DOI:10.15928/j.1674-3075.2015.06.001

新疆伊犁河周丛藻类群落结构及其水质生物学评价

韦丽丽[1,2],周 琼[1,2],谢从新[1,2],牛建功[3],蔡林钢[3],李 红[3]

(1.华中农业大学水产学院,农业部淡水生物繁育重点实验室,武汉 430070;
2.淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心,武汉 430070;3.新疆维吾尔自治区水产科学研究所,乌鲁木齐 830000)

摘要:周丛藻类是新疆跨境河流土著、特有鱼类重要的基础饵料资源,研究其种群结构及评价水质,以保护该地区渔业资源与生态环境。2013年5、7、9、10月,在新疆跨境河流——伊犁河全流域选择8个样点,对周丛藻类群落结构进行了系统的调查分析。结果表明,伊犁河周丛藻类隶属5门41属145种,其中硅藻门种类数最多,113种(占77.9%),依次是蓝藻门14种(9.7%)、绿藻门13种(9.0%)、裸藻门4种(2.8%)和黄藻门1种(0.7%)。优势种主要为硅藻门的嗜盐舟形藻、偏肿桥弯藻、普通等片藻以及蓝藻门的皮状席藻等。研究期间,伊犁河周丛藻类的密度和生物量的均值分别为1331.7×10^6 ind/m^2、1908.5 mg/m^2。Simpson多样性指数、Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数和Margalef丰富度指数的平均值分别是0.73、3.24、0.60和3.91。Pearson相关性分析显示,伊犁河周丛藻的密度与流速呈极显著的负相关,与总氮呈极显著的正相关,与水温、盐度、氟化物、总硬度、钙离子呈显著的正相关;周丛藻类的生物量与流速呈极显著的负相关,与水温、硝态氮、氟化物、总氮呈显著的正相关。基于生物多样性指数(Shannon-Wiener、Margalef、Pielou)、指示生物法与硅藻耐受性指数等方法的水质评价结果大体上一致,综合评价结果:昭苏解放大桥、雅玛渡和伊犁河大桥水质相对较差为β-中污型,其余采样点水质均处于较好状态为寡污型。整体上伊犁河流域水质趋于良好。

关键词:周丛藻类;群落结构;水质评价;多样性指数;伊犁河

中图分类号:Q16,X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2015)06-0025-08

伊犁河流域位于伊犁巴尔喀什盆地,属中亚内陆河水系,是新疆第一大河流和最大的国际河流,其主源特克斯河发源于天山汗腾格里峰北坡,从哈萨克斯坦共和国流入我国,与巩乃斯河和喀什河汇合后始称伊犁河,后流经哈萨克斯坦共和国卡普恰盖水库,最终归宿于巴尔喀什湖(任慕莲等,1998)。伊犁河现有鱼类31种,其中土著鱼类10种,包含裂腹鱼类4种(任慕莲,1998)。伊犁河水资源丰富,蕴藏着巨大的经济价值,同时具有良好生态环境保护功能。近年来,随着该地区经济发展速度的加快,大量工业废水、城镇生活污水、生活垃圾排入河流,使河水水质变差,污染加重,影响到伊犁河流域用水安全和生物多样性保护(贾娜尔·阿汗等,2010)。因此,开展对伊犁河水生态环境及水质评价的研究,不仅关系到伊犁河流域经济可持续发展和环境保护,同时也影响到中哈两国的经济发展、生态环境安全和睦邻友好(伊犁哈萨克自治州统计局,2004)。

周丛藻类(periphyton)指在各种天然和人工基质如石块、水生高等植物、砂泥、沉于水中的水泥和木质桩柱、船体以及专门为了收集固着藻类而放置于水中的玻片、塑料板或膜等上附着的藻类(刘建康,1999)。周丛藻类为河流、湖泊中鱼类、底栖动物等水生动物提供了丰富的食物资源。由于方便采集、对人为活动的干扰敏感性强及固着生长等特性,周丛藻类已经广泛应用于河流生态系统的环境评价研究。周丛藻类生长状况易受水体环境物理化学因素的影响,可用于指示水环境水质的变化。研究表明,周丛藻类生物量和多样性的变化可以反映水体中氮、磷浓度的变化(陈重军等,2009)。同时,周丛藻类附着在水体中人工或自然的介质表面,形成相对稳定的生态结构,能连续反映水域的水质变化状况,是水环境质量变化的高效指示生物。目前,伊犁河流域尚无周丛藻类相关的研究开展。有鉴于此,我们对伊犁河流域的周丛藻类种类组成、优势种属、时空分布及群落多样性指数进行了系统的调查分析,并结合周丛藻类的多样性指数、生物指数、种群结构与水体理化因子状况,对该流域水质情况进行

收稿日期:2015-06-06

基金项目:国家科技基础性工作专项(2012FY112700);华中农业大学大学生科技创新基金(2014190)。

作者简介:韦丽丽,女,1990年生,硕士研究生,主要从事浮游生物生态学研究。E-mail: 569193744@qq.com

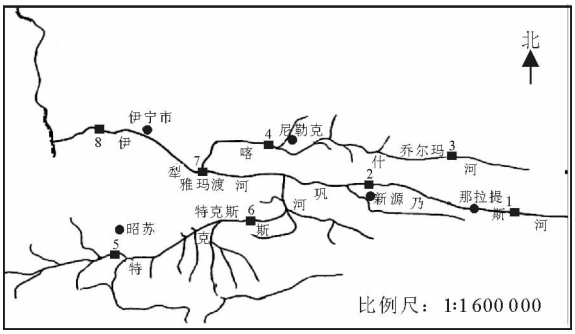
通信作者:周琼,博士,副教授,主要从事渔业资源与淡水生态学研究。E-mail:hainan@mail.hzau.edu.cn

综合评价,比较全面了解和掌握该水域水生生物物种资源现状,从而更加有效地利用水生生物监测水质并保护新疆跨境河流土著、特有鱼类种质资源。

1　材料与方法

1.1　采样位置与采样时间

受水文、气候与环境等各种因素的影响,伊犁河水量在年内枯水期、丰水期和平水期均变化显著。夏季汛期(7－8 月)水量增长,冬季冰封期(11 月至次年 4 月)较长,水量减少。基于伊犁河水文、气候与环境变化特征,我们选择 2013 年 5 月、7 月、9 月、10 月作为采样时间。在伊犁河的干流与 3 条主要支流设置了 8 个采样点(图 1)。



1：零公里，2:71 大桥，3:乔尔玛，4:尼勒克，5:昭苏解放大桥，6:特克斯三乡，7:雅玛渡，8:伊犁河大桥

图 1　新疆伊犁河流域及采样位置示意

Fig. 1　Location of the eight sampling sites in the Yili River drainage basin, Xinjiang Uygur Autonomous Region

1.2　样品的采集和分析处理

周丛藻类定性样品采自天然基质。选择附有藻类的石头,用硬毛刷将附着其上的藻类刷入装有蒸馏水的瓷盘中,转移至塑料瓶,带至实验室浓缩至 50 mL样品瓶中,并加入甲醛溶液固定保存(国家环保局《水生生物监测手册》编委会,1993)。定量样品是选择附有藻类的形状规则、易于测量表面积的石块,测量其实际面积,用毛刷刮取藻类并用蒸馏水冲刷至不锈钢托盘中后定容至 1 L 塑料瓶中,加入鲁哥氏液 15 mL 固定,带回室内沉淀并定容至 50 mL。水环境物理指标采用 Alalis MP3500 便携式 pH/电导率/溶氧仪现场测定。硝态氮、氨态氮、氟化物等水化学指标通过哈希 DR5000 紫外可见分光光度计进行测定,钙离子用梅特勒电位滴定仪测定。用于总氮、总磷分析的水样带至实验室,分别采用 GB11894-89、DREL5000-10210 方法完成测定。

1.3　周丛藻类的种类鉴定与计数

将处理好的样品在 40 倍光学显微镜下观察,用面积为 20 mm×20 mm、容量为 0.1 mL 计数板对周丛藻类进行计数,每片计数不得少于 300 个,每瓶样品计数 2 次,2 次计数结果之差应在 15% 之内,否则增加计数次数,有效统计数值取平均值即为该片的周丛藻类数量。每一样品的周丛藻类密度由单位面积上的细胞个体数表示(ind/m^2)。藻类的鉴定主要参照《淡水浮游生物研究方法》(章宗涉等,1991)和《中国淡水藻类》(胡鸿钧等,2006)。生物量的测算采用体积换算法(章宗涉等,1991),为各种藻类的数量乘以各自的平均体积,单位为 mg/m^2。

1.4　数据处理与统计分析

1.4.1　多样性的分析　Shannon-Wiener 指数(Shannon-Wiener diversity index, H')(Shannon C E et al,1949):

$$H' = -\sum(N_i/N)\log_2(N_i/N) \quad (1)$$

H'值 0～1 为重污,1～2 为 α-中污型,2～3 为 β-中污型,>3 为寡污型或无污。

Simpson 指数(Simpson diversity index, D)(Shannon C E et al,1949):

$$D = 1 - \mathrm{SUM}[N_i(N_i-1)/N(N-1)] \quad (2)$$

丰富度指数(Margalef index, d)(Margal EF R, 1958):

$$d = (S-1)/\log_2 N \quad (3)$$

d 值在 0～1 为多污型,1～2 为 α-中污型,2～3 为 β-中污型,>3 为寡污型。

均匀度指数(Pielou index, J)(Pielou E C, 1975):

$$J = H'/\log_2 S \quad (4)$$

J 值 0～0.3 为多污型,0.3～0.4 为 α-中污型,0.4～0.5 为 β-中污型,>0.5 为寡污型或清洁。

(1)～(4)式中,N_i 为第 i 种的个体数,N 为所有种类总个体数,S 为物种数。

1.4.2　优势种的确定　全年调查周丛藻类的优势种根据每个种类的优势度值(Y)来确定:

$$Y = (N_i/N) \times F_i \quad (5)$$

式中,N_i 为第 i 种的个体数,N 为所有种类总个体数,F_i 为第 i 种出现的频率。Y 值大于 0.02 的种类为全年调查的优势种(王云龙等,2005)。

1.4.3　统计分析　本研究相关的统计分析通过 SPSS 19.0 完成。密度、生物量与各环境因子(水温,透明度,水深,流速,pH,DO,电导率,盐度,总溶解固体(Total dissolved solids,TDS),氨氮,硝态氮,氟化物,总硬度,总氮,总磷,钙离子)的关系用 Pear-

son 分析(Pearson-Correlation)处理。周丛藻类多样性指数、优势度的计算均在 Excel 2003 中完成。

1.5 水质评价方法

1.5.1 物种多样性指数 藻类的物种多样性指数能反映不同环境下藻类个体分布丰度和水体污染程度(郑辉等,2011;田永强等,2012)。鉴于物种多样性指数计算的复杂性和适用性,选择 Shannon - Wiener 指数、Margalef 指数以及 Pielou 指数,对伊犁河各个采样点的水质进行评价。

1.5.2 指示生物法 周丛藻类作为初级生产者,能对水体营养状态的变化做出迅速的反应,因此被广泛用做水体营养状态的指示生物(刘东艳等,2003)。应用对环境某些物质(包括进入环境中的污染物质)能产生各种反应信息的藻类,并通过这些藻类了解环境质量的现状和变化的方法被广泛应用,这种方法为指示生物法(邓义祥等,1999)。

1.5.3 硅藻耐受性指数 硅藻耐受性指数(Pollution tolerance index for diatoms, PTI)是总结硅藻污染敏感性的参数,水环境越好,对污染敏感的种类越多,丰度越大,PTI 值越高,反之 PTI 值越低,可以有效反映水体受污染的程度(Muscio C, 2002)。计算公式为:

$$PTI = \sum(n_i t_i)/N \quad (6)$$

式中:PTI 代表每个采样点的总硅藻耐受性值,即硅藻耐受性指数;n_i 代表第 i 种藻类的数目;t_i 代表第 i 种藻类的硅藻耐受性指数,参照文献(Muscio,2002)界定,本研究中用到的 t_i 值见表2;N 代表每个采样点藻类的总数目。

表1 计算 PTI 所用硅藻及其耐受性指数

Tad.1 Algae species list used to calculate the pollution tolerance index for diatoms (PTI) and index values

藻 类	t_i	藻 类	t_i
普通等片藻	3	短小曲壳藻	3
肘状针杆藻	2	披针曲壳藻	2
双尖菱板藻	3	线形曲壳藻	4
谷皮菱形藻	1	比索曲壳藻	3
胡斯特桥弯藻	4	窄异极藻	2
近缘桥弯藻	3	小环藻	2
细小桥弯藻	1	变异直链藻	2
箱形桥弯藻	3	双头辐节藻	3
新月形桥弯藻	4	放射舟形藻	3
优美桥弯藻	4	微绿舟形藻	2
卵圆双眉藻	3	系带舟形藻	2
扁圆卵形藻	3	弯形弯楔藻	3

2 结果与分析

2.1 种类组成与优势种

在全年的周丛藻类样品中,共检测到硅藻门(Bacillariophyta)、蓝藻门(Cyanophyta)、绿藻门(Chlorophyta)、黄藻门(Cryptophyta)、裸藻门(Euglenophyta)等5个门类,共计41属145种,硅藻、绿藻和蓝藻的种类占到96.6%。种类以硅藻最多,为113种(77.9%);依次是蓝藻门14种(9.7%),绿藻门13种(9.0%),裸藻门4种(2.8%),黄藻门1种(0.7%)。各门种类数所占比例见图2。

研究期间,5月份的优势种为硅藻门的系带舟形藻、肋缝菱形藻、普通等片藻、小环藻、偏肿桥弯藻、橄榄形异极藻以及蓝藻门的皮状席藻。7月份的优势种为硅藻门的窄异极藻、扁圆卵形藻、嗜盐舟形藻、普通等片藻以及蓝藻门的拟短形颤藻。9月份的优势种为硅藻门的小环藻、普通等片藻、嗜盐舟形藻、橄榄形异极藻、双头菱形藻、偏肿桥弯藻。10月份优势种为硅藻门的普通等片藻、偏肿桥弯藻、窄异极藻、双头菱形藻、长等片藻、嗜盐舟形藻及蓝藻门的皮状席藻。4个月份均出现的优势种为普通等片藻(硅藻门),且硅藻门一直占据绝对优势。

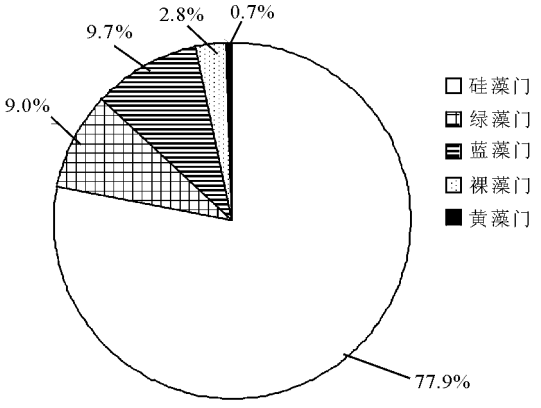


图2 伊犁河流域周丛藻类的种类组成

Fig. 2 Species composition of periphyton in the Yili River drainage basin

2.2 周丛藻类的密度与生物量

伊犁河周丛藻类的密度和生物量的时空变化如图3,个别采样点因天气、洪水等原因无法采集样品。2013年5、7、9、10月伊犁河周丛藻密度分别为 $1\ 177.4\times10^6$、501.8×10^6、$1\ 812.9\times10^6$ 和 $1\ 669.2\times10^6$ ind/m^2,年平均密度为 $1\ 331.7\times10^6$ ind/m^2。由于干流与各支流水域环境的不同,周丛藻类在各水域的分布也存在差异。伊犁河大桥平均密度最大($1\ 648.6\times10^6$ ind/m^2),依次是雅玛渡($1\ 555.4\times10^6$ ind/m^2)、71大桥($1\ 519.1\times10^6$ ind/m^2)、昭苏解放大桥($1\ 471.0\times10^6$ ind/m^2),零公里最低(519.6×10^6 ind/m^2)。2013年5、7、9、10月伊犁河

流域周丛藻生物量分别为 1 816.2、971.7、2 428.1 和 2 350.7 mg/m^2,年平均生物量为 1 908.5 mg/m^2。昭苏解放大桥平均生物量最高(2 613.0 mg/m^2),依次是伊犁河大桥(2 253.0 mg/m^2)、尼勒克(2 211.7 mg/m^2)、雅玛渡(2 129.5 mg/m^2),零公里生物量最低(813.9mg/m^2)。总体上,密度和生物量季节变化为 9 月份最高,7 月份最低;空间变化均为干流高于支流,下游高于上游。

伊犁河周丛藻类 5、7、9、10 月 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Simpson 多样性指数(D)、Pielou 均匀度指数(J)和 Margalef 丰富度指数(d)的平均值分别为 3.24、0.73、0.60 和 3.91,变化范围依次为 2.11 ~ 4.32、0.51 ~ 0.89、0.23 ~ 0.78 和 2.13 ~ 5.09。各采样点年平均生物多样性指数变化趋势如图 4。整体上,H'、D、J 和 d 均自上游向下游逐渐降低。

2.3　多样性指数

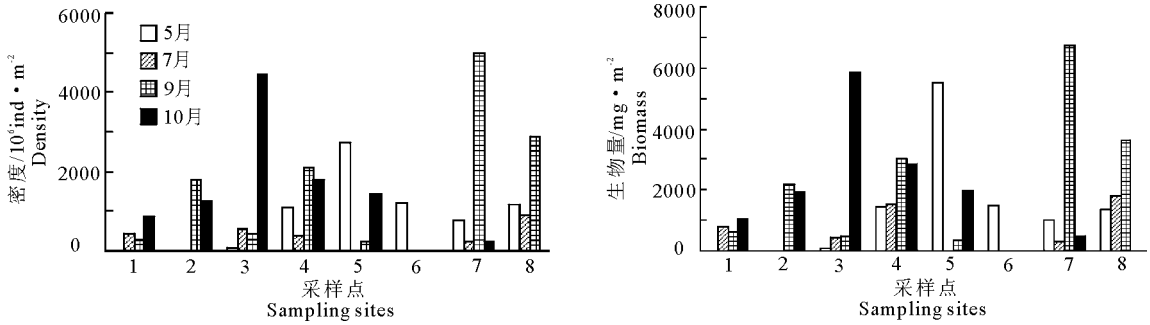


图 3　伊犁河周丛藻类密度与生物量

Fig. 3　Spatial and temporal variation of periphyton density and biomass in the Yili River

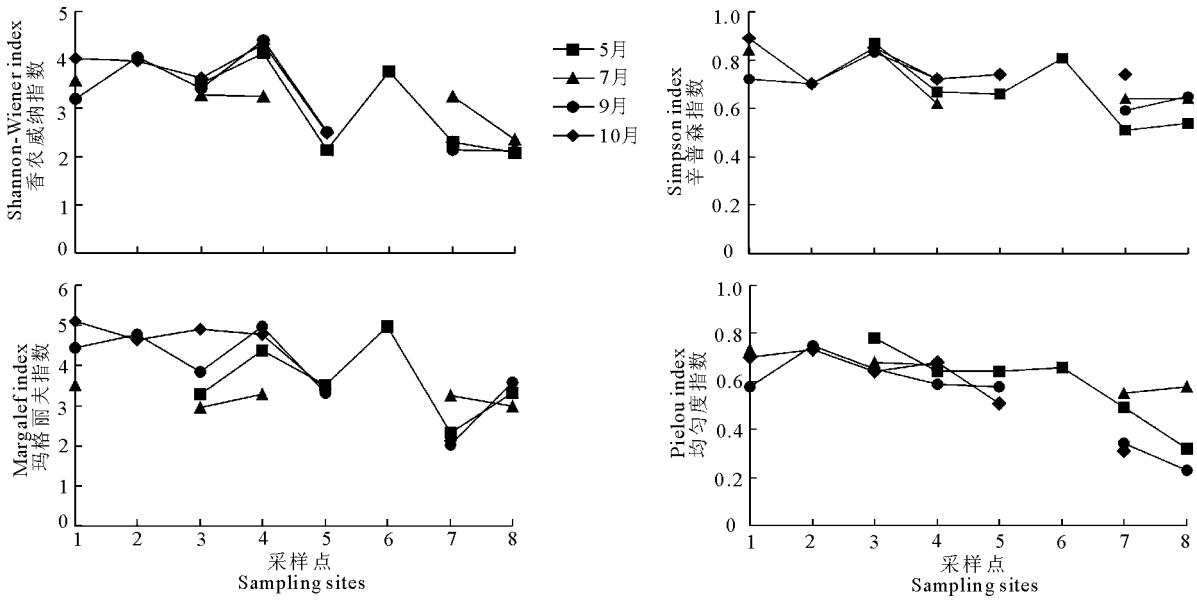


图 4　伊犁河周丛藻类多样性指数

Fig. 4　Spatial and temporal variation in the periphyton biodiversity index in the Yili River

2.4　周丛藻类与环境因子的相关性分析

各采样点的年平均环境指标见表 2,周丛藻类的密度、生物量与环境因子的 Pearson 相关性分析结果见表 3。伊犁河周丛藻的密度与流速呈极显著的负相关($P<0.01$),与总氮呈极显著的正相关($P<0.01$),与水温、盐度、氟化物、总硬度、钙离子呈显著的正相关($P<0.05$);周丛藻类的生物量与流速呈极显著的负相关($P<0.01$),与水温、硝态氮、氟化物、总氮呈显著的正相关($P<0.05$)。

2.5　水质评价

2.5.1　物种多样性指数评价　基于 Shannon-Wiener 指数(H')、Margalef 指数(d)与 Pielou(J)指数的评价结果基本上一致(表 5)。零公里、71 大桥、乔尔玛、尼勒克、特克斯三乡水质为寡污,其他采样点水质为 β-中污型。

表2 伊犁河各采样点的理化因子

Tab. 2 Physicochemical parameter values for each sampling site

序号	采样点	水温/℃	水深/m	透明度/cm	流速/m·s^{-1}	pH	DO/mg·L^{-1}	电导率/μS·cm^{-1}	盐度	TDS/mg·L^{-1}
1	零公里	10.0	1.0	118.3	1.9	8.3	8.4	181.4	0.1	123.7
2	71大桥	17.9	0.8	17.2	0.7	8.2	7.7	359.3	0.2	254.0
3	乔尔玛	7.7	0.9	36.7	1.1	8.2	8.1	174.8	0.1	135.3
4	尼勒克	14.0	1.6	83.3	0.7	8.3	8.2	286.0	0.1	199.3
5	昭苏解放大桥	14.8	1.6	21.7	0.9	8.4	7.2	298.7	0.1	211.3
6	特克斯三乡	15.2	1.3	30.0	1.3	8.4	8.0	254.3	0.1	178.3
7	雅玛渡	17.9	1.9	106.7	0.9	6.7	8.3	482.7	0.2	343.7
8	伊犁河大桥	18.2	2.0	15.0	0.8	8.2	7.6	512.3	0.3	365.3

表3 周丛藻类密度和生物量与环境因子之间的相关性

Tab. 3 Correlation between periphyton density and biomass and environmental factors

藻类指标	分析方法	水温	水深	透明度	流速	pH	溶解氧	电导率	盐度
密度	Pearson	0.739*	0.491	-0.598	-0.921**	-0.306	0.281	0.688	0.712*
	Sig. (2-tailed)	0.036	0.216	0.117	0.001	0.462	0.499	0.059	0.047
生物量	Pearson	0.824*	0.573	-0.468	-0.907**	-0.174	0.049	0.587	0.597
	Sig. (2-tailed)	0.044	0.138	0.242	0.002	0.680	0.908	0.126	0.118
藻类指标	分析方法	TDS	氨氮	硝态氮	氟化物	总硬度	总磷	总氮	钙离子
密度	Pearson	0.685	0.312	0.717	0.781*	0.827*	0.579	0.916**	0.854*
	Sig. (2-tailed)	0.061	0.495	0.070	0.038	0.022	0.173	0.004	0.014
生物量	Pearson	0.483	0.089	0.811*	0.809*	0.562	0.388	0.845*	0.607
	Sig. (2-tailed)	0.225	0.850	0.027	0.027	0.189	0.390	0.017	0.148

注：* 表示在置信度为0.05时，相关性显著；** 表示在置信度为0.01时，相关性极显著。

Note: * significant correlation ($P<0.05$); ** highly significant correlation ($P<0.01$).

表4 基于周丛藻物种多样性指数的伊犁河水质评价

Tab. 4 Water quality assessment based on the biodiversity index of the periphyton community

采样点	H'评价	d评价	J评价	综合评价
零公里	寡污	寡污	寡污	寡污
71大桥	寡污	寡污	寡污	寡污
乔尔玛	寡污	寡污	寡污	寡污
尼勒克	寡污	寡污	寡污	寡污
昭苏解放大桥	β-中污型	β-中污型	寡污	β-中污型
特克斯三乡	寡污	寡污	寡污	寡污
雅玛渡	β-中污型	β-中污型	β-中污型	β-中污型
伊犁河大桥	β-中污型	寡污	α-中污型	β-中污型

2.5.2 指示生物法评价 调查期间新疆伊犁河有可作为指示水质的藻类45种，详见表5。其中在寡污带出现的指示藻类有8种，β-中污带出现的指示藻类有29种，α-中污带出现的指示藻类有7种，重污带出现的指示藻类仅1种。调查期间，不同指示藻种在各采样点出现的频率也各不相同，其中指示藻类在尼勒克、昭苏解放大桥、雅玛渡各污染带出现的频率均较大，水体污染较严重。结果显示，各采样点中作为β-中污带和寡污带的指示藻类种类最多。

2.5.3 硅藻耐受性指数评价 调查期间伊犁河PTI年均值的空间变化见图5。各采样点PTI年平均值大小顺序为：特克斯三乡 > 零公里 > 尼勒克 > 乔尔玛 > 雅玛渡 > 伊犁河大桥 > 昭苏解放大桥 > 71大桥。

3 讨论

3.1 周丛藻类群落结构的时空变化及其与环境因子的关系

2013年5、7、9、10月在伊犁河流域所有样点中共采集到周丛藻类5门41属145种，其中硅藻的种类数最多。优势种属以硅藻门种类占据绝对的优势，5月份的优势种属中硅藻占85.7%，7月份优势种全为硅藻，9、10月份优势种属中虽然出现了蓝藻门的种类，但是硅藻仍占绝对优势。这是由于伊犁河属于高纬度、高寒温地区，低温环境以及河流稳定的流速有利于硅藻的生长与繁殖。此外，来自放牧

表 5　伊犁河指示藻类的种类及其分布

Tab. 5　Periphyton pollution indicator species and their distribution in the Yili River

水质带	指示藻类	分布							
		零公里	71 大桥	乔尔玛	尼勒克	昭苏解放大桥	特克斯三乡	雅玛渡	伊犁河大桥
寡污带	小环藻	+ + +	+ +	+ + + +	+ + + +	+ + +	+	+ + + +	+ + +
	长等片藻	+ + +	+ +	+ +	+ + + +	+ + +	+	+ + + +	+ + +
	冬季等片藻			+	+ +	+	+	+ +	
	弧形娥眉藻	+ + +	+	+ + + +	+	+			+
	窄异极藻	+ + +	+ +	+ + +	+ + +	+ +	+	+ + +	+ +
	披针曲壳藻				+	+ +			
	环丝藻	+		+				+	
	水绵属			+					+ +
β-中污带	变异直链藻							+	
	颗粒直链藻					+			+
	普通等片藻	+ + +	+ +	+ + + +	+ + + +	+ +	+	+ + + +	+ + +
	钝脆杆藻	+	+ +	+ + +		+		+ + +	+ +
	尖针杆藻	+ +	+	+ + + +	+ + +	+	+ + +	+ +	
	星杆藻属				+ + +				
	肘状针杆藻	+ +	+ +	+ +	+ + + +	+ + +	+	+ + + +	+ +
	隐头舟形藻	+	+	+ +	+ +	+ +	+	+ + + +	+ + +
	尖头舟形藻	+ +		+		+		+	+
	放射舟形藻	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+	+ + +	+ +
	英吉利舟形藻	+							
	双头辐节藻	+ +	+ +	+ + + +	+ + +	+ + +	+	+ + + +	+ + +
	尖布纹藻							+	
	偏肿桥弯藻	+ + +	+ +	+ + + +	+ + + +	+ + +	+	+ + + +	+ + +
	近缘桥弯藻	+ +	+	+	+ + +	+ + +	+	+ + + +	+
	橄榄形异极藻	+ + +	+ +	+ +	+ + +	+ + +	+	+ +	+ + +
	缢缩异极藻	+	+						+ + +
	缢缩异极藻头状变种	+ + +	+	+ + + +	+ + +	+ + +	+	+ + +	+
	菱形藻属	+ + +	+ +	+ + + +	+ + + +	+ + +	+	+ + + +	+ + +
	卵形藻属	+ + +	+ +	+ + + +	+ + + +	+ +	+	+ + + +	+ +
	草鞋形波缘藻				+				+
	线形曲壳藻	+	+	+	+	+ +		+	
	阿氏颤藻	+			+	+		+ + +	
	皮状席藻	+	+	+ + + +	+ +	+ + +	+	+ + + +	+ +
	四尾栅藻								+
	栅藻属					+			
	十字藻属							+ +	+ +
	鼓藻属			+	+			+ + +	+
	尖尾裸藻								+
α-中污带	短小舟形藻	+ +	+ +	+ +	+ + +	+ + +	+	+ + +	+ + +
	最小舟形藻		+			+		+	
	瞳孔舟形藻	+	+	+ +	+ + +	+ +	+	+	+ + +
	羽纹藻属		+ +			+		+ +	+
	小颤藻	+ +			+			+ +	
	巨颤藻								
	美丽颤藻				+			+	
重污带	绿色裸藻					+			

注:“+”表示出现 1 次,“+ +”表示出现 2 次,“+ + +”表示出现 3 次,“+ + + +”表示出现 4 次。

Note: “+”species observed once; “+ +” species observed twice; “+ + +” species observed three times; “+ + + +”species observed four times.

以及城市生活污水排放等形成的污染(氮、磷),为伊犁河蓝藻的生长提供了一定的营养条件,但由于伊犁河流域缺乏持续高温的环境,因此蓝藻门皮状席藻没有成为全年的优势种属。由于环境及水文条件的不同,周丛藻的生物量在 5、7、9、10 月间产生波动。昭苏解放大桥的年平均生物量最高

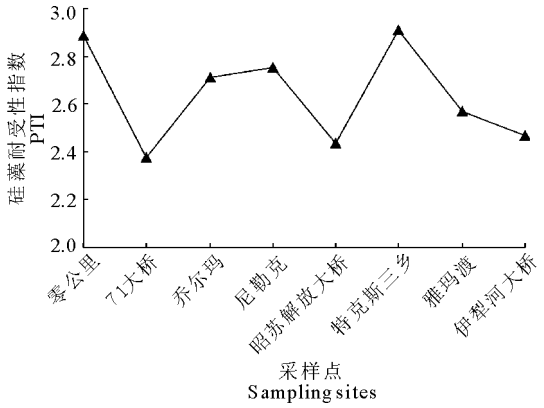


图5 伊犁河PTI年均值的空间变化

Fig. 5 Spatial variation of PTI (average annual value) in the Yili River

(2 613.0 mg/m^2),远远高于其他采样点,这主要是由于昭苏解放大桥水域受人类活动产生的污染的影响较大,为硅藻大量繁殖提供了优越的营养环境。

已有研究表明,水温、溶解氧、营养盐及其他水文因子是影响河流周丛藻类群落长期季节变化的主要因子(Biggs B J F, 1989;Lowe R L, 1996)。周丛藻类与环境因子的Pearson相关性分析表明,密度和生物量均与流速呈极显著的负相关,这与其他学者有关藻类生长与流速关系的研究结果(钟成华,2004;黄程等,2006;冯佳等,2007)一致;而密度与水温和盐度呈显著的正相关,这与杨超(2014)和刘冬启(2001)的研究结果相一致。本研究中,周丛藻类的平均密度与生物量表明了一致的季节变化规律:9月>10月>5月>7月。7月份为伊犁河的汛期,河水流速较大、水体浑浊、水位波动明显,由于周丛藻类原有的生境被洪水淹没,在既定采样位置采集到的周丛藻类样品较少,导致该月的周丛藻密度较低;而9月洪水退去,原有生境重新裸露出来,并一直延续到10月。周丛藻类是固定生活于一定位置上的,因而在流速较大的水体中,它们对水质状况和变化的反应比浮游植物更客观。研究分析表明,周丛藻类种类数有随流速减小而增加的趋势,同时周丛藻类数量在一定范围内随水温的升高而增大(刘冬启,2001)。虽然伊犁河7月温度要高于9、10月,但由于7月为汛期,较快的水流不利于周丛藻的附着与积累(Wu N C et al, 2007),洪水冲刷作用不利于周丛藻类固着,故7月周丛藻的密度反而低于9月和10月。就空间上而言,伊犁河周丛藻的平均密度与生物量均为干流>支流、下游>上游。这是由于干流河流变宽,流速变缓,有利于周丛藻类附着于石头等基质上。而且,本研究中上游河段为支流(特克斯河,巩乃斯河、喀什河),其流速相对较快,不利于周丛藻类的固着。

氮(N)浓度的变化对藻类的生长有重要影响,添加N能促进藻类的呼吸作用、光合作用和生物量的增加。齐雨藻等(1994)研究发现,海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)与N浓度呈正相关关系,随N浓度的增加而增多。这与本研究结果相符。磷(P)是藻类必需的营养元素,需要量比N少,但在淡水水体中P的化合物溶解性、移动性、补给数量及速度比N低的多,通常P是水体初级生产力的限制因子之一(韩博平等,2006)。而在本研究中总磷与藻类密度生物量之间无显著相关性,与鱼京善(2004)研究结果不同,可能的原因是伊犁河中磷浓度足以维持藻类的正常繁殖(林卫青等,2010),因此P浓度与周丛藻类密度及生物量均未呈现出显著相关性。这一结论与杨虹(2010)的研究相似。

3.2 不同方法水质评价结果比较

本研究分别用生物多样性指数(Shannon-Wiener、Margalef、Pielou)、指示生物法与硅藻耐受性指数等3种方法对2013年新疆伊犁河水质进行评价,3种方法得到的水质评价结果不完全相同,但整体上水质评价结果基本一致:除昭苏解放大桥、雅玛渡和伊犁河大桥水质相对较差外,其余采样点水质均处于较好状态。整体上伊犁河流域水质趋于良好。

通过藻类种类组成、生物量、优势种以及生物多样性分布监测和评价河流水体污染程度,在国内外应用较为广泛(V I Kolmakov et al, 2008;钟海秀,2004)。物种多样性是衡量群落规模和重要性的基础,也是反映水体营养状况信息的重要参数(张宏锋等,2004;孙志强等,2013)。因而,周丛藻类的多样性指数也就成为判断河流与湖泊等水体营养状况最常用的检测指标。一般而言,种类越多或各个种类的个体数量分布越均匀,同时Shannon-Wiener多样性指数(H')越大(李开枝等,2005),表明水质越好;藻类多样性指数值越小,说明水质污染程度越严重(王新华等,2004)。在水质较好的上游,周丛藻类群落结构较复杂,多样性指数高。根据伊犁河各个采样点的Shannon-Wiener指数、Margalef指数以及Pielou指数,对伊犁河的水质进行评价,零公里、71大桥、乔尔玛、尼勒克、特克斯三乡为寡污,昭苏解放大桥、雅玛渡和伊犁河大桥为β-中污型。

研究者们很早就尝试将藻类作为水体污染的指示生物。1940年代末,生物学工作者已发现在自然的、未受污染的河流中,藻类植物的生物多样性高,

种类主要是硅藻,少数为绿藻和蓝藻。河流被污染以后,种的数目减少,生物多样性降低,其中一些种类变得非常罕见。同时,藻类的优势种群从硅藻转变为丝状绿藻为主。在少数情况下,以单细胞绿藻、蓝藻占优势,硅藻也从忍耐力较狭窄的种类变成忍耐力宽广的种类。改变的类型取决于各种污染物的影响(高连峰,2012)。用指示生物法对伊犁河水质进行评价,发现调查期间伊犁河中指示 β-中污带和寡污带的藻类种类数多于指示 α-中污带的藻类,由此可推断伊犁河水体类型为寡污向 β-中污过渡,整体上为轻污染。这一结果与多样性指数水质评价结果基本一致。

PTI 评价过程中将所有硅藻种类按对污染的敏感性赋分(1、2、3 和 4 分),分值越小代表对污染越耐受,分值越大代表对污染越敏感(吴述园,2013)。评价硅藻污染耐受性的研究表明:随着有机污染的增加,耐受性硅藻种类和多度也随之增加(Kwandrans J et al,1998)。调查期间各采样点 PTI 年平均值大小顺序为:特克斯三乡 > 零公里 > 尼勒克 > 乔尔玛 > 雅玛渡 > 伊犁河大桥 > 昭苏解放大桥 > 71 大桥。这一结果也表明了伊犁河上游水质比下游好,与多样性指数水质评价结果基本一致。

志谢:感谢新疆水产科学研究所的科研人员在采样过程中给予的帮助。

参考文献

陈重军, 韩志英, 朱荫湄,等. 2009. 周丛藻类及其在水质净化中的应用[J]. 应用生态学报,20(11):2820 – 2826.

邓义祥, 张爱军. 1999. 试论藻类在水体污染监测中的应用[J]. 环境与开发,14(1):43 – 45.

冯佳, 谢树莲. 2007. 汾河源头周丛藻类植物群落结构特征[J]. 生态科学,26(5):408 – 414.

高连峰. 2012. 基于浮游藻类的观澜河水质评价[D]. 长春:东北师范大学.

国家环保局《水生生物监测手册》编委会. 1993. 水生生物监测手册[M]. 南京: 东南大学出版社: 19 – 23.

韩博平, 石秋池, 陈文祥. 2006. 中国水库生态学与水质管理研究[M]. 北京:科学出版社.

胡鸿钧, 魏印心. 2006. 中国淡水藻类 – 系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社: 27 – 915.

黄程, 钟成华, 邓春光, 等. 2006. 三峡水库蓄水初期大宁河回水区流速与藻类生长关系的初步研究[J]. 农业环境科学学报,25(2): 453 – 457.

贾娜尔·阿汗,巴雅尔塔. 2010. 伊犁河流域水质量评价及防治对策研究[J]. 伊犁师范学院学报:自然科学版,(3):40 – 43.

李开枝, 尹健强, 黄良民, 等. 2005. 珠江口浮游动物的群落动态及数量变化[J]. 热带海洋学报, 24(5): 60 – 68.

林卫青, 卢士强, 陈义中. 2010. 应用生态动力学模型评价上海淀山湖富营养化控制方案[J]. 上海环境科学,29(1):1 – 10.

刘东艳, 孙军, 陈洪涛,等. 2003. 2001 年夏季胶州湾浮游植物群落结构的特征[J]. 青岛海洋大学学报, (3):366 – 374.

刘冬启. 2001. 道观河水库周丛生物群落结构和渔产潜力的研究[D]. 武汉:华中农业大学.

刘建康. 1999. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社:1 – 11, 128 – 150, 260 – 276.

齐雨藻, 洪英, 吕颂辉, 等. 1994. 南海大鹏湾海洋褐胞藻赤潮及其成因[J]. 海洋与湖沼,25:132 – 137.

任慕莲, 郭焱, 张清礼, 等. 1998. 伊犁河鱼类资源及渔业[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社.

任慕莲. 1998. 伊犁河鱼类[J]. 水产学杂志, 11(1):7 – 17.

孙志强, 施心路, 徐琳琳, 等. 2013. 景观湿地夏季原生动物群落结构与水质关系[J]. 水生生物学报, 37(2): 290 – 299.

田永强, 俞超超, 王磊, 等. 2012. 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, 23(9),2559 – 2565.

王新华, 纪炳纯, 李明德, 等. 2004. 引滦工程上游浮游植物及其水质评价[J]. 环境科学研究, 17(4): 18 – 24.

王云龙, 袁骐, 沈新强. 2005. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学, 12(3):300 – 306.

吴述园. 2013. 基于着生藻类生物完整性指数的古夫河河流生态系统健康评价[D]. 武汉:中国地质大学.

杨超. 2014. 长江上游江津段德感坝河岸带周丛藻类群落结构特征及水质评价[D]. 重庆:西南大学.

杨虹. 2010. 淀山湖浮游植物群落时空分布及与环境因子关系的研究[D]. 上海:华东师范大学.

伊犁哈萨克自治州统计局. 2004. 伊犁哈萨克自治州统计年鉴[M].

鱼京善,崔国庆. 2004. 北京动物园水体水华发生的生态学机理[J]. 环境工程,22(4):62 – 65.

张宏锋, 陈亚宁, 陈亚鹏, 等. 2004. 塔里木河下游植物群落的物种数量变化与生态系统动态研究[J]. 生态学杂志, 23(4): 21 – 24.

章宗涉, 黄翔飞. 1991. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社:340 – 344.

郑辉, 许文超. 2011. 陡河水库浮游植物群落特征及水质评价[J]. 水生态学杂志, 32(2) :47 – 51.

钟成华. 2004. 三峡水库对重庆段水环境影响及其对策

[M]. 重庆：西南师范大学出版社:17－19.

钟海秀. 2004. 漳泽水库的藻类植物及其营养型评价[D]. 太原:山西大学.

Biggs B J F. 1989. Biomonitoring of organic pollution using periphyton, South Branch, Canterbury; New Zealand[J]. Journal of Marine and Freshwater Research, 23: 263－274.

Kwandrans J, Eloranta P, Kawecka B, et al. 1998. Use of benthic diatom communities to evaluate water quality in rivers of southern Poland[J]. Journal of Applied Phycology, 10: 193－201.

Lowe R L. 1996. Periphyton Patterns in Lakes[M]//Stevenson R J, Bothwell M L, Lowe R L. Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems. New York: Academic Press:57－76.

Margal EF R. 1958. Information theory in ecology[J]. International Journal of General Systems, 3:36－71.

Muscio C. 2002. The Diatom Pollution Tolerance Index: Assigning Tolerance Values[J]. Watershed Protection & Development Review:1－17.

Pielou E C. 1975. Ecological Diversity[M]. New York: Wiley:1－165.

Shannon C E, Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication[M]. Berkeley: University of California Press:1－144.

V I Kolmakov, O V Anishchenko, E A Ivanova, et al. 2008. Estimation of periphytic microalgae gross primary production with DCMU-fluorescence method in Yenisei River(Siberia, Russia)[J]. Journal of applied phycology, 20(3): 289－297.

Wu N C, Tang T, Zhou S C, et al. 2007. Influence of cascaded exploitation of small hydropower on phytoplankton in Xiangxi River[J]. The journal of applied ecology, 18(5): 1091－1096.

(责任编辑　张俊友)

Community Structure of Periphyton and Biological Assessment of Water Quality in the Yili River, Xinjiang Uyghur Autonomous Region

WEI Li-li[1,2], ZHOU Qiong[1,2], XIE Cong-xin[1,2], NIU Jian-gong[3], CAI Lin-gang[3], LI Hong[3]

(1. College of Fishery, Key Lab. of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China;
2. Freshwater Aquaculture Collaborative Innovation Center of Hubei Province, Wuhan 430070, P. R. China;
3. Xinjiang Fisheries Research Institute, Urumqi 830000, P. R. China)

Abstract: Periphyton is the primary basal food source of the fish species indigenous to the cross-border rivers of Xinjiang Uygur Autonomous Region (northwest China). The periphyton community is crucial for the fishery resources and characterizing the community structure is important for assessing the regional ecological environment. The periphyton community structure was investigated systematically in May, July, September and October of 2013 in the Yili River, originating in Mount Tianshan (China) and eventually flowing to Lake Balkhash (Kazakhstan). The investigation focused on species composition, dominant species, spatial and temporal distribution and the biodiversity index. Water quality in Yili River was also evaluated, based on the biodiversity index, periphyton community structure and physicochemical factors. Periphyton samples for qualitative and quantitative analysis were collected at eight sampling sites located in the main stem of the Yili River and its three primary tributaries: (1) Linggongli, (2) 71 Great Bridge, (3) Qiao′erma, (4) Nileke, (5) Zhaosu Liberation Bridge, (6) Tekesisanxiang, (7) Yamadu and (8) Yili River Bridge. Physicochemical parameters were monitored included water temperature, transparency, depth, flow velocity, salinity, pH, conductivity, dissolved oxygen, total dissolved solids, total hardness, nitrate nitrogen, ammonia nitrogen, fluoride, calcium ion, total nitrogen and total phosphorus. A total of 145 periphyton species from 41 genera and 5 phyla were collected and Bacillariophyta dominated (113 species, 77.9% of total species), followed by Cyanophyta (14 species, 9.7%), Chlorophyta (13 species, 9.0%), Euglenophyta (4 species, 2.8%) and Cryptophyta (1 species, 0.7%). The dominant periphyton species were *N. halophila*, *Cymbella naviculiformis*, *Diatoma vulgare* and *Phormidium corium* from Bacillariophyta and *Phormidium corium* from Cyanophyta. Periphyton densities in May, July, September and October were, respectively, $1\ 177.4 \times 10^6$, 501.8×10^6, $1\ 812.9 \times 10^6$ and $1\ 669.2 \times 10^6$ ind/m^2, with an average value of $1\ 331.7 \times 10^6$ ind/m^2 and the biomasses were 1 816.2, 971.7, 2 428.1 and 2 350.7 mg/m^2, with an average value of 1 908.5 mg/m^2. Periphyton distribution also displayed spatial variation, with the highest density ($1\ 648.6 \times 10^6$ ind/m^2) observed at Yili River Bridge (8) and the highest biomass (2 613.0 mg/m^2) at Zhaosu Liberation Bridge (5), with the lowest density (519.6×10^6 ind/m^2) and biomass (813.9 mg/m^2) both occurring at Linggongli (1). Temporally, periphyton density and biomass were highest in September and lowest in July. Spatially, periphyton density and biomass in the main stem were higher than in the tributaries and downstream values were higher than upstream. The Simpson diversity index (D), Shannon-Wiener diversity index (H'), evenness index (J) and abundance index (d) of the Yili River periphyton community were, respectively, 0.73, 3.24, 0.60 and 3.91. Overall, the biodiversity indices (H', D, J and d) gradually declined from upstream to downstream. Pearson correlation analysis gave a significant negative correlation between periphyton density and flow velocity and a significant positive correlation with total nitrogen, water temperature, salinity, fluoride, total hardness and calcium ion. The water quality assessment was based on biodiversity indices (Shannon-Wiener, Margalef, Pielou), indicator organisms and the pollution tolerance index for diatoms (PTI) and gave consistent results and indicate that water quality in the Yili river basin is generally good. Among the eight sampling sites, water quality at Zhaosu Liberation Bridge (5), Yamadu (7) and Yili River Bridge (8) was mesotrophic, while water quality at the other five sites was oligotrophic.

Key words: periphyton; community structure; water quality assessment; diversity index; Yili River