

黄河山东段浮游生物群落特征调查分析

冷春梅,董贯仓,刘超,李秀启*,朱士文,客涵

山东省淡水渔业研究院, 山东 济南 250013

摘要: 于2013年5月至2014年2月对黄河山东段进行了5次调查采样,分析了浮游生物群落的种类组成、密度、生物量和生物多样性等群落特征。结果表明:共获得浮游植物8门53种属,以蓝藻门和绿藻门为主,物种丰富度大小顺序为8月>2月>7月>10月>5月;共获得浮游动物4类28种,以轮虫最多,物种丰富度大小顺序为8月>2月>10月>5月>7月,以螺形龟甲轮虫、针簇多肢轮虫、角突臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫为主。黄河山东段浮游植物和浮游动物 Shannon-Wiener 指数 (H') 均较低,分别为 1.43 和 1.19;依据 Shannon-Wiener 指数评价标准,黄河山东段水环境质量为中度污染。

关键词: 黄河山东段;浮游生物;群落特征;环境评价

中图分类号: X824;S931.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)05-0668-06

Investigation and Analysis on Characteristics of Plankton Community in the Yellow River of Shandong Province

LENG Chun-mei, DONG Guan-cang, LIU Chao, LI Xiu-qi*, ZHU Shi-wen, KE Han

Institute of Shandong Freshwater Fisheries, Jinan 250013, China

Abstract: Five times surveys were carried out in the Yellow River of Shandong Province from May 2013 to February 2014. Species composition, biomass, abundance and species diversity of plankton were discussed. The results showed that a total of 53 species of phytoplankton belonging to 8 phyla were identified, Cyanophyta and Chlorophyta dominated the phytoplankton communities. The species richness indexes of phytoplankton varied with August > February > July > November > May. A total of 28 species of zooplankton belonging to 4 phyla were also identified and Rotifera dominated the zooplankton communities. The species richness indexes of zooplankton varied with August > February > November > May > July, and the dominant species were *Keratella cochlearis*, *Polyarthra trigla*, *Brachionus angularis* and *Brachionus calyciflorus*. All the Shannon-Wiener indexes of phytoplankton and zooplankton were lesser than 3, and the mean values were 1.43 and 1.19, respectively. Based on the Shannon-Wiener indexes of phytoplankton and zooplankton, it suggested that the Yellow River in Shandong Province was in middle polluted status.

Keywords: the Yellow River in Shandong Province; plankton; community characteristics; environmental quality assessment

黄河是中国第二大河,也是我国北方地区重要的淡水资源,以全国2%的径流量供给着15%耕地和12%人口,对沿黄各省经济社会发展具有举足轻重的作用^[1]。因而,合理利用及科学保护黄河水资源,对我国北方地区的可持续发展具有重要意义^[2]。自1970年以来,由于黄河上中游用水量的增加,使黄河进入河口地区的来水量逐渐降低,特别是1991年以来黄河来水量持续偏枯,利津站年均实测径流量较20世纪80年代减少超60%^[3]。黄河水资源量的匮乏决定了其承载能力较低的特性,而伴随流域经济社会的发展,大量废污水的排放及超过80%的水资源开发利用率,使得其生态系统服务功能大大丧失^[4]。特别是1999年以前,由于黄河中游缺乏工程调度及水资源统一管理,黄河下游断流频发^[5],黄河山东段水生生态系统受到严重损害。1999年黄河实施水量统一调度以来,有效遏制了黄河下游断流现象,特别是2002年利用小浪底水利枢纽工程进行调水调沙,实现了下游河道冲刷减淤作用^[5]。但是,在遏制黄河断流并维护黄河水域生态系统服务功能的同时,泥沙集中下放亦导致环境的急剧变化,其生态影响成为长期以来关注的重点。

浮游生物作为水域生态系统的重要组成部分,在生态系统的物质循环与能量流动中起着重要作用。近年来,有关黄河浮游生物群落的研究主要集中于黄河入海口附近水域^[6-9],而于黄河干流研究较少。刘晓燕等^[10]认为黄河水体含沙量高、透光度低,河底经常处于冲淤状态,导致干流生物呈现

收稿日期: 2015-04-02

修回日期: 2015-04-29

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303050)

作者简介: 冷春梅(1975-),女,助理研究员,从事资源环境研究. E-mail:lengcm@126.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:lixuqi2004@yahoo.com.cn

结构简单、物种数和生物量均较少的显著特点。张军燕等^[11]也认为,流速较大和含泥沙量高的河流不是浮游动物的理想栖息场所。特别是个体较大的浮游动物一旦进入泥沙量大的河流,密度快速降低甚至消失^[12,13]。黄河山东段位于黄河水域下游,近年受小浪底水库调水调沙工程影响,每年6~7月调水调沙期间受大流量冲刷及高泥沙影响,水环境状况急剧变化,而其导致浮游生物群落结构的变化特征及机制尚不清楚。本文拟通过对黄河山东段浮游生物的周年调查,了解黄河下游干流水体浮游生物群落现状,以为黄河水域的生态养护与环境治理提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 站位设置

于黄河山东段共设采样站位7个(图1),分别于2013年5月、7月、8月、10月和2014年2月采样5次,其中7月采样主要针对小浪底水库调水调沙对浮游生物的影响进行。



图1 黄河山东段浮游生物采样站位设置

Fig.1 Sampling sites in the Yellow River of Shandong Province

1.2 样品采集

1.2.1 浮游植物采集 于每个调查断面设左、中、右三个采样点,于每采样点水下0.5 m处采集水样混合,经短暂沉淀后取上层水1000 mL加鲁格试液固定,沉淀48 h后虹吸弃上层清液,浓缩至40 mL。摇匀后,快速吸取滴于0.1 mL计数框内,在10×40显微镜下观察,计数两片,取平均值。浮游植物的生物量用体积法计算,本方法把生物体当做近似几何图形,按求积公式获得生物体积,并假定比重为1计算体重。其中原生动物随浮游植物一同检测,浮游植物与原生动物的种类鉴定参考《中国淡水生物图谱》^[14]。

1.2.2 浮游动物采集 于每个调查断面设左、中、右三个采样点,于每采样点水下0.5 m处采集水样混合,经短暂沉淀取上层水5 L,用25号浮游生物网过滤浓缩,并加入1.5 mL 4%的福尔马林固定,带回实验室进行样品分析。固定好的样品摇匀后,快速吸取滴于1 mL计数框内,在10×10显微镜下观察,计数两片,取平均值。浮游动物的生物量用体积法计算,本方法把生物体当做近似几何图形,按求积公式获得生物体积,并假定比重为1计算体重。浮游动物的种类鉴定参考《中国淡水生物图谱》^[14]。

1.3 数据处理与分析

用密度(d)、生物量(B)、优势度指数(Y)、Shannon-Wiener指数(H')对浮游生物群落特征进行分析;

密度(d)和生物量(B)分别从个体数量密度和生物量密度表示了群落物种的丰富性。

优势度指数(Y)计算公式:
$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, n_i 为第*i*种物种的个体数, N 为样品总个体数, f_i 为第*i*种物种的出现频率。 $Y > 0.02$ 为优势种。

$$\text{Shannon-Wiener 指数: } H' = -\sum_{i=1}^s (n_i / N) \cdot \log_2(n_i / N)$$

式中, n_i 为第 i 种物种的个体数, N 为样品总个体数。 b 浮游生物个体生物量, 根据近似几何图形, 按求积公式获得浮游生物体积, 并假定比重为 1, 求得生物量 b 。 H' 数值的大小意味着群落多样性的 高低: 其值越大, 多样性就越高; 反之亦然。

2 结果与分析

2.1 浮游生物群落特征

2.1.1 浮游植物群落特征 调查中, 共检出浮游植物 8 门 53 种属, 其中绿藻门最多 24 种, 其次硅藻门 9 种, 再次蓝藻门 8 种, 最后为金藻门 4 种以及黄藻门、隐藻门各 3 种和裸藻门 2 种; 不同季节物种数大小顺序为 8 月 (28 种) > 5 月 (27 种) > 2 月 (23 种) > 7 月 (16 种) > 10 月 (13 种)。 其主要优势种群为小球藻、舟形藻、小环藻、席藻和针杆藻等。 山东省淡水水产研究所 1984 年对黄河山东段的调查中, 获得浮游植物 8 门 34 科 67 属, 绿藻最多 35 属, 硅藻 13 属, 蓝藻 7 属, 其余 5 门为 2~3 属。 与之相比, 当前浮游植物的种类组成相似, 而种类数明显下降。 冷春梅^[15]等 2011 年黄河河口调查共检出浮游植物 79 种, 显著高于本研究区域的黄河山东段; 其研究区域最下端延伸至黄河和渤海交汇处, 获得的半咸水和海水种类增加了浮游植物的种类丰富度。 余斌等^[16]2011 年对黄河壶口至三门峡段及其附属水库浮游植物的调查显示, 浮游植物由调水调沙前的 113 种下降到了 43 种, 浮游植物密度和生物量下降明显; 同时, 其还认为调水调沙期间较大泥沙的集中下泄, 使得水体透明度降低, 通过影响光照强度影响了浮游植物的生长繁殖。 本研究结果与之基本一致, 表明小浪底水库集中调水调沙对下游河床的冲刷及其导致的短期高泥沙含量, 是黄河下游浮游植物的种类多样性降低的主要因素; 同时, 黄河流域近 30 a 经济社会的不断发展, 导致黄河水质的变化, 以及上世纪末黄河的连续断流, 在一定程度上影响了浮游植物群落的生物多样性。

浮游植物密度介于 0.00 个/L~397.6×10⁴ 个/L, 平均 97.2×10⁴ 个/L; 生物量介于 0.00 mg/L~3.605 mg/L, 平均 0.805 mg/L。 沿河流方向浮游植物密度变化趋势不规则, 最低值出现在高青 (65.05×10⁴ 个/L), 而最高值为利津 (142.10×10⁴ 个/L); 生物量变化亦不规则且变幅更大, 最低值为高青 (0.318 mg/L) 和最高值为入海口 (1.346 mg/L) (图 2a)。 同时, 浮游植物密度及生物量季节演替显著, 密度与生物量的季节变化均为 8 月 > 2 月 > 10 月 > 5 月 > 7 月 (图 2b)。 其中, 调水调沙期间的 7 月生物量与密度均为全年最低, 此时较高的泥沙含量导致溶解氧降低和透明度下降, 而浮游植物数量的显著降低则验证了余斌等^[16]有关调水调沙影响浮游植物生长繁殖的观点; 8 月浮游植物的密度与生物量均为全年最高, 一方面该变化与温带水域浮游生物季节性变化趋势相吻合, 亦可能是由于调水调沙中高悬浮营养物质在水体的释放和激增为浮游植物的繁育提供了有利营养条件; 2 月份水温最低但浮游植物的密度与生物量却出现了第二高峰, 可能与冬季水流缓慢有利于泥沙沉降, 而相对较高的透明度为浮游植物创造了有利生存条件有关。

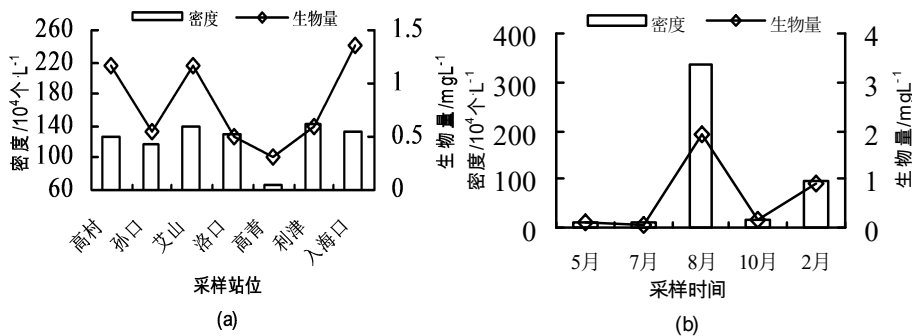


图 2 不同站位浮游植物的密度及生物量

Fig.2 Density and biomass of phytoplankton in different sampling sites (a) and different seasons (b)

此外, 陈校辉等^[17]2004~2005年对长江江苏段的调查, 共检出浮游植物10门96属168种, 其中以

绿藻门和硅藻门为主,分别占到了38.10%和34.52%,密度为1045.3个/L~8668.7个/L;隋战鹰等^[18]2003年对珠江广州段的调查,共获得浮游植物5门574种,以硅藻门的等片藻为主要优势种群,密度为 1.29×10^7 个/L~ 5.28×10^7 个/L。相对于更低纬度的长江和珠江,黄河山东段浮游植物的种类显著较低,但优势种组成与之类似;黄河较低的浮游植物种类数应与黄河高纬低温及其特有的高泥沙含量有关,亦验证了洪松和陈静生^[19]关于我国河流中水生生物种类最低值出现在黄河的观点。

2.2.2 浮游动物群落特征 调查中,共检出浮游动物 4 类 28 种,其中轮虫 22 种,原生动物 3 种,桡足类 2 种和枝角类 1 种;不同季节物种数大小顺序为 8 月(27 种)>2 月(15 种)>10 月(14 种)>5 月(11 种)>7 月(5 种)。浮游动物优势种群(原生动物除外)以螺形龟甲轮虫、针簇多肢轮虫、角突臂尾轮虫和蓴花臂尾轮虫为主。山东省淡水水产研究所 1984 年的调查中,共检出黄河山东段浮游动物 43 种(属),其中轮虫 37 种(属)、枝角类 4 属、桡足类 2 种。与之相比,当前浮游动物物种数减少,尤以轮虫和枝角类减少明显。人造洪峰加大了河道上下水层的混合,浑浊而缺氧的水环境进而影响浮游动物的新陈代谢,不利于浮游动物的生长繁殖^[16]。可见,可能小浪底水库调水调沙带来大量的泥沙集中下泄,导致了浮游动物种类数的减少。但是,浮游动物数量和生物量又显著高于 1984 年(5.3 个/L 和 0.036 mg/L),则可能与渔业资源下降导致的摄食压力降低等有关。与冷春梅等^[15]2011 年对黄河口调查的 45 种浮游动物相比,原生动物、枝角类与桡足类的种类显著较低。可能由于黄河口处水文条件变化较大的特异性,孕育了更加丰富的生物种群。余斌等^[16]调查发现,调水调沙前后浮游动物种类组成减少,其中原生动物种类变化不大,但轮虫类减少较明显,浮游动物密度、生物量均显著下降。与之相比,本调查中物种数亦显著降低,但生物量则显著增加,与上述结果显著不同。

浮游动物数量介于 0 个/L~2555 个/L,平均 3367.6 个/L;生物量为 0.00 mg/L~1.125 mg/L,平均 0.157 mg/L(图 3a)。密度最高为入海口处达 863.62 个/L,最低高青仅 16.58 个/L;生物量最高为高青 0.328 mg/L,最低为艾山 0.067 mg/L。浮游动物数量的季节变化为 10 月>8 月>5 月>2 月>7 月,生物量为 8 月>5 月>10 月>2 月>7 月。7 月浮游动物的密度与生物量均为全年最低,亦应主要受小浪底水库调水调沙的影响,较高的泥沙含量导致较低溶解氧含量不利于浮游生物的生长繁殖^[16]

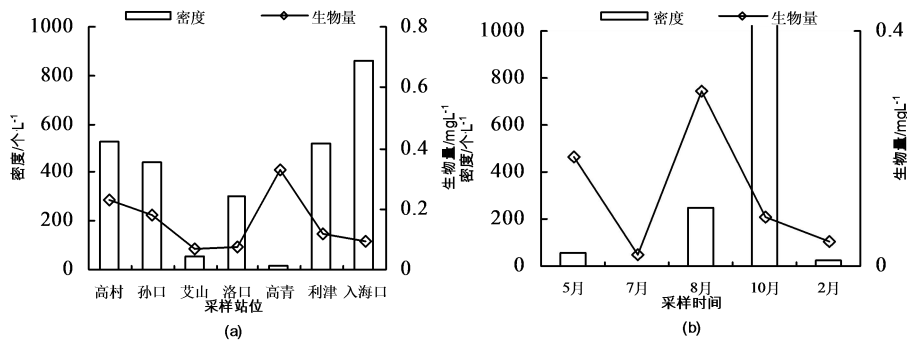


图 3 不同站位浮游动物的密度及生物量

Fig.3 Density and biomass of zooplankton in different sampling sites (a) and different seasons (b)

彭刚等^[20]2004年~2005年对长江江苏段浮游动物的调查,共检出浮游动物4门108种,其中轮虫最多,45个种属,占41.66%;原生动物12个种属,占11.11%;枝角类25个种属,占23.14%;桡足类26个种属,占24.07%。高原等^[21]共发现珠江河口浮游动物94种,其中桡足类35种,轮虫类28种,原生动物6种。与之相比,黄河山东段浮游动物种类数显著低于低纬度河流,但其以轮虫为主与长江江苏段浮游动物的组成相似,而与珠江口桡足类最多不同,该差异的产生与黄河较高泥沙含量不利于水生生物的生存以及高纬低水温等有关。

2.3 浮游生物多样性及环境质量评价

2.3.1 浮游植物 Shannon-Wiener 指数及环境质量评价 根据何志辉^[22]和孔繁翔^[23]的评价标准,基于浮游生物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')的水体环境状况界定为:当 $H' < 1$ 时,为重度污染; $H' = 1 \sim 2$,

为中度污染; $H=2\sim3$, 为轻度污染; $H>3$, 为清洁。黄河山东段浮游植物 Shannon-Wiener 指数 (H') 均小于 3, 19.00% 站位介于 0~1, 71.40% 为 1~2 和 9.50% 为 2~3; 由此可见, 黄河山东段 19.00% 水域为重度污染、71.40% 中度污染, 仅有 9.50% 轻度污染。同时, 在不同季节差异不显著, H' 均位于 1~2 之间, 为中度污染状态, 其大小顺序为 8 月>7 月>2 月>10 月>5 月。

表 1 黄河山东段浮游植物 Shannon-Wiener 指数及水环境质量评价

Table 1 The Shannon-Wiener index and environmental quality evaluation of phytoplankton

采样点 Sampling sites	质量评价 Evaluation	4 月 Apr.	5 月 May	7 月 Jul.	8 月 Aug.	10 月 Oct.	2 月 Feb.
高村	H	0	1.62	1.58	1.54	1.57	2.34
	环境状况	重度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	轻度污染
孙口	H	1.57	1.61	1.87	1.65	1.48	1.31
	环境状况	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染
艾山	H	2.05	0.00	0.64	1.64	1.67	2.03
	环境状况	轻度污染	重度污染	重度污染	中度污染	中度污染	轻度污染
洛口	H	2.10	1.95	1.83	1.47	0.96	1.50
	环境状况	轻度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染
高青	H	1.61	0.00	1.43	1.93	1.05	0.20
	环境状况	中度污染	重度污染	中度污染	中度污染	中度污染	重度污染
利津	H	0.98	1.49	1.99	1.69	1.39	1.89
	环境状况	重度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染
入海口	H	1.85	1.97	1.35	1.56	1.05	0.61
	环境状况	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	重度污染
平均	H	1.45	1.23	1.53	1.64	1.31	1.41
	环境状况	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染	中度污染

2.3.2 浮游动物 Shannon-Wiener 指数及环境质量评价 黄河山东段浮游动物 Shannon-Wiener 指数 (H') 均小于 3, 35.70% 站位介于 0~1, 57.10% 为 1~2 和 7.10% 为 2~3。依据何志辉和孔繁翔的评价标准, 黄河山东段 35.70% 水域为重度污染、57.10% 中度污染、仅 7.10% 的站位为轻度污染。在不同季节, H' 大小顺序为 2 月 (1.60) > 5 月 (1.57) > 8 月 (1.56) > 10 月 (0.84) > 4 月 (0.78) > 7 月 (0.77), 其中 2 月水质最好为中度污染, 7 月水质最差。但是, 由于 7 月为黄河集中调水调沙时期, 受较高泥沙含量及高流速水体冲刷的影响, 浮游动物数量显著降低, 进而对浮游生物群落的生物多样性指数亦造成一定程度的影响, 故而该特殊时期基于生物多样性环境评价的科学性与准确性有待商榷。

表 2 黄河山东段浮游动物 Shannon-Wiener 指数及水环境质量评价

Table 2 The Shannon-Wiener index and environmental quality valuation of zooplankton

采样点 Sampling sites	质量评价 Evaluation	4 月 Apr.	5 月 May	7 月 Jul.	8 月 Aug.	10 月 Oct.	2 月 Feb.
高村	H	0.86	1.68	0.30	1.84	1.28	1.70
	环境状况	重度污染	中度污染	重度污染	中度污染	中度污染	中度污染
孙口	H	1.39	1.65	0.87	2.07	1.24	1.52
	环境状况	中度污染	中度污染	重度污染	轻度污染	中度污染	中度污染
艾山	H	0.90	1.32	0.92	2.20	0.00	1.68
	环境状况	重度污染	中度污染	重度污染	轻度污染	重度污染	中度污染
洛口	H	0.56	1.47	0.73	1.80	0.50	1.03
	环境状况	重度污染	中度污染	重度污染	中度污染	重度污染	中度污染
高青	H	1.04	1.47	0.78	1.48	0.56	1.33
	环境状况	中度污染	中度污染	重度污染	中度污染	重度污染	中度污染
利津	H	0.68	1.64	0.69	1.52	1.22	2.02
	环境状况	重度污染	中度污染	重度污染	中度污染	中度污染	轻度污染
入海口	H	0.00	1.77	1.10	0.00	1.10	1.91
	环境状况	重度污染	中度污染	中度污染	重度污染	中度污染	中度污染
平均	H	0.78	1.57	0.77	1.56	0.84	1.60
	环境状况	重度污染	中度污染	重度污染	中度污染	重度污染	中度污染

2.3.3 黄河山东段水环境质量状况 黄河山东段浮游植物 Shannon-Wiener 指数 (H') 介于 0~2.10, 均值为 1.43; 浮游动物 H' 介于 0~2.20, 均值为 1.10 (表 1 和表 2)。依据何志辉和孔繁翔的评价标准, 均表明黄河山东段水环境为中度污染, 且全年差异不大。张军燕等^[11]发现, 黄河玛曲段浮游植物 H' 介于 2~3, 水体轻度污染; 王勇等^[24]调查发现黄河干流浮游植物 H' 为 1.562, 水体中度污染。由此可见, 黄河自上至下浮游生物 H' 由 2~3 逐渐降至 1~2, 生物多样性逐渐降低。该现象的产生, 可能与黄河下游经济发达, 周边工业污染较多、人类干扰更为严重, 以及黄河水质污染逐渐加重等有关。此外, 下游水体较高的泥沙含量亦为水体浮游生物群落结构差异的重要影响因素, 特别是小浪底水库调水调沙集中对河床的冲刷严重地影响了黄河水域浮游生物多样性。

3 结论

(1) 黄河山东段共检出浮游植物 8 门 53 种属, 以绿藻门种类最多, 蓝藻和硅藻次之; 浮游植物细胞数为 76.1×10^4 个/L, 生物量为 0.469 mg/L。与上世纪八十年代相比, 当前黄河山东段浮游植物物种数显著降低, 而细胞数及生物量稍有增加。

(2) 黄河山东段共检出浮游动物 4 类 28 种, 以轮虫种类最多, 原生动物、桡足类、枝角类较少; 浮游动物数量为 218.23 个/L, 生物量为 0.137 mg/L。与上世纪八十年代相比, 当前黄河山东段浮游动物物种数显著降低, 尤以轮虫和枝角类减少明显; 同时, 浮游动物数量和生物量均显著增加。

(3) 黄河山东段浮游植物和浮游动物 Shannon-Wiener 指数 H' 分别为 1.43 和 1.10, 据此评价黄河山东段为中度污染, 但评价方法与标准在黄河的适用性有待进一步商榷。

参考文献

- [1] 王兆印, 田世民. 黄河的综合治理方略[J]. 天津大学学报, 2008, 41(9): 1130-1135
- [2] 陈静生, 余涛. 对黄河泥沙与水质关系的研究-回顾及展望[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2005, 41(6): 950-951
- [3] 王开荣. 黄河调水调沙对河口及其三角洲的影响和评价[J]. 泥沙研究, 2005, 6(12): 29-33
- [4] 李国英. 维持黄河健康生命[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2009: 1-359
- [5] 张爱静, 董哲仁, 赵进勇. 黄河水量统一调度与调水调沙对河口的生态水文影响[J]. 水力学报, 2013, 44(8): 987-993
- [6] 巩俊霞, 杨秀兰, 段登选, 等. 黄河入海口水域春季浮游动物群落特征研究[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(6): 1-6
- [7] 张继民, 刘霜, 张琦, 等. 黄河河口附近海域浮游植物群落变化[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(6): 834-837
- [8] 刘晓彤, 刘光兴. 2009年夏季黄河河口及其邻近水域网采浮游植物的群落结构[J]. 海洋学报, 2012, 34(1): 153-162
- [9] 马静, 陈洪举, 刘光兴. 2007年夏季黄河河口及其邻近水域浮游动物的群落特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2012, 42(5): 74-80
- [10] 刘晓燕. 构建黄河健康生命的指标体系[J]. 中国水利, 2005(21): 28-32
- [11] 张军燕, 张建军, 杨兴中, 等. 黄河上游玛曲段春季浮游生物群落结构特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 983-987
- [12] Sand lund OT. The drift of zooplankton and microbenthos in the River Strandaelva westem Noway[J]. Hydrobiologia, 1982, 94(1): 33-48
- [13] 陈受忠. 四川沱江口浮游甲壳动物记述[J]. 海洋湖沼通报, 1990(3): 86-91
- [14] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995
- [15] 冷春梅, 曹振杰, 张金路, 等. 黄河河口浮游生物群落结构特征及环境质量评价[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(3): 360-365
- [16] 余斌, 张建军, 刘一欧, 等. 小浪底水库调水调沙对黄河壶口至三门峡段浮游生物资源的影响[J]. 河北渔业, 2013(229): 14-19
- [17] 陈校辉, 陈学进, 唐建清, 等. 长江江苏段浮游植物群落结构特征调查报告[J]. 水产养殖, 2006, 27(4): 11-16
- [18] 隋战鹰, 蔡伟强, 胡韶华. 以浮游藻类的种群组成评价珠江广州段水质情况[J]. 广东教育学院学报, 2003, 23(2): 60-63
- [19] 洪松, 陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨[J]. 水生生物学报, 2002, 26(3): 295-305
- [20] 彭刚, 边文冀, 陈校辉. 长江江苏段浮游动物群落结构特征调查报告[J]. 水利渔业, 2008, 28(4): 109-121
- [21] 高原, 赖子尼, 王超, 等. 珠江口浮游动物分布特征研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 260-268
- [22] 何志辉. 淡水生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [23] 孔繁翔. 环境生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [24] 王勇, 王海军, 赵伟华, 等. 黄河干流浮游植物群落特征及其对水质的指示作用[J]. 湖泊科学, 2010, 22(5): 700-707