群落正在逐步恢复,在一定程度上反映出这一时期的水质正逐步得到改善。

表3 各调查点位2009-2013年的底栖动物种类

Tab. 3 Species composition of zoobenthos in each investigation site during different years

底栖动物	新河口			水门桥			横洛涧		
	2009	2011	2013	2009	2011	2013	2009	2011	2013
环节动物									
霍甫水丝蚓( <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> )	+	+	+	+	+	+	+	+	+
克拉泊水丝蚓( <i>Limnodrilus claparedianus</i> )		+	+		+	+			+
巨毛水丝蚓( <i>Limnodrilus helveticus</i> )	+			+	+				+
奥特开水丝蚓( <i>Limnodrilus udekemianus</i> )	+								
苏氏尾鳃蚓( <i>Branchiura sowerbyi</i> )	+			+					
颤蚓( <i>Tubifex</i> sp.)							+		+
多毛管水蚓( <i>Aulodrilus plurisetia</i> )							+		
水生昆虫									
苍白摇蚊( <i>Chironomus pallidivittatus</i> )		+							
羽摇蚊( <i>Chironomus plumosus</i> )			+				+		
细长摇蚊( <i>Chironomus attenuatus</i> )			+						
隐摇蚊属1种( <i>Cryptochironomus</i> sp.)		+							
小摇蚊属1种( <i>Microchironomus</i> sp.)		+							
强壮二叉摇蚊( <i>Dicrotendipes nervosus</i> )		+	+						
梯形多足摇蚊( <i>Polypedilum scalaenum</i> )			+						
直突摇蚊属1种( <i>Orthocladius</i> sp.)							+		
前突摇蚊属1种( <i>Procladius</i> sp.)							+		
软体动物									
椭圆萝卜螺( <i>Radix swinhoei</i> )		+							
铜锈环棱螺( <i>Bellamya aeruginosa</i> )				+	+				
梨形环棱螺( <i>Bellamya purificata</i> )					+		+		
长角涵螺( <i>Alocinma longicornis</i> )					+				
淡水壳菜( <i>Limnoperna lacustris</i> )	+								
大沼螺( <i>Parafossarulus eximius</i> )							+		
具角无齿蚌( <i>Anodonta angula</i> )			+						
甲壳动物									
米虾属1种( <i>Caridina</i> sp.)		+							
钩虾科1种( <i>Gammarus</i> sp.1)			+						
钩虾科1种( <i>Gammarus</i> sp.2)			+						

表4 各调查点位2009-2013年底栖动物的群落状况

Tab. 4 Community condition of zoobenthos in each investigation site from 2009 to 2013

指标	新河口			水门桥			横洛涧		
	2009	2011	2013	2009	2011	2013	2009	2011	2013
总物种单元	5	8	9	4	6	9	1	1	4
环节动物	4	2	2	3	3	4	1	1	4
水生昆虫	0	4	4	0	0	3	0	0	0
软体动物	1	1	1	1	3	2	0	0	0
甲壳动物	0	1	2	0	0	0	0	0	0
优势度/%	98.1	58.0	79.8	98.9	90.2	79.0	100	100	93.5

注:均以优势种霍甫水丝蚓计算优势度。

Note: *Limnodrilus hoffmeisteri* are considered as the dominant species to calculate the degree of dominance in each investigation site.

## 2.2 底栖动物多样性

根据调查结果计算各点位2009-2013年底栖动物的Shannon-Wiener多样性指数、BI指数,并从

时间和空间上进行比较(图2-5)。各调查点位空间上的比较结果显示,Shannon-Wiener多样性指数表现为:新河口>水门桥>横洛涧;BI指数为:新河

口 < 水门桥 < 横洛涧;说明位于上游的新河口底栖动物多样性状况最好,污染生态效应最轻,环境生态条件相对最好;中游的水门桥次之,下游的横洛涧底栖动物多样性最差,污染生态效应最重,环境生态条件最恶劣。而时间上的比较结果表明,2009 - 2013年京杭运河常州段底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数呈逐年上升趋势,而 BI 指数呈逐年下降趋势;说明运河常州段的底栖动物多样性正在逐步恢复中,污染生态效应也在逐步减轻,整条河道的环境生态条件正逐渐得到改善。

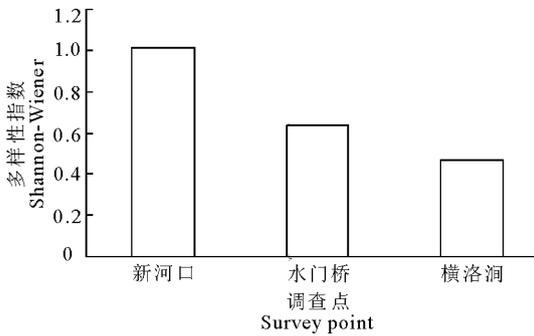


图2 2009 - 2013年京杭运河常州老运河段各调查点 Shannon-Wiener 多样性指数的空间比较

Fig. 2 Comparison of the Shannon-Wiener diversity index of each investigation site in the old canal of Changzhou from 2009 to 2013

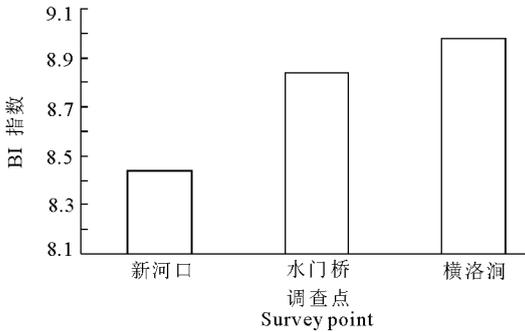


图3 2009 - 2013年京杭运河常州老运河段各调查点 BI 指数的空间比较

Fig. 3 Comparison of the BI index of each investigation site in the old canal of Changzhou from 2009 to 2013

### 2.3 污染生物效应评价

将各调查点位底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数、BI 指数及颤蚓密度相结合,计算出 2009 - 2013 年的污染生物效应指数,据此判断各调查点位的污染生物效应等级和水质污染程度(表 5)。总体上看,各调查点位的污染生物指数逐年上升,污染生物效应则逐年下降,水质污染程度也呈逐年减轻的趋势。

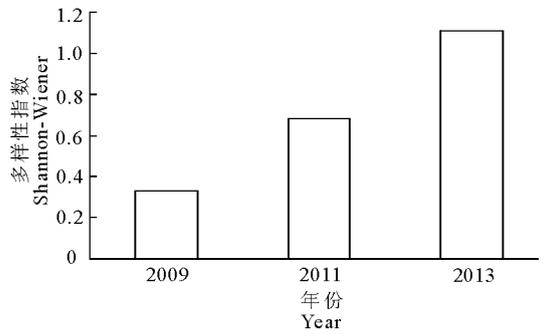


图4 2009 - 2013年京杭运河常州老运河段 Shannon-Wiener 多样性指数的年际变化

Fig. 4 Interannual variation in the Shannon-Wiener diversity index of the old canal of Changzhou from 2009 to 2013

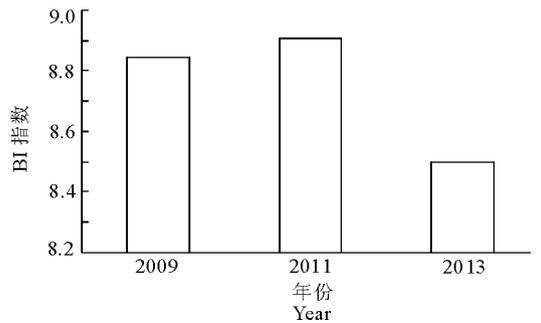


图5 2009 - 2013年京杭运河常州老运河段 BI 指数的年际变化

Fig. 5 Interannual variation in the BI index of the old canal of Changzhou from 2009 to 2013

表5 2009 - 2013年各调查点位污染生物效应评价  
Tab. 5 Evaluation of the biological effects of pollution in each investigation site from 2009 to 2013

调查点位	年份	污染生物效应指数	污染生物效应等级	水体污染程度
新河口	2009	1.33	中污染	$\alpha$ -中污染
	2011	2.17	轻污染	轻污染
	2013	2.00	轻污染	轻污染
水门桥	2009	0.83	重污染	$\beta$ -中污染
	2011	1.67	中污染	$\alpha$ -中污染
	2013	2.17	轻污染	轻污染
横洛涧	2009	0.67	重污染	$\beta$ -中污染
	2011	0.67	重污染	$\beta$ -中污染
	2013	1.00	中污染	$\alpha$ -中污染

从空间上进行比较(表 5、图 6),污染生物效应指数表现为:新河口 > 水门桥 > 横洛涧,其中新河口和水门桥均处在中污染生物效应等级,水质污染程度为  $\alpha$ -中污染;而横洛涧则处在重污染生物效应等级,水质污染程度达到  $\beta$ -中污染;说明整条河段上游的水质最好,生态状况最佳,中游次之,下游的水质最差,生态状况也最差,与前文的结果相互印证,也解释了上游底栖动物物种最丰富、种群丰富度最

高、群落完整性最好、多样性状况最好的成因。

从时间上再进行比较(见表5、图7),2009-2013年京杭运河常州老运河段的污染生物效应指数呈逐年上升的趋势,2009年该河段还处在重污染生物效应等级,水质污染程度为 $\beta$ -中污染;到2011年,河段的污染生物效应已降低了1级,成为中污染生物效应等级,水污染程度也减轻至 $\alpha$ -中污染级别;2013年河段的污染生物效应等级虽未发生变化,但3个点位平均污染生物效应指数却达到1.72,较2011年上升了14.8%,已接近轻污染生物效应等级划分限值(2.0),证明污染生物效应实际上是较2011年有所下降,水污染程度也有所减轻。这一结果说明运河常州段在调查期间的水质正逐年得到改善,其生态条件也在逐步好转,这可能与近年来常州市针对京杭运河持续开展的多项河道整治工程有关联。

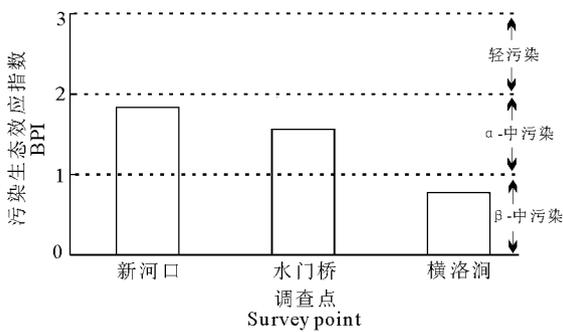


图6 2009-2013年京杭运河常州老运河段各调查点位污染生物效应指数的空间比较

Fig. 6 Comparison of the BPI of each investigation site in the old canal of Changzhou from 2009 to 2013

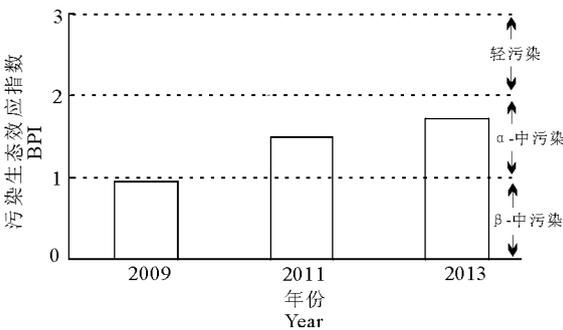


图7 2009-2013年京杭运河常州老运河段污染生物效应指数的年际变化

Fig. 7 Interannual variation in the BPI of the old canal of Changzhou from 2009 to 2013

### 3 讨论

#### 3.1 河道整治对京杭运河常州段的生态作用

自从2009年京杭运河常州市区改线工程顺利

竣工后,整个常州段就形成了老运河和新运河并存的河道格局,其中老运河段因其常年受到沿岸工业城镇的污染,水质条件极差,生态环境迅速恶化,水域生态荒漠化越来越严重。为了彻底改变现状,重新恢复京杭运河常州老运河段的生态环境,常州市从2009年起就针对该河段制定了一系列河道整治方案并迅速加以实施。常州市环保局通过将沿岸直排的工业企业进行接管改造和整治搬迁,大幅减轻了工业污水对原有河道的污染;再通过对中心城区范围内的387家餐饮、200座公厕、13个垃圾中转站、30个居民点的污水实施截流,加强了对生活污染的控制;又通过完善对中心城区的支流截污,大幅削减了入河污水量(常州市环境监测中心站,2010;常州市环境保护局,2011;2012);此外,水利等相关部门还制订了常态换水机制,加大从长江引水力度,增加了该河段的蓄水量,提高了河道水环境容量,并在此基础上建立长效清淤机制,根据不同河段沉积情况确定清淤频次,定期开展清淤工作(张浩,2011)。上述一系列工程项目在近几年的持续开展,对于京杭运河常州段的水质与底质生态条件确实起到了一定的改善作用,降低了水体污染物总量,减轻了水环境的生态负荷,在一定程度上有利于河段生态环境的恢复,进而使底栖动物群落多样性也得到初步恢复。

#### 3.2 通过底栖动物群落建立河道生态评价体系

从调查结果来看,底栖动物种类数、群落构成及多样性与水体的污染程度呈反向趋势,说明底栖动物种类丰富程度可作为评价河道受污染程度的重要生物指标;与刘缠民和冯照军(2008)以及王亚超等(2013)研究结果一致。采用污染生物效应指数(BPI)评价河段的水质生态状况,结果显示京杭运河常州老运河段的上游河段水质最好,生态状况最佳,随着河道延伸,尤其是流经城区之后,水质逐步恶化,生态状态逐渐遭到破坏;此外,从时间变化趋势上看,京杭运河常州段在调查期间的水质正逐年得到改善,河段生态条件也在逐步好转。当然,底栖动物群落变化是一个长期缓慢的过程,要解开底栖动物群落与河道水质和生境条件变化的关联机制和机理,需要长时间的调查研究和大量的数据积累分析;因此,持续开展生态监测和生物多样性评价的研究,对建立河道生态健康评价体系十分重要。

尽管本次调查发现上游河段的底栖动物群落状况较中游和下游要好,且随着时间推移,整个河道的底栖动物群落正呈现恢复趋势,但京杭运河常州老

运河段底栖动物的物种数总体偏低,尤其是清洁型的软体动物和水生昆虫种类较少,同时从上游至下游,各调查点位的优势种均为耐污型寡毛类,且优势度明显,由此说明河道目前的生态环境仍然较差,水污染依旧严重,底栖动物群落状况不容乐观。

#### 参考文献

常州市环境监测中心站. 2010. 京杭运河常州段改线后水环境保护研究[R].

常州市环保局. 2011. 2010年常州市环境质量报告书[R].

常州市环保局. 2012. 2011年常州市环境质量报告书[R].

常州市环保局. 2013. 2012年常州市环境质量报告书[R].

冯启言, 马长文, 何康林, 等. 2002. 京杭运河徐州段水污染趋势预测[J]. 中国矿业大学学报, 31(6): 588 - 591.

国家环境保护总局. 2002. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 710 - 715.

金相灿. 1990. 湖泊富营养化调查规范(第2版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社.

刘缠民, 冯照军. 2008. 京杭大运河徐州段水质底栖动物多样性及BPI评价[J]. 河南科学, 26(9): 1062 - 1065.

马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 2001. 生态系统健康评价: 方法与方向[J]. 生态学报, 21(12): 2107 - 2116.

钱迎倩, 马克平. 1994. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学出版社: 141 - 165.

王备新, 徐东炯, 杨莲芳, 等. 2007. 常州地区太湖流域上游水系大型底栖无脊椎动物群落结构特征及其与环境的

关系[J]. 生态与农村环境学报, 23(2): 47 - 51.

王备新, 杨莲芳. 2001. 大型底栖无脊椎动物水质快速生物评价的研究进展[J]. 南京农业大学学报, 24(4): 107 - 111.

王亚超, 徐恒省, 李继影, 等. 2013. 京杭运河苏州市区段大型底栖动物种群结构特征与评价[J]. 中国环境监测, 29(3): 79 - 83.

张浩. 2011. 常州市老运河氨氮通量分析[J]. 环境监测管理与技术, 23(5): 46 - 49.

张觉民. 1991. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社.

张跃平. 2006. 江苏大型底栖无脊椎动物耐污值、BI指数及水质生物评价研究[D]. 南京: 南京农业大学.

Abmitage P D, Moss D, Wright J K, et al. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites[J]. Water Res, 17(2): 333 - 347.

Green R H, Vascatto G L. 1978. A method for the analysis of environmental factors controlling patterns of species composition in aquatic communities[J]. Water Res, 12(1): 583 - 590.

Walley W J, Hawkes H A. 1996. A computer based reappraisal of the biological monitoring working party scores using data from the 1990 river quality survey of England and Wales[J]. Water Res, 30(9): 2086 - 2094.

(责任编辑 万月华)

## Biodiversity of Zoobenthos in Changzhou Section of Beijing-Hangzhou Canal ( the Old Section of the Canal )

ZHANG Hao<sup>1,2</sup>, XU Dong-jiong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiang<sup>1,2</sup>, CAO Zhi-jun<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Aquatic Biomonitoring, Jiangsu Environmental Protection, Changzhou 213001, P. R. China;

2. Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou 213001, P. R. China)

**Abstract:** The distribution characteristics and variation of zoobenthos community structure in the old canal of Changzhou were analyzed based on the continual investigation in 2009, 2011 and 2013. The diversity of zoobenthos and the water quality in the canal were evaluated through Shannon-Wiener index, biotic index (BI) and biological effects index of pollution (BPI). The results showed that the species richness, community integrity, diversity of zoobenthos community all presented the superiority in the upper reaches of the old canal, with the lightest ecological pollution effect. The middle reaches took the second place, and the lower reaches were the worst. The zoobenthos diversity gradually recovered in this section. In addition, the BPI rises year by year, the polluting effect and the degree of water pollution both present the downward trend every year, indicating that the water quality and ecological environment of the old canal of Changzhou have been gradually improved. This study lays the foundation for the ecological monitoring and water quality assessment in Changzhou section of Beijing-Hangzhou Canal.

**Key words:** zoobenthos; biodiversity; Changzhou section of Beijing-Hangzhou Canal