

ICS 13.020.10
CCS Z 04

团 体 标 准

T/ACEF 255—2026

流域面源污染溯源与负荷核算 技术指南

Technical guidelines for source tracing and load calculation of non-point source
pollution in river basins

2026-01-09 发布

2026-01-09 实施

中华环保联合会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体原则	2
5 工作程序	2
6 现状调查与分析	3
7 面源污染溯源	4
8 面源污染负荷核算	6
9 技术成果编制	9
附录 A（资料性）基础数据清单	10
附录 B（资料性）常用流域面源污染模型名称及适用范围参考表	12
附录 C（资料性）流域面源污染溯源与负荷核算技术报告编制大纲	13
参考文献	14

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国环境科学研究院提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：中国环境科学研究院、上海市农业科学院、北京师范大学、南京师范大学。

本文件主要起草人：叶春、谢自建、李春华、宋永会、刘福兴、左德鹏、于会彬、王延华、王俊力、周刚、黄国鲜、后希康、张清寰、魏伟伟、郑焱、王昊。

流域面源污染溯源与负荷核算技术指南

1 范围

本文件给出了流域面源污染溯源与负荷核算的总体原则、工作程序、现状调查与分析、面源污染溯源、面源污染负荷核算与技术成果报告编制等内容。

本文件适用于流域面源污染溯源与负荷核算。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注明日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 3838	地表水环境质量标准
HJ 91.2	地表水环境质量监测技术规范
HJ 1407	入河入海排污口监督管理技术指南 水质荧光指纹溯源方法
NY/T 3824	流域农业面源污染监测技术规范
T/CSES 51	控制单元非点源污染负荷核定技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

面源污染 non-point source pollution

污染物从非特定地点，经降雨、融雪或灌溉等形成的地表径流冲刷作用下，分散式汇入地表受纳水体而引起的水体污染。

[来源：NY/T 3824-2020，3.2，有修改]

3.2

溯源 source tracing

通过资料分析、现场调查、监测或模型模拟等技术手段，识别污染物来源、解析迁移路径，并量化不同污染源贡献率的过程。

3.3

光谱指纹溯源 spectral fingerprinting for source tracing

根据特征三维荧光光谱，将被检测样品的荧光指纹与已建立的污染源样品荧光指纹数据库比对，识别环境介质中溶解性有机物来源及其贡献率的方法。

3.4

同位素溯源 isotope source tracing

通过测定环境介质中 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 等特定元素稳定同位素组成，结合同位素分馏效应与混合模型，定量解析污染物来源及其贡献率的方法。

3.5

污染负荷核算 pollution load calculation

基于水环境控制单元，综合运用监测、模拟与经验系数等方法，定量计算特定时段内污染物的产生量、入河量，并分析时空分布特征与来源贡献的过程。

3.6

水环境控制单元 water environmental control unit

水体污染控制的基本单元，是指与水体（环境）功能区相关联的污染源所分布的区域，通常包括控制单元出口以上全部汇水区域。

[来源：T/CSES 51-2022，3.1]

4 总体原则

4.1 整体性原则

应遵循流域系统的完整性，优先以目标区所在的完整自然汇水区开展面源污染溯源与负荷核算工作，必要时可突破单一汇水区的边界限制。

4.2 适用性原则

应根据水文、下垫面特征、面源污染源构成和污染物种类等因素，选择适用的溯源与负荷核算方法。

4.3 时效性原则

应考虑降水、农田排水等面源污染发生关键时期，确保结果能准确反映特定时期或完整水文年的污染特征。

4.4 可操作性原则

应结合目标区现有数据可得性、技术可行性，优先选用成熟可靠、应用广泛的技术方法，并综合考虑实施周期和成本。

5 工作程序

流域面源污染溯源与负荷核算宜包括现状调查与问题识别、溯源与负荷核算、结果校验与分析、技术成果编制等环节，工作流程见图 1。

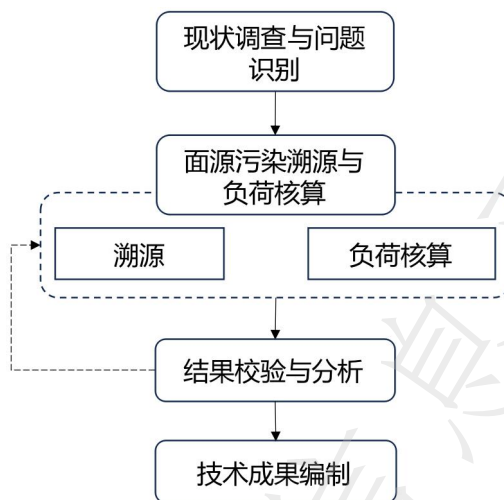


图 1 流域面源污染溯源与负荷核算工作流程图

6 现状调查与问题识别

6.1 一般规定

现状调查与分析应确定溯源与负荷核算的时空范围，明确调查内容与方法，识别目标区内主要污染物的类型、污染程度、空间分布特征及潜在污染源。

6.2 范围确定

6.2.1 空间范围

6.2.1.1 目标区域应以国家或省级水环境考核断面为基准，并向上游追溯至完整汇水区域。

6.2.1.2 跨行政区流域，宜将跨界断面上游作为整体控制单元。

6.2.1.3 可在现有流域水环境控制单元基础上，结合地形特征、水系分布、行政区边界及污染特征，对其进行进一步划分。

6.2.2 时间范围

6.2.2.1 时间范围宜覆盖一个完整水文年，也可根据特定管理需求选择降水、农田排水等面源污染发生关键时期。

6.2.2.2 采用历史数据时应保障数据在时间序列上的连续性与周期性。

6.3 现状调查

6.3.1 调查内容

6.3.1.1 调查内容包括但不限于自然地理信息、社会经济信息、环境状况信息。

6.3.1.2 自然地理信息可包括地形地貌、坡度坡向、土壤类型、土地利用与覆盖、水系分布、降水量、蒸发量、径流量等。

6.3.1.3 社会经济信息可包括生态环境治理项目、污染源情况等。

6.3.1.4 环境状况信息可包括国家/省级/市级地表水控制断面及入河排污口水环境质量监测数据、各类污水处理设施等。存在工业企业排污口、城镇污水处理厂排放口等点源污染时，应通过现场调查与排污数据收集明确点源的位置、排放量及污染物组成。

6.3.1.5 基础数据清单参见附录 A.1 至 A.3。

6.3.2 调查方式

6.3.2.1 调查方式包括但不限于资料收集、现场勘察、现状监测。

6.3.2.2 资料收集应从政府部门、科研机构、商业与社会组织等渠道进行。

6.3.2.3 现场踏勘应对资料缺失或不确定性较高的区域开展实地调查，核实污染源位置、排放方式与环境状况。

6.3.2.4 现状监测应在资料不足或环境敏感区域，按土地利用类型、污染源类型及水文路径节点布设代表性监测点位，在降水、农田排水等面源污染发生关键时段开展同步监测。

6.3.3 数据质量保障

调查数据应注明来源、获取时间与精度。现状监测应遵循代表性、系统性与时效性原则，采样点布设和监测方法应符合国家或行业标准。

6.4 问题识别

6.4.1 应基于规范化的地表水监测数据，识别目标区水质超标因子、超标程度、持续时段及空间分布特征，宜关注纳入国家和地方总量控制约束性指标的污染物，如化学需氧量、氨氮、总氮、总磷等。

6.4.2 水质评价宜按 GB 3838 执行。监测断面水质超出目标标准时，应按指标水质类别，确定目标污染物；水质达标时，宜按污染源调查与水文特征，识别潜在的高污染负荷区域与类型。

7 面源污染溯源

7.1 一般规定

7.1.1 应针对地表水中识别出的目标污染物选择相应溯源技术，应分析污染物的时空变化特征与迁移路径，量化污染物来源及其贡献率。

7.1.2 宜制定调查与采样方案，方案应根据所选溯源技术要求确定，应获取目标区潜在污染源数据。

7.1.3 地表水监测点位布设除应符合 HJ 91.2 的规定外，还应满足下列要求：

- a) 河流：应在溯源目标断面的上游、主要支流汇入口、污染集中区下游及入河排污口等关键区域布设监测点；潮汐河流应分析涨落潮对污染物输移与扩散的影响，往复流或流向不明确河流应加密监测或进行汇水单元关联分析；
- b) 湖泊、水库：应按地形与汇水路径在主要入湖（库）河口、饮用水源地取水口及近岸污染源集中区等关键区域加密布点。

7.1.4 目标区内存在点源污染时，应在溯源过程中分析其影响。

7.2 溯源方法

7.2.1 溯源技术选择时宜遵循以下规定：

- a) 应根据污染来源及迁移路径复杂程度时，选用一种或两种及以上溯源技术；
- b) 常用的溯源技术宜包括水化学参数溯源技术、荧光光谱指纹溯源技术、硝酸盐同位素溯源技术等；
- c) 可根据实际情况选用其他经过实践验证的成熟技术方法。

7.2.2 水化学参数溯源技术适用于污染来源相对单一、水化学特征分区明显的流域，或作为复杂污染情景下的初步筛查。采用水化学参数溯源技术时，宜符合以下规定：

- a) 数据收集与预处理：收集目标区地表水及潜在污染源的水环境数据，水质参数选择包括但不限于 pH、电导率、总氮、总磷、氨氮、化学需氧量和 Ca^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等，数据应进行异常值与缺失值处理；
- b) 水化学特征分析：利用 Piper 三线图、Gibbs 图、离子比例关系图等方法初步判断水化学类型与控制因素；
- c) 来源解析：运用相关性分析、主成分分析等方法识别主要污染源类型及其空间分布。

7.2.3 荧光光谱指纹溯源技术适用于生活污水、工业废水、养殖业和种植业尾水等污染源的识别，特别适合于污染种类较多、来源不明、量化难度大的水体溯源。采用荧光光谱指纹溯源技术时，宜符合 HJ 1407 及以下规定：

- a) 数据库构建：采集潜在污染源水样，测定荧光光谱，建立本地源指纹数据库；
- b) 图谱处理与特征识别：进行散射峰剔除、标准化等预处理，提取荧光特征参数，进行特征峰比对，识别典型污染源光谱指纹重要区域与关键节点；
- c) 来源识别：通过相似度计算与比对，确定疑似污染源及其贡献率。

7.2.4 硝酸盐同位素溯源技术适用于水体中硝酸盐污染的定性识别与定量解析，能有效区分污水、肥料、土壤和大气沉降等主要污染源。采用硝酸盐同位素溯源技术时，宜符合以下规定：

- a) 同位素测定：根据实验室条件选择细菌反硝化法、化学转化法等方法，将硝酸盐转化为 N_2O 气体后测定 $\delta^{15}N-NO_3^-$ 、 $\delta^{18}O-NO_3^-$ 同位素组成；
- b) 来源解析：绘制同位素图谱，结合本地端元值，运用贝叶斯混合模型计算污染源贡献比例。

7.3 结果校验与分析

7.3.1 结果校验

- 7.3.1.1 对污染特征相似的污染物及与其迁移路径相关联的污染源与区域，应进行现场核查校验。
- 7.3.1.2 可采用两种及以上独立的溯源技术进行对比校验。
- 7.3.1.3 可结合目标区域的污染物排放量、水质现状或负荷核算结果进行合理性综合校验。

7.3.2 结果分析

- 7.3.2.1 结果分析应识别主要污染源类型并估算贡献率，并可根据需求进一步细化。
- 7.3.2.2 目标区存在点源污染时，应在溯源分析中剥离其影响。
- 7.3.2.3 评估期间流域内污染源结构、土地利用或水文气象条件发生显著变化时，应进行阶段比对分析并说明潜在影响。

8 面源污染负荷核算

8.1 一般规定

- 8.1.1 面源污染负荷核算宜以水环境控制单元为核算单位，针对地表水环境中的目标污染物，估算不同类型污染源负荷量，定量解析主要污染源类型及其贡献率，识别污染源空间分布特征与关键源区。
- 8.1.2 目标区内存在点源污染时，应在负荷核算过程中分析其影响。

8.2 核算方法

8.2.1 面源污染负荷核算可通过实际测算、经验系数法或模型模拟等途径实现。方法选择时宜遵循以下规定：

- a) 应根据污染源类型及迁移路径复杂程度、方法适用性及实际需求选择一种或两种及以上方法；
- b) 常用方法可包括单位面积负荷法、输出系数法、物质平衡法及模型模拟法等；
- c) 亦可采用其它经过实践验证的技术方法。

8.2.2 单位面积负荷法适用于下垫面相对均一，且具备水文水质监测条件的流域。采用单位面积负荷法时，宜符合以下规定：

- a) 确定核算单元：按旱地、水田、林地、城镇等主导下垫面类型确定基本核算单元，布设典型监测小区或小流域；
- b) 调查单位面积污染负荷量：在典型降雨-径流事件中同步监测各监测单元出口的径流量与污染物浓度；
- c) 污染负荷核算：通过对不同土地利用类型的数据分析，按下式计算单位面源污染负荷量(UAL)：

$$UAL = \frac{1}{A \times T} \int_{t_1}^{t_2} Q(t) \times C(t) \times dt \quad (1)$$

式中：

A —试验区域的汇水面积, ha；

t_1 —地表径流开始时间, h；

t_2 —地表径流结束时间, h；

T —径流流出持续时间 ($T=t_2-t_1$) , h；

$Q(t)$ — t 时刻径流量, m^3/h ；

$C(t)$ — t 时刻污染物浓度, mg/L。

8.2.3 输出系数法适用于数据基础相对薄弱的大中尺度流域的污染负荷初步估算, 可同时核算耕地、林地、草地等土地利用、畜禽养殖和农村生活等来源污染负荷。采用输出系数法时, 应符合以下规定：

- a) 源强清单构建：调查并统计核算单元内耕地面积、化肥施用量、畜禽存栏量、人口数量等污染源的基础数据；
- b) 系数选取：宜采用目标区或地理气候、下垫面条件相似邻近流域的实验观测值；若无相关成果，宜采用省级及以上生态环境部门发布的系数，也可采用经同行评审发表的相似区域研究成果；
- c) 污染负荷核算：污染物流失量可按下列公式计算：

$$L = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times K_i \quad (2)$$

式中：

L —污染物的流失量, kg/a；

E_i —第 i 种土地利用类型/污染源的输出系数, kg/($hm^2 \cdot a$) 或 kg/头 $\cdot a$ 或 kg/人 $\cdot a$ ；

A_i —第 i 类土地利用的面积/污染源的数量, hm^2 或头或人；

K_i —第 i 种污染源的修正系数, 无量纲。

8.2.4 物质平衡法适用于水文边界清晰、输入/输出通量相对易于观测的封闭或半封闭区域的面源污染负荷核算。采用物质平衡法时, 应符合以下规定：

- a) 系统边界界定：明确封闭区域的空间边界，将独立封闭的内部蓄水体近似视为一个完全混合的

水域单元；

- b) 非面源污染输入量监测估算：包括但不限于工业废水、城镇生活污水集中处理排放及污染物降解 / 挥发、水生生物吸收等非面源污染输入量。
- c) 面源污染负荷核算：基于质量守恒原理，面源污染负荷可按下式计算：

$$L_n = C_2 \times V_2 - C_1 \times V_1 - \sum_{i=1}^n W_i \quad (3)$$

式中：

L_n —面源污染负荷，kg/a；

W_i —非面源污染输入量（ $i = 1, 2, \dots, n$ ），kg/a；

C_1 、 C_2 —进入、流出目标区的水污染物浓度，mg/L；

V_1 、 V_2 —进入、流出目标区的水体积， m^3 。

8.2.5 模型模拟法适用于目标区面积较大、基础数据较完整，通过模拟水文过程、土壤侵蚀及污染物迁移过程的面源污染负荷核算。采用模型模拟法时，应符合以下规定：

- a) 模型选择：根据研究目标、数据基础与流域特征，选择适用模型，常用流域面源污染模型参见附录 B；
- b) 数据准备与参数本地化：收集模型所需的地形、土地利用、土壤类型、气象、水文、水质、农业管理等数据，划分核算单元，通过文献调研或模拟实验确定参数初值，并利用实测数据进行参数敏感性分析；
- c) 模型校准与验证：采用水环境控制单元出口断面水文水质监测数据，分别对参数率定与模型验证，常用评估指标可采用决定系数（ R^2 ）、纳什效率系数（NSE）等；
- d) 负荷模拟与输出：运行经校准验证的模型，输出核算单元的面源污染负荷量。

8.3 结果校验与核算

8.3.1 结果校验

- 8.3.1.1 对污染特征相似的污染物及与其迁移路径相关联的污染源与区域，应进行现场核查校验。
- 8.3.1.2 可采用两种及以上污染负荷核算方法，通过不同方法间结果的相互比对确定。
- 8.3.1.3 可结合目标区域的污染物排放量、水质现状或溯源结果进行综合校验。

8.3.2 分析核算

- 8.3.2.1 分析核算应以水环境控制单元为基本单位，统计分析污染源负荷数据，明确主要污染源类型、负荷占比及其空间分布，识别污染负荷量贡献度最大的关键源区。
- 8.3.2.2 目标区存在点源污染时，应在负荷核算中有效剥离其影响。

8.3.2.3 评估期间流域内污染源结构、土地利用或水文气象条件发生显著变化时，应进行阶段比对分析并说明潜在影响。

9 技术成果编制

9.1 技术报告应包括概述、技术路线与方法、流域污染源调查与污染特征分析、面源污染溯源分析、面源污染负荷核算分析、结论与建议等。

9.2 技术报告应明确阐述目标区水环境/行政控制单元的污染负荷量及其占比、主要污染物类别及贡献率等关键信息，并给出针对性结论与建议。编制大纲参见附录 C。

附录 A
(资料性)

基础数据清单

表 A.1、表 A.2、表 A.3 分别给出了自然地理信息数据清单、社会经济信息数据清单、环境状况信息数据清单。

表 A.1 自然地理信息数据清单

序号	数据类型	内容或格式	数据时间尺度
1	地理位置图	DWG	基准年
2	数字高程图	ESRI GRID, 精度宜优于30 m×30 m	基准年
3	土壤类型图	ESRI GRID, 矢量图	基准年
4	土地利用图	ESRI GRID, 1: 10000	基准年
5	流域范围图	Shape	基准年
6	水系图	Shape	基准年
7	水文数据	流量 (m ³ /s)、水位、输沙量等	逐日, 近5年
8	基础地理要素数据	ESRI GRID, 1: 10000	基准年
9	植被覆盖度	ESRI GRID, 1: 10000	基准年
10	水土流失分布图	Shape	基准年
11	气象数据	降水、最高/最低气温、风速、太阳辐射、相对湿度等	逐日, 近5年
12	行政区划图	Shape	基准年

注：一般选择调查年前一年为基准年，如没有基准年数据则选择最近一年。

表 A.2 社会经济信息数据清单

序号	数据类型	内容	数据时间尺度
1	统计年鉴	人口、经济发展等	基准年
2	规划	国土空间规划、土地利用规划、产业规划、水生态环境保护规划、三线一单资料等	近5年
3	生态环境治理项目	包括测土配方施肥、农业废弃物处理、城镇污水处理、水环境治理、水生态修复等方面拟实施项目	近5年
4	污染情况	污染源情况（污染源、类型、污染物及排污量、排污规律），污染物控制总量及近年来削减情况	近5年

注：一般选择调查年前一年为基准年，如没有基准年数据则选择最近一年。

表 A.3 环境状况信息数据清单

序号	数据类型	内容	数据时间尺度
1	地表水环境质量	监测点坐标信息, 总氮、总磷、化学需氧量等数据	逐月, 近5年
2	地下水环境质量	监测点坐标信息, 总氮、总磷、化学需氧量等数据	逐月, 近5年
3	入河排污口数据	监测点坐标信息, 总氮、总磷、化学需氧量等数据	逐月, 近5年
4	土壤环境质量	监测点坐标信息, pH、全氮、全磷、有机质等数据	基准年
5	污水处理厂	监测点坐标信息, 污染源名称、总氮、总磷、化学需氧量、废水量等数据	逐月, 近5年
6	农村生活污水处理设施	监测点坐标信息, 治理模式、处理工艺, 规模、位置, 进出口总氮、总磷、化学需氧量、水量等数据	逐月, 近5年
7	畜禽/水产养殖污水处理设施	监测点坐标信息, 治理模式、处理工艺, 规模、位置, 进出口总氮、总磷、化学需氧量、水量等数据	逐月, 近5年
8	农田氮磷生态拦截沟渠等农田退水治理措施	监测点坐标信息, 治理模式、处理工艺, 规模、位置, 进出口总氮、总磷、化学需氧量、水量等数据	逐月, 近5年

注: 一般选择调查年前一年为基准年, 如没有基准年数据则选择最近一年。

附录 B
(资料性)

常用流域面源污染模型名称及适用范围

常用流域面源污染模型名称及适用范围见表 B.1。

表 B.1 常用流域面源污染模型名称及适用范围

模型名称	适用范围
SWAT	适用于大中尺度流域，能够模拟土壤侵蚀、营养物质、农药等多种面源污染物的迁移与转化，可进行数年甚至数十年的长期模拟，评估土地利用、管理措施及气候变化对流域水文及面源污染负荷的长期影响。
HSPF	适用于不同流域尺度的模拟，能够处理景观尺度到较大流域范围。模型通过划分透水地段、不透水地段和地表水体等模块进行模拟，并可适应城市、农业和自然等多种流域类型，支持从小时到年的多时间尺度模拟，时间步长可达1小时甚至更短，适用于长期连续的模拟分析，能够评估暴雨径流等事件过程。
AGNPS	模型采用网格单元系统来表征流域条件的空间变异性，在实践中已应用于数百公顷至数百平方公里的流域，适用于模拟单一降雨事件引发的径流、峰值流量、泥沙和营养物质输移，也可用于评估多年气候条件及土地利用管理措施变化对污染物负荷的长期影响。
CREAMS	主要适用于田间或小区域尺度的模拟，其应用单元通常为独立的农田地块或小型农业流域，能够模拟多种与农业活动相关的污染物，能够模拟最长20年的气候序列数据，并估算长期平均年径流和污染负荷。此外，其在预测单一降雨事件方面也表现出较好的模拟效果。
SWMM	适用于复杂下垫面城区面源污染负荷核算，通过划分子汇水区来体现空间异质性，也适用于流域尺度模拟，并可用于中小河流的水文水动力模拟，能够模拟多种面源污染物的迁移转化过程，是估算城市地表径流及其污染负荷的常用模型之一。
MIKE-SHE	适用于多种空间尺度，从田间地块到大型流域均适用。模型采用正交网格网络对流域进行离散化，能够精细刻画地表、地下复杂水文过程的空间变异性，尤其擅长处理地表水与地下水相互作用显著的区域。

附录 C
(资料性)

流域面源污染溯源与负荷核算技术报告编制大纲

- C.1 概述
 - C.1.1 目的与意义
 - C.1.2 编制依据
 - C.1.3 工作范围与流程
- C.2 技术路线与方法
 - C.2.1 技术路线
 - C.2.2 调研方法
- C.3 流域污染源调查与污染特征分析
 - C.3.1 自然地理概况
 - C.3.2 社会经济概况
 - C.3.3 环境状况概况
 - C.3.4 环境问题分析
- C.4 面源污染溯源
 - C.4.1 溯源技术选择
 - C.4.2 溯源技术应用
 - C.4.3 溯源结果校验
 - C.4.4 溯源结果分析
- C.5 面源污染负荷核算
 - C.5.1 核算方法选择
 - C.5.2 核算过程与参数
 - C.5.3 负荷结果分析
 - C.5.4 核算结果校验
- C.6 结论与建议
 - C.6.1 主要结论
 - C.6.2 不确定性分析
 - C.6.3 对策建议

参考文献

- [1] 周刚, 呼婷婷, 雷坤, 等. 水质分析模拟程序 WASP 模型原理及用户手册[M]. 北京: 海洋出版社, 2024.
- [2] BI Y, ZUO D, SONG Y, et al. The response of non-point source pollution to land use change and risk assessment based on model simulation and grey water footprint theory in an agricultural river basin of Yangtze River, China[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 154: 110855.
- [3] BI Y, ZUO D, SONG Y, et al. The response of non-point source pollution to land use changes based on SWAT and PLUS models in an agricultural river basin of Yangtze River, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2025, 663: 134331.
- [4] NIE Y, HUANG G, TONG S, et al. Assessing the impacts of rice terraces and ponds on the sediment and phosphorus loads in a typical hilly watershed of Three Gorges Reservoir, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 459: 142560.
- [5] ZUO D, HAN Y, GAO X, et al. Identification of priority management areas for non-point source pollution based on critical source areas in an agricultural watershed of Northeast China[J]. *Environmental Research*, 2022, 214: 113892.
- [6] LIU D, GAO H, YU H, et al. Applying EEM-PARAFAC combined with moving-window 2DCOS and structural equation modeling to characterize binding properties of Cu (II) with DOM from different sources in an urbanized river[J]. *Water Research*, 2022, 227: 119317.
- [7] Zhao Z, Zhang M, Chen Y, et al. Traceability of nitrate polluted hotspots in plain river networks of the Yangtze River delta by nitrogen and oxygen isotopes coupling bayesian model[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 315: 120438.
- [8] Zhao Z, He X, Chen S, et al. Quantifying the environmental fate and source of nitrate contamination using dual-isotope tracing coupled with nitrogen cascade model on the basin scale. *Journal of Hazardous Materials*, 2025, 482, 136594.
- [9] XIE Z, YE C, LI C, et al. The global progress on the non-point source pollution research from 2012 to 2021: A bibliometric analysis[J]. *Environmental Sciences Europe*, 2022, 34(1): 121.
- [10] 黄国鲜, 聂玉玺, 张清寰, 等. 流域农业面源污染迁移过程与模型研究进展[J]. *环境工程技术学报*, 2023, 13(4): 1364-1372.
-