



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110570089 A

(43)申请公布日 2019.12.13

(21)申请号 201910734726.0

(22)申请日 2019.08.09

(71)申请人 中国科学院南京地理与湖泊研究所
地址 210008 江苏省南京市玄武区北京东路73号

(72)发明人 蔡永久 张又 张志明 高俊峰

(74)专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230
代理人 徐蓓 尹妍

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/26(2012.01)

G06K 9/62(2006.01)

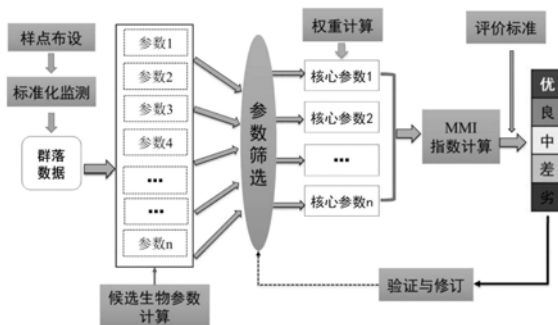
权利要求书2页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

水生生物群落多参数指数评价河流生态状况的构建方法

(57)摘要

本发明涉及水生生物群落多参数指数评价河流生态状况的构建方法,基于理化环境因子调查和主成分分析进行人类干扰梯度识别,结合广义线性模型和AIC信息进行参数筛选,并考虑参数对人类干扰梯度敏感度的权重确定参数权重,实现多参数指数评价河流生态状况的构建。本发明针对当前我国缺乏水生生物群落多参数指数构建的标准方法的现状,提出了具有普适性、易操作、可推广的标准化构建方法,采用标准化方法获得的结果具有可比性,可为管理者制定相关决策提供科学的数据支撑。



1. 一种水生生物群落多参数指数评价河流生态状况的构建方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1. 布设样点,进行河流着生藻类、大型底栖动物和鱼类监测,获得水生生物数据,并基于获取的数据筛选候选生物参数;

S2. 筛选构建河流生态状态评价的核心参数,包括:

S21. 人类干扰梯度识别:基于理化环境因子调查和主成分分析,将多个环境因子降维至几个主成分,并用第一主成分得分(PC1)代表人类干扰梯度;

S22. 选择任一候选生物参数作为模型初始预测变量 m_1 ,从剩余参数中任意选择 k 个参数, $k \in [1, n-1]$, n 为候选参数总数;从 n 个候选参数形成的所有组合中筛选出与PC1具有最大相关系数的候选参数组合,构建出 n 个广义线性模型;

S23. 核心参数筛选:对比 n 个广义线性模型的AIC信息,计算各模型AIC值与最低AIC的差 ΔAIC ,筛选出 ΔAIC 小于设定阈值的模型;

S24. 基于下述筛选原则对S23筛选出的各模型的参数进行进一步筛选:

①参数个数 ≤ 8 个;

②优先选择属于不同类型的参数组合;

③优先选择易于计算的参数;

最终获取 m 个核心参数;

S3. 基于S2筛选的 m 个核心参数与PC1的相关性计算各核心参数的权重,构建评价指数进行河流生态状态评价。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述S1中,基于调查断面的水质、物理栖息地质量、河岸带土地利用和人类干扰强度确定用于构建评价指数的参照点和受损点。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述S1中,还包括对候选参数进行标准化处理,根据参数对压力的响应特征,分为正向参数和反向参数,分别进行标准化;

其中正向参数为对随压力增强而增大的参数,以参照点5%分位数为期望值,以受损点95%分位数为临界值,采用下式进行归一化;

$$M_i = \frac{\text{临界值} - \text{参数值}}{\text{临界值} - \text{期望值}}$$

反向参数为对应随压力增强而减小的参数,以参照点95%分位数为期望值,以受损点5%分位数为临界值,采用下式进行归一化;

$$M_i = \frac{\text{参数值} - \text{临界值}}{\text{期望值} - \text{临界值}}$$

若归一化结果处于0~1之间,则该结果即为该参数得分,若该参数小于0,记为0;大于1,记为1,各参数最终得分处于0~1之间。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述S2还包括:

S20. 对候选生物参数进行初筛,如果参数符合下述a、b、c任一情况,则剔除:

a. 绘制参数分布直方图,计算众数,如果参数值在超过1/3的点位数值为0或1,则剔除;

b. 分析参数间的相关性,若参数间皮尔森相关系数绝对值大于0.9,则保留其中一个参数,其余剔除;

c. 检验参数值在参照点和受损点间的差异显著性,若参数值呈正态分布,则选用参数t检验,否则选用非参数Mann-Whitney U秩和检验,剔除差异不显著的参数;

通过初筛的参数用于下一步核心参数筛选。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述理化环境因子包括浊度、高锰酸盐指数、可溶性有机碳、电导率、叶绿素a浓度、总氮、氨态氮、硝态氮、总磷、磷酸盐、溶氧、pH、河岸带土地利用、栖境多样性、河道变化、交通干扰程度和底质组成。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述S22中,基于下式构建广义线性模型:

$$g\{E(Y)\} = LP = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

式中: $g\{\}$ 是一个单调且可二次微分的联系函数, $E(Y)$ 是期望值, Y 是响应变量, $X_1 \dots X_k$ 是k个环境变量, $b_1 \dots b_p$ 为p个回归系数, a 是回归方程常数项, LP 是线性预测值。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述S23中,筛选出 ΔAIC 小于2的模型,对模型参数进一步筛选。

8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述S3中,核心参数权重计算公式如下:

$$w_i = \frac{r_i^2}{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

式中: r_i 为第i个核心参数与PC1的相关系数; m 为核心参数的个数。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述S3中,采用几何加权平均法构建MMI评价指数进行河流生态状态评价,计算公式如下:

$$MMI = \prod_{i=1}^m M_i^{w_i} = M_1^{w_1} \times M_2^{w_2} \times \dots \times M_m^{w_m}$$

式中 M_i 为第i个核心参数的参数值; w_i 为第i个核心参数的权重; m 为核心参数的个数。

10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括:根据评价指数对环境压力的响应特征,采用差异显著性和敏感性检验进行验证,如下:

a. 差异显著性:基于验证数据集,判断评价指数能否区分参照点和受损点,应用Mann-Whitney U检验分析其差异显著性,具有显著差异表明能有效区分参照点和受损点;

b. 敏感性:评价指数应能识别主要人类干扰因素,分析评价指数与待评价水体主要人类干扰因素的皮尔森相关性,相关系数绝对值大于0.7表明能有效识别人类干扰因素。

水生生物群落多参数指数评价河流生态状况的构建方法

技术领域

[0001] 本发明涉及环境监测与评价技术领域,具体是一种基于水生生物群落多参数指数评价河流生态状况的构建方法。

背景技术

[0002] 我国水生生物多样性极为丰富,具有特有程度高、孑遗物种多等特点,在世界生物多样性中占据重要地位。我国江河湖泊众多,生境类型复杂多样,为水生生物提供了良好的生存条件和繁衍空间,尤其是长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河和辽河等重点流域,是我国重要的水源地和水生生物宝库,对维系水生态系统服务功能起着至关重要的作用。当前,由于栖息地丧失和破碎化、资源过度利用、环境污染、外来物种入侵等原因,我国各大流域都面临着水环境恶化、水生态退化等诸多问题,已成为影响水生态安全的突出问题。2018中国生态环境状况公报显示,长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河的1613个水质断面中,IV~劣V类比例总和为28.2%。其中,黄河、松花江和淮河流域为轻度污染,海河和辽河流域为中度污染,主要污染物为氨氮、化学需氧量、高锰酸盐指数和五日生化需氧量。可见当前我国河流水生态环境问题仍不容乐观,如何有效评价水体生态环境质量是迫切需要解决的问题。

[0003] 面向水生态健康的流域综合管理是欧美等发达国家普遍采用的管理方式。欧盟水框架指令(EU Water Framework Directive)明确提出要保护和提高水生态状况,并提出了以水生生物为核心,涵盖生物质量要素、水文地貌要素和水体理化要素共三类的水生态状况评价体系。美国清洁水法(Clean Water Act)将恢复和保护水体的生物完整性作为长期目标。为此,美国环境保护署研发了以水生生物为核心的生物状态梯度(Biological Condition Gradient)框架,用于指导各州开展水生态状况评价。

[0004] 长期以来,我国对于各类水体的监测,更多地强调物理和化学监测,已具有成熟的手段和方法,对污染物的种数和数量可以比较快速而灵敏地分析测试出来,但由于测试项目都为定期采样,但水体污染物浓度波动,因而定期采样只能反映瞬时的污染物浓度,而且监测项目有限。在实际环境中,由于许多种化合物同时存在的各种复杂作用,它们所产生的有害生物效应浓度往往是现有分析手段无法测出的,它们常以混合状态存在于水体中,且相互作用产生综合污染,给理化监测带来无法克服的困难。化学监测对于检查受控污染物的浓度是非常有用的,但对于理解由于污染物对水生生物的影响作用有限。

[0005] 水生生物是河流生态系统的核心组成部分,长期生活在水体中,受到水体中各种污染物的影响,其群落结构表征了水生态系统的健康状况,因此对水生生物群落的评价能弥补上述理化监测的不足,具有不可替代的优越性。主要优点有:能反映环境中各种污染因子对生物的综合作用,尤其是各种污染物之间的共同作用;可反映污染物的累积效应,能对水环境短期的和历史性的影响作出反应;对点污染和非点污染都比较灵敏;方法简便,不需购置理化监测必需的昂贵精密仪器和试剂,适宜在较大范围内设点监测人类干扰对生态环境的影响。

[0006] 河流生态系统最主要的水生生物类群包括着生藻类、底栖大型无脊椎动物、鱼类等,不同生物的生命周期差异较大,反映了不同时间尺度的水生态状况。具体而言,着生藻类的生命较为短暂,反映了短时间内(周)的水生态状况;底栖大型无脊椎动物反映了月和季度尺度的水生态状况;鱼类生命周期更长,反映了长时间污染物(季度或年)的影响。因此,根据所处区域特征和管理需求,开展多个生物类群的监测,可以综合反映水生态状况。

[0007] 当前,我国的水环境管理主要还是以行政区为单元,主要以水体为对象,侧重水体使用功能以及单一的水质管理,未考虑水生态系统完整性。区划管理目标也仅以水质监测和评价为主,缺乏对水生生物指标的考虑,水污染控制与水生态保护相互脱节。“十一五”和“十二五”期间,在“分区、分类、分级、分期”的流域污染控制理念指导下,我国完成了重点流域水生态功能四级分区,在此基础上,划分了全国水生态环境功能区。目前我国正努力从单一水质目标管理向水质、水生态双重管理转变,水生态管理除保护水资源的使用功能外,还需保护水生态系统结构的完整性。水生态状况评价是诊断水体生态环境问题、制定管理目标、指导生态修复的重要依据,因此亟需研发适合我国流域特征的水生生物指标。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种基于水生生物群落多参数指数评价河流生态状况的构建方法,适用于河流着生藻类、底栖大型无脊椎动物、鱼类群落多参数指数(MMI)的构建流程,为河流生态状况评价和管理措施提供技术手段。

[0009] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0010] 一种水生生物群落多参数指数评价河流生态状态的构建方法,包括如下步骤:

[0011] S1. 布设样点,进行河流着生藻类、大型底栖动物和鱼类监测,获得水生生物数据,并基于获取的数据筛选候选生物参数;

[0012] S2. 筛选构建河流生态状态评价的核心参数,包括:

[0013] S21. 人类干扰梯度识别:基于环境因子调查和主成分分析,将多个理化环境因子降维至几个主成分,并用第一主成分得分(PC1)代表人类干扰梯度;

[0014] S22. 选择任一候选生物参数作为模型初始预测变量 m_1 ,从剩余参数中任意选择 k 个参数, $k \in [1, n-1]$, n 为候选参数总数;从 n 个候选参数形成的所有组合中筛选出与PC1具有最大相关系数的候选参数组合,构建出 n 个广义线性模型;

[0015] S23. 核心参数筛选:对比 n 个广义线性模型的AIC信息,计算各模型AIC值与最低AIC的差 ΔAIC ,筛选出 ΔAIC 小于设定阈值的模型;

[0016] S24. 基于下述筛选原则对S23筛选出的各模型参数进行进一步筛选:

[0017] ①参数个数 ≤ 8 个;

[0018] ②优先选择属于不同类型的参数组合;

[0019] ③优先选择易于计算的参数;

[0020] 最终获取 m 个核心参数;

[0021] S3. 基于S2筛选的 m 个核心参数与PC1的相关性计算各核心参数的权重,构建评价指数进行河流生态状态评价。

[0022] 作为本发明的进一步改进,所述S1中,基于调查断面的水质、物理栖息地质量、河岸带土地利用和人类干扰强度确定用于构建评价指数的参照点和受损点。

[0023] 作为本发明的进一步改进,所述S1中,还包括对候选参数进行标准化处理,根据参数对压力的响应特征,分为正向参数和反向参数,分别进行标准化;

[0024] 其中正向参数为对随压力增强而增大的参数,以参照点5%分位数为期望值,以受损点95%分位数为临界值,采用下式进行归一化;

$$[0025] \quad M_i = \frac{\text{临界值} - \text{参数值}}{\text{临界值} - \text{期望值}}$$

[0026] 反向参数为对应随压力增强而减小的参数,以参照点95%分位数为期望值,以受损点5%分位数为临界值,采用下式进行归一化;

$$[0027] \quad M_i = \frac{\text{参数值} - \text{临界值}}{\text{期望值} - \text{临界值}}$$

[0028] 若归一化结果处于0~1之间,则该结果即为该参数得分,若该参数小于0,记为0;大于1,记为1,各参数最终得分处于0~1之间。

[0029] 作为本发明的进一步改进,所述S2还包括:

[0030] S20. 对候选生物参数进行初筛,如果参数符合下述a、b、c任一情况,则剔除:

[0031] a. 绘制参数分布直方图,计算众数,如果参数值在超过1/3的点位数值为0或1,则剔除;

[0032] b. 分析参数间的相关性,若参数间皮尔森相关系数绝对值大于0.9,则保留其中一个参数,其余剔除;

[0033] c. 检验参数值在参照点和受损点间的差异显著性,若参数值呈正态分布,则选用参数t检验,否则选用非参数Mann-Whitney U秩和检验,剔除差异不显著的参数;

[0034] 通过初筛的参数用于下一步核心参数筛选。

[0035] 作为本发明的进一步改进,所述理化环境因子包括浊度、高锰酸盐指数、可溶性有机碳、电导率、叶绿素a浓度、总氮、氨态氮、硝态氮、总磷、磷酸盐、溶氧、pH、河岸带土地利用、栖境多样性、河道变化、交通干扰程度和底质组成。

[0036] 作为本发明的进一步改进,所述S22中,基于下式构建广义线性模型:

$$[0037] \quad g\{E(Y)\} = LP = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

[0038] 式中: $g\{\}$ 是一个单调且可二次微分的联系函数, $E(Y)$ 是期望值, Y 是响应变量, $X_1 \dots X_k$ 是k个环境变量, $b_1 \dots b_p$ 为p个回归系数, a 是回归方程常数项, LP 是线性预测值。

[0039] 作为本发明的进一步改进,所述S23中,筛选出 ΔAIC 小于2的模型,对模型参数进一步筛选。

[0040] 作为本发明的进一步改进,所述S3中,核心参数权重计算公式如下:

$$[0041] \quad w_i = \frac{r_i^2}{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

[0042] 式中: r_i 为第i个核心参数与PC1的相关系数; m 为核心参数的个数。

[0043] 进一步的,所述S3中,采用几何加权平均法构建MMI评价指数进行河流生态状态评价,计算公式如下:

$$[0044] \quad MMI = \prod_{i=1}^m M_i^{w_i} = M_1^{w_1} \times M_2^{w_2} \times \dots \times M_m^{w_m}$$

[0045] 式中 M_i 为第 i 个核心参数的参数值; w_i 为第 i 个核心参数的权重; m 为核心参数的个数。

[0046] 作为本发明的进一步改进,所述方法还包括:根据评价指数对环境压力的响应特征,采用差异显著性和敏感性检验进行验证,如下:

[0047] a. 差异显著性:基于验证数据集,判断评价指数能否区分参照点和受损点,应用Mann-Whitney U检验分析其差异显著性,具有显著差异表明能有效区分参照点和受损点;

[0048] b. 敏感性:评价指数应能识别主要人类干扰因素,分析评价指数与待评价水体主要人类干扰因素的皮尔森相关性,相关系数绝对值大于0.7表明能有效识别人类干扰因素。

[0049] 本发明针对当前我国缺乏水生生物群落多参数指数构建的标准方法的现状,基于两个理论:1)水生生物群落完整性将随人为干扰压力增加而降低(图1);2)群落不同属性参数对环境压力响应的敏感区间存在差异(图2),基于大量科学研究和实践,提出了具有普适性、易操作的、可推广的标准化构建方法,采用标准化方法获得的结果具有可比性,可为管理者制定相关决策提供科学的数据支撑。本发明以保护河流水生生物群落完整性为目标,在筛选指标时以人为干扰梯度为响应变量,基于广义线性模型筛选生物参数,提高了生物评价中量化评估人类干扰对水生生物群落完整性影响的精确度,有效排除了环境因子的自然变化带来的评价误差问题。

[0050] 该方法适用于河流着生藻类、底栖大型无脊椎动物、鱼类等水生生物群落,并基于研究总结明确提出了适合河流着生藻类、底栖大型无脊椎群落、鱼类多参数指数的候选参数集,在应用推广中,使用者可直接根据在该表中筛选参数,无需自行查阅资料,计算候选参数,节约了时间成本。

[0051] 此外,本发明可为我国水环境管理从单一水质目标管理向水质、水生态双重管理转变提供技术支撑,本发明提供的方法适用于不同类型河流生态系统,不同地区可根据其水生生物区系特征,在本发明提供的着生藻类、底栖大型无脊椎群落、鱼类中选择一个和多个生物类群作为水生态管理目标。

附图说明

[0052] 图1是水生生物群落完整性随环境压力增加而降低的理论示意图。

[0053] 图2是群落不同属性参数对环境压力响应敏感区间的差异示意图。

[0054] 图3是本发明方法整体流程。

[0055] 图4是实施例巢湖流域平原区河流参照点和受损点的分布图。

[0056] 图5是正向参数和反向参数归一化示意图。

[0057] 图6是巢湖流域各水系样点的理化因子主成分分析图。

[0058] 图7是巢湖流域平原区河流的指标筛选箱线图。

具体实施方式

[0059] 实施例以巢湖流域平原区河流为案例,对本发明的水生生物群落多参数指数评价河流生态状况的构建方法做进一步阐述。

[0060] 如图3所示,本发明的方法包括如下步骤:

[0061] S1. 布设样点,进行河流着生藻类、大型底栖动物和鱼类监测,获得水生生物数据,

并基于获取的数据筛选候选生物参数；

[0062] S11. 样点布设

[0063] 基于调查断面的水质、物理栖息地质量、河岸带土地利用和人类干扰强度确定用于构建MMI指数的参照点和受损点(表1)。

[0064] 表1参照点和受损点筛选原则

	类型	水质类别	物理栖息地质量	河岸带土地利用
[0065]	参照点	≥II、III类	栖息地保持自然或近自然状态	无开发利用或城镇、农田利用比例< 10%
[0066]	受损点	≤IV类	栖息地(河道形态、连通性、水文条件)受人类影响显著	城镇、农田等利用比例> 50%

[0067] 根据参照点和受损点筛选原则,确定巢湖流域平原区河流28个参照点,41受损点,如图4所示。

[0068] S12. 标准化监测

[0069] 本实施例中依据HJ 710.8-2014《生物多样性观测技术导则淡水底栖大型无脊椎动物》、HJ 710.7-2014《生物多样性观测技术导则内陆水域鱼类》、《全国淡水生物物种资源调查技术规定(试行)》等规范性文件开展河流着生藻类、大型底栖动物和鱼类的监测,获得水生生物数据。

[0070] S13. 筛选候选参数

[0071] 候选生物参数可包括六大类:(1)物种丰富度参数:描述群落中分类单元数多样性;(2)群落组成参数:描述群落中密度和生物量的组成,一般多为相对丰度或相对生物量;(3)耐受/敏感参数:基于物种的对环境压力的敏感和耐受特性,描述环境压力程度的参数;(4)生物多样性参数:综合分类单元数和群落中个体分布的多样性指数;(5)功能参数:描述食性、栖息习性、繁殖特性等反应群落功能的参数;(6)现存量参数:描述群落总体或某一类群的密度或生物量。

[0072] 本发明中提供了具有普适性的适合河流着生藻类、底栖大型无脊椎群落、鱼类多参数指数的候选参数集,如表2~4所示。

[0073] 表2河流着生藻类群落候选生物参数

参数类型	候选生物参数	参数类型	候选生物参数	
物种丰富度参数	着生藻类总分类单元	生物多样性参数	Shannon-Wiener 多样性指数	
	硅藻总分类单元数		Pielou 均匀性指数	
[0074]	绿藻总分类单元数	耐污/敏感参数	Margalef 物种丰富度指数	
	蓝藻总分类单元数		Simpson 多样性指数	
	着生藻类属的总数		敏感性物种相对多度/%	
	硅藻属的总数		硅藻属指数	
	绿藻属的总数		硅藻耐受性指数	
	蓝藻属的总数		Descy 指数	
	硅藻分类单元相对多度		硅藻生物指数	
	蓝藻分类单元相对多度		瑞士硅藻指数	
群落组成参数	绿藻分类单元相对多度	耐污/敏感参数	基于硅藻的富营养化指数	
	第一优势种优势度		特殊污染敏感指数	
	前三位优势种优势度		富营养化硅藻指数	
	曲壳藻百分比/%		ROTT 营养指数	
	桥弯藻百分比/%		Sládeček's 指数	
	菱形藻百分比/%		有机污染硅藻指数	
	舟形藻百分比/%		ROTT 腐殖度指数	
	丝状绿藻百分比/%		现存量	Schiefele 和 Schreiner's 指数
	颤藻百分比/%			着生藻类叶绿素 a 含量
	硅藻百分比/%			单位面积着生藻类密度
[0075]	绿藻百分比/%	功能参数	底栖藻类的生物量	
	蓝藻百分比/%		可运动硅藻百分比/%	
	极细微曲壳藻/%		具柄硅藻百分比/%	
	曲壳藻属相对曲壳藻属、舟形藻属总和的百分含量		俯伏型相对丰度	
	硅藻商		直立型相对丰度	
	桥弯藻属相对桥弯藻属、舟形藻属总和的百分含量		非着生型相对丰度	

[0076] 表3河流底栖大型无脊椎动物候选生物

参数类型	候选生物参数	参数类型	候选生物参数	
[0077]	物种丰富度参数	群落组成参数	总分类单元数	水生昆虫百分比
			水生昆虫物种数	双壳纲百分比
			双壳纲分类单元数	摇蚊科幼虫百分比
			摇蚊幼虫分类单元数	甲壳纲百分比
			甲壳纲分类单元数	双翅目百分比
			双翅目分类单元数	腹足纲百分比
			腹足纲分类单元数	软体动物门百分比
			软体动物门分类单元数	蜻蜓目百分比
			蜻蜓目分类单元数	蜉蝣目百分比
			蜉蝣目分类单元数	襀翅目百分比
			襀翅目分类单元数	毛翅目百分比
			毛翅目分类单元数	ET 昆虫百分比
			ET 昆虫分类单元数	EPT 昆虫百分比
			EPT 昆虫分类单元数	ETO 昆虫百分比
			ETO 昆虫分类单元数	第一位优势种百分比
清洁分类单元种类数	前三种优势种百分比			
耐污分类单元种类数	清洁物种百分比			
耐污/敏感参数	BMWP 指数	耐污物种百分比		
	ASPT 指数	BPI 指数		
	FBI 指数	Goodnight 指数		
	BI 指数	Shannon-Wiener 多样性指数		
功能参数	收集者百分比	Pielou 均匀性指数		
	滤食者百分比	Margalef 物种丰富度指数		
	刮食者百分比	Simpson 多样性指数		
	撕食者百分比			
	捕食者百分比			

[0078] 表4河流鱼类群落候选生物参数

参数类型	候选生物参数	参数类型	候选生物参数
[0079]			

[0080]	物种丰富度参数	鱼类物种总数 土著鱼类种类数 商业捕捞获得的鱼类种类数 洄游性鱼类种类数 鲇形目鱼类种类数 鲤形目鱼类种类数 鲈形目鱼类种类数 鳅科鱼科种类数 鲑属鱼科种类数 脂鲤目种类数 鲤科棱鱼科种类数 淡水鲈科和杜父鱼科种类数 棘臀科种类数 杜父鱼科种类数 亚口鱼科种类数 象鼻鱼科种类数 丽鱼科种类数 群落组成 本地特有鱼种数量百分比 经济鱼类数量百分比 淡水鲈科鱼类物种数百分比 虾虎鱼科鱼类物种数百分比 鳅虎鱼科鱼类物种数百分比	功能参数	上层鱼类物种数百分比 中上层鱼类物种数百分比 中下层鱼类物种数百分比 底层鱼类物种数百分比 入侵种数量百分比 广布种鱼类数量百分比 生活环境单一的鱼类个体百分比 冷水鱼类数量百分比 亲流性鱼类数量百分比 咸淡水物种数百分比 肉食性鱼类数量百分比 杂食性鱼类数量百分比 植食性鱼类数量百分比 滤食性鱼类数量百分比 肉食性鱼类种类百分比 杂食性鱼类种类百分比 植食性鱼类种类百分比 滤食性鱼类种类百分比 底栖动物食性鱼类数量百分比 顶级鱼食性鱼类数量百分比 昆虫食性鱼类数量百分比 昆虫食性鲤科鱼类数量百分比 鱼食性鱼类种类数占期望值百分比 繁殖共位群
	群落组成参数	塘鳢科物种数百分比 土著鲤科鱼类数量百分比 鲿科鱼类数量百分比 鳊科鱼类数量百分比 鳊亚科鱼类数量百分比 鲮亚科鱼类数量百分比 鮡亚科鱼类数量百分比 土著鲤科小鱼种类数占期望值百分比	生物多样性参数	产漂浮性卵鱼类数量百分比 产沉性卵鱼类数量百分比 产粘性卵鱼类数量百分比 产卵方式特殊的鱼类数量百分比 借助贝类产卵鱼类数量百分比 筑巢护卵行为鱼类数量百分比 Shannon-Wiener 多样性指数 Margalef 丰富度指数 Pielou 均匀度指数 Simpson 优势度指数
	耐污/敏感参数	敏感性鱼类数量百分比 耐受性鱼类数量百分比		
	现存量参数	土著鱼类生物量 土著鱼类密度		

[0081] 本实施例中基于S12的监测数据,根据表3的五类候选参数计算底栖大型无脊椎动物的候选生物参数。

[0082] 为消除不同候选生物参数物理量纲差异,需对参数进行标准化。根据参数对压力的响应特征,分为正向参数和反向参数,分别进行标准化(图5),其中:

[0083] 正向参数:对随压力增强而增大的参数,以参照点5%分位数为期望值,以受损点95%分位数为临界值,采用公式a进行归一化;

[0084]
$$M_i = \frac{\text{临界值} - \text{参数值}}{\text{临界值} - \text{期望值}} \quad (a)$$

[0085] 反向参数:对应随压力增强而减小的参数,以参照点95%分位数为期望值,以受损点5%分位数为临界值,采用公式b进行归一化,

$$[0086] \quad M_i = \frac{\text{参数值} - \text{临界值}}{\text{期望值} - \text{临界值}} \quad (\text{b})$$

[0087] 若归一化结果处于0~1之间,则该结果即为该参数得分,若该参数小于0,记为0;大于1,记为1,各参数最终得分处于0~1之间。

[0088] S2. 筛选构建河流生态状态评价的核心参数;

[0089] S20. 对候选生物参数进行初筛,如果参数符合下述a、b、c任一情况,则剔除:

[0090] a. 绘制参数分布直方图,计算众数,如果参数值在超过1/3的点位数值为0或1,则剔除;

[0091] b. 分析参数间的相关性,若参数间皮尔森相关系数绝对值大于0.9,则保留其中一个参数,其余剔除;

[0092] c. 检验参数值在参照点和受损点间的差异显著性,若参数值呈正态分布,则选用参数t检验,否则选用非参数Mann-Whitney U秩和检验,剔除差异不显著的参数;

[0093] 通过初筛的参数用于下一步核心参数筛选。

[0094] 本实施例中,对表3所示的50个候选生物参数进行初筛,共14个参数0或1值超过1/3,5个参数高度相关($r > 0.90$, $p < 0.01$),差异显著性检验剔除11个参数。

[0095] S21. 人类干扰梯度识别:基于环境因子调查和主成分分析,将多个环境因子降维至几个主成分,并用第一主成分得分(PC1)代表人类干扰梯度;

[0096] 对于剩下的20个参数,首先采用主成分分析分析17个理化环境因子,包括12个水质指标:浊度(Turbidity)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、可溶性有机碳(DOC)、电导率(COND)、叶绿素a浓度(Chl-a)、总氮(TN)、氨态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP)、磷酸盐(PO₄³⁻-P)、溶氧(DO)、pH;5个生境指标:河岸带土地利用(Land)、栖境多样性(Habitat)、河道变化(Channel)、交通干扰程度(Transportation)、底质组成(Substrate),解析主要环境梯度,前两个主成分的方差解释率分别为54.1%和17.0%,第1主成分(PC1)主要与生境指标呈负相关,与水体营养指标呈正相关,表明PC1主要反映了生境质量和水体的营养状态,能反应人类干扰因素。

[0097] S22. 选择任一候选生物参数作为模型初始预测变量 m_1 ,从剩余参数中任意选择k个参数, $k \in [1, n-1]$,n为候选参数总数;从n个候选参数形成的所有组合中筛选出与PC1具有最大相关系数的候选参数组合,构建出n个广义线性模型,其方程形式为;

$$[0098] \quad g\{E(Y)\} = LP = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

[0099] 式中:Y为响应变量, $X_1 \dots X_k$ 为k个环境变量, $b_1 \dots b_k$ 为k个回归系数,a是回归方程常数项,LP是线性预测值,E(Y)是期望值,g{}是一个单调且可二次微分的联系函数。

[0100] S22. 基于下式计算n个广义线性模型的AIC信息:

$$[0101] \quad AIC = n \log\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2k$$

[0102] 式中:n为样点的数量,RSS为残差平方和,k为筛选后的参数个数。

[0103] 对比n个广义线性模型的AIC信息,计算各模型AIC值与最低AIC的差 ΔAIC ,选择 $\Delta AIC < 2$ 的模型参数, $\Delta AIC < 2$ 的模型筛选结果如表5所示;

[0104] 表5巢湖流域底栖动物多参数指数核心参数筛选结果

序号	广义线性模型参数	AIC	△AIC
1	总分类单元数+清洁物种百分比+滤食者百分比+ BI 指数+Simpson 指数	315.33	0.00
2	软体动物分类单元数+双壳纲百分比+BMWP 指数+Margalef 指数	316.57	1.24
3	双壳纲百分比+清洁分类单元数+ BI 指数+滤食者百分比+Simpson 指数	316.84	1.51
4	清洁物种百分比+BMWP 指数+ ETO 昆虫分类单元数+Margalef 指数	316.93	1.60
5	Shannon-Wiener 指数+双壳类百分比+耐污分类单元数+BI 指数	317.28	1.95
6	BI 指数+总分类单元数+滤食者百分比+ETO 昆虫百分比+Margalef 指数	316.21	0.88

[0106] S24. 分析上一步骤筛选的各模型参数的特征,综合考虑参数个数、参数类型、参数计算的难易度,筛选的原则是参数各部不易过度,优先考虑属于不同类型的参数组合,优先选择易于计算的参数,经过分析选择最佳模型对应的参数为构建MMI指数的核心参数,本实施例中6个广义线性模型的△AIC小于2,对比参数的组成,参数个数为4~5个,差异较小,模型1和模型6筛选出了总分类单元数,为最常用、易计算的参数,优先考虑;此外,BI指数是生物评价中常用的指数,最终确定模型1中的5个参数为MMI的核心参数,此处定义筛选出m个核心参数;分别为总分类单元数、清洁物种百分比、滤食者百分比、BI指数和Simpson指数。

[0107] S3. 基于S2筛选的5个核心参数与PC1的相关性计算各核心参数的权重,构建评价指数进行河流生态状态评价。

[0108] 本发明提出一种考虑参数对人类干扰梯度敏感度的权重确定参数,基于Pearson相关分析得出S2确定的各核心参数与PC1的相关系数(r_i),各核心参数权重的计算公式为:

$$w_i = \frac{r_i^2}{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

[0110] 式中: r_i 为第i个核心参数与PC1的相关系数;m为核心参数的个数。

[0111] 基于上式计算各核心参数权重,如表6所示:

[0112] 表6底栖动物完整性指数参数权重计算

参数	r_i	r_i^2	权重
总分类单元数	0.73	0.53	0.20
清洁物种百分比	0.68	0.46	0.18
滤食者百分比	0.76	0.58	0.22
BI 指数	0.79	0.62	0.24
Simpson 指数	0.64	0.41	0.16

[0114] 基于核心参数数值和权重,采用几何加权平均法计算MMI指数,计算公式为:

$$MMI = \prod_{i=1}^m M_i^{w_i} = M_1^{w_1} \times M_2^{w_2} \times \dots \times M_m^{w_m}$$

[0116] 式中 M_i 为第i个核心参数的参数值; w_i 为第i个核心参数的权重;m为核心参数的个

数。

[0117] MMI指数是一个介于0~1之间的数值,为评估样点受到人为干扰的受损程度,将MMI指数值划分为优[0.8~1.0]、良[0.6~0.8]、中[0.4~0.6]、差[0.2~0.4]、劣5[0~0.2)五个等级。

[0118] S4.验证;

[0119] 根据MMI指数对环境压力的响应特征,采用差异显著性和敏感性检验,具体验证方法如下:

[0120] a) 差异显著性:基于验证数据集,判断MMI指数能否区分参照点和受损点,应用Mann-Whitney U检验分析其差异显著性,具有显著差异表明能有效区分参照点和受损点;

[0121] 本实施例中,绘制MMI指数及5个核心参数的箱线图,Mann-Whitney U检验结果显示MMI得分在参照点和受损点具有显著差异,如图7所示,表明MMI指数是可靠的。

[0122] b) 敏感性:MMI指数应能识别主要人类干扰因素,分析MMI指数与待评价水体主要人类干扰因素的皮尔森相关性,强相关(相关系数绝对值大于0.7)表明能有效识别人类干扰因素。

[0123] MMI指数与水体理化环境因子的Pearson相关分析结果表明:TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、Chl-a、 COD_{Mn} 与MMI指数显著负相关,而溶解氧、栖境多样性、河道变化、交通干扰程度、河岸带土地利用、底质组成与MMI指数显著正相关,表明实施例构建的MMI指数能有效反映巢湖流域平原区的主要环境压力。

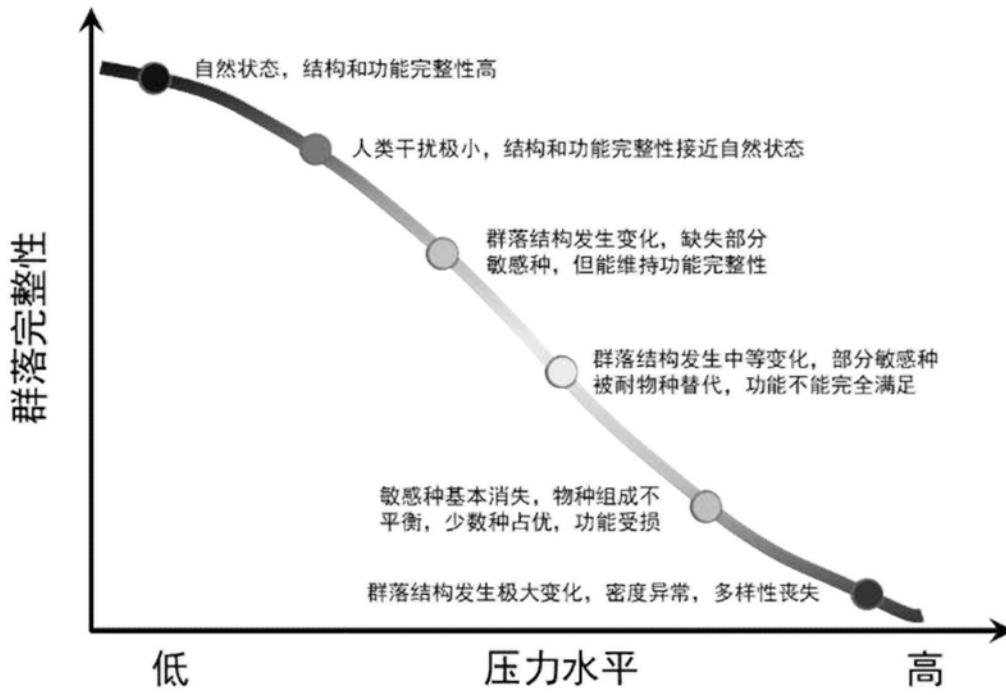


图1

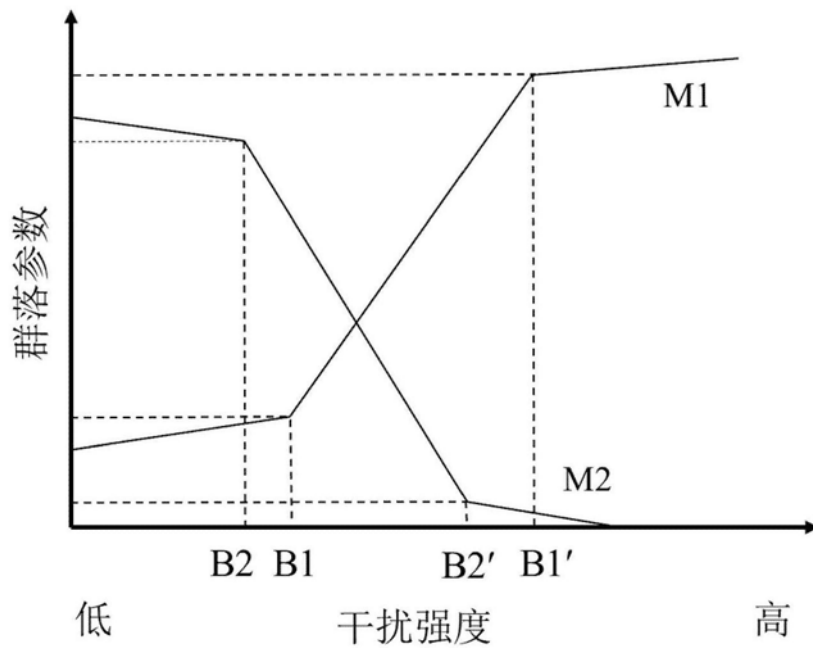


图2

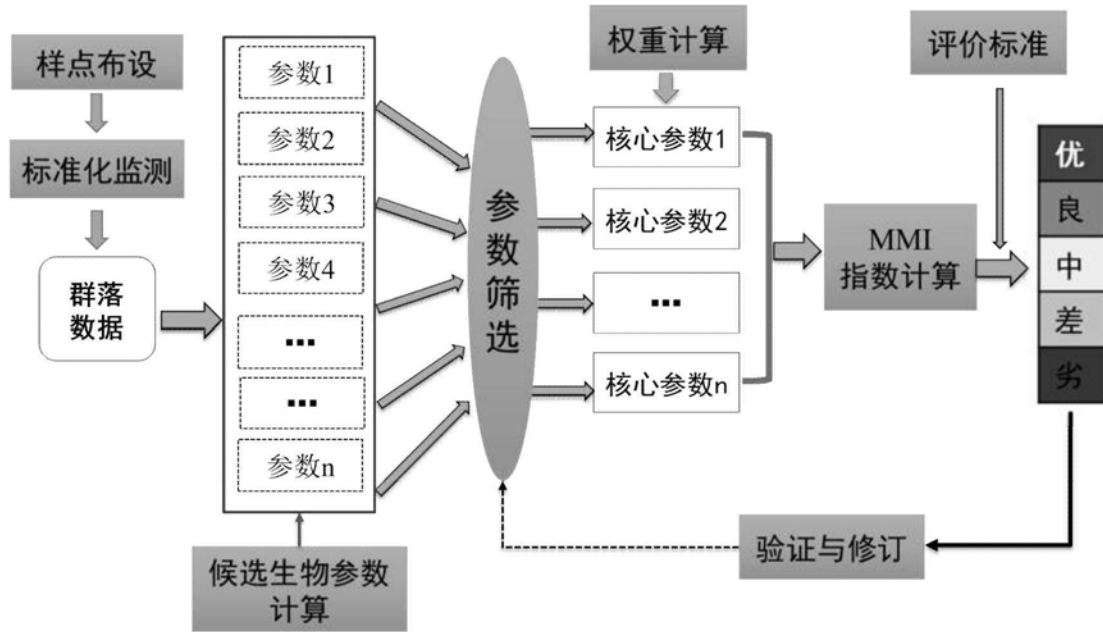


图3

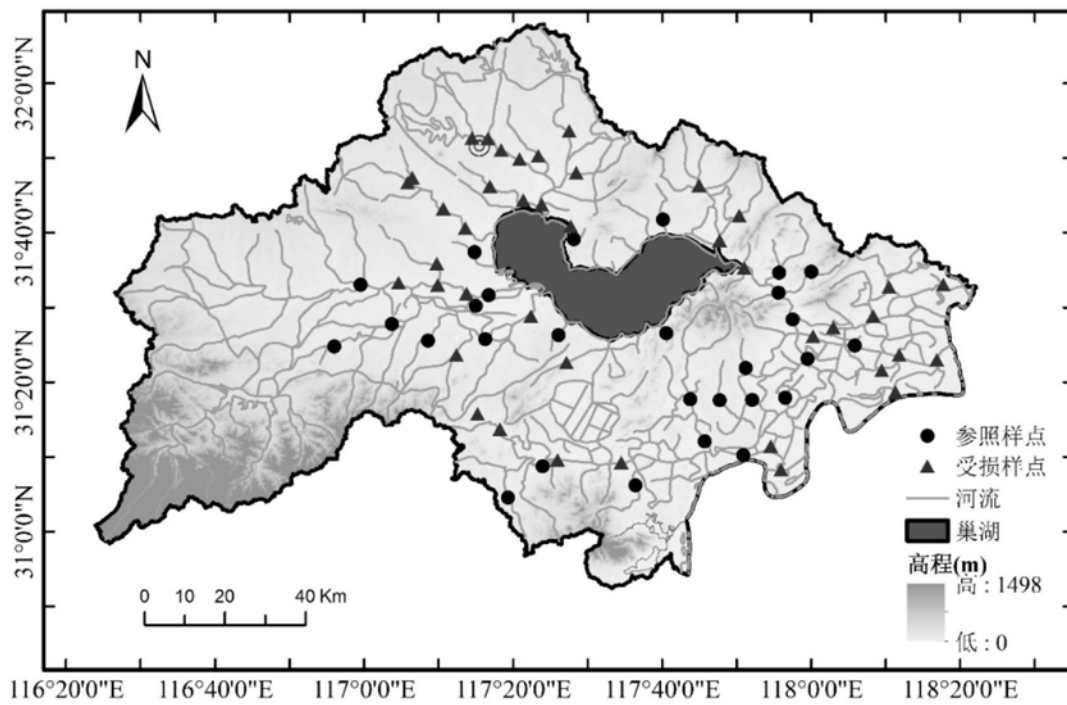


图4

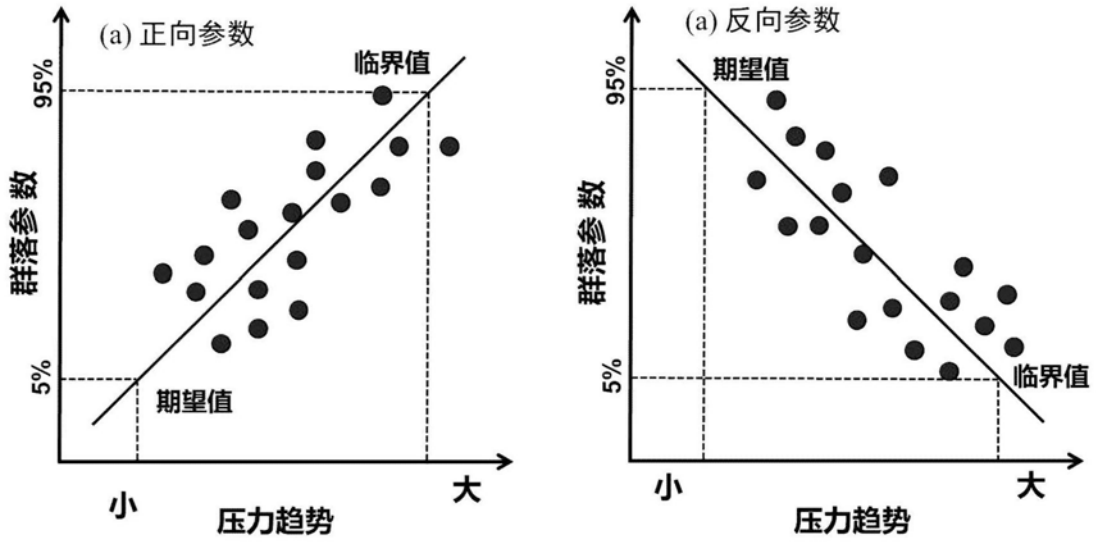


图5

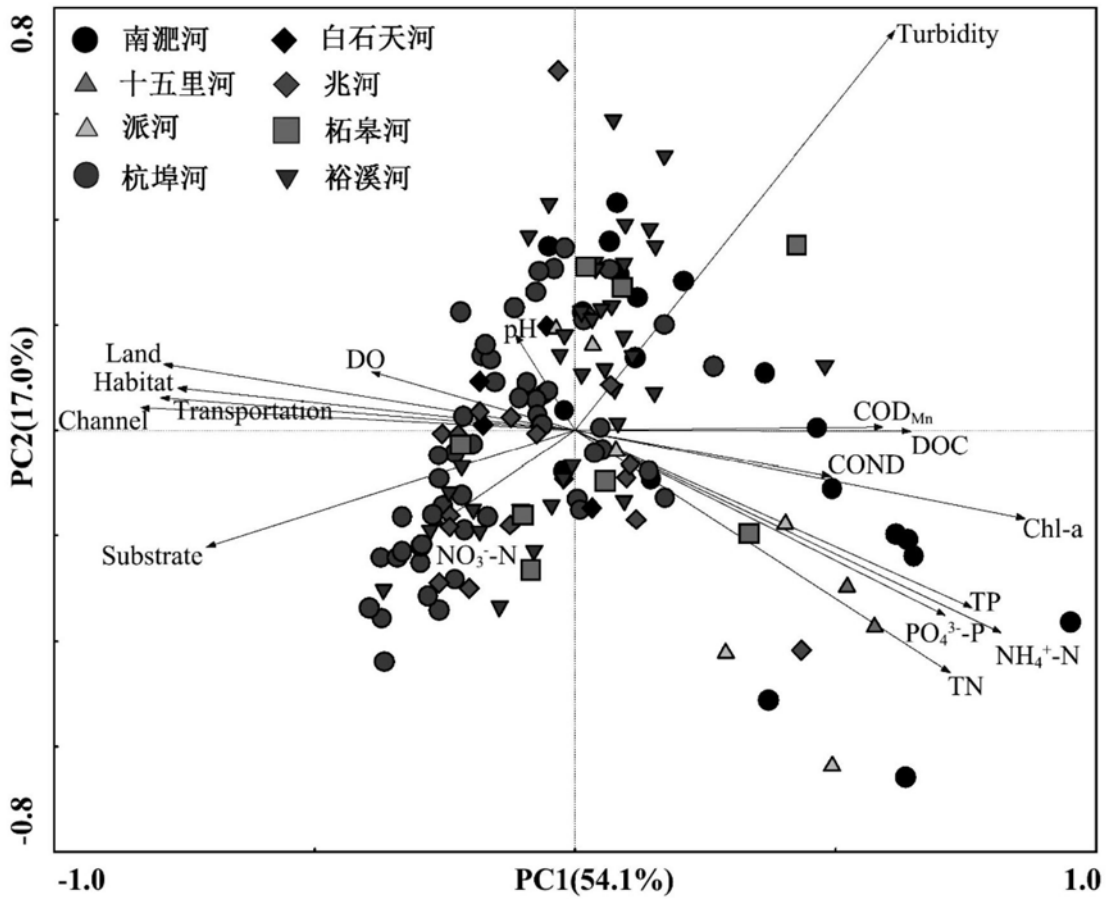


图6

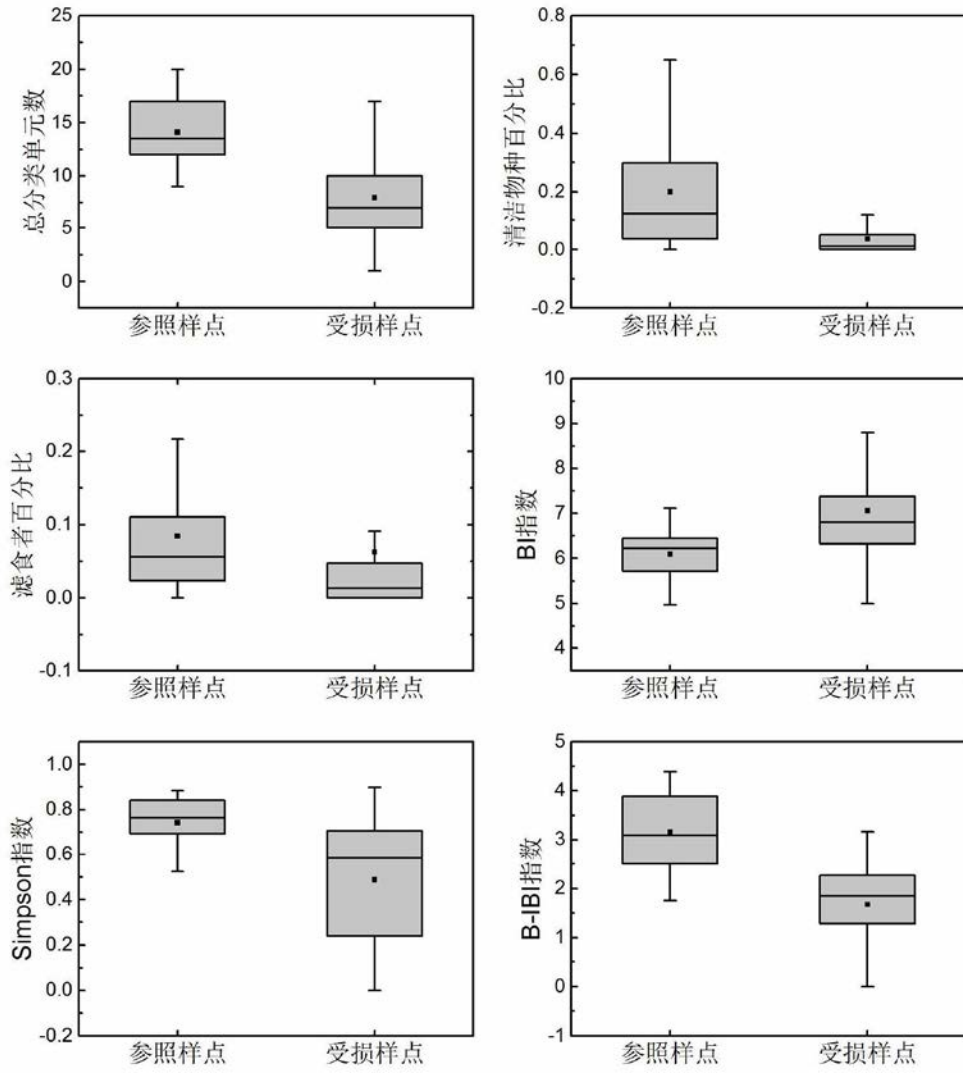


图7