

# 《长三角平原河网河流水生态完整性指数评价方法 底栖动物》 团体标准编制说明

## 一、项目背景

### 1.国内现行相关法律法规和政策导向

2015年国务院发布的《水污染防治行动计划》中明确提出“到2030年力争全国水环境质量总体改善，水生态系统功能初步恢复，到21世纪中叶，生态环境质量全面改善，生态系统实现良性循环”的目标。2020年生态环境部发布的《生态环境监测规划纲要（2020—2035年）》中明确提出“地表水监测要逐步实现水质监测向水生态监测的系统转变，建立以流域为单元的水生态监测指标体系和评价体系”，由此可以看出，水生生物监测与评价在水质评价中的地位日益重要。相对于传统的理化监测方法，水生生物监测具有综合性和快速性的特点<sup>[1]</sup>。

2021年3月《中华人民共和国长江保护法》正式实施，其中明确规定“国务院农业农村主管部门会同国务院有关部门和长江流域省级人民政府建立长江流域水生生物完整性指数评价体系，组织开展长江流域水生生物完整性评价，并将结果作为评估长江流域生态系统总体状况的重要依据。长江流域水生生物完整性指数应当与长江流域水环境质量标准衔接”。至此，农业农村部为了系统评价长江流域水生生物资源及其栖息生境状况，针对性地开展水域生态修复工作，并研究制定了《长江流域水生生物完整性指数评价办法（试行）》<sup>[2]</sup>。

### 2.国外相关标准方法研究

国外开展河流水生态环境质量监测和评价较早，形成了较为成熟的方法与技术体系。为了全面评价河流生态结构、服务功能和压力状况的变化，国外开展的水质监测评价主要涉及水质理化环境、生物状况及水文物理特征等方面。国内相关工作起步晚，目前可参考的相关标准规范有限，主要是服务水生态系统健康评价相关标准规范，包含水文水资源及社会服务功能等健康评价的要素。

美国1977年颁布了美国清洁水法（Clean Water Act, CWA）<sup>[3]</sup>，法案中主要目标是恢复和维持国家水体化学、物理、生物的完整性即生态完整性（最终目标），并要求各州将实施和开展生物完整性监测和评价，建立生物基准，并以此来评价水生生物群落的状态。规定各州环保部门负责每两年对本州河流、湖泊、海湾、

湿地等水体进行水质和功能评价。该法案提出了美国地表水体进行生物完整性为核心的水生态监测和评价的法令要求。为支撑法令的实施又颁布了相关评价和基准建立一些技术文件，其中《水质项目中应用生物评价及基准的政策》认为，生物完整性是总的生态完整性中最核心指标，它既可作为一个重要的目标又可作为直接与该法的综合目标相关的环境状况的度量；《生物评价及基准：水质项目的重要组成部分》认为，生物评价反映了生态完整性的总体情况（即，当生物是健康的，通常水体的化学和物理构成也是良好的），因此，生物评价可直接评估作为《清洁水法》根本目标的生态系统健康的状况。

欧盟于 2000 年颁布水框架指令（Water Framework Directive, WFD）<sup>[4]</sup>，该指令旨在实现水资源综合管理和水环境保护。WFD 的核心目标是恢复水生生态系统的结构和功能，并确保水资源的可持续利用，明确了水生态环境状况的监测和评价要素，包括生物质量要素（鱼类、水生植物、底栖动物和浮游动植物）、支撑生物的水文物理要素和化学物理要素，其中生物要素质量是核心内容。该法令将生物要素质量作为实现水生态质量总体目标的关键要素，如果生物状态受损严重，质量为较差或很差将直接决定水生态质量，不再参考其他要素的评价结果。

### **3.标准制定的目的和意义，拟解决的主要问题。**

目前流域水环境健康状况评价指标主要以传统的水质理化指标为主，缺乏指示水生态状况变化的水生生物、栖息地生境等指标，单一的水质改善已无法满足我国新时期管理目标由以污水防治为主向水环境、水生态、水资源“三水”统筹转变的总体要求。因此，为满足我国新时期水环境健康状况评价总体需求应以水生生物监测为主，水文物理化学要素为辅的评价方法。

水生生物监测指通过监测水生生物的群落结构、功能和生理生化指标等，能够反映水体生态系统的健康状态和完整性。通过观察水中特定生物群落的变化和指标的变化，可以更敏感地发现水环境中存在的问题。水生生物监测具有直观、客观和准确的特点，能够更好地反映水体受到的压力和干扰程度，有助于评估水体质量和生态系统的状态。

水生生物监测不仅是一种监测方法，也是水环境管理目标转变的重要支撑。传统的水环境管理目标主要集中在污染防治方面，而生物监测的引入促使目标从单纯的污染防治向水生态系统的保护转变。通过水生生物监测，可以更好地了解

水体生态系统的健康状况，为保护和恢复水体生态系统提供科学依据。因此，生物监测在水环境管理中具有重要的地位和作用，可以为水体质量评估、环境保护和水资源管理提供重要信息和参考。它是补充和拓展传统理化监测方法的一种综合性监测手段，对实现水生态系统保护目标具有重要意义。

生物完整性指数（Index of Biotic Integrity, IBI）<sup>[5]</sup>是国内外生物监测使用最为广泛的多度量生物指数，可针对大型底栖动物、着生藻类、浮游植物、浮游动物、大型水生植物和鱼等多种不同生物类群构建完整性指数并开展评价。区别于单指数，生物完整性指数是在对多个候选单指数进行筛选的基础上，将获得的敏感指标进行整合而成，可以实现比单指标更全面的生物状况信息，是从生物完整性角度开展评价的综合类指数。

长三角地区是我国经济发展最为活跃的区域之一，然而多年来频繁受人类活动干扰导致生态系统严重退化，生物多样性持续下降，水生生物资源保护形势严峻，水域生态修复任务艰巨。为了保护和修复河流生态环境，评估长三角区域河流生态系统健康状况变得至关重要。而由于生物的分布存在明显的空间地理区系差异，各区域和水体需要根据各水体的生物特征，筛选构建适用的生物完整性指数，指数和评价标准基本仅限于评估自身水体的生物状况，其他地区的底栖动物完整性指数并不适用于长三角平原河网地区，所以本标准给出了长三角平原河网河流底栖动物完整性指数（Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI）评价标准建立的方法，以响应我国新时期向“三水统筹”转变的总体要求。

## 二、编制过程

### 1.任务来源

浙江省环保产业协会关于《长三角平原河网河流水生态完整性指数评价方法底栖动物》团体标准的立项公告（浙环产协〔2023〕xx号）。

### 2.标准制定相关单位及人员

本标准由嘉兴市生态环境局嘉善分局牵头，南京农业大学、浙江省生态环境监测中心、上海青浦区生态环境局、苏州市吴江生态环境局起草小组共同起草。

本标准主要起草人：王洋，杨俊，王备新，于海燕，盛天进，冯嘉楠，葛逸飞。

### 3.主要工作过程

#### ◆工作依据及通用程序

根据 2019 年 1 月 9 日《国家标准化管理委员会、民政局关于印发<团体标准管理规定>的通知》等有关文件要求，团体标准要与国家标准、行业标准相互协调、相互支撑。按照《标准化法》和 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》、T/CAS1.1-2017《团体标准的结构和编写指南》及《浙江省环保产业协会团体标准管理办法》的规定执行。

本标准的制订按规定的通用程序：提案、立项、起草、征求意见、技术审查、批准、编号、发布、复审进行。成立标准工作组。

#### ◆召开立项论证会

2023 年 7 月 11 日，浙江省环保产业协会在杭州组织召开了《长三角平原河网区河流底栖动物完整性指数评价技术规范》团体标准立项专家论证会，与会专家代表听取了团体标准立项的说明，并进行了评估和论证，并提出以下意见：

一、专家一致认为该标准的制定具有必要性和科学性，同意该项目予以立项，作为团体标准，按申报流程进行申报。

二、专家建议在标准制定过程中需考虑以下内容：

1、建议标准名称调整为《长三角平原河网河流水生态完整性指数评价法 底栖动物》；

2、指标构建体现区域生态环境特色，服务于长三角生态绿色一体化发展示范区的管理建设。

#### ◆起草标准征求意见稿

2023 年 8 月，根据相关材料，总结嘉兴市生态环境局嘉善分局等起草单位起草标准，形成标准征求意见稿，在线上线下进行公开。

2023 年 8 月~9 月，根据标准征求意见稿，向社会公开征求意见。共收到有效回复意见 x 份，其中无意见 x 份，共 x 条修改建议。经标准研制工作组整理和逐一审核确定，采纳 x 条，部分采纳 x 条，未采纳 x 条。征求意见汇总表附后。

#### ◆专家评审

根据浙江省环保产业协会的安排，由嘉兴市生态环境局嘉善分局等单位起草的《长三角平原河网河流水生态完整性指数评价方法 底栖动物》团体标准审查

会于 2023 年 x 月 x 日在 xx 举行。审查组听取标准起草单位代表关于标准编制情况、主要内容及征求意见处理情况的汇报后,逐条审查,经质询讨论后提出审查意见和审查结论。

与会专家提出了以下意见:

### **三、标准编制原则和主要内容**

#### **1.标准编制原则**

本标准起草遵循规范性、科学性、适用性、先进性原则。统一长三角生态绿色一体化示范区河流底栖动物评价方法,促进“一县两区”评价结果可比性。

##### **(1) 规范性原则**

本标准根据《标准化法》和 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》、T/CAS1.1-2017《团体标准的结构和编写指南》及《浙江省环保产业协会团体标准管理办法》等相关规定进行编写。

##### **(2) 科学性原则**

结合长三角河流生态环境世实际况,注重底栖动物栖息地的选择,遵循底栖动物生存规律,确保底栖动物监测结论客观反映水质状况,为水生态综合评价提供科学依据。

##### **(3) 适用性原则**

本标准制定过程中,原始数据来源于起草人员 2016-2020 年在长三角区域野外调研采集的 424 个点位,并给每个点位现场进行生境评分,使标准能更好适应于长三角河流水质状况评价。

##### **(4) 先进性原则**

查阅了相关的法律法规、标准资料、科研论文,考察了先进的水质状况评价方法,确保本标准在国内的先进性。

#### **2.标准编制主要内容**

##### **2.1 本标准涉及的范围**

本标准适用于长三角生态绿色一体化示范区(浙江省嘉善县、江苏省吴江区和上海市青浦区)的可涉水河流和不可涉水河流(不包括河口、山地溪流)的水质生物学评价。

## 2.2 技术依据

本标准编制过程中，参考了如下法律、法规、相关政策、标准等文件，具体包括：

GB 6920 水质 pH 值的测定 玻璃电极法

GB 7489 水质 溶解氧的测定 碘量法

GB 11893 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法

GB 11892 水质 高锰酸盐指数的测定

HJ 636 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法

GB 3838-2002 地表水环境质量标准

HJ 710.8 生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物

HJ 1295 水生态监测技术指南 河流水生生物监测与评价（试行）水生态监测评价

DB32T 3871 太湖流域水生态环境功能区质量评估技术规范

## 3.3 监测流程

### 3.3.1 确定参照点位和受损点位

在开展生物完整性评价时，为了确定科学合理的完整性评价方法和标准，需要确定参照点位和受损点位，参照点位和受损点位的确定是开展评价的关键环节，是欧盟和美国等国家开展水生生物及水生态监测和评价的重要环节，本标准制定了长三角平原河网地区参照点位和受损点位的方法。

查阅大量美国和欧盟等发达国家确定参照点位的方法，分为以下四种方法<sup>[6]</sup>：

参照点位法：受人类干扰最小或不受干扰的自然点位；

历史数据法：通过受人类干扰之前存在的生物环境或生物完整性的历史数据来确定；

最优可得状态法：用现有可获得/可用的最优状态确定；

专家经验判定法：若以上方法仍难以确定参照点位，可以采用专家以往经验进行判定。

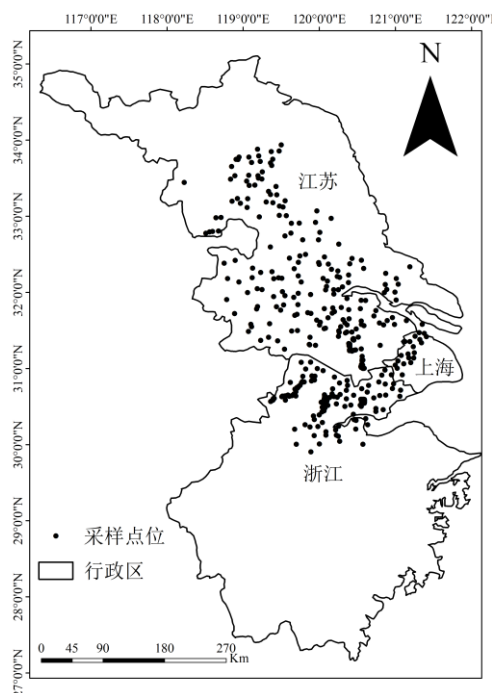
### 3.3.2 研究区域点位设置

河流长平原度每 2 公里布设一个监测点位，不足 2 公里按 2 公里算，超过 2 公里不足 4 公里按 4 公里算。

长三角河网“一县两区”（浙江省嘉善县、江苏省吴江区和上海市青浦区）共布设了 424 个点位，点位分布图如图 1。

图 1 长三角平原河网地区点位分布图

### 3.3.3 生境质量评分



生境质量评分是根据河流生境的内涵和影响因素，对河岸生境和河道生境的物理结构以及人类活动干扰等进行评分，20 世纪 80 年代欧美发达国家开始重视河流生态环境的研究，生境评分方法逐渐形成和完善，目前各国普遍采用生境调查的通用手段“人工目测”打分方法。

### 3.3.4 底栖动物完整性指数构成

#### (1) 筛选参照点位和受损点位

近些年，长三角平原河网地区发展迅速，几乎已经不存在不受人为干扰的参照点位，故本标准采用最优可得状态法确定参照点位和受损点位。以国家 II 类水和 V 类水评价标准结合生境评分筛选参照点位和受损点位，其中《地表水环境质量标准》<sup>[7]</sup>未规定总氮限值，应用太湖流域入湖河流总氮 II 类水标准中  $TN \leq 1.5\text{mg/L}$  和 V 类水标准  $TN \geq 2\text{mg/L}$  作为河流总氮的评价标准<sup>[8]</sup>。

参照点位：水质指标满足  $TN \leq 1.5\text{mg/L}$ 、 $DO \geq 6\text{mg/L}$ 、 $TP \leq 0.1\text{mg/L}$  和  $COD_{Mn} \leq 4\text{mg/L}$ ，以及生境评分  $\geq 57.00$  的样点。

受损点位：水质指标达到  $TN \geq 2\text{mg/L}$ 、 $DO \leq 2\text{mg/L}$ 、 $TP \geq 0.4\text{mg/L}$

和  $\text{COD}_{\text{Mn}} \geq 15 \text{ mg/L}$ , 以及生境评分  $\leq 42.00$  的样点。

## (2) 建立候选参数

参照国内外相关文献并结合长三角平原河网地区河流生态条件, 共收集 43 个常用候选参数作为大型底栖动物完整性指数筛选的候选参数, 其中包括 14 个物种丰富度参数、11 个群落组成参数、10 个摄食功能团参数和 9 个耐污能力参数等在内的 43 个候选参数。候选参数组成见表 1。

表 1 候选生物参数及其对干扰的反应

参数类型 Metrics types	生物参数 Metrics	对干扰的反应 Response to stress
	M1 总分类单元数 Toatal taxa	
	M2 Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	降低 Decrease
	M3 Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	降低 Decrease
	M4 Simpson 多样性指数 Simpson diversity index	降低 Decrease
	M5 Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	降低 Decrease
	M6 腹足纲分类单元数 Gastropoda taxa	降低 Decrease
群落组成和结构 Richness and Composition	M7 等足目+端足目分类单元数 Isopoda + Amphipoda taxa	降低 Decrease
	M8 摇蚊科分类单元数 Chironomidae taxa	降低 Decrease
	M9 双翅目分类单元数 Diptera taxa	降低 Decrease
	M10 甲壳纲+软体分类单元数 Crustaeca+Mollusca taxa	降低 Decrease
	M11 蜉蝣目分类单元数 Ephemeroptera taxa	降低 Decrease
	M12 毛翅目分类单元数 Trichoptera taxa	降低 Decrease
	M13 蜉蝣目+毛翅目分类单元数 Ephemeroptera+Trichoptera taxa	降低 Decrease
	M14 鞘翅目分类单元数 Coleoptera taxa	降低 Decrease
	M15 寡毛纲分类单元数 Oligochaetes taxa	降低 Decrease
	M16 非昆虫分类单元数% Non-insect taxa%	可变 Variable
	M17 分类单元个体数均值 Mean number of individual taxa	升高 Increase
	M18 等足目+端足目% Isopoda + Amphipoda%	可变 Variable
群落丰度 Abundance measure	M19 腹足纲% Gastropoda%	降低 Decrease
	M20 摇蚊科% Chironomidae%	升高 Increase
	M21 双翅目% Diptera%	降低 Decrease
	M22 蚬科% Corbiculidae%	升高 Increase

	M23	甲壳+软体% Crustacea+Mollusca%	降低 Decrease
	M24	前三位优势单元% Dominant taxa%	升高 Increase
	M25	寡毛纲丰度% Oligochaetes%	可变 Variable
取食功能团指数 Function al feeding groups	M26	滤食者分类单元数 Filterers taxa	降低 Decrease
	M27	滤食者% Filterers%	可变 Variable
	M28	捕食者分类单元数 Predator taxa	降低 Decrease
	M29	捕食者% Predator%	降低 Decrease
	M30	集食者分类单元数 Collector-gatherers taxa	降低 Decrease
	M31	集食者% Collector-gatherers%	可变 Variable
	M32	刮食者分类单元数 Scrapers taxa	降低 Decrease
	M33	刮食者% Scrapers%	降低 Decrease
	M34	撕食者分类单元数 Shredder taxa	降低 Decrease
	M35	撕食者% Shredder%	降低 Decrease
生物耐污能力指数 Toleranc e measures	M36	耐污类群分类单元数 Tolerant taxa	升高 Increase
	M37	中性类群分类单元数 Mid-tolerant taxa	可变 Variable
	M38	敏感类群分类单元数 Intolerant taxa	降低 Decrease
	M39	耐污分类单元数% Tolerant taxa%	升高 Increase
	M40	中性分类单元数% Mid-tolerant taxa%	可变 Variable
	M41	敏感分类单元数% Intolerant taxa%	降低 Decrease
	M42	BI 指数 Biotic index	升高 Increase
	M43	BMWP 指数 Biological Monitoring Party	降低 Decrease

### (3) 筛选核心参数

#### 1) 分布范围分析

剔除在参照点位中存在“0”值以及在所有点位中存在超过1/3“0”值的候选参数，这些参数分布范围过小，区分不同点位间差异的能力较差，不适于完整性指数的构建<sup>[9]</sup>。最终 M7、M8、M9、M11 等 21 个候选参数被剔除，剩余 22 个候选参数进行后续筛选。

#### 2) 冗余分析

剩余 22 个候选参数进行 Pearson 相关性分析（图 2）。

图 2 22 个候选生物参数 Pearson 相关性分析结果

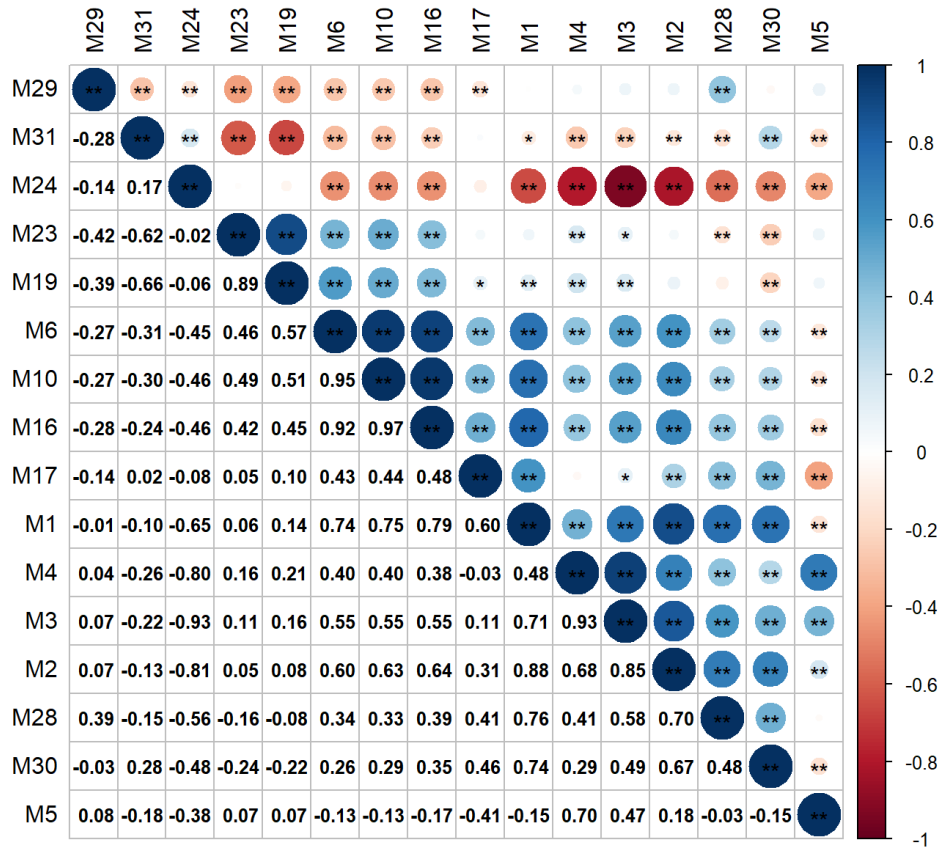


表 2 22 个候选生物参数间的 Pearson 相关性分析结果

候选参数	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M10	M16	M17	M19	M23	M24	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M37	M40	M42	M43
M1	1.00	0.88	0.71	0.48	0.15	0.74	0.75	0.79	0.60	0.14	0.06	0.65	0.76	0.01	0.74	0.10	0.76	0.14	0.99	0.22	0.17	0.92
M2	0.88	1.00	0.85	0.68	0.18	0.60	0.63	0.64	0.31	0.08	0.05	0.81	0.70	0.07	0.67	0.13	0.62	0.08	0.88	0.28	0.23	0.81
M3	0.71	0.85	1.00	0.93	0.47	0.55	0.55	0.55	0.11	0.16	0.11	0.93	0.58	0.07	0.49	0.23	0.55	0.16	0.72	0.30	0.21	0.63
M4	0.48	0.68	0.93	1.00	0.70	0.40	0.40	0.39	0.03	0.21	0.16	0.80	0.41	0.05	0.29	0.26	0.40	0.21	0.49	0.29	0.21	0.42
M5	0.15	0.18	0.47	0.70	1.00	0.13	0.13	0.17	0.41	0.07	0.08	0.38	0.03	0.08	0.15	0.18	0.13	0.07	0.12	0.09	0.16	0.15
M6	0.74	0.60	0.55	0.40	0.13	1.00	0.95	0.92	0.43	0.57	0.46	0.45	0.34	0.27	0.26	0.31	1.00	0.57	0.76	0.30	0.10	0.69
M10	0.75	0.63	0.55	0.40	0.13	0.95	1.00	0.97	0.44	0.51	0.49	0.46	0.33	0.27	0.29	0.30	0.95	0.51	0.78	0.33	0.17	0.75
M16	0.79	0.64	0.55	0.39	0.17	0.92	0.97	1.00	0.48	0.45	0.42	0.46	0.39	0.28	0.35	0.24	0.93	0.45	0.81	0.27	0.13	0.77
M17	0.60	0.31	0.11	0.03	0.41	0.43	0.44	0.48	1.00	0.10	0.05	0.08	0.41	0.14	0.46	0.02	0.46	0.10	0.57	0.06	0.14	0.58
M19	0.14	0.08	0.16	0.21	0.07	0.57	0.51	0.45	0.10	1.00	0.89	0.06	0.08	0.39	0.22	0.66	0.55	1.00	0.17	0.29	0.16	0.16
M23	0.06	0.05	0.11	0.16	0.08	0.46	0.49	0.42	0.05	0.89	1.00	0.02	0.16	0.42	0.24	0.62	0.45	0.89	1.00	0.12	0.38	0.34
M24	0.65	0.81	0.93	0.80	0.38	0.45	0.46	0.46	0.08	0.06	0.02	1.00	0.56	0.14	0.48	0.17	0.46	0.06	0.66	0.27	0.20	0.57
M28	0.76	0.70	0.58	0.41	0.03	0.34	0.33	0.39	0.41	0.08	0.16	0.56	1.00	0.39	0.48	0.15	0.36	0.08	0.76	0.21	0.08	0.71
M29	0.01	0.07	0.07	0.05	0.08	0.27	0.27	0.28	0.14	0.39	0.42	0.14	0.39	1.00	0.03	0.28	0.27	0.39	0.00	0.13	0.02	0.01
M30	0.74	0.67	0.49	0.29	0.15	0.26	0.29	0.35	0.46	0.22	0.24	0.48	0.48	0.03	1.00	0.28	0.28	0.22	0.68	0.06	0.13	0.60
M31	0.10	0.13	0.23	0.26	0.18	0.31	0.30	0.24	0.02	0.66	0.62	0.17	0.15	0.28	0.28	1.00	0.31	0.67	0.16	0.39	0.30	0.17
M32	0.76	0.62	0.55	0.40	0.13	1.00	0.95	0.93	0.46	0.55	0.45	0.46	0.36	0.27	0.28	0.31	1.00	0.55	0.77	0.29	0.12	0.72

M33	0.14	0.08	0.16	0.21	0.07	0.57	0.51	0.45	0.10	1.00	0.89	0.06	0.08	0.39	0.22	0.67	0.55	1.00	0.17	0.29	0.16	0.16
M37	0.99	0.88	0.72	0.49	0.12	0.76	0.78	0.81	0.57	0.17	0.12	0.66	0.76	0.00	0.68	0.16	0.77	0.17	1.00	0.34	0.23	0.92
M40	0.22	0.28	0.30	0.29	0.09	0.30	0.33	0.27	0.06	0.29	0.38	0.27	0.21	0.13	0.06	0.39	0.29	0.29	0.34	1.00	0.49	0.25
M42	0.17	0.23	0.21	0.21	0.16	0.10	0.17	0.13	0.14	0.16	0.34	0.20	0.08	0.02	0.13	0.30	0.12	0.16	0.23	0.49	1.00	0.26
M43	0.92	0.81	0.63	0.42	0.15	0.69	0.75	0.77	0.58	0.16	0.14	0.57	0.71	0.01	0.60	0.17	0.72	0.16	0.92	0.25	0.26	1.00

Pearson 相关性分析结果表明 M6 腹足纲分类单元数和 M32 刮食者分类单元数、M19 腹足纲%和 M33 刮食者%、M10 甲壳纲+软体分类单元数和 M16 非昆虫分类单元数%、M1 总分类单元数和 M37 中性类群分类单元数等参数之间具有较高相关性。随后使用相关系数的绝对值作为原始参数（表 2），采用离差平方和法对原始参数做聚类分析，详见图 3。以 Height=2.0 为界限对具有较强相关性的参数聚类分组。

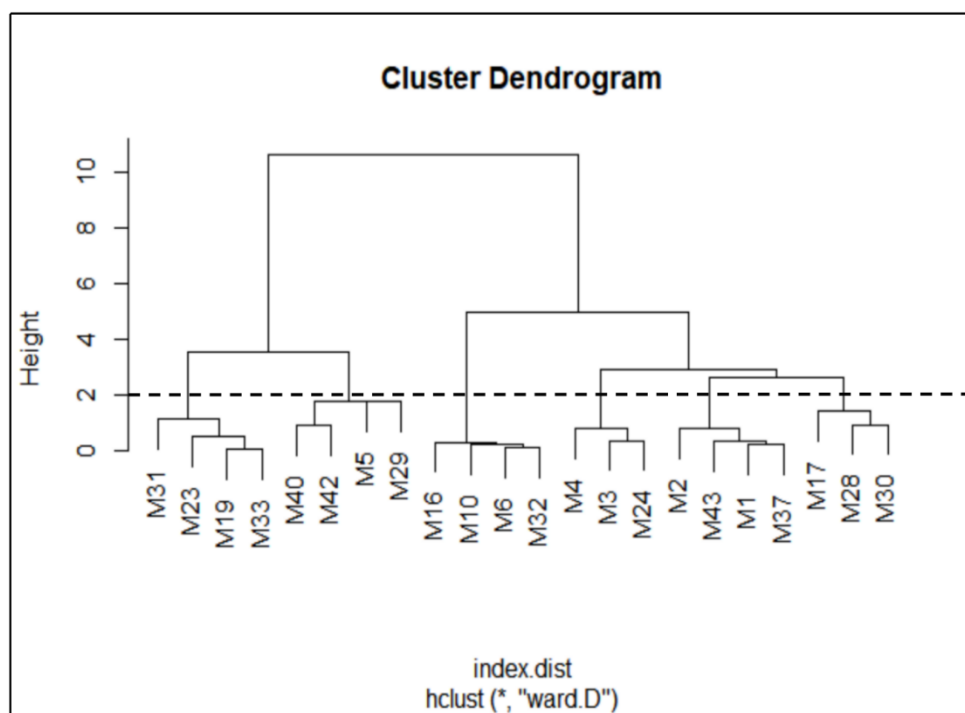


图 3 生物候选参数聚类分析

本标准共将 22 个候选参数分为六组，如：M23、M19、M31 和 M33 为一组；M17、M28 和 M30 为一组，将这六组参数用于下一步分析。

### 3) 判别能力/响应性分析

将 22 个候选参数与水质理化指标进行 Pearson 相关性分析，以“\*”和“\*\*”分别表示候选参数与理化指标的显著和极显著相关关系，详见表 3。

表 3 22 个候选参数与理化指标的 Pearson 相关性分析

生物参数	DO	PH	TP	TN	CODMn
M1	0.149**	0.213**	-0.181**	-0.120*	-0.252**
M2	0.109*	0.121*	-0.137**	-0.095	-0.177**
M3	0.076	0.114*	-0.148**	-0.142**	-0.152**
M4	0.023	0.043	-0.085	-0.125*	-0.098*
M5	-0.111*	-0.165**	0.092	0.004	0.119*
M6	0.209**	0.192**	-0.268**	-0.197**	-0.247**
M10	0.228**	0.180**	-0.287**	-0.234**	-0.275**
M16	0.230**	0.206**	-0.275**	-0.222**	-0.286**
M17	0.173**	0.189**	-0.091	-0.041	-0.233**
M19	0.101*	0.039	-0.179**	-0.086	-0.141**
M23	0.153**	0.012	-0.224**	-0.158**	-0.151**
M24	-0.077	-0.100*	0.152**	0.121*	0.131**
M28	-0.028	0.126**	-0.01	-0.025	-0.064
M29	-0.182**	-0.107*	0.177**	0.078	0.250**
M30	0.107*	0.126**	-0.072	0.019	-0.198**
M31	-0.018	-0.027	0.096*	0.075	-0.045
M32	0.217**	0.196**	-0.270**	-0.191**	-0.259**
M33	0.104*	0.04	-0.182**	-0.086	-0.142**
M37	0.165**	0.212**	-0.205**	-0.154**	-0.254**
M40	0.095	0.05	-0.173**	-0.206**	-0.087
M42	-0.230**	-0.07	0.210**	0.240**	0.124*
M43	0.191**	0.206**	-0.184**	-0.140**	-0.243**

Pearson 相关性分析结果表明：在 22 个候选参数中，有 17 个参数与筛选参照点位时使用的水质理化指标（TN、TP、DO、COD<sub>Mn</sub>）有显著或极显著相关关系，这 17 个参数在构建 MMI 评价指标体系时将更具有合理性。

对参照点与受损点筛选后的候选生物参数分布范围进行 student's t 检验，以绝对 t 值大小反应候选参数区分参照点位与受损点位间差异的能力，绝对 t 值越大说明该候选生物参数区分参照点位和受损点位的能力越强<sup>[10]</sup>。参照点位与受损点位的绝对 t 值详见表 4。

表 4 参照点和受损点位的绝对 t 值

生物参数	T	显著性（双尾）	平均差异	标准误差
M1	5.55	0	14.43961	2.60159
M2	5.75	0	2.05058	0.35665
M3	5.735	0	1.05711	0.18433
M4	3.974	0	0.24843	0.06252
M5	0.274	0.786	-0.01982	0.07231
M6	5.593	0	5.25121	0.93895
M10	6.382	0	6.72464	1.05373

M16	6.246	0	0.0619	0.00991
M17	2.847	0.008	1.64203	0.57676
M19	1.998	0.055	0.22437	0.11227
M23	1.589	0.123	0.18354	0.11551
M24	5.038	0	-0.27782	0.05515
M28	3.907	0	4.65217	1.19088
M29	0.147	0.884	0.01188	0.08068
M30	2.954	0.006	2.03382	0.68839
M31	1.96	0.059	-0.24165	0.12331
M32	5.689	0	5.42995	0.95441
M33	2.002	0.054	0.22531	0.11254
M37	5.974	0	13.9372	2.33293
M40	2.025	0.034	0.23994	0.10786
M42	1.916	0.065	-0.90299	0.47133
M43	6.448	0	59.35266	9.20412

响应性分析结果与聚类分析分组结合发现参数 M3、M10、M28、M33、M40、M43 的绝对 t 值分别为聚类分组后各组的最大值，即这六个参数更利于区分参照点位与受损点位。结合候选参数与水质理化参数的 Pearson 相关性分析结果，M3、M10、M33、M43 这四个生物参数都至少与三个水质理化指标有显著或极显著相关关系，能够很好地反应水质变化对底栖动物的影响，适用于完整性指数的构建。剩余参数 M28 和 M40 虽然可以有效地区分参照点位与受损点位，但聚类分组后的同组参数 M30 和 M42 与之相比有着更好的响应水质变化的能力（表 4），而且参数 M30 和 M42 在区分参照点位和受损点位时一样有着良好的表现（表 4）。本标准目的是构建对人为胁迫响应良好的生物完整性指数，选择对环境改变响应能力更强的参数才是需要解决的重点问题，因此，用参数 M30 和 M42 代替候选参数 M28 和 M40。

综上，本标准选择 M3 Shannon 多样性指数、M10 甲壳纲+软体动物分类单元数、M30 集食者分类单元数、M33 刮食者%、M42 BI 指数和 M43 BMWP 指数 6 个生物参数用于长三角平原河网河流底栖动物完整性指数构建。

#### （4）完整性指数计算公式及评价分级

采用比值法统一筛选出的各生物参数的值。由于本标准中受损点位参数 M40 中性分类单元%的值明显低于参照点位，因此选用生物参数的值与人类活动干扰强度呈负相关的计算公式对该参数进行统一。计算公式详见表 5。

表 5 比值法标准化生物参数分值的计算公式

生物参数	计算公式
M3 Shannon 多样性指数	$100 * (\text{指数值} - 0.5460) / (2.6648 - 0.5460)$
M10 甲壳纲+软体动物分类单元数	$100 * (\text{指数值} - 0) / (13.60 - 0)$
M30 集食者分类单元数	$100 * (\text{指数值} - 0.1) / (6.60 - 0.1)$
M33 刮食者%	$100 * (\text{指数值} - 0) / (0.8191 - 0)$
M42 BI 指数	$100 * (9.4277 - \text{指数值}) / (9.4277 - 5.7830)$
M43 BMWP 指数	$100 * (\text{指数值} - 3) / (117.80 - 3)$

在各点位中利用上述 6 个公式标准化对应的生物参数值并求和，最终计算结果的取值范围为 0-600。将最终的计算结果转化为百分制数： $B-IBI = \text{计算结果} / 6$ ，则得到了最终的 B-IBI 指数值。基于以“最优可得状态法”为参照条件筛选的指标体系往往评价结果相对“乐观”，特别是人类活动活动干扰比较强的长三角平原河网地区，因此，为最大程度使评估结果与实际保持一致，需提高水生态限制取值要求。取所有参照点位 B-IBI 值的 75%分位数作为水质健康等级为优秀的阈值（本标准实际求得的优秀等级阈值为 74.08 分，为方便计算经四舍五入后取 74 分），<75%分位数的值平均分为四个等级，从高到低等级分别为： $\geq 76$  优秀、57-76 健康、38-57 中等、19-38 一般和  $< 19$  差，如表 6。

表 6 长三角平原河网 B-IBI 评价分级标准

等级划分	评价分级
优秀	$76 \leq B-IBI$
健康	$57 \leq B-IBI < 76$
中等	$38 \leq B-IBI < 57$
一般	$19 \leq B-IBI < 38$
差	$B-IBI < 19$

评价结果表明，2016 年至 2020 年长三角平原河网河流 424 个调查点位中，有 61.6%的点位生态质量达到优秀、健康和中等的标准，B-IBI 值显示为一般和差的点位分别有 121 个和 42 个，详见图 4。其中，江+、苏省在 2016 年至 2018 年间调查采样的 184 个点位中，有 47%的点位生态质量达到优秀、健康和中等的标准，基本符合 2016 年江苏省“十三五”水环境质量考核结果：江苏省地表水达到或超过国家 III 类水标准的断面约占河流总长的 52.7%。

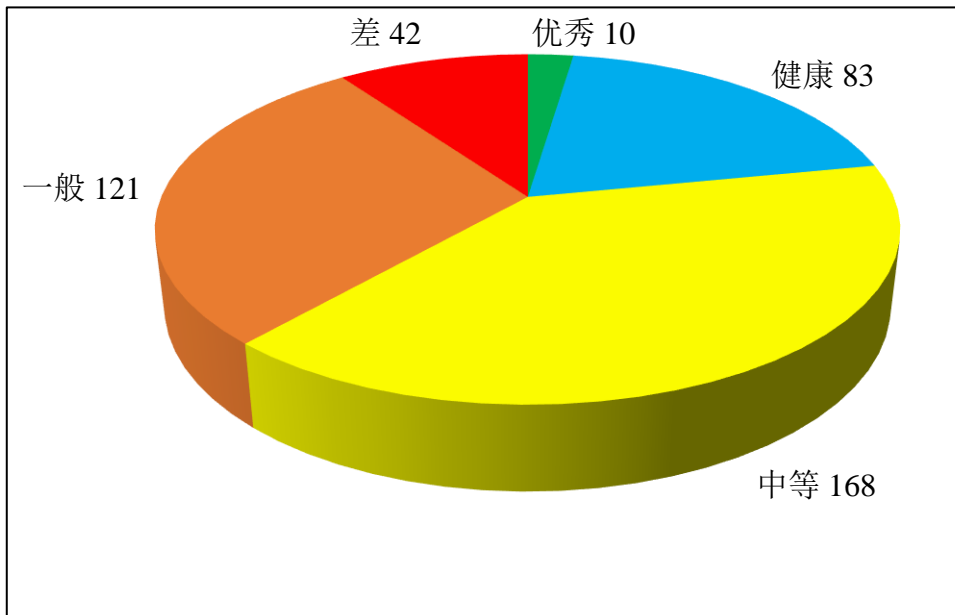


图 4 长三角平原河流生物完整性指数评价结果

## 五、试验方法及验证情况

2021 年 4 月在嘉善境内采集 109 个底栖动物点位对 B-IBI 值进行验证, 结果发现评价结果为健康的点位数最多, 达到了 51 个, 占比 46.79%; 中等、一般和优秀点位占据绝大部分, 共 99 个, 占比 90.82%; 而一般和差点位仅 10 个, 占比 9.18%, 如图 5。

根据 2021 年嘉兴市生态环境状况公报显示, 83 个市控以上地表水监测断面水质中 II 类 6 个, III 类 72 个, IV 类 5 个, 分别占 7.2%、86.8%、6.0%<sup>[11]</sup>。本次验证结果中等以上水平点位占比 90.82%, 基本符合 2021 年嘉兴市生态环境状况公报显示占比 94% 的 III 类水以上点位。

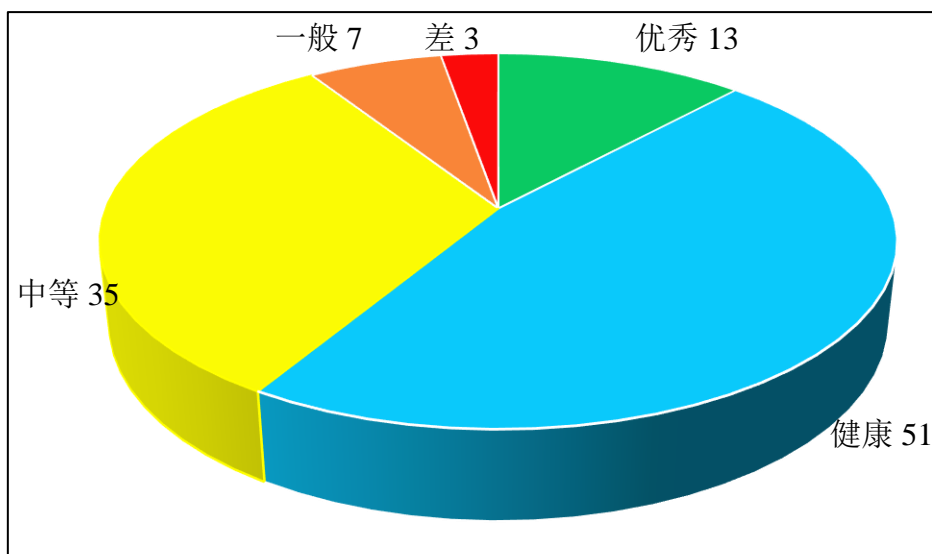


图 5 嘉善底栖动物指数评价结果

参照《地表水环境质量标准》[7]从 109 个点位中根据Ⅱ类水标准 ( $TN \leq 1.5$  mg/L、 $DO \geq 6$  mg/L、 $TP \leq 0.1$  mg/L 和  $CODMn \leq 4$  mg/L) 筛选点位进行 B-IBI 指数验证, 结果发现 109 个点位中仅有 11 个点位符合Ⅱ类水标准, 其中优秀、健康和中等点位共 9 个, 占比 81.82%, 而并未发现评价结果为差的点位 (图 6), 说明此次 B-IBI 评价结果基本符合预期。

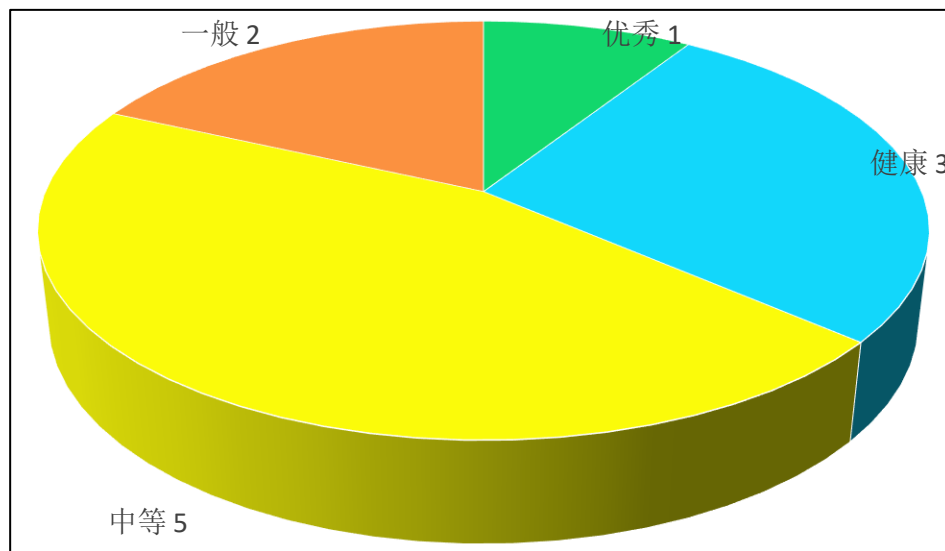


图 6 嘉善Ⅱ类水以上底栖动物指数评价结果

## 六、与现行法律、法规和政策及相关标准的协调性

本标准遵循相关的法律、法规和强制性国家标准的要求, 与我国现行相关法律、法规、规章及相关标准无冲突。

## 七、贯彻标准的要求和措施建议

建议尽快发布本标准并自发布之日起 1 个月实施。建议标准实施后组织标准宣贯, 使标准应用单位了解标准内容, 促进标准实施应用。

## 八、废止现行团体标准的建议

无

## 九、涉及的著作权、专利信息

本标准不涉及专利

## 十、重要内容的解释和其它应予说明的事项

无

## 参考文献

- [1]徐敏,秦顺兴,马乐宽等.水生态环境保护回顾与展望:从污染防治到三水统筹[J].中国环境管理,2021,13(05):69-78.
- [2]唐议.《长江保护法》构建长江流域生物保护新体系[J].农村工作通讯,2021(04):29-31.
- [3]Kapp R W. Clean Water Act (CWA), US [M] // Encyclopedia of Toxicology, 3rd ed. Oxford: Academic Press, 2014, 979-981.
- [4]European Commission (EC). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)[R]. European Parliament and Council, Brussels, Belgium, 2002.
- [5]Karr J R, Dudley D R. Ecological perspective on water quality goals[J]. Environmental Management, 1981, 5(1): 55-68.
- [6]EC. Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document n.10. river and lakes - typology, reference conditions and classification systems[R]. European Commission, Working Group 2.3-REFCOND. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2003.
- [7]国家环境保护总局科技标准司. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [8]王洗民, 逢勇, 胡开明, 胡冠九. 太湖入湖河流总氮质量浓度限值计算[R]. 北京工业大学学报, 2011, 37(12): 1848-1855.
- [9]Stoddard J. L., Herlihy A., Peck D. V., Hughes R. M., Whittier T. R., Tarquinio E. A Process for Creating Multimetric Indices for Large-Scale Aquatic Surveys[J]. Freshwater Science, 2008, 27(4): 878-891.
- [10] Vander Laan J J, Hawkins C P. Enhancing the performance and interpretation of freshwater biological indices: An application in arid zone streams[J]. Ecological Indicators, 2014, 36:470-482.
- [11] 嘉兴市环境保护局.嘉兴市环境状况公报[R].2021.