

沈抚连接带河流着生藻类群落结构及时空分布特征

付保荣¹, 李雪¹, 郭海娟², 张润洁¹, 左世文¹, 任婧¹, 佟丽丽¹

(1. 辽宁大学 环境学院, 辽宁 沈阳 110036; 2. 河北工程大学 能源与环境工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 2015年4月、7月和10月,对沈抚连接带河流着生藻类进行了调查,采集到藻类7门9纲17目28科59属,其中硅藻门24属,绿藻门20属,蓝藻门8属,裸藻门3属,黄藻门2属,隐藻门、甲藻门各1属。进一步的分析显示,沈抚连接带河流着生藻类优势种为硅藻门;4月和10月的生物密度高于7月。通过Shannon-Weaver多样性指数分析藻类,发现该水域的支流污染较干流严重。将4项环境因子与着生藻类群落结构进行冗余度分析(RDA),发现藻类群落组成与BOD₅和COD_{Mn}呈负相关,与pH值和溶解氧呈正相关,绿藻门和硅藻门受环境因子影响显著。

关键词: 沈抚连接带; 着生藻类; 群落结构; 时空分布; 冗余度分析

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)01-0068-06

Community Structure and Spatial-temporal Distribution of Periphytic Algae in Rivers of Shenyang - Fushun Connection Belt

FU Bao-rong¹, LI Xue¹, GUO Hai-juan², ZHANG Run-jie¹, ZUO Shi-wen¹,
REN Jing¹ TONG Li-li¹

(1. College of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036, China; 2. College of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: In April, July and October of 2015, an investigation was conducted on the growth of periphytic algae in rivers of Shenyang - Fushun connection belt. The samples include 59 genus, 28 families, 17 orders, 9 classes and 7 phyla, in which 24 genus belonged to *Bacillariophyta*, 20 genus belonged to *Chlorophyta*, 8 genus belonged to *Cyanophyta*, 3 genus belonged to *Euglenophyta*, 2 genus belonged to *Xanthophyta*, and 2 genus were *Cryptophyta* and *Pyrroptata*, respectively. The dominant species of the periphytic algae in rivers of Shenyang - Fushun connection belt were the *Bacillariophyta*, and the biological density in April and October was higher than that in July. Through the analysis of Shannon-Weaver diversity index, it was found that the pollution of tributaries was more serious than that of the main stream. Redundancy analysis (RDA) of four environmental factors and the community structure of the periphytic algae showed that, the community structure of periphytic algae was negatively correlated with BOD₅ and potassium permanganate index and positively correlated with pH and dissolved oxygen, and *Chlorophyta* and *Bacillariophyta* were significantly affected by environmental factors.

Key words: Shenyang - Fushun connection belt; periphytic algae; community structure;

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07202011); 环保部公益性行业科研专项资助项目(201409037)

通信作者: 郭海娟 E-mail: guohaijuan@163.com

spatial-temporal distribution; RDA analysis

着生藻类又称周丛藻类或底栖藻类,是水体食物链的起点。在流速适宜的河流中,着生藻类的初级生产力作用超过浮游植物和高等水生植物。此外,由于着生藻类固着于基质表面,活动性较差,当生境遇到干扰时无法躲避,只能以耐受或死亡来响应干扰^[1]。因此,根据着生藻类群落结构的变化能够较为准确地判断干扰对水生生态系统的影响。选择着生藻类作为分析河流水质状况的指标,已逐渐成为水生生态领域的研究热点。沈抚连接带河流属于辽河流域浑河水系,地处沈阳、抚顺两个城市之间,流域面积为665 km²,水系情况复杂,流经河流除浑河干流及10条支流外,还有一条沈抚人工运河。该区域的水环境质量状况对沈、抚两城及下游广大地区的生态环境和居民健康至关重要。近年来,针对辽河流域的水质状况研究多集中于干流水体,对部分支流的研究较少。

笔者以沈抚连接带为研究对象,以着生藻类为生态指标,在2015年4月、7月和10月3个时期的水质数据基础上,通过Shannon-Weaver多样性指数法,分析该区域的藻类群落结构和水环境因子,评价该流域的水质状况,旨在为辽河流域支流水环境状况的调查与评价奠定基础。

1 材料与方法

1.1 采样方法

藻类的检测时间为2015年4月、7月和10月,流经沈抚连接带浑河干流上的8个点位分别记作1[#]~8[#],污染较为突出的代表性支流上的10个点位分别记作S1~S10。

根据天然基质采样法,在采样点附近选取水草、附有藻类的石头及枯枝落叶。将水草全株放在采样瓶中,用硬毛刷将附着在石头上的着生藻类刷入瓶中,枯枝落叶直接装入瓶里。其中,定性样品用甲醛溶液固定,定量样品用鲁戈氏液固定^[2]。

1.2 分析方法

按照《中国淡水藻类》和《中国淡水藻志》对藻类进行定性,通过血球计数板法对藻类群体和数量进行观察和统计。对于硅藻门藻类,先观察暂时制片,留意硅藻群体和硅藻数量,然后进行消化处理,制作永久封片。

通过Shannon-Weaver多样性指数法分析藻类

的生物多样性。水体pH值和DO浓度现场测定,生化需氧量(BOD₅)和高锰酸钾指数(COD_{Mn})参照《水和废水监测分析方法》(第4版)进行测定。

采用CANOCO 4.5软件分析着生藻类与水环境因子的相关性,通过species-sample资料进行除趋势对应分析(DCA),Lengths of gradient第一轴的数值小于3.0,选择冗余度分析(RDA)。

2 结果与讨论

2.1 着生藻类的群落结构

检测过程中,共得到着生藻类7门9纲17目28科59属,其中硅藻门(*Bacillariophyta*)24属,绿藻门(*Chlorophyta*)20属,蓝藻门(*Cyanophyta*)8属,裸藻门(*Euglenophyta*)3属,黄藻门(*Xanthophyta*)2属,隐藻门(*Cryptophyta*)、甲藻门(*Pyrroptata*)各1属,见表1。

表1 沈抚连接带河流不同时间的着生藻类

Tab.1 Periphytic algae species during different time in rivers of Shenyang-Fushun connection belt

门	属	4月	7月	10月
<i>Cyanophyta</i>	<i>Chroococcus</i>	√	√	√
	<i>Coelosphaerium</i>	√		
	<i>Merismopedia</i>	√	√	√
	<i>Microcystis</i>		√	
	<i>Nodularia</i>		√	
	<i>Anabaena</i>	√	√	
	<i>Oscillatoria</i>	√	√	√
	<i>Phormidium</i>	√	√	√
<i>Cryptophyta</i>	<i>Cryptomonas</i>			√
<i>Pyrroptata</i>	<i>Peridinium</i>	√		√
<i>Xanthophyta</i>	<i>Tribonema</i>	√		√
	<i>Characiopsis</i>		√	
<i>Bacillariophyta</i>	<i>Melosira</i>	√	√	√
	<i>Cyclotella</i>	√	√	√
	<i>Diatoma</i>	√	√	√
	<i>Meridion</i>	√		√
	<i>Ceratoneis</i>	√		
	<i>Fragilaria</i>	√	√	√
	<i>Synedra</i>	√	√	√
	<i>Asterionella</i>			√
	<i>Gyrosigma</i>	√	√	√
	<i>Neidium</i>	√	√	
	<i>Diploneis</i>	√		√
	<i>Navicula</i>	√	√	√

续表 1 (Continued)

门	属	4月	7月	10月
Bacillariophyta	<i>Pinnularia</i>	✓		
	<i>Amphora</i>	✓		✓
	<i>Cymbella</i>	✓	✓	✓
	<i>Gomphonema</i>	✓	✓	✓
	<i>Cocconeis</i>	✓	✓	✓
	<i>Achnanthes</i>	✓		
	<i>Rhoicosphenia</i>		✓	
	<i>Hantzschia</i>			✓
	<i>Nitzschia</i>	✓	✓	✓
	<i>Cymatopleura</i>	✓	✓	✓
	<i>Stenopterobia</i>	✓		
	<i>Surirella</i>	✓	✓	✓
Euglenophyta	<i>Euglena</i>	✓	✓	✓
	<i>Phacus</i>		✓	✓
	<i>Trachelomonas</i>	✓		
Chlorophyta	<i>Chlamydomonas</i>	✓		✓
	<i>Chlorogonium</i>		✓	
	<i>Pandorina</i>		✓	
	<i>Eudorina</i>		✓	
	<i>Micractinium</i>		✓	
	<i>Pleodorina</i>			✓
	<i>Selenastrum</i>			✓
	<i>Schroederia</i>		✓	
	<i>Chlorella</i>	✓	✓	✓
	<i>Ankistrodesmus</i>	✓	✓	✓
	<i>Actinastrum</i>			✓
	<i>Pediastrum</i>	✓		✓
	<i>Scenedesmus</i>	✓	✓	✓
	<i>Draparnaldia</i>	✓	✓	✓
	<i>Stigeoclonium</i>			✓
	<i>Ulothrix</i>	✓		✓
	<i>Cladophora</i>	✓		✓
	<i>Spirogyra</i>	✓	✓	✓
	<i>Closterium</i>	✓	✓	✓
	<i>Cosmarium</i>		✓	✓

4月共监测到着生藻类6门8纲15目24科41属(蓝藻门、甲藻门、黄藻门、硅藻门、裸藻门、绿藻门的占比分别为14.63%、2.44%、2.44%、51.22%、4.88%和24.39%),7月共监测到着生藻类5门7纲13目22科37属(蓝藻门、黄藻门、硅藻门、裸藻门以及绿藻门的占比分别为18.92%、2.70%、40.54%、5.41%和32.43%),10月共监测到着生藻类7门9纲16目28科42属(蓝藻门、隐藻门、甲藻门、黄藻门、硅藻门、裸藻门、绿藻门的占比分别为9.52%、2.38%、2.38%、2.38%、42.86%、4.76%和

35.72%)。可以看出,3个时间段内着生的藻类均以硅藻门、绿藻门和蓝藻门为主,且优势种始终是硅藻门。

2.2 着生藻类的生物密度

沈抚连接带着生藻类生物密度的变化如图1所示。可知,4月、7月和10月着生藻类的平均生物密度分别为 $(0.54 \times 10^5 \sim 5.01 \times 10^5)$ 、 $(0.22 \times 10^5 \sim 5.53 \times 10^5)$ 和 $(0.78 \times 10^5 \sim 5.67 \times 10^5)$ 个/cm²。其中,除了6[#]、8[#]和S1采样点以外,余下15个采样点的着生藻类生物密度在7月时要明显低于4月和10月。

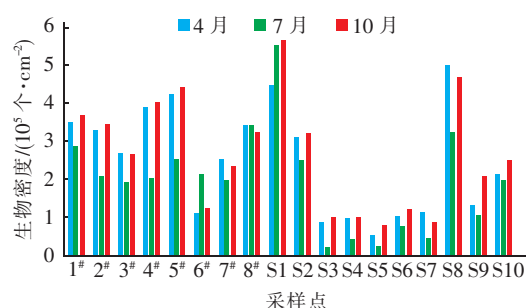


图1 沈抚连接带河流着生藻类生物密度的变化

Fig.1 Change of biological density of periphytic algae in rivers of Shenyang – Fushun connection belt

沈抚连接带着生藻类年均生物密度的空间分布如图2所示。可知,研究区域内支流着生藻类的生物密度(除S1和S8外)普遍小于干流,且支流上的采样点距离干流越近生物密度越大。S1和S8的生物密度均较高,可能是二者靠近的水库(棋盘山水库)有别于河流水体的水文特征所致。

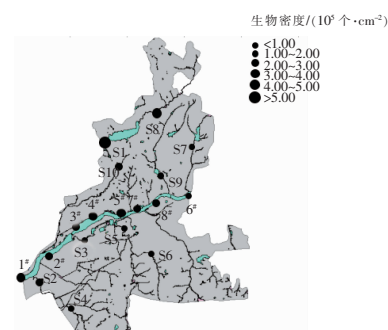


图2 沈抚连接带河流着生藻类年均生物密度的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of annual biological density of periphytic algae in rivers of Shenyang – Fushun connection belt

2.3 着生藻类的多样性

图3为沈抚连接带河流着生藻类多样性指数的变化。可知,4月、7月和10月着生藻类的多样性指

数分别为0.52~2.65、0.53~2.44和0.48~2.87。除6[#]、8[#]、S2、S3和S4外,7月的生物多样性指数均小于4月和10月。

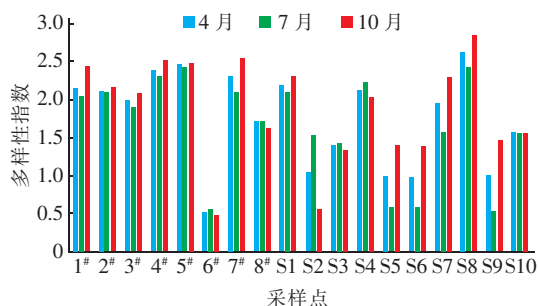


图3 沈抚连接带河流着生藻类多样性指数的变化

Fig.3 Change of diversity index of periphytic algae in rivers of Shenyang - Fushun connection belt

沈抚连接带着生藻类生物多样性指数的空间分布如图4所示。可知,干流中8[#]为中度污染,6[#]为重度污染,其他点位均属于轻度污染。支流中S1、S4、S8点位属于轻度污染,S2、S3、S5、S7、S9、S10点位属于中度污染,S6为重度污染。

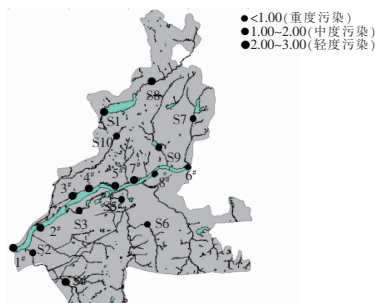


图4 沈抚连接带河流着生藻类多样性指数的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of diversity index of periphytic algae in rivers of Shenyang - Fushun connection belt

2.4 着生藻类的冗余度分析

环境因子与着生藻类群落结构的相关性见图5。

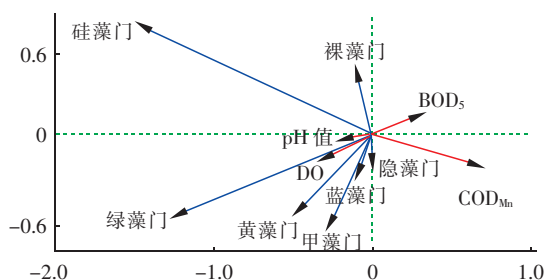


图5 环境因子与着生藻类的相关性

Fig.5 Correlation between environmental factors and periphytic algae

由图5可知,硅藻门、绿藻门、蓝藻门、黄藻门和甲藻门与pH值和溶解氧呈正相关,与BOD₅和COD_{Mn}呈负相关;隐藻门与COD_{Mn}呈正相关,与其他环境因子相关性较小;裸藻门与各环境因子的相关性均较小。

2.5 讨论

沈抚连接带河流着生藻类中硅藻门、绿藻门和蓝藻门的种类较多,并且硅藻门始终是优势种。研究发现^[3],硅藻门的种类繁多,其繁殖能力与适应环境的能力较强,是河流生态系统中的优势门类。同时,硅藻生长和繁殖速度会随着光照和温度的增加而加快。

7月期间,着生藻类的生物密度和多样性指数明显低于4月和10月,主要是因为水温有差异。4月的水温适宜硅藻等冷水种藻类的生长^[4-5],7月时高温会对冷水种藻类细胞造成损害,但适合蓝藻的生长与繁殖^[6],绿藻适宜夏秋季生存^[7],10月可以达到生长高峰。沈抚连接带河流中干流着生藻类的生物密度和多样性指数均明显高于支流,并且水库附近高于其他点位,这是由于干流和水库附近点位的生态流量和栖息地多样性较为丰富,各支流流量小甚至断流,无法保证着生藻类生存所需的生态流量^[8-9]。

大量研究表明,着生藻类的群落特征与水环境因子存在着密切相关性^[10-12]。在沈抚连接带河流中采集到的着生藻类,受到pH值、溶解氧、BOD₅和COD_{Mn}的影响。硅藻门和绿藻门受水环境因子的影响较大^[13-15],适宜生活在高pH值、高溶解氧、低COD_{Mn}和低BOD₅环境中。而环境因子对隐藻门和裸藻门的影响并不大,在该流域中属于耐受种。

3 结论

① 2015年4月、7月和10月期间,监测到沈抚连接带河流中的着生藻类有7门9纲17目28科59属。其中硅藻、绿藻和蓝藻是该研究区域内的优势门类。

② 7月的着生藻类生物密度和多样性指数明显低于4月和10月,干流明显高于支流,水库附近的点位高于其他点位。

③ 沈抚连接带河流中的硅藻门、绿藻门、蓝藻门、黄藻门和甲藻门与pH值和溶解氧呈正相关,与BOD₅和COD_{Mn}呈负相关;隐藻门和裸藻门受环境因子的影响不大,在该流域中属于耐受种。

参考文献:

- [1] 张润洁. 浑河着生藻类群落结构及影响因子分析[D]. 沈阳:辽宁大学,2012.
Zhang Runjie. Periphy Algae Communities Structure of Hun River and Analysis of Influence Factors [D]. Shenyang:Liaoning University,2012(in Chinese).
- [2] 王亚尼,周序协,张桂蓉,等. 大茶湖浮游藻类调查与水质初步评价[J]. 华中农业大学学报,2013,32(3): 118-123.
Wang Yani, Zhou Xuxie, Zhang Guirong, *et al.* Investigation of phytoplankton and preliminary evaluation of water quality in Dacha Lake[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2013, 32(3): 118-123 (in Chinese).
- [3] 李欢,赵伟华,林莉. 长江中下游干流浮游藻类空间分布特征初探[J]. 长江科学院院报,2015,32(6): 94-99.
Li Huan, Zhao Weihua, Lin Li. Spatial distribution features of phytoplankton community in middle-low reaches of mainstream Yangtze River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(6):94-99(in Chinese).
- [4] 朱广伟,金颖薇,任杰,等. 太湖流域水库型水源地硅藻水华发生特征及对策分析[J]. 湖泊科学,2016,28(1):9-21.
Zhu Guangwei, Jin Yingwei, Ren Jie, *et al.* Characteristics of diatom blooms in a reservoir-water supply area and the countermeasures in Taihu Basin, China[J]. Journal of Lake Sciences,2016,28(1):9-21(in Chinese).
- [5] 武琳,刘雪华,成小英,等. 景观水体浮游藻类变化及与水质因子关系分析[J]. 环境科学与技术,2012,35(4):120-126.
Wu Lin, Liu Xuehua, Cheng Xiaoying, *et al.* Spatial-temporal variation of phytoplankton in clean landscape water in Southeast China from autumn to spring and analysis of the related factors [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(4): 120-126 (in Chinese).
- [6] 戴国飞,刘慧丽,张伟,等. 江西柘林湖富营养化现状与藻类时空分布特征[J]. 湖泊科学,2015,27(2): 275-281.
Dai Guofei, Liu Huili, Zhang Wei, *et al.* Spatio-temporal variation of algae and eutrophic status of Lake Zhelin, Jiangxi Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(2):275-281(in Chinese).
- [7] 邓文丽,刘均平,王晓星,等. 北京野鸭湖浮游植物群落结构与水质关系研究[J]. 湿地科学,2013,11(1): 27-34.
Deng Wenli, Liu Junping, Wang Xiaoxing, *et al.* Relationship between community structure of phytoplankton and water quality in Yeyahu Lake, Beijing[J]. Wetland Science,2013,11(1):27-34(in Chinese).
- [8] 赵洪,丛海兵,倪金春,等. 周村水库藻类在混合胁迫条件下的生长衰亡规律[J]. 环境科学学报,2014,34(10):2520-2525.
Zhao Hong, Cong Haibing, Ni Jinchun, *et al.* Growth and decay of algae in Zhoucun Reservoir under the hybrid stress conditions [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014,34(10):2520-2525(in Chinese).
- [9] 殷旭旺,徐宗学,鄢娜,等. 渭河流域河流着生藻类的群落结构与生物完整性研究[J]. 环境科学学报,2013,33(2):518-527.
Yin Xuwang, Xu Zongxue, Yan Na, *et al.* Community structure and biological integrity of periphyton in the Weihe River Basin, China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2013,33(2):518-527(in Chinese).
- [10] 雷波,刘朔孺,张方辉,等. 三峡水库上游长寿湖浮游藻类的季节变化特征及关键环境影响因子[J]. 湖泊科学,2017,29(2):369-377.
Lei Bo, Liu Shuru, Zhang Fanghui, *et al.* Seasonal phytoplankton dynamics and its relationship with key environmental factors in Lake Changshou, upper reaches of the Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Lake Sciences,2017,29(2):369-377(in Chinese).
- [11] 张艳艳,魏金豹,黄民生,等. 环境因子对滴水湖浮游植物生长的影响分析[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2015(2):48-57.
Zhang Yanyan, Wei Jinbao, Huang Minsheng, *et al.* Effects of environment factors on the growth of phytoplankton in Dishui Lake[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2015(2):48-57 (in Chinese).
- [12] 田永强,俞超超,王磊,等. 福建九龙江北溪浮游植物群落分布特征及其影响因子[J]. 应用生态学报,2012,23(9):2559-2565.
Tian Yongqiang, Yu Chaochao, Wang Lei, *et al.* Dynamic changes of phytoplankton's community structure in Beixi of Jiulongjiang River, Fujian Province of East China and related affecting factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012,23(9):2559-2565(in Chinese).

(下转第76页)