

王信海,王宣朋,丁辰龙,等. 中运河宿迁国电码头段夏季浮游植物群落结构特征指数分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(9):403-406.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.09.127

中运河宿迁国电码头段夏季浮游植物群落结构特征指数分析

王信海¹,王宣朋¹,丁辰龙¹,姜 杨²,段树华²,姜爱兰¹

(1. 江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏宿迁 223800; 2. 江苏鼎盛农业科技有限公司,江苏宿迁 223800)

摘要:2013 年 8 月 1—19 日共 7 次对中运河宿迁过段码头段的 5 个断面 15 个采样点的浮游植物进行调查。结果表明:全段共发现浮游植物 6 门 32 种(属),其中以绿藻门和硅藻门为主;浮游植物总密度为 13.9 万~21.0 万个/L,平均密度为 16.6 万个/L,总生物量为 0.127 6~0.155 2 mg/L,平均生物量为 0.126 8 mg/L,其中以硅藻门和绿藻门占绝对优势,2 个门占总密度的 70.6%,占生物量的 79.9%;各监测点之间的群落特征指数无明显差异,多样性指数均值为 3.33,变动范围为 2.83~3.73;均匀度均值 0.84,变动范围为 0.69~0.92;丰富度均值为 0.87,变动范围为 0.59~1.18;单纯度均值为 0.14,变动范围为 0.10~0.23。浮游植物生物多样性和均匀度很好,浮游植物群落结构处于非常完整和稳定的状态,不易受外界环境干扰,水质处于优良清洁等级。

关键词:中运河;夏季浮游植物;生物量;群落特征;指数分析;水质评价

中图分类号:X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)09-0403-04

京杭大运河宿迁段属于运河中段,称为中运河,素有苏北的“黄金水道”之称。中运河宿迁段长 112 km,流经宿迁市东部,连接老城区与宿豫区。两岸文化底蕴深厚,有乾隆行宫、项王故居等遗迹。现今宿迁京杭运河仍肩负着来往通航、行洪的历史使命,更应担任体现宿迁滨水城市特色的新使命^[1]。同时也是宿迁市重要的交通和生活饮用水命脉,宿迁市沿河生活饮用水的 90% 来自运河^[2-3]。

宿迁国电码头位于宿迁市洋北镇,主要承载电厂煤炭装卸。宿迁市近年来大力发展运河文化,加强运河环境建设,在改善运河水质条件,禁止企业未经处理的污水直接排入运河,加强运河沿线码头粉尘、油污等泄露,减少城市生活用水和污

水的排放方面做了大量的工作,运河水质得到了大大的改善,但其水质问题仍备受市民的关注。关于中运河段水生生物的调查较少,仅见潘立勇对徐州段报道^[4],而宿迁段尚未有系统的水生生物资源调查记录。因此,结合江苏省自主创新资金实施地(位于中运河宿迁国电下游 2 km 左右位置)的水质监测工作,于 2013 年 8 月首次开展了水生生物资源调查,旨在通过对大运河宿迁国电段浮游植物的种类组成、生物量及浮游植物的群落特征调查研究,结合污水生物系统指标判断标准,对调查段的大运河水质作出评价,为保护和治理大运河提供参考依据,为生活生产用水提供安全保障。

1 研究方法

1.1 采样点布设

根据文献[5-6],本调查在码头上游 1 km、码头中心位置、码头下游界点、码头下游 750、2 000 m 共布置了 5 个断面,每个断面在河中心、河两端距离岸边 10 m 处布点,共计 15 个水生生物采样点,具体见图 1 和表 1。

收稿日期:2014-09-15

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)3072]。

作者简介:王信海(1982—),男,山东青岛人,硕士,助理研究员,从事渔业资源调查及水生生物发育研究。E-mail:hai92913@163.com。
通信作者:姜爱兰。E-mail:jiangjing925@yahoo.com.cn。

[16]张灿强,李文华,张彪,等. 基于土壤动态蓄水的森林水源涵养能力计量及其空间差异[J]. 自然资源学报,2012,27(4):697-704.

[17]庄树宏,初 洋,卞福花,等. 庙岛群岛海岸带农田生态系统服务价值的评估[J]. 烟台大学学报:自然科学与工程版,2008,21(4):273-280.

[18]王冬银,杨庆媛,何 涛. 重庆市耕地资源非市场价值估算[J]. 中国土地科学,2013,27(10):76-82.

[19]宋吉红,王百田,林富荣. 黄土高原旱地果园土壤蓄水保墒技术定量研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):95-98.

[20]四川省统计局. 四川统计年鉴:2012[M]. 北京:中国统计出版社,2012.

[21]Street-Perrott A, Beran M, Ratcliffe R. Variations in the global water

budget[M]. Boston:Reidel Publishing Company,1983:147-171.

[22]Mintz Y, Walker G K. Global fields of soil moisture and land surface evapotranspiration derived from observed precipitation and surface air temperature[J]. J Appl Meteor,1993,32(8):1305-1334.

[23]何东进,洪 伟. 植被截留降水量公式的改进[J]. 农业系统科学与综合研究,1999,15(3):200-202.

[24]仪垂祥,刘开瑜,周 涛. 植被截留降水量公式的建立[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):47-49.

[25]Manzi A O, Planto S. Implentation of the ISBA parameterization scheme for land surface processes in a GCM - an annual cycle experiment[J]. Journal of Hydrology,1994,155(3/4):353-387.

[26]任志远,李 晶. 陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评[J]. 地理学报,2003,58(4):503-511.

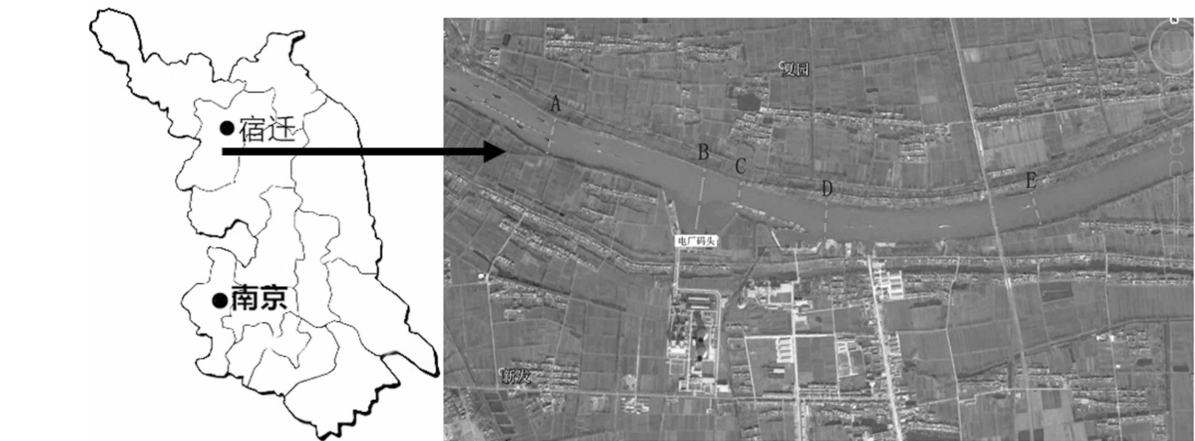


图1 宿迁国电位置及浮游植物调查断面点位图示

表 1 调查河段浮游植物采样点位置

| 断面编号 | 方位 | 断面宽 (m) | 与码头中心点距离 (m) | 测点编号 | 与岸边距离 (m) | GPS 定位 | |
|------|------|------------|-----------------|------|--------------|--------------|---------------|
| | | | | | | 北纬 | 东经 |
| A | 码头上游 | 200 | 1 000 | N | 10 | 33°51'3.25" | 118°21'38.27' |
| | | | | M | 100 | 33°51'0.32" | 118°21'37.34" |
| | | | | S | 10 | 33°50'57.32" | 118°21'36.32" |
| B | 码头中心 | 390 | 0 | N | 10 | 33°50'51.34" | 118°22'13.71" |
| | | | | M | 97 | 33°50'44.91" | 118°22'12.12" |
| | | | | S | 10 | 33°50'39.55" | 118°22'10.79" |
| C | 码头下界 | 190 | 250 | N | 10 | 33°50'48.58" | 118°22'22.26" |
| | | | | M | 90 | 33°50'45.63" | 118°22'21.54" |
| | | | | S | 10 | 33°50'42.99" | 118°22'20.87" |
| D | 码头下游 | 208 | 750 | N | 10 | 33°50'43.68" | 118°22'42.51" |
| | | | | M | 104 | 33°50'40.33" | 118°22'41.90" |
| | | | | S | 10 | 33°50'37.43" | 118°22'41.39" |
| E | 码头下游 | 210 | 2 000 | N | 10 | 33°50'42.93" | 118°23'31.30" |
| | | | | M | 105 | 33°50'39.91" | 118°23'31.99" |
| | | | | S | 10 | 33°50'37.13" | 118°23'32.68" |

注:S(South)指近南端采样点;M(Middle)指中间采样点;N(North)指近北端采样点。

1.2 水样采集与处理

1.2.1 水样的采集 本研究于 2013 年 8 月 1—19 日每隔 3 d 进行 1 次(共 7 次)浮游植物采样。(1)定性水样采集。按监测断面的采样点设置,在每个采样点使用 25 号浮游植物网,在水面下 0.5 m 处作“∞”形回环运动,2 min 左右过滤至 30 mL,保存于广口玻璃瓶中用于活体的观察。(2)定量水样采集。由于浮游植物多在水面下 0.5 m,因此直接在每个采样点水下 0.5 m 处采水,采水样 1 000 mL,加入 10~15 mL 鲁哥氏液固定。

1.2.2 水样的处理 将采回的水样在实验室静置 24 h 以上,抽去上清液,将余下的沉淀(一般约 20 mL)转入 30 mL 定量瓶中,并用上清液少许冲洗沉淀器 3 次,冲洗液仍倒入定量瓶中,定容至 30 mL 后,贴上标签保存、待检。

1.3 物种鉴定与计数

标本鉴定主要依据文献[5,7-9]等资料。将浓缩定量后的水样摇匀,吸出 0.1 mL 置于 0.1 mL 计数框内,在 10×20 倍显微镜下观察并分种计数,采用目镜视野法随机选取 20 个视野计数,每个样品重复 2 次(结果误差在±0.5 以内),取其平均值并计算出 1 L 水样中浮游植物的数量。

1.4 数据处理

1.4.1 生物量的计算 根据浮游植物的体形按最相似的几何形状测量计算。如球形种类,则是测量其半径,按公式 $V = 3/4\pi \times r^3$ 求得体积。常见种类依据文献[5]中的相关公式进行计算。

1.4.2 反映调查水域群落特征指数的计算 为避免单一物种多样性指数造成的计算偏差,浮游植物采用单纯度(C)、Margalef^[10]种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener^[11]多样性指数(H')和 Pielou^[12]均匀度指数(J')4 项指数综合反映调查水域的群落特征。

(1)物种单纯度: $C = \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N^2}$;

(2)物种丰富度指数(D)采用 Margalef 的计算公式: $D = (S - 1) / \log_2 N$;

(3)物种多样性计算采用 Shannon-Wiener 指数(H'):

$H' = H' - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$;

(4)物种均匀度指数(J')采用 Pielou 的计算公式: $J' = \frac{H'}{H'_{Max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$ 。

式中: S 为种类数; n_i 为第 i 种的丰度; N 为总丰度; H' 为实测多样性指数; $H'_{\max} = \log_2 S$ 。

2 结果与分析

2.1 中运河宿迁国电段浮游植物的种类组成

对宿迁国电拟建码头运河段 15 个采样点进行调查共发

现 31 种(属)浮游植物,分属于 6 个门(表 2)。其中,绿藻门(Chlorophyta)12 种(属),占 38.71%;硅藻门(Bacillariophyta)10 种(属),占 32.26%;蓝藻门(Cyanophyta)5 种(属),占 16.13%;金藻门(Chrysophyta)、裸藻门(Euglenophyta)和黄藻门(Xanthophyta)各 1 种(属),各占 3.23%。

表 2 调查河段浮游植物种类组成

| 门类 | 种或属 |
|----------------------|---|
| 绿藻门(Chlorophyta) | 纤维藻(<i>Ankistrodesmus</i>)、栅藻(<i>Scenedesmus</i>)、弓形藻(<i>chroederia etigera</i>)、盘星藻(<i>Pediastrum</i>)、绿球藻(<i>Chlorococcum</i>)、普通小球藻(<i>Chlorella vulgaris</i>)、新月藻(<i>Closterium</i>)、四足十字藻(<i>Crucigenia tetrapedia</i>)、球衣藻(<i>Chlamydomonas globosa</i>)、实球藻(<i>Pandorina morum</i>)、蹄形藻(<i>Kirchneriella lunaris</i>)、集星藻(<i>Actinastrum hantzschii</i>) |
| 硅藻门(Bacillariophyta) | 颗粒直链藻(<i>Melosira granulata</i>)、圆筛藻(<i>Coscinodiscus</i>)、条纹小环藻(<i>Cyclotella striata</i>)、中华盒形藻(<i>Biddulphia sinensis</i>)、星杆藻(<i>Asterionella</i>)、脆杆藻(<i>Fragilaria</i>)、卵形硅藻(<i>Cocconeis</i>)、舟形藻(<i>Navicula</i>)、双菱藻(<i>Surirella</i>)、帽形菱形藻(<i>Nitzschia palea</i>) |
| 蓝藻门(Cyanophyta) | 色球藻(<i>Chroococcus</i>)、微小平列藻(<i>Merismopedia enuissima</i>)、微囊藻(<i>Microcystis</i>)、小颤藻(<i>Oscillatoria tenuis</i>)、大螺旋藻(<i>Spirulina major</i>)、小席藻(<i>Phormidium tenuis</i>) |
| 黄藻门(Xanthophyta) | 黄丝藻(<i>Tribonema</i>) |
| 裸藻门(Euglenophyta) | 尖尾裸藻(<i>Euglena oxyuris</i>) |
| 金藻门(Chrysophyta) | 锥囊藻(<i>Dinobryon</i>) |

2.2 中运河宿迁国电段浮游植物的定量组成

调查区域断面从上游到下游浮游植物种类的数量和生物量无明显差异和规律,浮游植物总密度为 13.9 万~21.0 万个/L,平均密度为 16.6 万个/L,总生物量为 0.127 6~0.155 2 mg/L,平均生物量为 0.126 8 mg/L。浮游植物密度占绝对优势的是绿藻门(31.4 万个/L)和硅藻门(27.4 万个/L),

分别占总密度的 37.7% 和 32.9%,2 个门占总密度的 70.6%。生物量占绝对优势也是硅藻门(0.516 0 mg/L)和绿藻门(0.253 1 mg/L),分别占总生物量的 51.6% 和 25.3%,2 个门占总生物量的 79.9%。蓝藻门密度和生物量均少于硅藻门和绿藻门,金藻门、裸藻门和黄藻门的密度和生物量所占比重均较少(表 3)。

表 3 调查河段浮游植物各类群的密度与生物量

| 门类 | A | | B | | C | | D | | E | |
|-----|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | 密度 (万个/L) | 生物量 (mg/L) | 密度 (万个/L) | 生物量 (mg/L) | 密度 (万个/L) | 生物量 (mg/L) | 密度 (万个/L) | 生物量 (mg/L) | 密度 (万个/L) | 生物量 (mg/L) |
| 绿藻门 | 8.3 | 0.034 6 | 5.3 | 0.023 3 | 7.5 | 0.031 6 | 5.9 | 0.029 5 | 4.4 | 0.027 5 |
| 硅藻门 | 5.6 | 0.062 9 | 5.9 | 0.067 4 | 5.2 | 0.054 1 | 5.1 | 0.051 9 | 5.6 | 0.062 4 |
| 蓝藻门 | 4.4 | 0.028 5 | 2.6 | 0.010 3 | 2.5 | 0.010 3 | 3.3 | 0.023 6 | 3.0 | 0.020 6 |
| 金藻门 | — | — | 0.1 | 0.000 3 | — | — | 0.1 | 0.003 | — | — |
| 黄藻门 | 2.2 | 0.022 1 | 1.2 | 0.011 7 | 1.1 | 0.010 9 | 1.2 | 0.011 8 | 0.9 | 0.008 6 |
| 裸藻门 | 0.5 | 0.007 1 | 0.4 | 0.005 3 | 0.5 | 0.006 8 | 0.5 | 0.007 8 | — | — |
| 合计 | 21.0 | 0.155 2 | 15.5 | 0.118 3 | 16.8 | 0.113 7 | 16.1 | 0.1276 | 13.9 | 0.119 1 |

2.3 中运河宿迁国电段浮游植物的群落特征

从表 4 可见,各监测点之间的群落特征指数无明显差异。根据各监测点数据统计分析可知,调查水域的多样性指数均值为 3.33,变动范围为 2.83~3.73;均匀度均值 0.84,变动范围为 0.69~0.92;丰富度均值为 0.87,变动范围为 0.59~1.18;单纯度均值为 0.14,变动范围为 0.10~0.23。

2.4 多样度与均匀度、丰富度和单纯度之间的相关分析

对各采样点浮游植物的多样度与均匀度、丰富度和单纯度通过 SPSS^[13] 软件参照文献[14]进行 Pearson 相关系数分析,结果表明,中运河宿迁国电码头段浮游植物多样度与均匀度和丰富度相关系数分别为 $r=0.623$ 和 $r=0.622$,均有显著意义,说明浮游植物多样度与均匀度和丰富度变化趋势均呈显著正相关;多样度与单纯度相关系数 $r=-0.915$,有极显著意义,说明浮游植物多样度与单纯度变化趋势呈极显著负相关。

3 结论与讨论

3.1 浮游植物的种类组成及密度和生物量

中运河宿迁国电码头段浮游植物,以硅藻门和绿藻门为主,硅藻门中的直链藻、双菱藻和舟形藻为优势种(优势度 ≥ 0.02),绿藻门中的栅藻、新月藻、小球藻为优势种(优势度 ≥ 0.02)。其中,硅藻门的舟形藻、双菱藻、小环藻和脆杆藻,绿藻门的小球藻和栅藻在各采样点均有出现,出现率近 100%。根据浮游植物的水体污染指示标准,说明此河段属于寡污带至 β -中污带种类^[15]。硅藻门和绿藻门的数量占整个调查河段的 70.6%,生物量占整个河段的 79.9%,这一结果与国内许多河流的浮游植物调查结果^[16-17] 相同。其中,硅藻门的生物量达 51.6%,这与海河^[18]、长江^[19] 的调查结果基本接近。浮游植物总数量为 13.9 万~21.0 万个/L,平均密度为 16.6 万个/L,根据贾晓平等提出的饵料生物(浮游植物)水平

表 4 调查水域浮游植物群落特征

| 断面编号 | 测点编号 | <i>H'</i> | <i>J'</i> | <i>D</i> | <i>C</i> |
|------|------|-----------|-----------|----------|----------|
| A | S | 3.73 | 0.89 | 0.94 | 0.10 |
| | M | 3.54 | 0.89 | 0.88 | 0.11 |
| | N | 3.26 | 0.86 | 0.76 | 0.12 |
| | 平均 | 3.51 | 0.88 | 0.86 | 0.11 |
| B | S2 | 3.61 | 0.84 | 1.09 | 0.11 |
| | M2 | 3.58 | 0.82 | 1.18 | 0.13 |
| | N2 | 3.40 | 0.80 | 1.06 | 0.13 |
| | 平均 | 3.53 | 0.82 | 1.11 | 0.12 |
| C | S3 | 3.46 | 0.83 | 1.02 | 0.12 |
| | M3 | 2.86 | 0.69 | 0.98 | 0.23 |
| | N3 | 2.85 | 0.79 | 0.63 | 0.20 |
| | 平均 | 3.06 | 0.77 | 0.88 | 0.18 |
| D | S4 | 2.83 | 0.82 | 0.59 | 0.20 |
| | M4 | 3.45 | 0.86 | 0.86 | 0.12 |
| | N4 | 3.29 | 0.86 | 0.77 | 0.13 |
| | 平均 | 3.19 | 0.85 | 0.74 | 0.15 |
| E | S5 | 3.40 | 0.92 | 0.70 | 0.12 |
| | M5 | 3.63 | 0.91 | 0.91 | 0.10 |
| | N5 | 3.09 | 0.86 | 0.66 | 0.14 |
| | 平均 | 3.37 | 0.90 | 0.76 | 0.12 |

分级评价标准^[20]可知,本调查河段浮游植物数量处于最丰富水平。浮游植物的总生物量在 0.127 6~0.155 2 mg/L 之间,平均生物量为 0.126 8 mg/L,根据何志辉的营养分类标准^[21]可知,本调查河段属于贫营养型水体。

3.2 浮游植物群落特征及 Pearson 相关系数的评价

生物多样性指数不仅可以反映生物多样性丰富程度,还可以反映生物栖息环境的优劣和受污染程度。本研究物种多样性采用 Shannon-wiener 指数表示,该指数通常多用于反映群落结构的复杂程度。越复杂的群落对环境的反馈功能越强,从而使群落结构得到较大的缓冲,趋于稳定^[22]。均匀度则是实际多样性指数与理论上最大多样性指数的比值,是一个相对值,其数值范围在 0~1 之间,用它来评价浮游植物的多样性更直观、清晰。在实践应用中,当均匀度大于 0.3 时,浮游植物的多样性较好,以此作为评价其多样性优劣的标准符合客观实际^[23-24]。本调查结果显示,水域的多样性指数均值为 3.33,变动范围为 2.83~3.73;均匀度均值为 0.84,变动范围为 0.69~0.92,按照陈清潮等提出的生物多样性阈值评价标准^[25]可知,本调查河段的浮游植物多样性处于丰富与非常丰富之间,说明本调查段浮游植物生物多样性和均匀度很好,浮游植物群落结构处非常完整和稳定的状态。

中运河宿迁国电码头段浮游植物多样性与均匀度和丰富度变化趋势均呈显著正相关;多样性与单纯度变化趋势呈极显著负相关。说明本调查水域浮游植物多样性、丰富度、均匀度和单纯度 4 种指数均能较好地表达浮游植物多样性。

综上所述,根据浮游生物的种类组成、密度和生物量及浮游植物群落特征的综合评定及相关性分析结果可知,中运河宿迁国电码头段浮游植物数量非常丰富,生物多样性处于丰富与非常丰富之间,因此得出此段水体生境质量处于优良清

洁的等级。这一结果也证明了近年来宿迁市对运河治理的效果非常明显。

参考文献:

[1] 沈惠新. 城市滨水区景观优化设计研究——以宿迁市京杭大运河为例[J]. 安徽农业科学,2012,40(14):8199-8201.

[2] 杨士建,嵇跃同,陆上岭,等. 中运河宿迁段水体氮污染特征分析[J]. 环境科学与技术,2005,28(4):42-43.

[3] 邵学东,陈勇,崔宝义,等. 城市滨水区开发与空间形态塑造的规划探讨——以宿迁市市区运河沿线空间形态设计为例[J]. 城市规划,2010(2):93-96.

[4] 潘立勇,栗多寿. 京杭运河徐州段底栖动物与水质的关系[J]. 环境科学技术,1992,4(1):1-5.

[5] 张觉民,何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京:农业出版社,1991:12-122.

[6] SL 219—1998 水环境监测规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2013:4-10.

[7] 周凤霞,陈剑虹. 淡水微型生物图谱[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[8] 胡钧钧,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.

[9] 何志辉. 淡水生态学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[10] Margale F R. Perspective in ecological theory[M]. Chicago:University of Chicago Press,1968.

[11] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana:University of Illinois Press,1949.

[12] Pielou E C. Ecological diversity[M]. New York:Wiley Inters,1975.

[13] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

[14] 李文荣,田家怡,徐天和,等. 环境监测统计学[M]. 济南:山东大学出版社,1990:198-207.

[15] 芦晏生. 松花江污染对浮游生物、着生藻类影响的初步研究[J]. 环境科学,1985(1):33-39.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 商玉荣. 京津地区主要河流浮游植物群落结构特征与河流质量的研究[J]. 中国环境科学,1992(3):208.

[19] 曾祥琮. 长江水系渔业资源调查协作组全国渔业资源调查和区划专集——长江水系渔业资源[M]. 北京:海洋出版社,1990.

[20] 贾晓平,杜飞雁,林钦,等. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨[J]. 中国水产科学,2003,10(2):160-164.

[21] 何志辉. 中国湖泊和水库的营养分类[J]. 大连水产学院学报,1987(1):1-10.

[22] 慕建东,董玮,陈碧鹃,等. 桑沟湾浮游植物生态特征[J]. 渔业科学进展,2009,30(3):91-96.

[23] 马建新,郑振虎,李云平,等. 莱州湾浮游植物分布特征[J]. 海洋湖泊通报,2002(4):63-67.

[24] 王志忠,巩俊霞,陈述江,等. 东平湖水域浮游植物群落组成与生物量研究[J]. 长江大学学报:自然科学版,2011,8(5):235-240.

[25] 陈清潮,黄良民,尹建强,等. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究[M]. 北京:海洋出版社,1994:42-50.