

DOI: 10.5846/stxb201310282593

刘麟菲, 谭冰冰, 殷旭旺, 张远, 孟伟. 在种与属两个级别评价太子河硅藻群落与环境因子的关系. 生态学报, 2014, 34(22): 6613-6621.

Liu L F, Tan B B, Yin X W, Zhang Y, Meng W. Evaluation of relationship between environmental factors and diatom assemblages at genus and species levels in the Taizi River Basin, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(22): 6613-6621.

在种与属两个级别评价太子河硅藻群落与 环境因子的关系

刘麟菲¹, 谭冰冰¹, 殷旭旺^{1,*}, 张 远², 孟 伟²

(1. 大连海洋大学, 水产与生命学院, 辽宁省水生生物学重点实验室, 大连 116023;

2. 中国环境科学研究院, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 流域水生态保护技术研究室, 北京 100012)

摘要: 2009 年 8—9 月, 对辽宁省太子河流域 67 个点位进行采样调查, 以硅藻群落为研究对象, 比较硅藻属级水平与种级水平相对多度、物种丰富度以及生物多样性指数间的相关性, 并比较硅藻属级与种级属性与环境因子的相关性。实验结果表明, 太子河流域硅藻属级水平的相对多度、丰富度和多样性指数与硅藻种级水平都极显著相关。Pearson 相关性分析表明, 硅藻属级水平的丰富度与环境显著相关的因子与种级水平丰富度与环境显著相关的因子相一致。Mantel-Test 相关性分析表明, 硅藻属级水平的相对多度与环境因子的相关性弱于种级水平与环境因子相关性。典范对应分析结果显示, 影响硅藻属级和种级群落结构分布的主要环境因子均为悬浮物。基于硅藻生物评价指数的流域健康评价结果表明, 应用硅藻属级和种级属性对太子河流域进行健康评价, 其评价结果相一致。

关键词: 硅藻群落; 鉴定等级; 相关性分析; 典范对应分析; 硅藻生物评价指数

Evaluation of relationship between environmental factors and diatom assemblages at genus and species levels in the Taizi River Basin, China

LIU Linfei¹, TAN Bingbing¹, YIN Xuwang^{1,*}, ZHANG Yuan², MENG Wei²

1 Liaoning Provincial Key Laboratory for Hydrobiology, College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China

2 State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: Benthic diatoms are generally used to assess stream conditions, however most of the methods and diatom indices are based on the identification at species levels, which requires a lot of training because of its extreme diversity. Compared with species level, identification at genus level can save amount of time and money to assess river pollution, however it may lose some ecological information. In this paper, we investigated 67 samples sites in the Taizi River basin to investigate the relationship between diatom assemblages and environmental characteristics at both species and genus levels. Ten diatom assemblage attributes: relative abundance, richness, Shannon-Wiener diversity index, Pielou diversity index, Margalef diversity index, Berger-Parker diversity index, Simpson diversity index, Hill diversity index and Mackintosh diversity index were chosen to evaluate concordance correlations between genus and species level. We assessed relationship between diatom assemblages and environment base on the Pearson Correlation Test, Mantel-Test, Canonical Correspondence Analysis and Diatom Bioassessment Index.

The results showed that 15 genera and 141 species of diatoms were observed in the Taizi River basin. The most

基金项目: 国家“水体污染控制与治理”重大科技专项, 流域水生态保护目标制定技术研究课题(2012ZX07501-001); 国家自然科学基金(51079123)

收稿日期: 2013-10-28; 网络出版日期: 200-03-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yinxuwan@dlou.edu.cn

abundant species was *Navicula*, followed by *Nitzschia*, presenting 32.6% and 13.5% of the sample sites, respectively. The *Diploneis* and *Stauroneis* were represented by a single species. Genus richness ranged from 2 to 13 and the species richness ranged from 3 to 40. The relative abundance and richness had strong correlations between species and genus resolution. Eight biology diversity indexes had strong correlations between species and genus resolution, of which the strongest coefficient was Mackintosh diversity index. Moreover the Berger-Parke diversity index was no related with the other biology diversity indexes.

Both genus and species richness exhibited strong correlations with the suspended solid, total dissolved solid, total nitrogen, Cl^- , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, PO_4^{3-} , sand, total phosphorus, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and permanganate index. Dissolved oxygen and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ variables were significantly correlated with genus richness, however there were no significant correlation between species richness and dissolved oxygen or $\text{NO}_3^-\text{-N}$. Correlations between major-ions, nutrients and organic matter with species relative abundance were significant, which was also observed at genus level.

Based on principal component analysis, dissolved oxygen, conductivity, suspended solid, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ and biochemical oxygen demand were the main environmental factors in Taizi River basin. Canonical correspondence analysis showed that suspended solid had significant influence on the community structure of genus and species diatom in Taizi River basin.

Assessment of river condition was made using the Diatom Bioassessment Index (DBI) at species and genus levels. The results at both levels (species and genus) showed same trend, indicating that upstream area of Taizi River basin was in excellent and good ecological integrity, while the stream condition of downstream area was in severe pollution. In conclusion, genus resolution may be used to replace the species resolution to evaluate the river conditions in China.

Key Words: diatom assemblages; taxonomic resolution; concordance correlation; canonical correspondence analysis; diatom bioassessment index

藻类(algae)作为河流生态系统的初级生产者,担负着将无机营养元素转移至更高级有机生命体的任务,在河流生态系统中占有重要地位^[1]。此外,藻类世代时间短^[2],对栖息地环境变化反应迅速^[3],分布广泛具有普遍适用性^[4],并且采集方便^[5],在应用生物监测进行河流生态评价的研究中日益受到人们的关注^[6-7]。

硅藻(diatom)是河流藻类的主要类群,其密度和生物量通常可占到藻类总数的60%以上^[4]。然而硅藻细胞微小,且种类繁多,需专业基础较强的研究人员进行分类鉴定,从而限制了该类群在河流生态评价中的应用范围^[8]。鉴于此,有学者提出将硅藻鉴定水平降低,用目级、科级或属级代替种级水平进行统计分析^[9],既可提高鉴定效率和准确率,又降低了河流生态评价的成本;而其他学者认为,种级水平的鉴定包含很多重要的生态信息^[10-12],且很多硅藻评价方法和硅藻指数的计算方法都以种级水平为基础建立^[13-14],用较高等级水平代替种级水平进行生态评价,其评价结果的可信度尚存质疑。

本研究以辽宁省太子河流域为范例,在硅藻群

落结构研究的基础上,应用属级与种级水平的硅藻群落分析太子河流域硅藻群落结构特征及其与环境因子的关系,通过比较不同分类单元水平的硅藻群落对河流生态环境的评价结果,探讨应用较高分类水平的硅藻群落进行河流生态评价的可行性,为我国河流生态评价中广泛应用硅藻类群提供相关依据。

1 材料与方法

1.1 硅藻样品采集及处理

于2009年8—9月对辽宁省太子河67个样站的着生硅藻进行样品采集,其中干流21个样站,各支流46个样站(图1)。硅藻样品定量采集方法是在每个采样点挑选9块不同生境的鹅卵形石块,用硬毛刷在石块表面刮取面积为 15.2 cm^2 (直径为4.4 cm的圆形塑料环)硅藻。用自来水冲洗到白色不锈钢托盘中,将九个石块采集到的藻类混合到广口塑料瓶中,用5%的甲醛固定。定性样品的采集是将刚刚采集过的9个石块上的硅藻全部刮取下来,转移到广口瓶中,用5%甲醛固定。用浓硫酸和浓硝酸(比

例 1:1)对硅藻进行酸化,洗涤离心后制成封片,在普通光学显微镜下($\times 1000$ 倍)尽量鉴定到种,方法依

据相关文献^[15-16]。

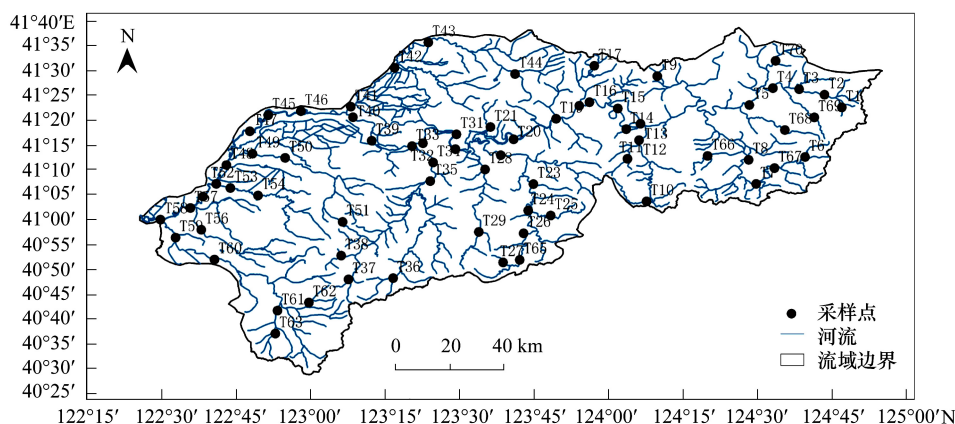


图 1 太子河流域采样点位示意图

Fig.1 Location map of sample sites in Taizi River Basin

1.2 环境因子数据获取

现场采样时,用全球定位系统(MAGELLAN eXplorist-200)测定采样点经纬度和海拔高度(Elev),用便携式水质分析仪(YSI Pro Plus)测定电导率(Cond)、水温(Temp)、pH 值、总溶解固体(TDS),用流速仪(FP111)测定水深(Dept)和流速(Velo),用底质分样筛网测定含沙量(Sand),用碘量法测定溶解氧(DO)。同时,在每个采样点采集两份 2 L 水样,放入泡沫箱中冷藏(4°C),48 h 内运回实验室,根据国家标准测定方法^[17]测定:氯离子(Cl^{-})、硅酸盐(SiO_4^{2-})、硫酸根(SO_4^{2-})、氨氮($\text{NH}_4^{+}\text{-N}$)、硝酸氮($\text{NO}_3^{-}\text{-N}$)、亚硝酸氮($\text{NO}_2^{-}\text{-N}$)、总氮(TN)、总磷(TP)、磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)、硬度(TD)、碱度(Alk)、化学耗氧量(COD_{Cr})、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、生物需氧量(BOD_5)和悬浮物(SS)。

1.3 数据分析与处理

1.3.1 硅藻群落结构特征

统计每个位点硅藻属级和种级水平数量,将硅藻密度(个/ cm^2)转化成相对多度(%),用 Mantel-Test 方法分析硅藻属级与种级水平数量分布的相关性, r 值为 0 表明两个矩阵无任何相关性, r 值为 1 表明两矩阵完全重合;统计检验水平 $P < 0.05$ 时, r 值越高,两矩阵相关性越强。

计算每个位点硅藻属级与种级水平的丰富度、均匀度、Shannon 多样性指数、Margalef 多样性指数、Berger-Parker 多样性指数、Simpson 多样性指数、Hill 多样性指数和 Mackintosh 多样性指数,并进行

Pearson 相关性分析,以比较属级与种级硅藻群落各指数间的相关性。

1.3.2 Pearson 相关性分析

将各点位理化数据进行柯尔莫哥诺夫-斯米尔诺夫检验(Kolmogorov-Smirnov Test, K-S 检验),其各理化因子 P 值均大于 0.05,符合正太分布,因此用 Pearson 相关性检验法分析硅藻种级水平与属级水平物种丰富度与所有环境因子的相关性。比较与硅藻属级丰富度显著相关的环境因子和与硅藻种级丰富度显著相关的环境因子是否一致。

1.3.3 Mantel-Test 相关性分析

应用 Mantel-Test 法,依据相关研究^[18],将环境因子分为三类矩阵:反映主要离子水平的矩阵、反映营养盐含量的矩阵和反映有机体数量的矩阵。主要离子矩阵包括氯离子、硫酸根、硅酸根、电导率;营养盐矩阵包括硝酸氮、亚硝酸氮、总磷、磷酸盐;有机体矩阵包括氨氮、总氮、溶解氧、生物需氧量、化学耗氧量、高锰酸盐指数。分别用硅藻群落属级与种级相对多度与三类环境矩阵做相关性检验,检验不同分类等级与环境因子的相关性。

1.3.4 典范对应分析

对所有理化数据进行主成分分析(PCA),筛选出影响太子河流域的主要环境因子。将硅藻属级与种级水平相对多度进行除趋势对应分析(DCA),硅藻属级水平 DCA 最大梯度值为 3.011,硅藻种级水平 DCA 最大梯度值为 4.951,最大值介于 3—4 之间,所以选用单峰模型将所得环境因子与硅藻群落属级

与种级水平相对多度进行典范对应分析(CCA),判定影响硅藻属级和种级水平群落结构分布的环境因子。

1.3.5 硅藻生物评价指数(DIB)

在硅藻属级水平和种级水平构建硅藻生物评价指数,共包括5个评价因子^[19]:硅藻丰富度、敏感物种相对多度、Shannon 多样性指数、耐污性指数和群落相似性指数,健康评价等级共分四类:健康、较好、一般和较差。评价标准见表1和表2。将硅藻属级水平健康评价结果与种级水平健康评价结果进行 Pearson 相关性检验, $P<0.01$ 表明两者评价结果相

一致。

1.3.6 数据分析

硅藻群落的丰富度、相对多度以及除 pH 值以外的所有理化因子全部进行对数转换 $[\lg(x+1)]$ 。应用 ArcMap9.3 制图太子河流域点位分布图及硅藻生物指数健康评价结果图,用 Biodiversity Professional 2.0 计算硅藻多样性指数, Pearson 相关性分析在 SPSS13.0 中运行, Mantel-Test 用 Pcord5.0 进行,相关性分析图在 OriginPro7.5 上完成,在 Canoco4.5 中完 PCA 和 CCA。

表 1 太子河流域硅藻生物评价指数及得分

Table 1 Metrics and scoring ranges of Diatom Bioassessment Index in Taizi River Basin

得分 Score	硅藻丰富度 Richness	敏感物种相对多度% Sensitive%	Shannon 多样性指数 Diversity index	耐污性指数 Tolerance index	群落相似性指数/% Similarity of community
1	<10	<0.1	<1.5	1.0—1.5	>10
2	10—20	0.1—1	1.5—2.5	1.5—2.0	10—30
3	20—30	1—5	2.5—3.5	2.0—2.5	30—50
4	30—40	5—20	3.5—4.5	2.5—3.0	50—75
5	>40	20—100	>4.5	>3.0	75—100

表 2 太子河流域硅藻生物评价指数健康标准

Table 2 Assessment criteria for Diatom Bioassessment Index in Taizi river basin

健康 Excellent	较好 Good	一般 Fair	较差 Poor
5—4	4—3	3—2	2—1

2 结果

2.1 硅藻群落结构特征

太子河共采集到硅藻 141 种,15 属,舟形藻属物种数最多,共 46 种,占 32.6%,其次为菱形藻属,19 种,占 13.5%,桥弯藻属 16 种,占 11.3%,双壁藻属和辐节藻属种数最少,只包含一个物种。Mantel-Test 检验显示,太子河流域硅藻群落属级的相对多度与种级的相对多度具有极显著的相关性($r=0.66$, $P=0.001$)。

硅藻属级水平丰富度最小值为 2 属,出现在站位 T52、T53、T54 和 T56,最大值为 13 属,分布于站位 T33、T40 和 T44。硅藻种级水平丰富度最小值为 3 种,出现在站位 T53,最大值为 40 种,出现在站位 T18。从太子河全流域来评价,硅藻属级水平的丰富度与种级水平的丰富度极显著相关($P<0.0001$),相

关系数高达 0.911(图 2)。在生物多样性指数相关性分析中,硅藻属级水平 Mackintosh 多样性指数与种级水平 Mackintosh 多样性指数相关性最高($P<0.0001$),相关系数为 0.996(图 2),而硅藻属级水平 Berger-Parker 多样性指数与种级水平 Berger-Parker 多样性指数相关性最弱,相关系数为 0.617(图 2)。

2.3 硅藻与环境因子的关系

2.3.1 硅藻群落的丰富度与环境因子的 Pearson 相关性分析

Pearson 相关性分析,硅藻属级与种级水平的丰富度均与悬浮物、总溶解固体、氯离子和总氮显著相关($P<0.05$),与氨氮、磷酸盐、总磷、生物需氧量、化学耗氧量、高锰酸盐指数和含沙量极显著相关($P<0.01$)。而且硅藻属级水平丰富度与环境因子的相关性整体上强于硅藻种级水平与环境因子的相关性。硅藻属级水平的丰富度与溶解氧显著相关($P<0.05$)、与硝酸氮极显著相关($P<0.01$),而硅藻种级水平丰富度与溶解氧和硝酸氮均不相关($P>0.05$)。硅藻种级水平丰富度与总氮极显著相关($P<0.01$),硅藻属级水平丰富度与总氮显著相关($P<0.05$)(表 3)。

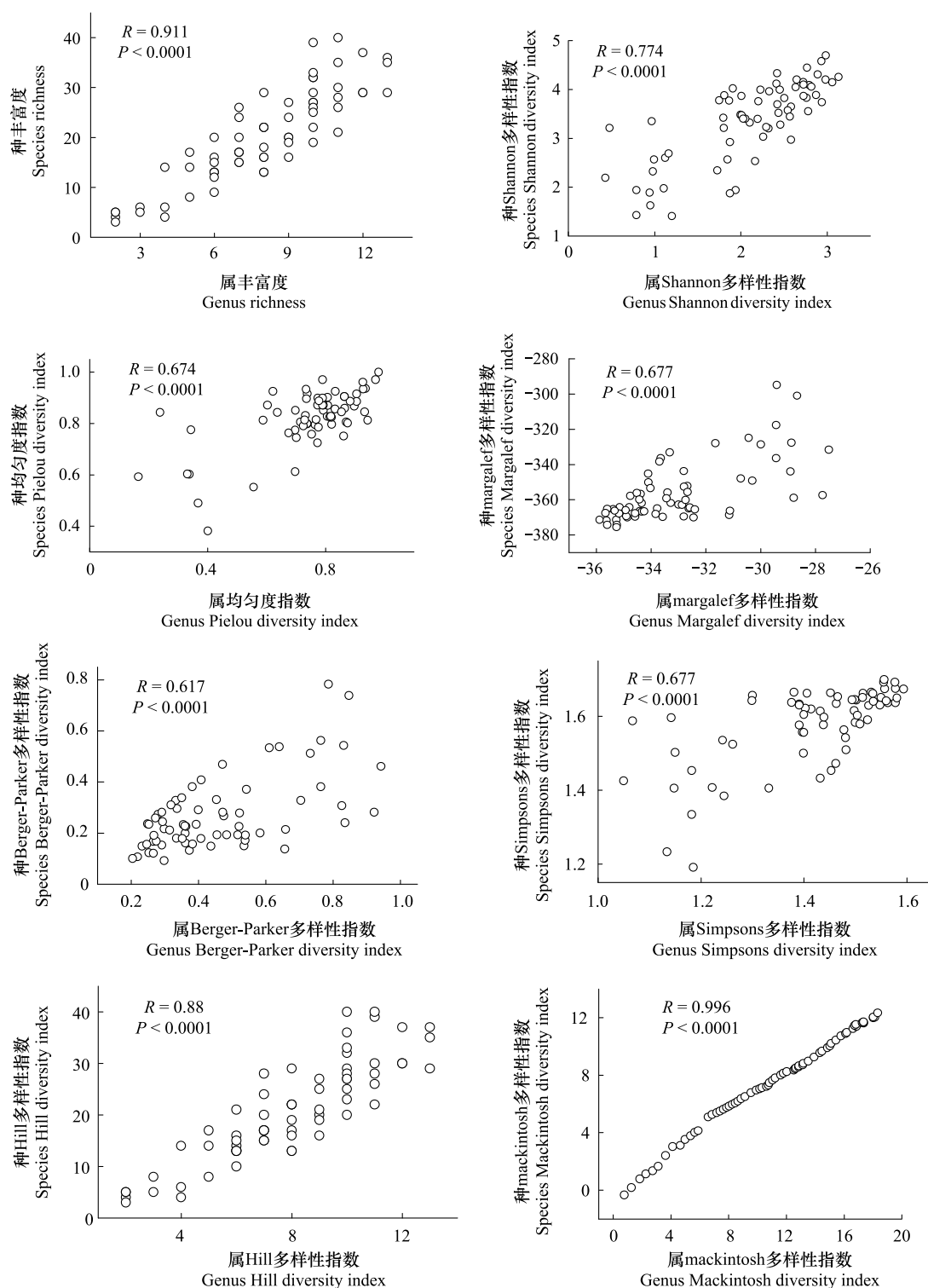


图2 太子河流域硅藻种级与属级丰富度以及多样性指数的相关分析

Fig.2 Correlations between species-genus richness and biodiversity index in Taizi River

2.3.2 硅藻群落相对多度与环境因子的 Mantel-Test 相关性分析

Mantel-Test 分析结果,硅藻属级与种级相对多度均与主要离子和有机体极显著相关($P < 0.01$),且

种级水平的相关性更强。营养盐与硅藻属级水平的相对多度的相关性差异不显著($P > 0.05$),而种级水平的相对多度与营养盐极显著相关($P < 0.01$) (图3)。

表3 硅藻属级与种级物种丰富度与环境因子的 Pearson 相关性分析

Table 3 Pearson correlations between genus-species richness and environmental parameter

环境因子 Parameter	种丰富度 Species richness		属丰富度 Genus richness	
	Pearson 相关性 Pearson correlation	<i>P</i>	Pearson 相关性 Pearson correlation	<i>P</i>
Elev	0.23	0.06	0.22	0.08
Temp	-0.03	0.79	-0.04	0.73
pH	0.23	0.06	0.21	0.08
DO	0.19	0.12	0.27 *	0.03
Cond	-0.14	0.27	-0.17	0.16
SS	-0.29 *	0.02	-0.29 *	0.02
TDS	-0.31 *	0.01	-0.31 *	0.01
Dept	-0.17	0.17	-0.09	0.46
Velo	-0.07	0.56	-0.06	0.64
TD	-0.01	0.94	-0.10	0.40
Cl ⁻	-0.26 *	0.03	-0.28 *	0.02
SO ₄ ²⁻	-0.12	0.33	-0.11	0.39
Alk	0.07	0.55	-0.04	0.74
NH ₄ ⁺ -N	-0.43 **	0.00	-0.43 **	0.00
NO ₃ ⁻ -N	0.24	0.05	0.38 **	0.00
NO ₂ ⁻ -N	-0.02	0.88	0.06	0.64
TN	-0.35 **	0.00	-0.28 *	0.02
PO ₄ ³⁻	-0.36 **	0.00	-0.39 **	0.00
TP	-0.40 **	0.00	-0.43 **	0.00
SiO ₄ ²⁻	-0.19	0.12	-0.22	0.07
BOD ₅	-0.42 **	0.00	-0.45 **	0.00
COD _{Cr}	-0.35 **	0.00	-0.37 **	0.00
COD _{Mn}	-0.37 **	0.00	-0.40 **	0.00
Sand	-0.38 **	0.00	-0.39 **	0.00

BOD₅: 生物需氧量 Biochemical Oxygen Demand; COD_{Cr}: 化学耗氧量 Chemical oxygen demand; COD_{Mn}: 高锰酸盐指数 Permanganate index; SS: 悬浮物 Suspended solid; TDS: 总溶解固体 Total dissolved solid; Cond: 电导率 Conductivity; TN: 总氮 Total nitrogen; Alk: 碱度 Alkalinity; THD: 硬度 Total hardness; Dept: 水深 Water depth; Temp: 温度 Temperature; DO: 溶解氧 Dissolved oxygen; Velo: 流速 Velocity; Elev: 海拔 Elevation; TP: 总磷 Total phosphorus; ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

2.3.3 硅藻群落相对多度与环境因子的典范对应分析

主成分分析 (PCA) 结果显示, 四个轴的特征值逐渐递减, 分别为 0.596、0.095、0.069 和 0.063, 前两轴解释了总体变量的 69.1%。选定与前两轴相关系数绝对值大于 0.8 的因子为主要环境因子, 则影响太

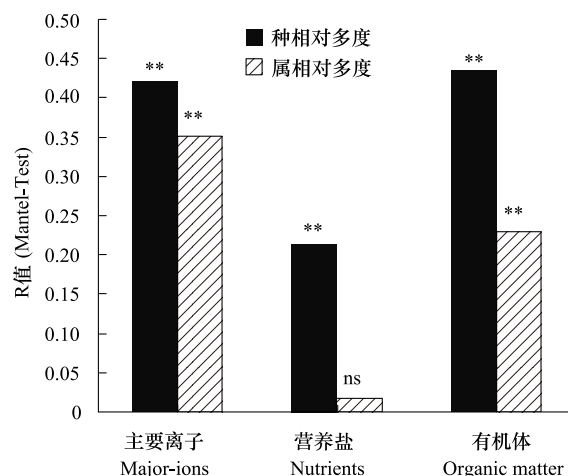


图3 硅藻群落(属与种)与环境因子(主要离子、营养盐和有机体) Mantel-Test 检验

Fig.3 Mantel correlations between diatom assemblages (species and genus) and environmental parameters (major-ions, nutrients, organic matter)

* * $P < 0.01$, ns $P > 0.05$

子河流域的主要环境因子为溶解氧、电导率、悬浮物、亚硝酸氮和生物需氧量。典范对应分析结果表明 (CCA), 硅藻属级水平第一、二轴的特征值分别为 0.256 和 0.031, 与环境因子相关系数为 0.787 和 0.388, 影响硅藻属级群落结构分布的环境因子为悬浮物 ($P < 0.01$), 其他环境因子影响不显著; 硅藻种级水平第一、二轴特征值为 0.430 和 0.170, 与环境因子相关系数为 0.879 和 0.781, 影响硅藻种级群落分布的环境因子同为悬浮物 ($P < 0.01$) (图 4), 其他环境因子影响不显著。

2.3.4 硅藻生物评价指数 (DBI)

应用硅藻属级群落数据对太子河进行健康评价结果表明, 河流上游地区健康状况较好, 主要包括太子河北支和观音阁水库地段, 太子河南支、太子河中游小汤河西支和细河健康状况一般, 河流下游健康状况较差, 南沙河和海城河健康等级最低。这一结果与应用硅藻种级群落数据进行的评价结果相一致 (图 5)。Pearson 相关性检验结果表明, 太子河全流域上硅藻属级生物评价指数与硅藻种级生物评价指数极显著相关 ($r = 0.755$, $P < 0.001$), 表明在不同的硅藻分类等级上, 健康评价结果较为一致。

3 讨论

本研究结果表明, 太子河流域硅藻属级水平丰

丰富度与种级水平丰富度极显著相关,硅藻属级水平

生物多样性指数与种级水平生物多样性指数均极显

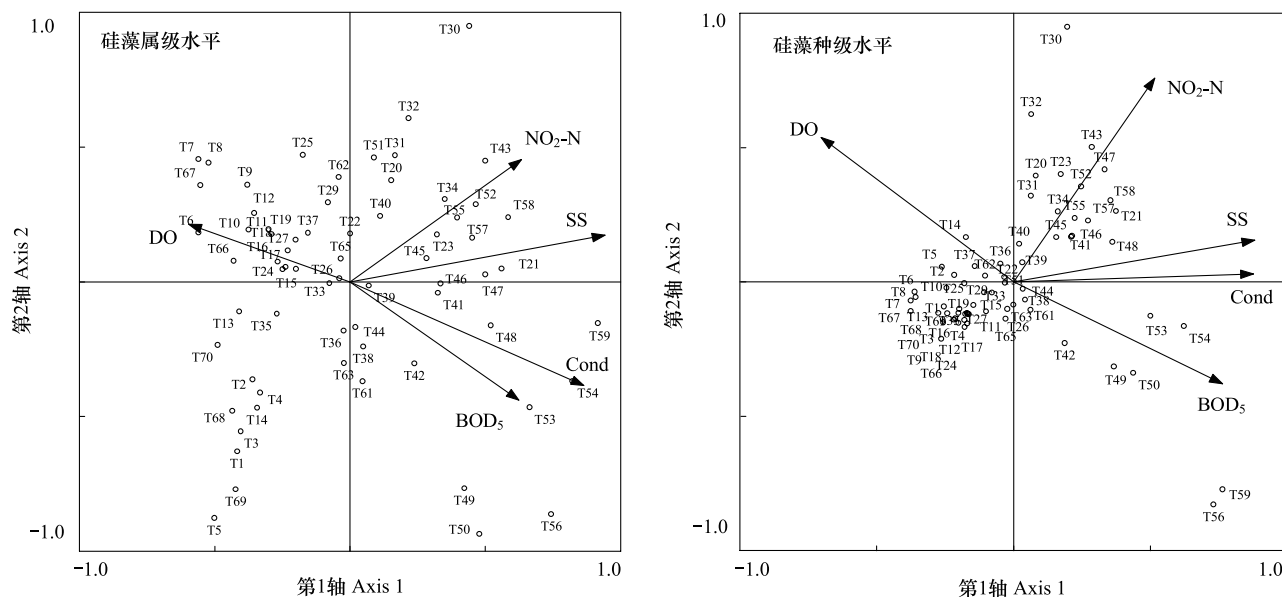


图 4 太子河流域硅藻群落与环境因子典范对应分析(CCA)

Fig.4 Canonical correspondence analysis of diatom-environmental relationships in Taizi River Basin

BOD₅:生物需氧量 Biochemical Oxygen Demand; DO:溶解氧 Dissolved oxygen; SS:悬浮物 Suspended solid; Cond:电导率 Conductivity

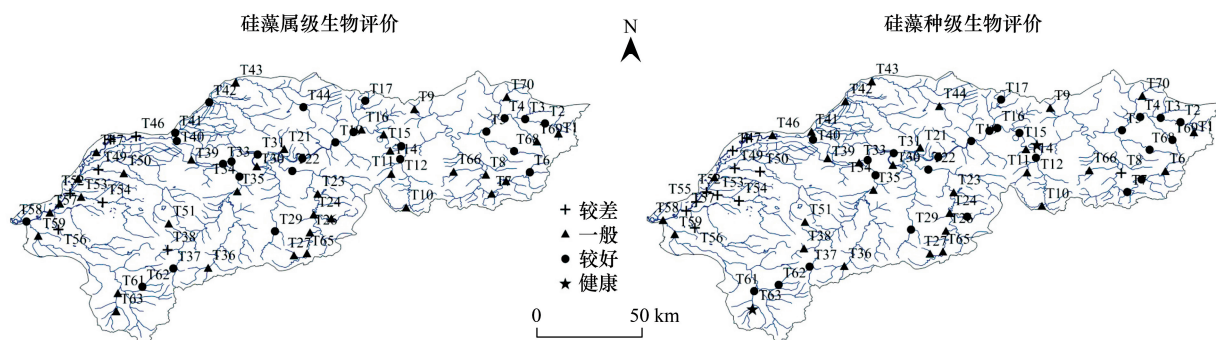


图 5 太子河流域硅藻生物评价结果

Fig.5 Diatom Bioassessment Index of Taizi River Basin

著相关,表明用硅藻属级水平代替种级水平进行统计分析时,生态信息丢失较少,所丢失的生态信息并不影响分析结果,这与国外其他学者的研究结果相一致^[18,20]。有研究指出,造成硅藻属级水平与种级水平极显著相关的原因有以下两方面^[18]:一方面是数理统计,本研究共发现硅藻 141 种,其中 35% 的物种出现频次小于 5,17% 的物种相对多度小于 1%。这些稀有物种所提供的生态信息较少,在统计分析时将其排除,不会改变分析结果^[21]。加拿大学者曾用硅藻指数进行河流生态评价时,当排除相对多度小于 2% 的稀有物种时,没有丢失任何生态信息,可以反映环境中微小变化^[22];另一方面是鉴定水平,

硅藻种类繁多,形态多变,鉴定到种较为困难,且目前大多鉴定仪器均为普通光学显微镜^[23],难以保证硅藻种级水平鉴定结果的准确性,导致分析结果偏离硅藻群落结构的真实性。

Pearson 相关性检验结果表明,硅藻属级水平丰富度与环境显著相关的因子与硅藻种级水平丰富度与环境显著相关的因子相一致,并且这一结果与 Mantel-Test 相关性检验结果一致。导致硅藻属级和种级水平与环境因子相关性相一致的原因可能是因为硅藻鉴定等级越高,影响硅藻群落分布的因子越多^[18],如舟形藻属 (*Navicula*) 不属于富营养属群^[20],但小舟形藻 (*N. minuscula*) 属于富营养物种,

可以指示水体富营养状态^[24];梅尼小环藻(*C. meneghiniana*)既可指示水体富营养状况,又可指示水体酸化状况^[24],因此随着硅藻鉴定等级的升高,硅藻群落与环境因子的关系越为复杂。

典范对应分析结果表明,影响硅藻属级和种级群落分布的环境因子均为悬浮物。悬浮物指悬浮在水中的无机物、有机物、泥砂、黏土、微生物等固体物质,悬浮物是造成水体浑浊的主要原因,其含量是衡量水污染程度的指标之一。当悬浮物含量升高,水体浑浊度加大,使得透明度急剧下降,严重影响硅藻的光合作用。有学者在对长江口浮游植物群落特征进行调查时发现,透明度与浮游植物相关性在 11 月份较弱,其主要原因是 11 月份长江口悬浮物含量异常高,影响了真光层的深度,进而影响浮游植物的光合作用能力^[25]。也有研究报道,电导率是影响太子河流域硅藻种级水平生物群落分布的主要环境因子^[6],本研究中,硅藻种级水平与电导率的相关性在统计学上虽差异不显著,但从分析结果中(图 5)可以看出,硅藻群落与电导率有较强的相关性。

应用硅藻对河流进行健康评价已有很长一段时间,尤其是在美国河流评价中应用得最为广泛^[26]。本研究所用的硅藻生物评价指数(DBI)是根据美国河流研究制定的一套河流健康评价体系,将其应用在对太子河的健康评价中,分别用硅藻属级属性和种级属性对太子河流域进行健康评价,两者评价结果相一致,均指出太子河上游区域,河流健康状况较好,其主要原因是因为太子河上游森林覆盖率高,土地开发程度低,人类活动少,生态完整性较高。太子河中游,河流健康状况一般,人类活动逐渐增强,土地以农田为主。太子河下游地区,城镇化程度较高,人类活动较为密集,对环境污染较为严重,河流健康较差。这一评价结果与其他学者应用生物完整性评价法对太子河进行健康评价的结果相一致^[6]。而硅藻属级健康评价结果与硅藻种级健康评价结果相一致的原因可能是由于硅藻属级属性与硅藻种级属性对栖息环境的要求相似,如菱形藻属(*Nitzschia*)属于运动型硅藻,多分布于泥沙含量较高的水体中,其所包含的全部菱形藻物种均为运动型硅藻^[20]。

在我国,应用硅藻不同鉴定等级对河流进行健康评价的研究较少,但研究意义较为重要,降低硅藻物种的鉴定等级,既能节约成本,又能对调查流域进

行快速监测。本研究主要应用了相关性检验法(Pearson 和 Mantel-Test)、典范对应分析法和硅藻生物评价指数对太子河流域进行调查,研究结果表明,可以应用硅藻属级水平代替种级水平进行太子河流域生态评价与监测,其评价方法是否在其他流域具有普遍适用性还有待于进一步研究。

References:

- [1] Round F E. Diatoms in river water-monitoring studies. *Journal of Applied Phycology*, 1991, 3(2): 129-145.
- [2] Van dam H, Mertens A, Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 1994, 28(1): 117-133.
- [3] Leland H V. Distribution of phytobenthos in the Yakima River basin, Washington, in relation to geology, land use, and other environmental factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52(5): 1108-1129.
- [4] Stevenson R J, Bothwell M L, Lowe R L. *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego: Academic Press, 1996.
- [5] Chessman B, Gowns I, Currey J, Plunkett-Cole N. Predicting diatom communities at the genus level for the rapid biological assessment of rivers. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 317-331.
- [6] Yin X W, Qu X D, Li Q N, Liu Y, Zhang Y, Meng W. Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(6): 1677-1691.
- [7] Yin X W, Zhang Y, Qu X D, Meng W. Spatial community structure of periphyton assemblages in the Taizihe River basin. *Research of Environmental Sciences*, 2013, 26(5): 502-508.
- [8] Kelly M G, Penny C J, Whitton B A. Comparative performance of benthic diatom indices used to assess river water quality. *Hydrobiologia*, 1995, 302(3): 179-188.
- [9] Wright I A, Chessman B C, Fairweather P G, Benson L J. Measuring the impact of sewage effluent on the macroinvertebrate community of an upland stream: The effect of different levels of taxonomic resolution and quantification. *Australian Journal of Ecology*, 1995, 20(1): 142-149.
- [10] Kociolek J P. Taxonomy and ecology: further considerations. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 2005, 56(1-17): 99-106.
- [11] Patrick R, Palavage D M. The value of species as indicators of water quality. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1994, 145: 55-92.
- [12] Ponader K C, Potapova M G. Diatoms from the genus *Achnanthes* in flowing waters of the Appalachian mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes.

- Limnologica, 2007, 37(3): 227-241.
- [13] Coste M, Boutry S, Tison-Rosebery J, Delmas F. Improvements of the Biological Diatom Index (BDI): Description and efficiency of the new version (BDI- 2006). Ecological Indicators, 2009, 9(4): 621-650.
- [14] Ponader K C, Charles D F, Belton T J, Winter D M. Total phosphorus inference models and indices for coastal plain streams based on benthic diatom assemblages from artificial substrates. Hydrobiologia, 2008, 610(1): 139-152.
- [15] Zhu H Z, Chen J Y. Bacillariophyta of the Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 2000.
- [16] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2012.
- [17] State Environmental Protection Administration of China. Monitoring and Determination Methods for Water and Wastewater. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [18] Rimet F, Bouchez A. Biomonitoring river diatoms: Implications of taxonomic resolution. Ecological Indicators, 2012, 15(1): 92-99.
- [19] Stevenson R J, Pan Y D, van Dam H. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms // Stoermer E F, Smol J P. The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [20] Hill B H, Stevenson R J, Pan Y D, Herlihy A T, Kaufmann P R, Johnson C B. Comparison of correlations between environmental characteristics and stream diatom assemblages characterized at genus and species levels. Journal of the North American Benthological Society, 2001, 20(2): 299-310.
- [21] Downes B J, Hindell J S. What's in a site? Variation in lotic macroinvertebrate density and diversity in a spatially replicated experiment. Austral Ecology, 2000, 25(2): 128-139.
- [22] Lavoie I, Dillon P J, Campeau S. The effect of excluding diatom taxa and reducing taxonomic resolution on multivariate analyses and stream bioassessment. Ecological Indicators, 2009, 9(2): 213-225.
- [23] Morales E A, Siver P A, Trainor F R. Identification of diatoms (Bacillariophyceae) during ecological assessments: Comparison between light Microscopy and Scanning Electron Microscopy techniques. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 2001, 151(1): 95-103.
- [24] Li G C, Liu L S, Wang X, Li L. Applications of diatom in river health assessment: A review. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(9): 2617-2624.
- [25] Li J L, Zheng B H, Liu L S, Tang J L. Phytoplankton community structure in the Yangtze River Estuary and its relation to environmental factors. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(4): 403-409.
- [26] Rott E, Duthie H C, Pipp E. Monitoring organic pollution and eutrophication in the Grand River, Ontario, by means of diatoms. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1998, 55(6): 1443-1453.

参考文献:

- [6] 殷旭旺, 渠晓东, 李庆南, 刘颖, 张远, 孟伟. 基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价. 生态学报, 2012, 32(6): 1677-1691.
- [7] 殷旭旺, 张远, 渠晓东, 孟伟. 太子河着生藻类群落结构空间分布特征. 环境科学研究, 2013, 26(5): 502-508.
- [15] 朱惠忠, 陈嘉佑. 中国西藏硅藻. 北京: 科学出版社, 2000.
- [17] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [24] 李国忱, 刘录三, 汪星, 李黎. 硅藻在河流健康评价中的应用研究进展. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2617-2624.
- [25] 李俊龙, 郑丙辉, 刘录三, 唐静亮. 长江口浮游植物群落特征及其与环境的响应关系. 环境科学研究, 2013, 26(4): 403-409.