

# 连云港入海河流着生藻类群落特征及其水质评价

季相星, 叶敏强, 姜毅, 于爱琛

(江苏省连云港环境监测中心, 江苏 连云港 222001)

**摘要:**于2019年3月和7月对连云港主要入海河流着生藻类群落结构进行了调查,并基于水生态环境质量综合指数对15条入海河流水质进行评价。结果表明,良好以上的断面占总数的66.7%,调查共发现硅藻、绿藻、蓝藻、裸藻、黄藻及金藻共计106种着生藻类,其中春季60种,夏季80种;硅藻为全年优势种。着生藻类全年平均密度为42 266.7个/cm<sup>2</sup>,各断面密度差异较大。Shannon-Wiener多样性指数(H')为1.46~3.92,平均值为2.93,其中夏季H'<sub>平均</sub>为3.07,高于春季的2.80,总体呈放置7d样品多样性高于14d样品的趋势。

**关键词:**连云港;入海河流;着生藻类;群落结构;水质评价

中图分类号:X826

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2020)06-0047-05

## The Community Characteristics and Water Quality Evaluation of Periphytic Algae in Seagoing Rivers of Lianyungang

Ji Xiang-xing, Ye Min-qiang, Jiang Yi, Yu Ai-chen

(Jiangsu Lianyungang Environmental Monitoring Center, Lianyungang, Jiangsu 222001, China)

**Abstract:** A survey on periphytic algae community structure in main seagoing rivers of Lianyungang was conducted in March and July 2019. The water quality of 15 seagoing rivers were evaluated based on comprehensive evaluation index of water quality. The results of our survey showed that 66.7% of the total sections were good or above. 106 species of periphytic algae, including diatom, green algae, blue algae, euglena and yellow-green algae were found in Lianyungang seagoing rivers. 60 species were found in spring and 80 were found in summer. Diatom dominated the community all over the year. The annual mean abundance of periphytic algae was 42 266.7 cell/cm<sup>2</sup>. Big difference existed among sections. Shannon-Wiener index (H') was between 1.46~3.92, with a mean value at 2.93. The mean summer H' was 3.07, which was higher than spring value of 2.80. Diversities of samples placed for 7 days were higher than those of 14 days. Based on the comprehensive evaluation index of water quality, 66.7% of sections were evaluated as good and above.

**Key words:** Lianyungang; Seagoing rivers; Periphytic algae; Community structure; Water quality evaluation

着生藻类是水生态系统重要的生物组成部分和初级生产者之一,其营固着生活,拥有较大的生物膜面积,对水生态系统的变化和反应十分敏感,是理想的水环境监测生物指标<sup>[1-2]</sup>。国内外对着生藻类展开了广泛的研究,Osorio<sup>[3]</sup>研究了生境复杂性对着生藻类群落结构的影响,刘敏<sup>[4]</sup>对着生藻类及其生态种组对微时空变化的响应进行了分析,陈泽恺<sup>[5]</sup>对鄱阳湖着生藻类分布格局及其与环境相关性进行了探讨。

连云港市境内河网发达,其中主要入海河流有

16条,是著名的“洪水走廊”。国内学者对其水质、沉积物开展过相关研究<sup>[6-7]</sup>,但对其着生藻类的研究却未见报道。现于2019年3和7月对连云港主要入海河流着生藻类群落结构进行了调查,并基于水生态环境质量综合指数(WQI)<sup>[8]</sup>对15条入海河流水质进行评价。

### 1 研究方法

#### 1.1 点位设置

在连云港境内除灌河外的其余15条主要入海

收稿日期:2019-12-18;修订日期:2020-08-21

基金项目:江苏省环境监测科研基金资助项目(1715)

作者简介:季相星(1987—),男,硕士,工程师,从事生物生态监测工作。

河流各设置 1 个断面, 共计 15 个断面, 分别为: 临洪闸、善后河闸、墩尚水漫桥、烧香北闸、大浦闸、大板跳闸、海头大桥、204 公路桥、坝头桥、兴庄桥、郑园桥、范河桥、新沂河海口控制工程、四队桥、燕尾闸。

## 1.2 采样时间

2019 年 3 月(春季)、7 月(夏季)。

## 1.3 样品采集与分析

按文献[9]要求对水质样品采集、保存。样品按文献[10]要求分析除粪大肠菌群外的 23 项基本项目。

根据文献[11], 使用木制硅藻计法进行着生藻类样品的采集。每个硅藻计(10 cm × 26 cm)固定 5 片光滑载玻片(25.4 mm × 76.2 mm); 每个采样点放置 2 个硅藻计, 分别放置 7 和 14 d 后取回, 用软毛刷将基质上的着生藻类刷至 500 mL 的敞口棕色玻璃容器中, 并用适量蒸馏水将基质和软毛刷冲洗多次, 后加入鲁哥试剂保存并带回实验室待检; 实验室静置 24 h 后浓缩至 30 mL, 镜检、鉴定并计数。所有样品的分析均由同一人员完成, 同时抽取部分样品进行比对。

## 1.4 评价方法

### 1.4.1 水质指标

按文献[10], 参照各项目标准限值进行单因子评价(其中水温和 pH 值不作为评价指标)。

### 1.4.2 栖息地生境质量(H)

采用文献[12]的方法, 选取 10 个评价指标(底质、栖境复杂性、速度和深度结合特征、河岸稳定性、河道变化、河水水量状况、植被多样性、水质状况、人类活动强度、河岸土地利用类型), 每个 20 分, 总分 200 分。所有点位的分值由同一位调查者通过现场调查、目测评分的方法获取, 调查范围为河段长 100 m, 岸带宽 50 m。

### 1.4.3 着生藻类

采用 Shannon - Wiener 多样性指数( $H'$ )<sup>[13]</sup>进行分析, 依据文献[8]对  $H'$  进行评价。

$$H' = \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

式中:  $P_i$ ——第  $i$  种的个体数与总个体数的比值;

$S$ ——总种数。

### 1.4.4 水生态环境质量综合评价

利用 WQI 进行水生态环境质量综合评价。

$$WQI = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

式中:  $x_i$ ——评价指标分值;

$w_i$ ——评价指标权重, 其中水质指标和生物指标( $H'$ )建议权重均为 0.4, 生境指标为 0.2<sup>[8]</sup>。

评价指标各等级赋分见表 1, 水生态环境质量状况分级标准见表 2。

表 1 评价指标各等级赋分<sup>①</sup>[8]

水质类别	$H'$	生境得分	赋分
I 类	>3.0	$H > 150$	5
II 类	2.0 ~ 3.0	$120 < H \leq 150$	4
III 类	1.0 ~ 2.0	$90 < H \leq 120$	3
IV 类	0 ~ 1.0	$60 < H \leq 90$	2
V 类	0	$H \leq 60$	1

①劣 V 类水质赋分为 0。

表 2 水生态环境质量状况分级标准<sup>[8]</sup>

水生态环境质量状况	优秀	良好	轻度污染	中度污染	重度污染
WQI	$WQI \geq 4$	$4 > WQI \geq 3$	$3 > WQI \geq 2$	$2 > WQI \geq 1$	$WQI < 1$

## 2 结果分析

### 2.1 硅藻计回收

春和夏季野外放置 7 d 的硅藻计全部收回。春季放置 14 d 的硅藻计有 2 个断面未收回, 回收率为 86.7%; 夏季放置 14 d 的硅藻计仅收回 8 个, 回收率为 53.3%。

### 2.2 着生藻类种类组成

在连云港入海河流调查中共发现着生藻类 106 种, 其中包括硅藻 51 种, 绿藻 28 种, 蓝藻 12 种, 裸藻 9 种, 黄藻 4 种及金藻 2 种。连云港入海河流着生藻类种数及类群组成见图 1。由图 1 可见, 春季共发现着生藻类 60 种, 其中 7 d 样品发现 45 种, 14 d 样品发现 46 种, 2 次调查发现物种数相近。夏季共发现着生藻类 80 种, 其中 7 d 样品发现 65 种, 14 d 样品发现 49 种。

文献[14]对淀山湖的研究认为冬季着生藻类最多而夏季最少, 而文献[4]对太湖的研究则表明不同区域不同类型湖泊季节变化规律不同。本研究与文献[15]研究结果一致, 均认为夏季种类数和密度均最大, 主要受水温的影响, 着生藻类存在季节变化, 但不同研究区域的变化规律不一致。

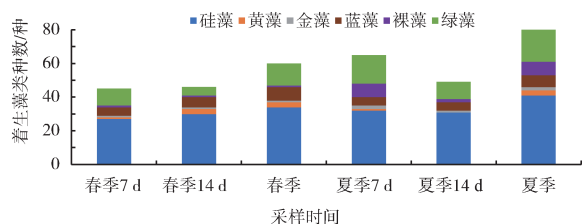


图 1 连云港入海河流着生藻类种类组成

2.3 着生藻类的丰度变化

连云港入海河流的着生藻类密度为 255 ~ 360 000 个/cm<sup>2</sup>, 平均值为 42 266.7 个/cm<sup>2</sup>, 各断面着生藻类密度见表 3。

表 3 各断面着生藻类密度 个/cm<sup>2</sup>

断面名称	春季 7 d	春季 14 d	夏季 7 d	夏季 14 d
临洪闸	183 000		8 875	
善后河闸	2 740		360 000	19 800
墩尚水漫桥	870	255	13 725	74 000
烧香北闸	8 700	103 500	44 875	
大浦闸	1 620	21 100	14 375	
大板跳闸	840	7 290	48 450	26 100
海头大桥	79 600	28 350	12 300	
204 公路桥	3 795	3 030	2 350	
坝头桥	8 850	98 250	264 000	
兴庄桥	258	15 750	21 600	49 200
郑园桥	6 680	30 187.5	6 750	38 000
范河桥	742.5	55 050	50 000	32 625
新沂河海口控制工程	357	4 365	425	
四队桥	8 850	303 000	1 600	6 625
燕尾闸	3 315	13 200	15 375	51 000
平均值	20 681.2	52 563.7	57 646.7	37 168.8

由表 3 可见, 春季 14 d 的平均密度远 > 7 d, 除墩尚水漫桥、海头大桥及 204 公路桥外, 其他断面均是 14 d 密度 > 7 d。夏季 14 d 的平均密度较 7 d 有所下降, 除丢失的外, 共有 8 组数据, 经对照仅有 3 个 7 d 密度较高的断面发生下降, 而平均密度下降主要是由于善后河闸密度的大幅下降造成的。

无论春季还是夏季, 各断面着生藻类密度存在较大的差异, 这与薛浩等<sup>[16]</sup>对松花江流域着生藻类的研究结果一致。相同断面每次调查的差异较大, 季节变化明显, 这与着生藻类的生长周期短、繁殖能力强等有关。

2.4 着生藻类的多样性

连云港入海河流着生藻类 H' 为 1.46 ~ 3.92,

平均值为 2.93, 总体呈丰富至较丰富的状态, 见表 4。夏季 H' 平均高于春季, 其中夏季 7 d H' 平均最高, 而春季 14 d H' 平均最低。同一季节, 放置 7 d 的 H' 平均要高于放置 14 d 的。从各断面 H' 平均看, 8 个断面的 H' 平均 > 3, 7 个断面位于 2 ~ 3, 说明连云港入海河流着生藻类整体多样性较高, 群落较稳定。

表 4 着生藻类生物多样性评价结果

断面名称	H'				平均 H' 指数
	春季 7 d	春季 14 d	夏季 7 d	夏季 14 d	
临洪闸	1.82		3.05		2.43
善后河闸	2.62		3.10	2.70	2.81
墩尚水漫桥	3.34	3.04	2.91	2.99	3.07
烧香北闸	3.67	3.21	3.63		3.50
大浦闸	3.50	3.36	2.87		3.24
大板跳闸	2.95	3.45	3.85	2.64	3.22
海头大桥	2.59	3.04	3.19		2.94
204 公路桥	3.15	2.48	3.47		3.03
坝头桥	1.63	1.46	3.88		2.32
兴庄桥	3.14	1.92	3.63	2.66	2.84
郑园桥	2.85	3.10	3.92	2.87	3.18
范河桥	2.95	1.92	3.46	2.08	2.60
新沂河海口控制工程	3.05	2.82	3.22		3.03
四队桥	3.84	2.03	2.87	3.04	2.95
燕尾闸	2.62	3.13	3.37	3.20	3.08
平均值	2.91	2.69	3.36	2.77	2.93

2.5 水质理化指标

主要理化指标监测结果见表 5。由表 5 可见, 评价为 III 类水质的断面 4 个, IV 类 5 个, V 类 3 个, 劣 V 类 3 个。总磷 (TP)、氨氮 (NH<sub>3</sub>-N)、高锰酸盐指数 (I<sub>Mn</sub>)、化学需氧量 (COD) 及生化需氧量 (BOD<sub>5</sub>) 是影响连云港入海河流水质的主要污染物。

2.6 水环境质量综合评价

取 3 和 7 月各断面水质监测结果的平均值对其进行水质评价, 取各断面 4 次 H' 平均值对其进行生物多样性评价, 取各断面 3 和 7 月生境评分的平均值进行生境评价, 计算水质综合评估指数, 结果见表 6。

由 WQI 可知, 连云港主要入海河流断面中评价为良好以上的共 10 个, 占总数的 66.7%, 但善后河闸、大浦闸、海头大桥、范河桥和四队桥 5 个断面评价为轻度污染。

表 5 主要理化指标监测结果

断面名称	I <sub>Mn</sub>	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	石油类	挥发酚	COD	TP	水质评价
临洪闸	7.4	3.9	0.71	0.018	0.000 5	21	0.25	Ⅳ类
善后河闸	8.8	5.7	0.88	0.035	0.001 3	26	0.45	劣Ⅴ
墩尚水漫桥	5.6	2.8	0.14	0.023	0.000 9	14	0.08	Ⅲ类
烧香北闸	8.7	2.1	1.43	0.023	0.002 1	23	0.13	Ⅳ类
大浦闸	7.4	4.0	2.50	0.060	0.002 5	21	0.30	劣Ⅴ
大板跳闸	8.2	4.3	0.90	0.023	0.005 1	24	0.12	Ⅳ类
海头大桥	5.9	3.2	0.38	0.008	0.000 2	15	0.37	Ⅴ类
204 公路桥	6.7	3.8	1.91	0.018	0.000 2	18	0.16	Ⅴ类
坝头桥	4.4	2.4	0.18	0.005	0.000 2	12	0.02	Ⅲ类
兴庄桥	6.9	2.8	1.00	0.008	0.000 2	14	0.10	Ⅳ类
郑园桥	6.4	2.4	1.16	0.010	0.000 2	14	0.16	Ⅳ类
范河桥	9.0	4.2	1.84	0.010	0.000 3	22	0.15	Ⅴ类
新沂河海口控制工程	4.6	1.6	0.52	0.005	0.000 7	15	0.06	Ⅲ类
四队桥	9.2	5.9	0.56	0.020	0.003 2	27	0.54	劣Ⅴ
燕尾闸	6.0	2.1	0.59	0.005	0.000 5	19	0.14	Ⅲ类

表 6 水环境质量综合评价结果

断面名称	水质评价	水质赋分	H'	生物赋分	生境评分	生境赋分	WQI	评价等级
临洪闸	Ⅳ类	2	2.43	4	140.5	4	3.2	良好
善后河闸	劣Ⅴ	0	2.81	4	138.5	4	2.4	轻度污染
墩尚水漫桥	Ⅲ类	3	3.07	5	156	5	4.2	优秀
烧香北闸	Ⅳ类	2	3.50	5	146	4	3.6	良好
大浦闸	劣Ⅴ	0	3.24	5	133.5	4	2.8	轻度污染
大板跳闸	Ⅳ类	2	3.22	5	131.5	4	3.6	良好
海头大桥	Ⅴ类	1	2.94	4	147	4	2.8	轻度污染
204 公路桥	Ⅴ类	1	3.03	5	101.5	3	3	良好
坝头桥	Ⅲ类	3	2.32	4	110.5	3	3.4	良好
兴庄桥	Ⅳ类	2	2.84	4	134.5	4	3.2	良好
郑园桥	Ⅳ类	2	3.18	5	134.5	4	3.6	良好
范河桥	Ⅴ类	1	2.60	4	129.5	4	2.8	轻度污染
新沂河海口控制工程	Ⅲ类	3	3.03	5	144.5	4	4	优秀
四队桥	劣Ⅴ	0	2.95	4	125.5	4	2.4	轻度污染
燕尾闸	Ⅲ类	3	3.08	5	125	4	4	优秀

### 3 讨论

表 7 为春、夏 2 季野外放置不同时间所获得的结果。由表 7 可见,春、夏 2 季放置 7 d 的硅藻计全部回收,但放置 14 d 的硅藻计发生丢失,夏季 14 d 的回收率仅有 53.3%。春季放置 7 和 14 d 所获得的物种数相近,但 14 d 样品平均多样性略低于 7 d 样品。夏季放置 7 d 的着生藻类物种数、平均密度及平均多样性均高于放置 14 d 的结果。因此,研究认为连云港地区通过人工基质(硅藻计)采集着生藻类在春季和夏季最佳的野外放置时间均是 1 周左右。

表 7 春夏两季野外放置不同时间所获得的结果

时间	春季 7 d	春季 14 d	夏季 7 d	夏季 14 d
回收率/%	100	86.7	100	53.3
物种数/种	45	46	65	49
平均密度/ (个·cm <sup>-2</sup> )	20 681.2	52 563.7	57 646.7	37 168.8
平均多样性	2.91	2.69	3.36	2.77

### 4 结论

(1)对连云港主要入海河流的调查共发现着生藻类 106 种,其中春季发现 60 种,夏季 80 种。其全年平均密度为 42 266.7 个/cm<sup>2</sup>,各断面密度差异较大,且相同断面不同调查时间密度差异也较大。

(2)着生藻类 H'<sub>平均</sub> 为 2.93,整体多样性较高,群落较稳定。通过 WQI 对连云港主要入海河流做出评价,良好以上的断面占总数的 66.7%。

(3)通过对硅藻计回收率及着生藻类物种数、密度、多样性的分析,春夏季连云港地区人工基质野外放置最佳时间为一周左右。

#### [参考文献]

- [1] CHESSMAN B, GROWNS I, CURREY J, et al. Predicting diatom communities at the genus level for the rapid biological assessment of rivers[J]. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2):317 -

331.

[2] LOWE R L, PAN Y. Benthic algal communities as biological monitors[M]. *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystem*, Academic Press, New York, 1996:705 - 739.

[3] OSORIO N C, CUNHA E R, TRAMONTE R P, et al. Habitat complexity drives the turnover and nestedness patterns in a periphytic algae community[J]. *Limnology*, 2019, 20(3): 297 - 307.

[4] 刘敏. 着生藻类及其生态种组对微时空变化的响应[D]. 上海:华东师范大学,2018.

[5] 陈泽恺. 鄱阳湖着生藻类分布格局及其与环境相关性的研究[D]. 上海:上海师范大学,2019.

[6] 崔彩霞,盛建明,花卫华,等. 灌河口海域入海河流水质污染现状评价[J]. *河北渔业*,2013(10):16 - 19.

[7] 冯婉竹. 江苏省海州湾入海河流沉积物地球化学特征及其环境意义[D]. 西安:西安工程大学,2019.

[8] 中国环境监测总站. 流域水生态环境质量监测与评价技术指南[M]. 北京:中国环境科学出版社,2017:70 - 72.

[9] 国家环境保护总局. 地表水和污水监测技术规范:HJ/T 91—2002 [S]. 北京:中国环境科学出版社,2003:1 - 47.

[10] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002 [S]. 北京:中国环境科学出版社,2019:1 - 8.

[11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:655 - 658.

[12] ZHENG B H,ZHANG Y,LI Y B. Study of indicators and methods for river habitat assessment of Liao River Basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*,2007,27(6): 928 - 936.

[13] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[J]. *Urbana: University of Illinois Press*, 1949.

[14] 由文辉. 淀山湖着生藻类群落结构与数量特征[J]. *环境科学*,1999(5):62 - 65.

[15] 杨红军,袁峻峰,张锦平. 着生藻类群落在黄浦江水质监测中的应用[J]. *上海环境科学*,2002(11):686 - 689,693.

[16] 薛浩. 松花江流域着生藻类空间分布研究[C]//中国环境科学学会. 2017 中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第二卷). 北京:中国环境科学学会,2017:767 - 773.

(上接第 40 页)

鉴于目前有些企业氨氮的排放浓度比《GB 3838—2002》标准还低,如大部分城镇污水处理厂和一些印染厂,因此建议水污染源氨氮自动监测设

备比对试验考核指标应该结合《HJ/T 355—2007》《HJ 915—2017》和文献[6]中关于氨氮的比对考核指标综合考虑进行规定,见表 4。

表 4 水污染源氨氮自动监测系统比对试验建议考核指标

项目	实际水样比对试验相对误差
氨氮 (NH <sub>3</sub> - N)	当自动监测数据和实验室分析结果双方都未检出,或有一方检出,另一方的测定值 < 0.15 mg/L 时,均认定比对实验结果合格 当 4DL < ρ(NH <sub>3</sub> - N) ≤ 0.5 mg/L 时,相对误差 < ±40% 当 0.5 mg/L < ρ(NH <sub>3</sub> - N) ≤ 1.5 mg/L 时,相对误差 < ±30% 当 1.5 mg/L < ρ(NH <sub>3</sub> - N) ≤ 5 mg/L 时,相对误差 < ±20% 当 ρ(NH <sub>3</sub> - N) > 5 mg/L 时,相对误差 < ±15%

### 3 结语

水污染源氨氮自动监测设备比对试验监测是判断自动监测数据准确性和有效性的的重要依据。但是在水污染源氨氮自动监测设备的比对监测过程中产生了很多问题,其中一个突出问题是比对试验考核指标不合理。结合水污染源在线监测系统运行与考核技术规范以及地表水自动监测技术规范,通过具体事例的比较分析后,提出了水污染源氨氮自动监测系统按照不同排放浓度实施不同比对试验考核指标的建议。

数据有效性审核教程[M]. 北京:中国环境科学出版社,2010.

[2] 林志亮,吴萍莉. 建设福建省环境自动监测监控系统全面提高环境管理现代化水平[J]. *引进与咨询*,2006(8):28 - 29.

[3] 中国环境监测总站. 关于印发《污染源自动监测设备比对监测技术规定(试行)》的通知[EB/OL]. (2010 - 08 - 16) [http://www. envsc. cn/details/index/355](http://www.envsc.cn/details/index/355).

[4] 容学军,唐静. 氨氮有效性数据审核探析[J]. *资源节约与环保*,2015(7):110.

[5] 环境保护部. 地表水自动监测技术规范(试行):HJ 915—2017[S]. 北京:中国环境科学出版社,2017.

[6] 吴正华,陈大密,李琴. 氨气电极法和纳氏试剂分光光度法对地表水中氨氮的比对测试[J]. *环境监控与预警*,2019,11(3):19 - 22.

#### [参考文献]

[1] 环境保护部环境监测司. 国家重点监控企业污染源自动监测

栏目编辑 周立平