



生态系统视角下三峡水库水源地 生态隔离带技术研究与应用

 长江水资源保护科学研究所
CHANGJIANG WATER RESOURCES PROTECTION INSTITUTE

2025年12月19日

汇报提纲



1. 研究背景与意义

2. 创意设计和内容

3. 实施成效和亮点

4. 可推广性和应用前景



01

第一部分



研究背景与意义

1.1 研究的背景

三峡水库的重要地位和作用

- ◆ 三峡水库是国家重要的战略淡水资源库，是**南水北调中线工程后续水源**，保障库区居民饮水安全，促进库区生态环境保护，对推进长江经济带高质量发展具有十分重要的意义。



隔离带在生态空间保护中的功能

江河湖库生态空间重要组成部分

生态隔离带在江河湖库生态空间中占据重要地位，对维持生态平衡有重要作用。

能有效阻隔或减缓人类活动干扰

发挥生态屏障作用，阻挡人类活动对生态环境的直接破坏，保护生态系统。

面源污染防治等方面有重要作用

能有效减少面源污染，保持水土，提升景观美学价值，改善生态环境。

1.2 现状和意义

- ◆ 三峡后续项目实施多年来，库区生态服务功能得到有效提升，但生态隔离带防护体系不完善，仍面临面源污染难监控、陆域隔离带不完善、消落区修复技术有限等问题。
- ◆ 开展生态系统视角下三峡水库水源地生态隔离带技术研究与应用，对加强三峡水库战略性水源地**水质安全保障**、促进新时期三峡库区**高质量发展**具有重要意义。





02

第二部分



创意设计和内容

2.1 研究路径设计

研究实施的具体步骤

1

问题识别

量化水质净化供需时空格局、不匹配率和驱动机制；构建多分辨率分割—面向对象分类方法，识别消落区岸坡类型。

2

功能评估

评估水源地隔离带岸坡稳定性、水土保持效益，结合模拟冲刷实验，构建指数函数回归方程，评估面源污染削减效果。

3

布局优化

研究“源—汇”分布格局和景观空间负荷比，开展典型集水区隔离带布局优化，确定典型集水区植被缓冲带位置和宽度。

4

方案构建

利用问题结构框架，与多准则决策等系统集成，提出多目标建设思路，构建分区分类建设方案及立体生态屏障体系。

5

应用验证

采用室内对照实验系统，模拟不同环境，揭示植被-底质复合系统退化对鱼类的级联效应，验证修复效果。

2.2 主要创意内容

多尺度的问题诊断

宏观尺度问题识别

通过InVEST模型评估三峡库区非点源污染，量化水质净化供需时空格局等，识别水质净化供需关系。

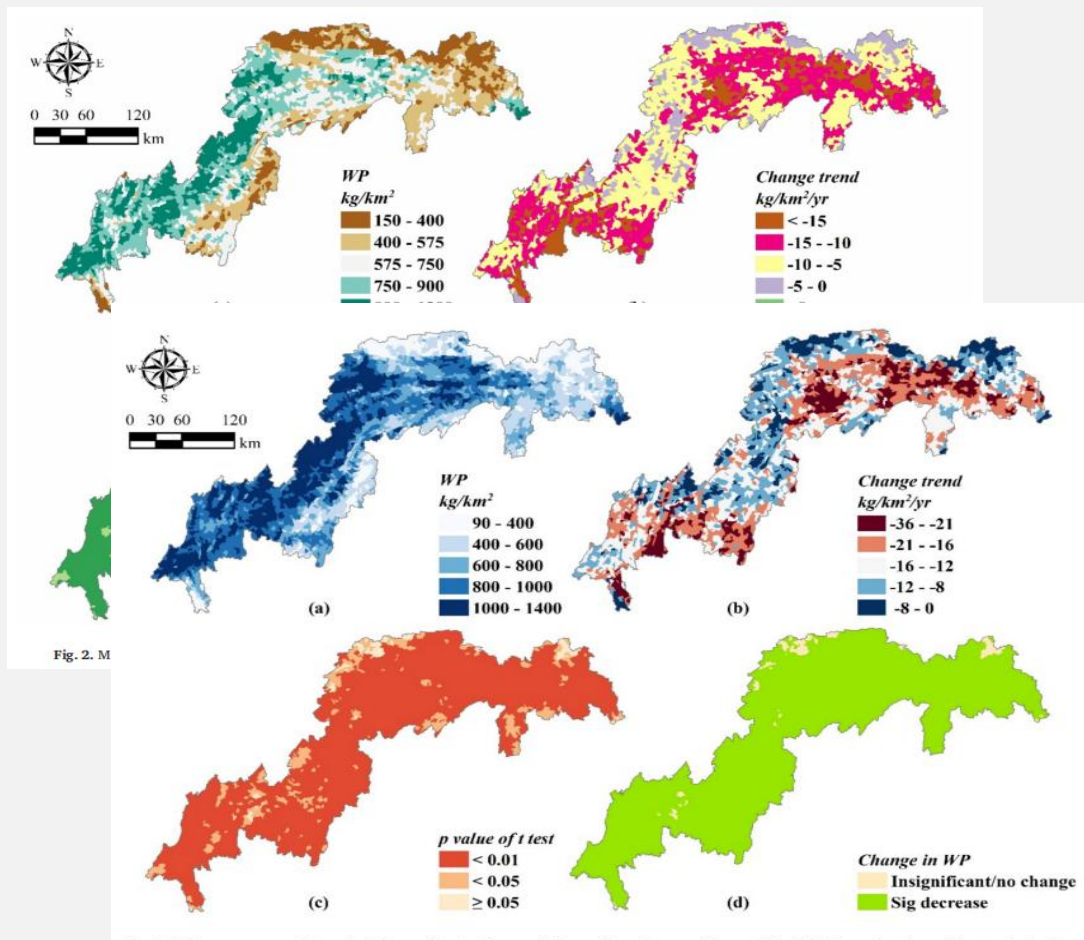
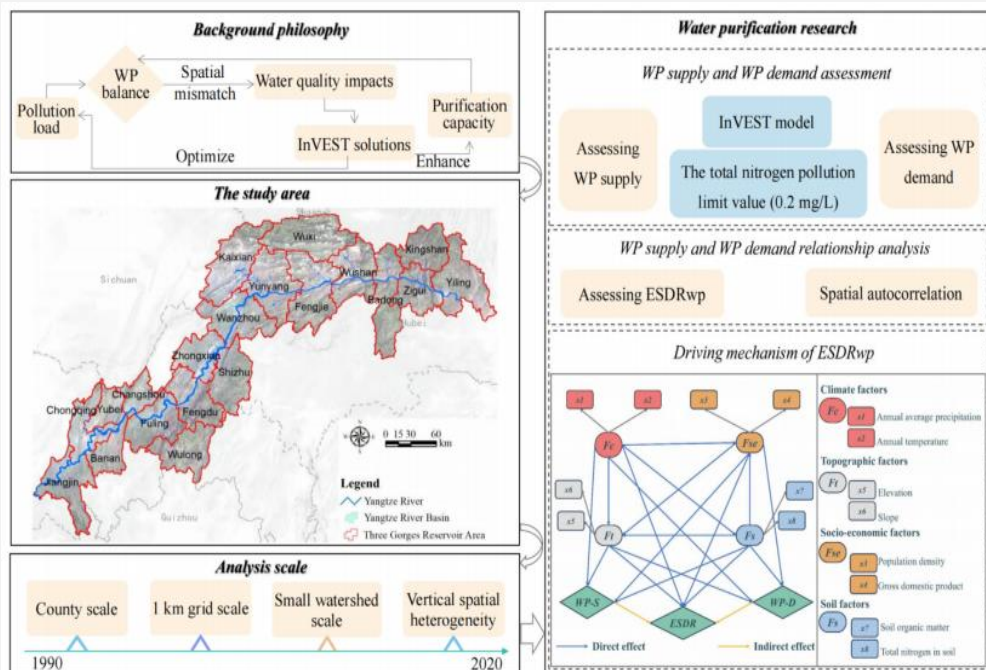


Fig. 4. Multi-year average (a), trend of change (b), significance of change (c), and types of change (d) of WP-Demand at the small watershed scale.

2.2 主要创意内容

多尺度的问题诊断

宏观尺度问题识别

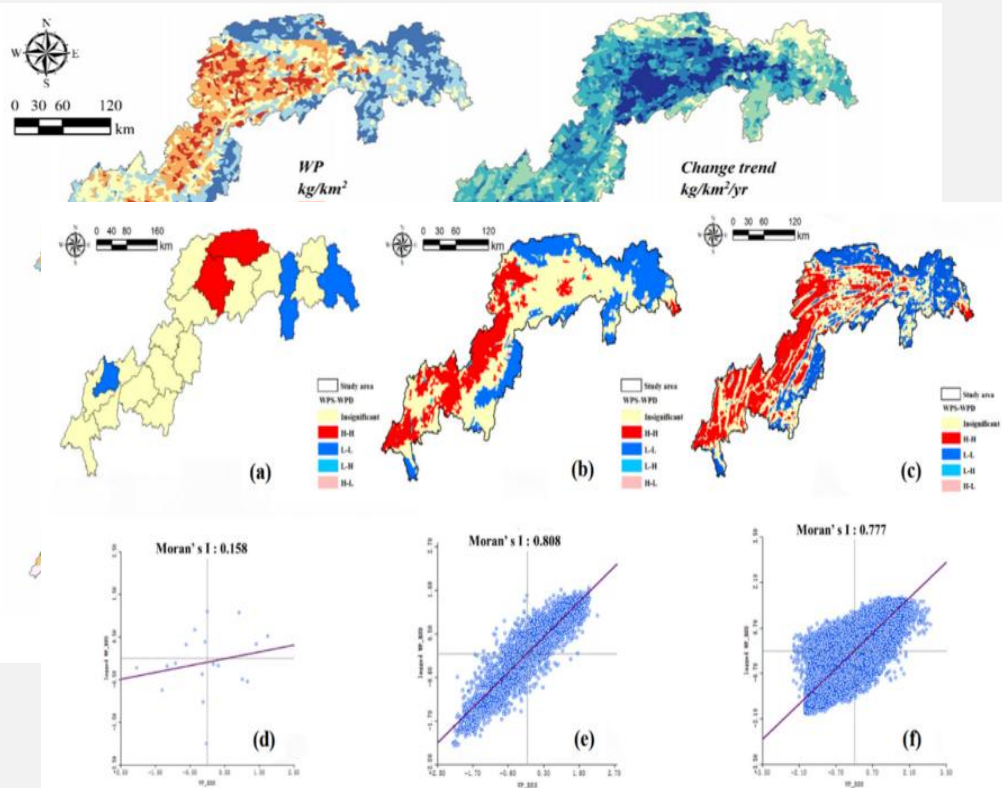


Fig. 8. Spatial clustering characteristics at county scale (a); at watershed scale (b); and at 1-km grid scale (c) and Moran scatterplots at county scale (d); at watershed scale (e); and at 1-km grid scale (f) of WP supply and demand.

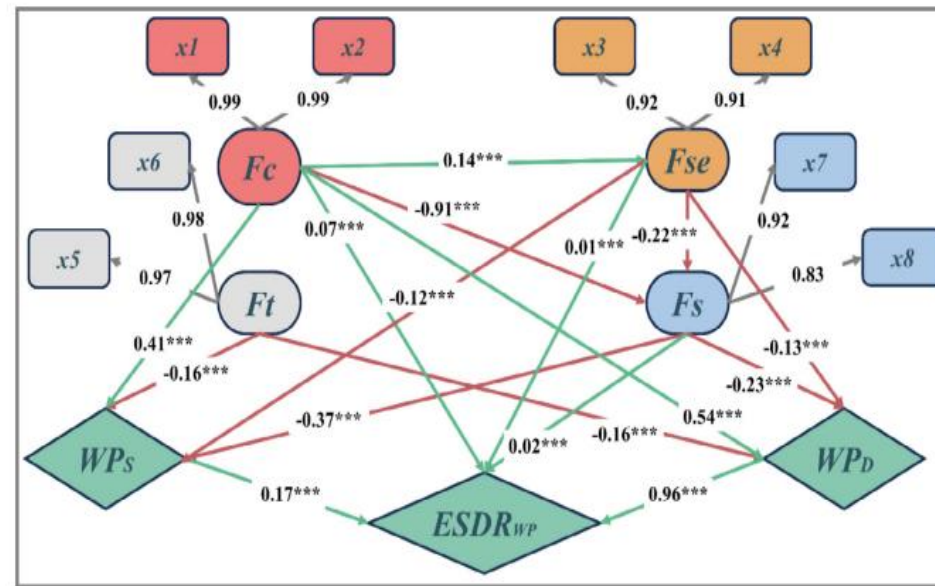


Fig. 9. Effects of climate, socioeconomic factors, topography, and soil on WP_s, WP_D, and ESDR_{WP}.

三峡库区西南部的水质净化表现为“高—高”模式，而北部和南部地区则表现为“低—低”模式。气候因素显著增强了供给需求双方，而土壤因素对供需双方均产生负面影响，地形和社会经济因素也表现出较小的负面影响。

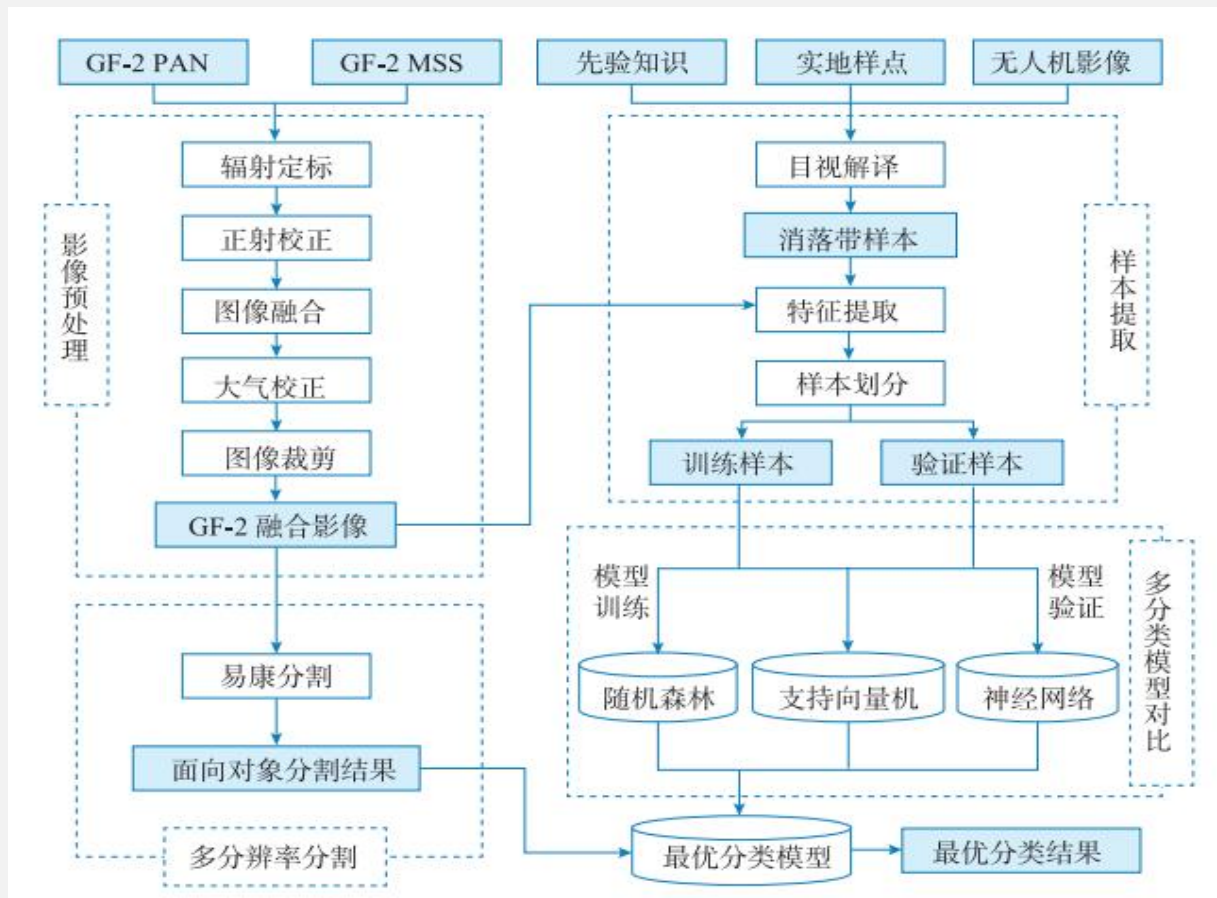
2.2 主要创意内容

多尺度的问题诊断

局部尺度问题识别

针对消落区岸坡类型复杂问题，以秭归县等4个典型水源地为研究对象：

通过高光谱无人机与GF-2遥感影像等多源融合数据，构建**多分辨率分割—面向对象分类方法**，并结合随机森林、支持向量机和神经网络等方法，精准识别典型水源地消落区的岸坡类型。

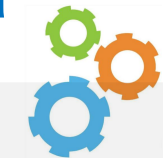


2.2主要创意内容

多尺度的问题诊断

局部尺度问题识别

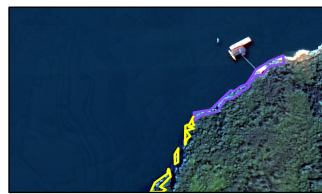
结果表明，不同岸坡类型光谱差异显著，面向对象分类方法可信度高，总体分类精度在81.88%—95.77%之间，其中巫山县分类精度提升达28.13%。



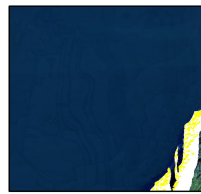
(a1) 秭归目视解译结果



(a2) 秭归随机森林



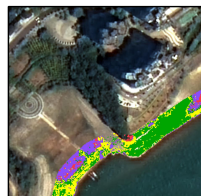
(b1) 巴东目视解译结果



(b2) 巴东随机森林



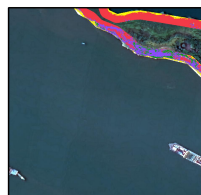
(c1) 巫山目视解译结果



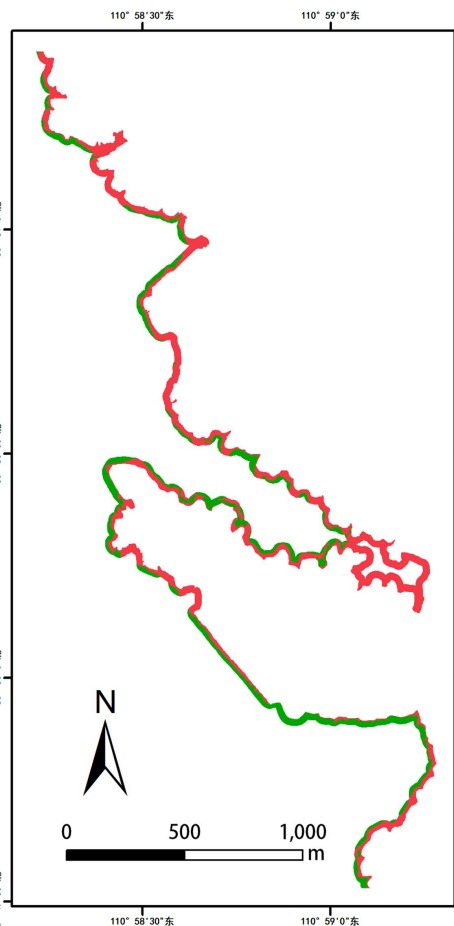
(c2) 巫山随机森林



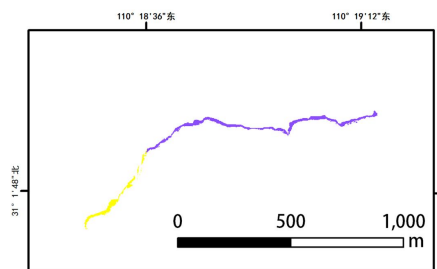
(d1) 云阳目视解译结果



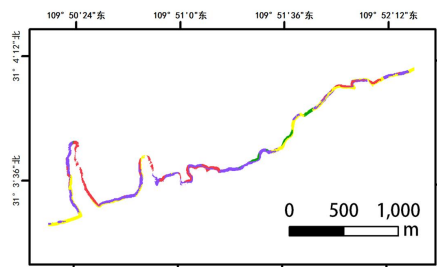
(d2) 云阳随机森林



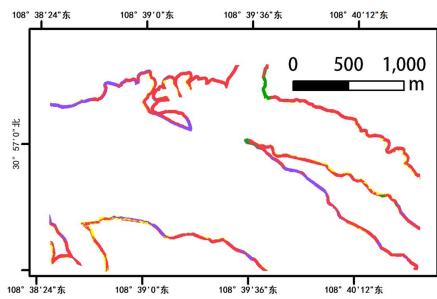
(a) 秭归县凤凰山长江段水源地



(b) 巴东县长江水源地



(c) 巫山县鼎诚水务县城水厂长江水源地



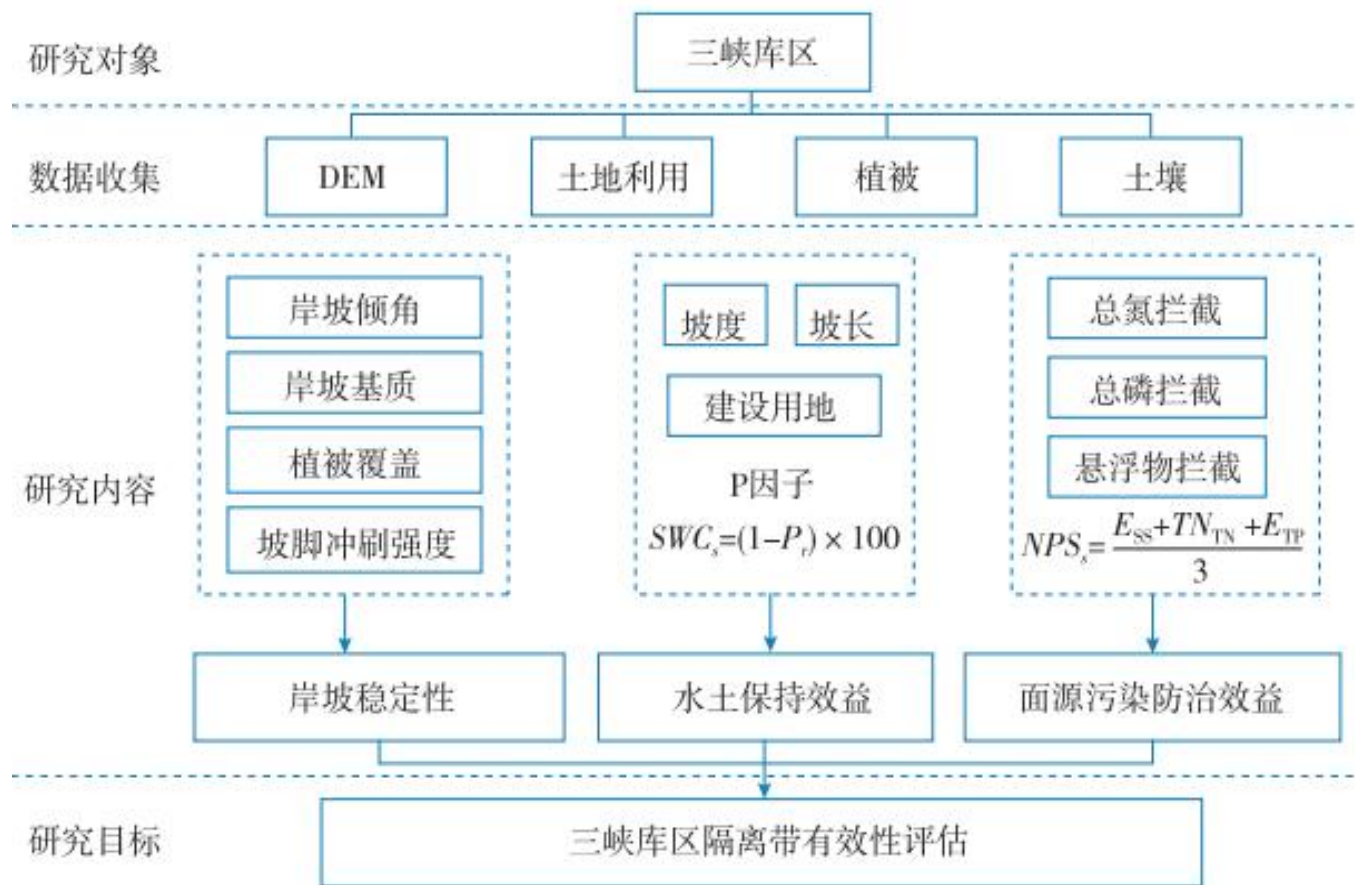
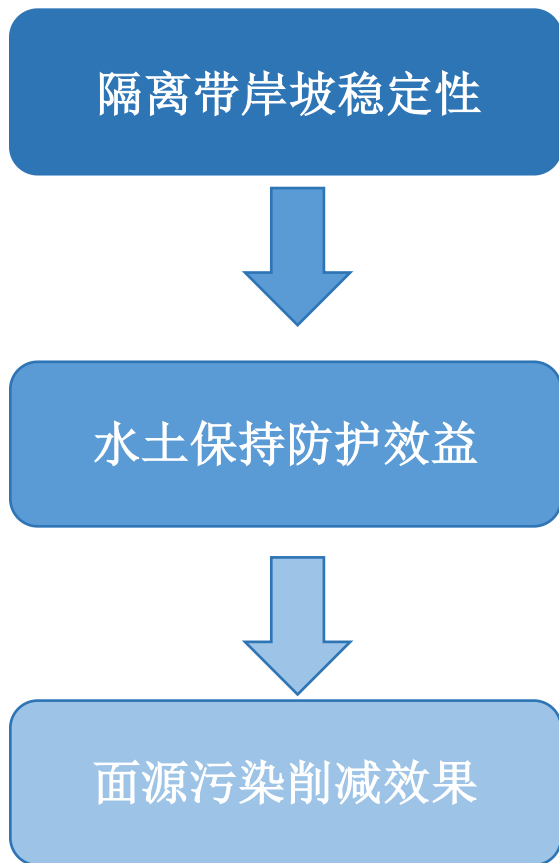
(d) 云阳县四方井水厂长江水源地

■ 土质岸坡 ■ 岩土混合岸坡 ■ 岩质岸坡

■ 土质岸坡 ■ 岩土混合岸坡 ■ 岩质岸坡 ■ 人工治理岸坡

2.2 主要创意内容

◆ 水源地隔离带功能评估



2.2 主要创意内容



水源地隔离带功能评估

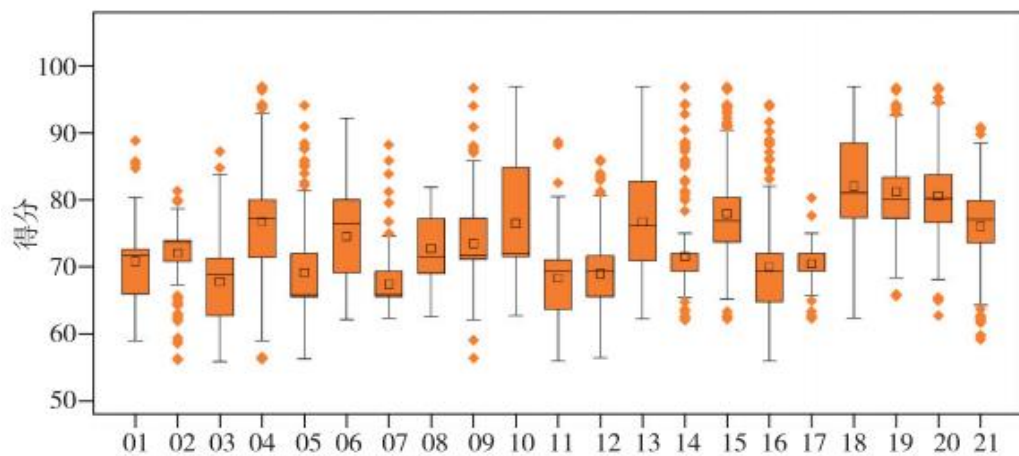


图 4.1-1 三峡库区水源地生态隔离带防护效果得分 (纵深 50m)

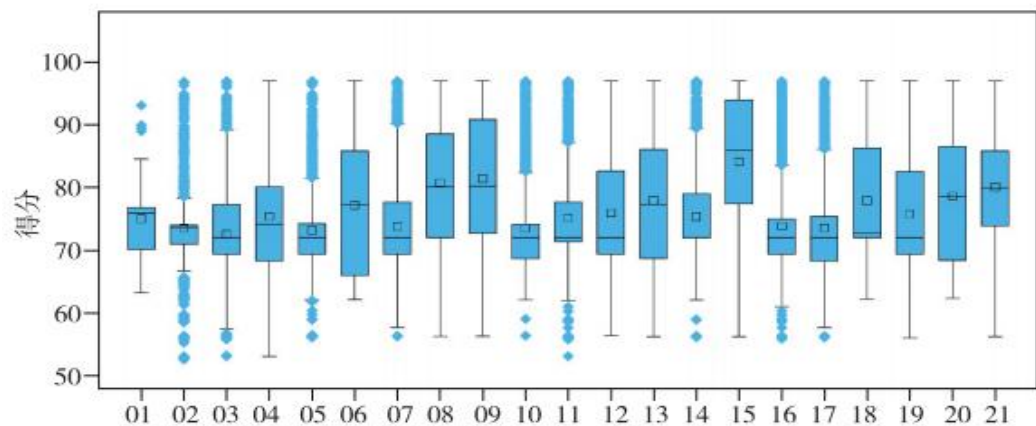


图 4.1-2 三峡库区水源地生态隔离带防护效果得分 (纵深 1000m)

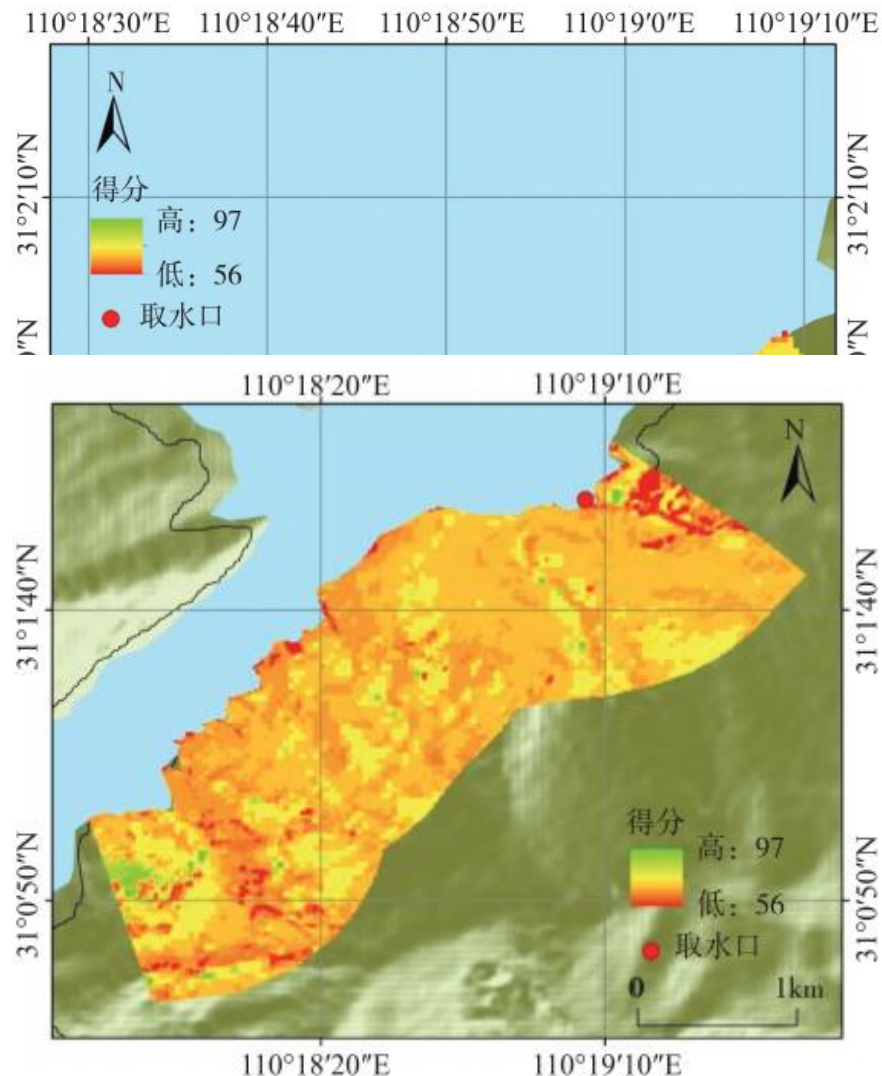
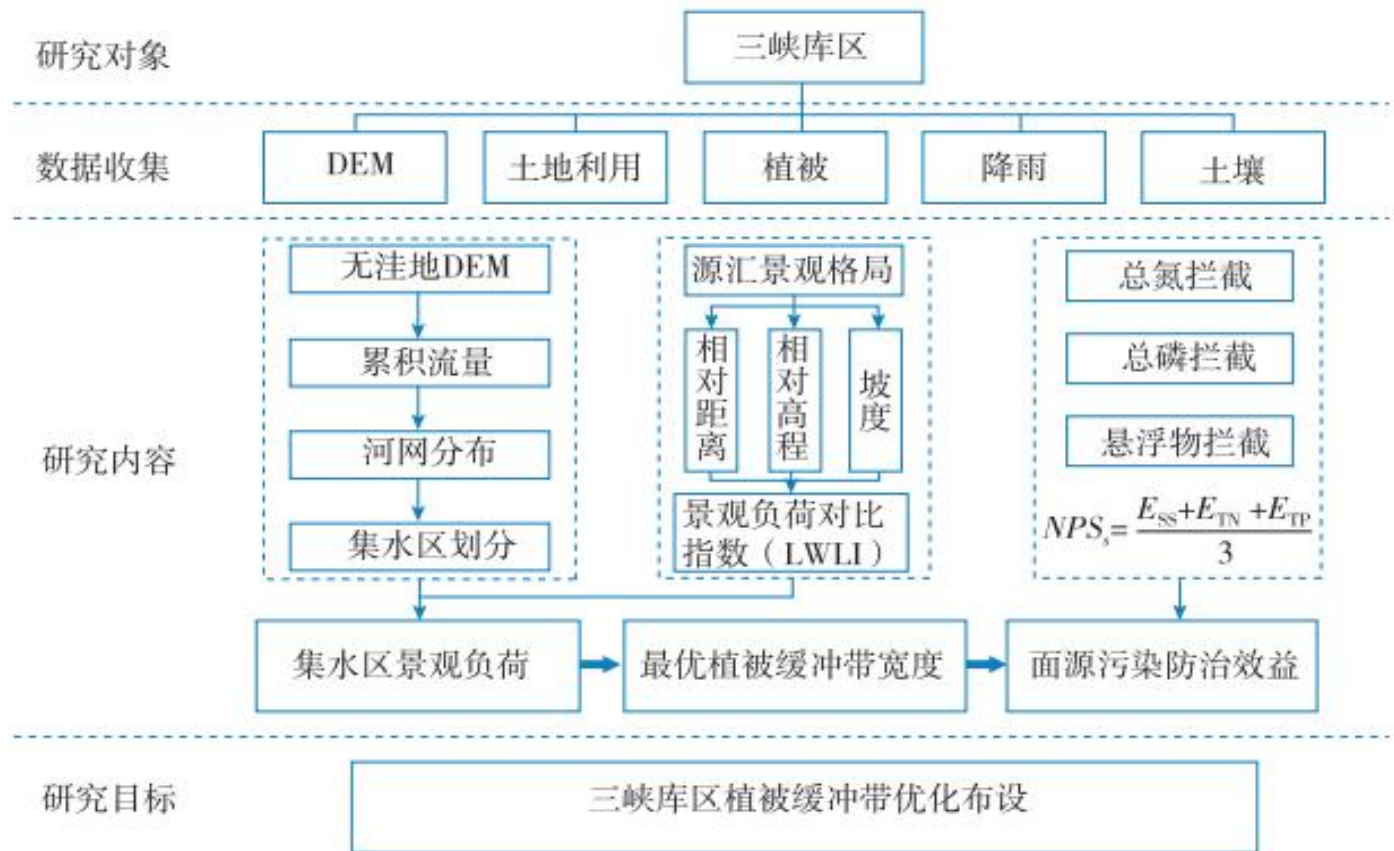


图 4.2-5 巴东县 B 水源地生态隔离带防护效果得分 (纵深 1000m)

2.2 主要创意内容

◆ 植被缓冲带布局优化



在当前区域土地利用的基础上，在陆域隔离带上科学合理地设置植被缓冲带，从而有效控制区域内的面源污染。本部分重点解决的问题有：**植被缓冲带的布设位置、植被缓冲带的宽度、植被缓冲带的植物种类及配置。**

2.2 主要创意内容

◆ 植被缓冲带布局优化

研究“源—汇”分布格局和景观空间负荷比

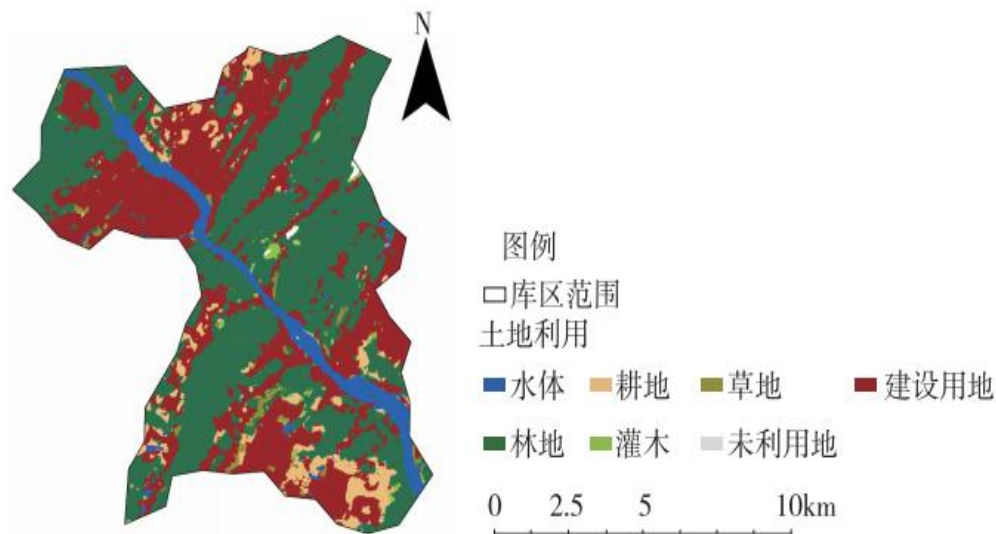


图 5.2-7 北碚—嘉陵江集水区土地利用现状

典型集水区模拟表明，单侧植被缓冲带13—33m、双侧8—14m宽，LWLI指数能降到0.5以内。

确定典型集水区植被缓冲带位置和宽度

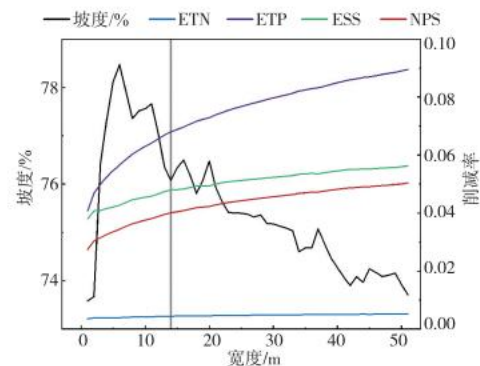


图 5.2-8 河岸两侧布设植被缓冲带时污染物的削减率

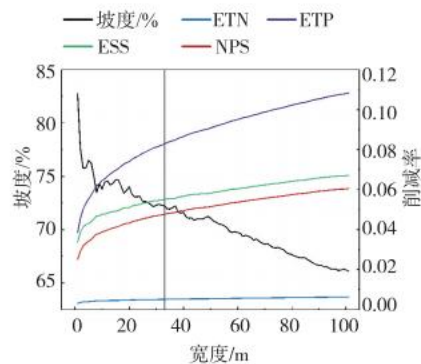


图 5.2-9 河岸南侧布设植被缓冲带时污染物的削减率

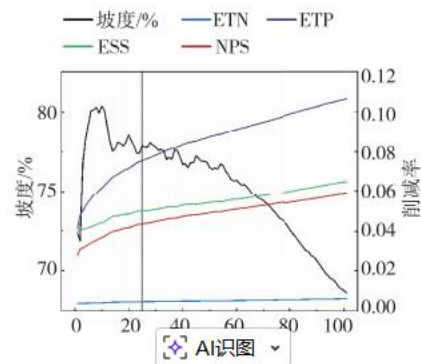


图 5.2-10 河岸北侧布设植被缓冲带时污染物的削减率

2.2主要创意内容

◆ 分区分类方案的构建

问题结构导向多目标框架

利用“驱动力—压力—状态—影响—响应”框架等，提出多目标建设方法。

构建立体生态屏障体系

构建“滨水缓冲带+陆域隔离带”的立体生态屏障保护措施体系。



消落区的分类保护治理

根据岸坡类型和地段，提出差异化治理保护措施及典型措施设计方案。

陆域隔离带的分区建设

按地理因素划分区域，结合相关理念提出隔离带分区建设方案。

2.2 主要创意内容

◆ 技术体系应用和验证

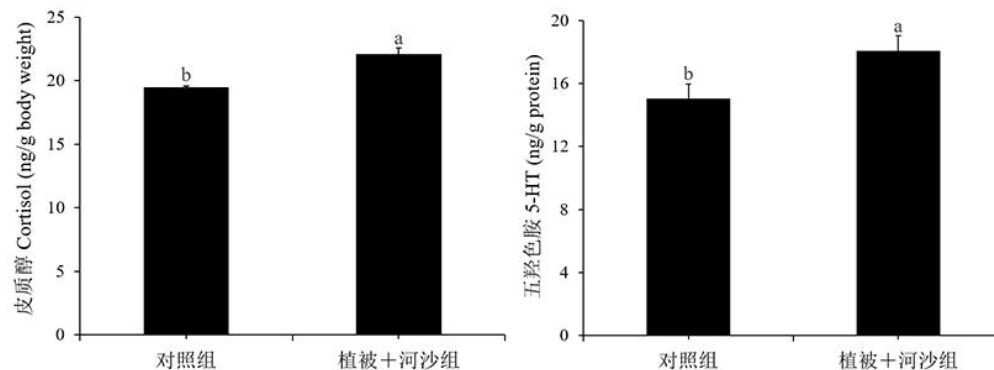
构建对照实验系统

构建室内对照实验系统，模拟自然河岸带淹没期生境和水位消退后的裸露消落带。



解析鱼类响应机制

选取典型鱼类，通过生长、行为和生理三层次解析其响应机制。



验证修复效果

揭示植被—底质系统退化对鱼类的级联效应，为修复效果提供验证。

尽管鱼类在缺乏植被和河沙的环境中生长和焦虑样行为无显著差异，但是其皮质醇和五羟色胺含量更低，表明其生理状态受到显著影响。



03

第三部分



实施成效和亮点



创新性及亮点

理论框架的创新

01 问题结构导向的三峡库区水源地生态隔离带多目标建设框架

技术方法的创新

- 01 基于供需平衡的水质净化评价
- 02 水库消落区岸坡分类方法创新
- 03 隔离带防护效果评估模型的集成
- 04 “源—汇”模型理论的深度应用

措施方案的创新

- 01 基于水质净化功能的区域调控措施
- 02 水库消落区的多维度治理保护措施
- 03 库区隔离带措施与功能精准性匹配

3.1 理论框架的创新

问题结构导向的多目标分析框架

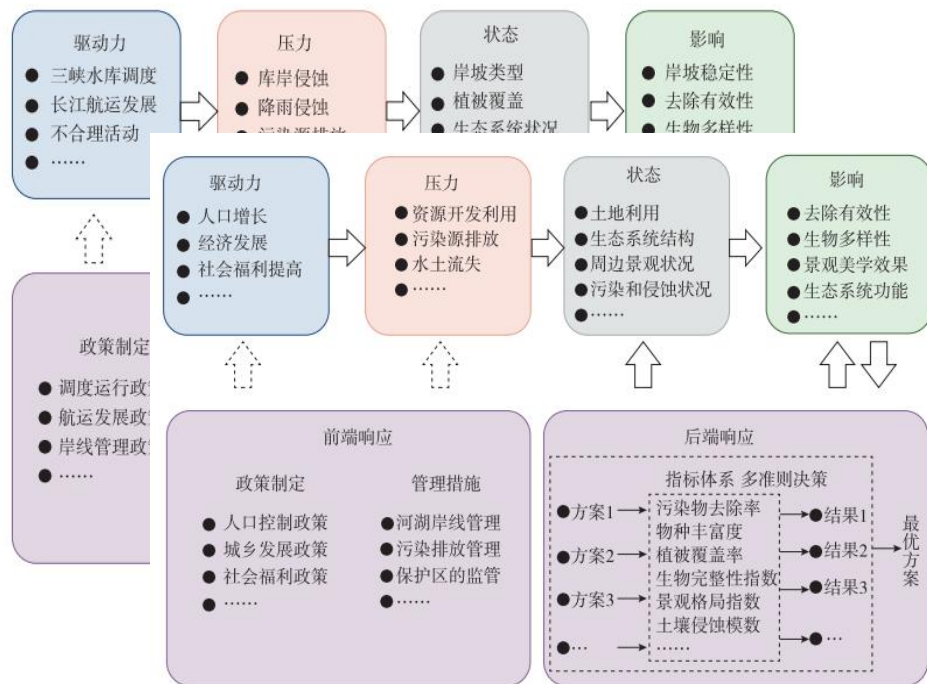


图 6.1-2 三峡库区饮用水水源地隔离带建设框架

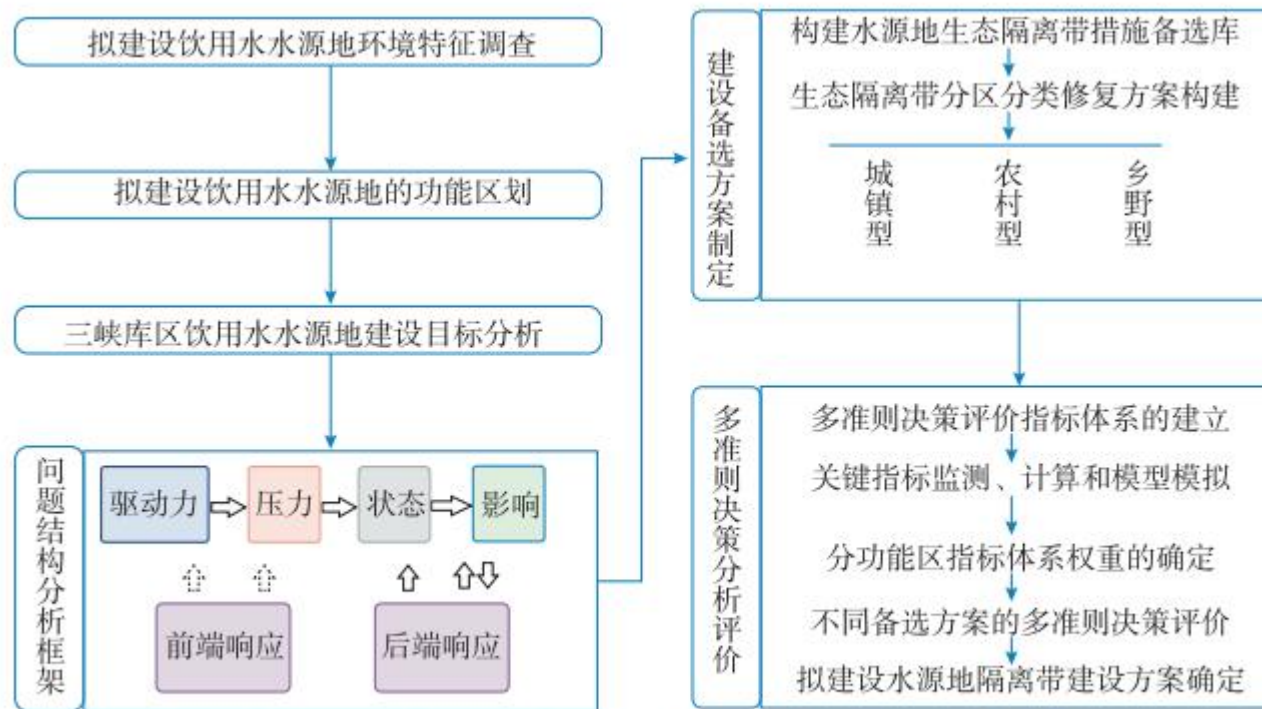


图 6.1-3 三峡库区饮用水水源地生态隔离带建设方案的确定流程

基于“驱动力—压力—状态—影响—响应”（DPSIR）模型，将生态隔离带的建设目标（岸坡稳定、污染防治、水土保持等）纳入系统分析，实现生态隔离带建设方案与生态系统功能的协同统一。

3.2 技术方法的创新



供需平衡的水质净化评价

通过InVEST模型评估实际和潜在的非点源污染，量化了水净化供需的时空格局，并比较了三峡库区内供需不匹配的比例。同时，利用供需可达性指标确定了水净化供需关系，为宏观区域的调控措施奠定基础。



消落区岸坡分类方法创新

提出多分辨率分割—面向对象的机器学习分类方法，解决传统像元尺度分类的“椒盐现象”，分类精度提升显著（如巫山县鼎诚水务县城水厂长江水源地精度提升28.13%），实现大范围岸坡类型的高效而精准的识别。



防护效果评估模型的集成

在模拟冲刷实验基础上，融合修正通用土壤流失方程CSLE、指数函数回归与SWAT模型污染物运输模拟，构建“岸坡稳定性—水土保持—面源污染削减”的综合评估体系，量化不同宽度生态隔离带的防护效果。

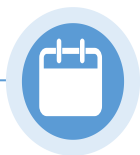


“源—汇”理论的深度应用

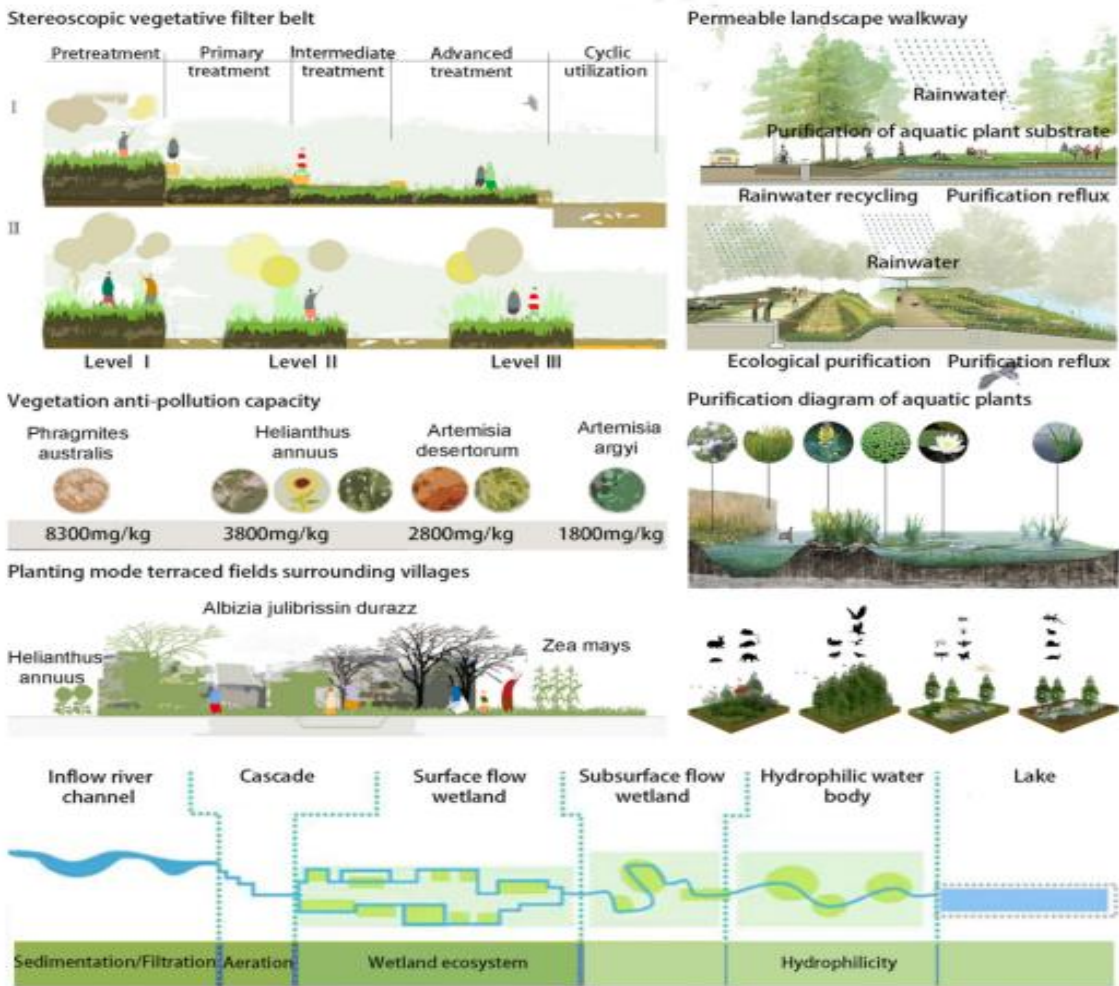
通过改进的景观空间负荷对比指数耦合相对距离、高程、坡度等地形因子，精准识别面源污染高发子流域（集水区），为植被缓冲带的科学布设提供量化依据，突破植被缓冲带布局不合理问题。

3.3 措施方案的创新

◆ 基于水质净化功能的区域调控措施



三峡库区中上游流域的“高—高”集群实施“供应增强—需求优化”策略，而对东部和南部地区的“低—低”集群，则应通过人为干预加强“源—汇”景观连通性，从而解决水质净化功能供需的空间不匹配问题。



3.3 措施方案的创新

◆ 水库消落区的多维度治理保护措施

表 6.2-4 三峡库区饮用水水源地消落区纵向建设措施布设

纵向	湖北秭归库首至重庆涪陵段	重庆涪陵至长寿黄草峡段	长寿黄草峡至江北果园港段	江北果园港至江津花红堡段
断面形式	多级	多级	两级或多级	单级或两级
岸坡分级	5~8级	3~8级	2~4级	1~2级
岸坡形式	多级斜坡式堤或多级复式堤等	多级斜坡式堤或多级复式堤等	两级斜坡式岸坡、两级直墙式岸坡、两级复式岸坡,以及多级斜坡式堤或多级复式堤等	单级斜坡式岸坡、单级直墙式岸坡、单级陡墙式岸坡,以及两级斜坡式岸坡、两级直墙式岸坡、两级复式岸坡等

表 6.2-5 三峡库区饮用水水源地消落区垂向建设措施布设

垂向	湖北秭归库首至重庆涪陵段	重庆涪陵至长寿黄草峡段	长寿黄草峡至江北果园港段	江北果园港至江津花红堡段
173~175m	草本、小灌木	草本、小灌木	草本、小灌木	草本、小灌木或喜湿耐旱的植物
170~173m	草本植物	草本植物	草本植物	草本植物
160~170m	草本植物	草本植物	草本植物	草本植物
160m以下	自然恢复	自然恢复	自然恢复	自然恢复

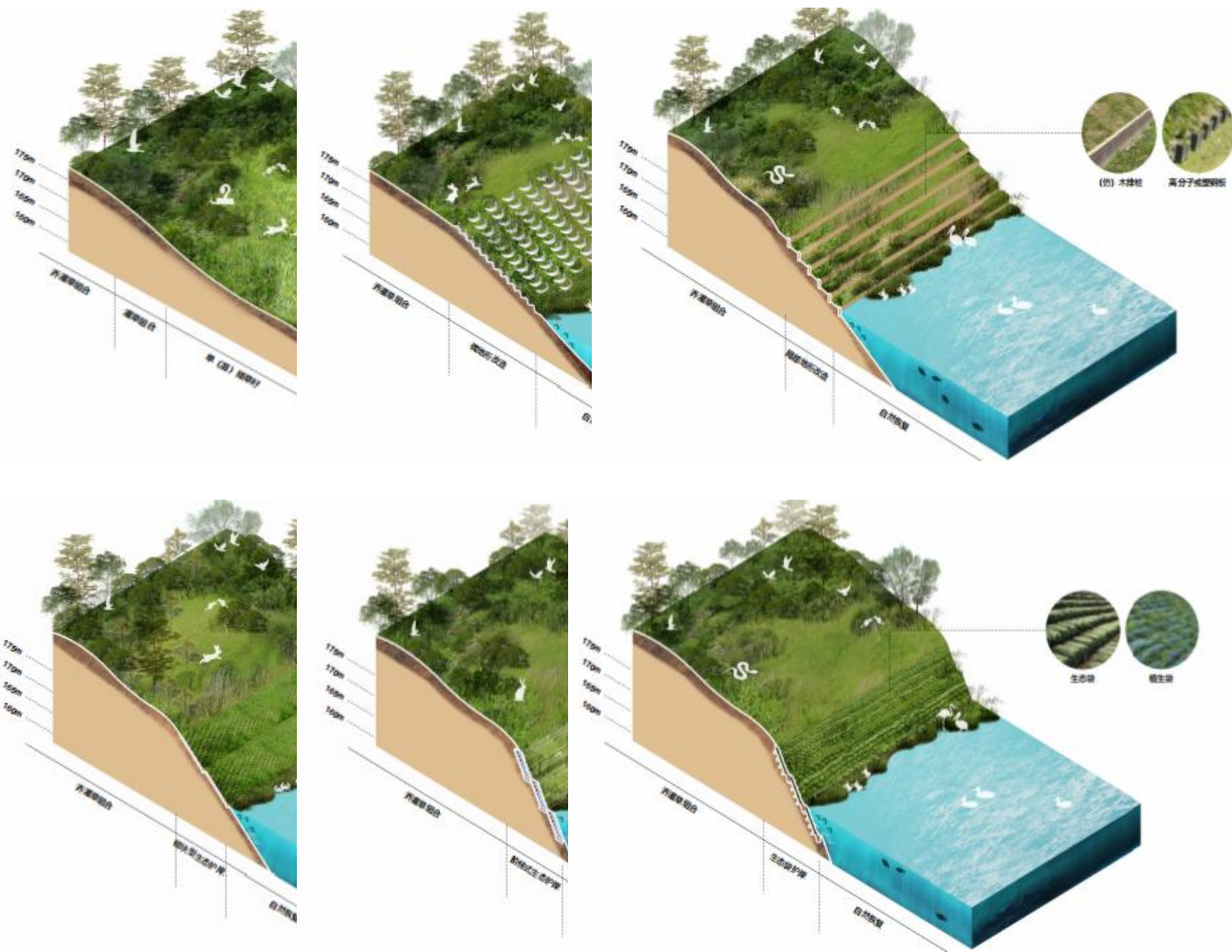
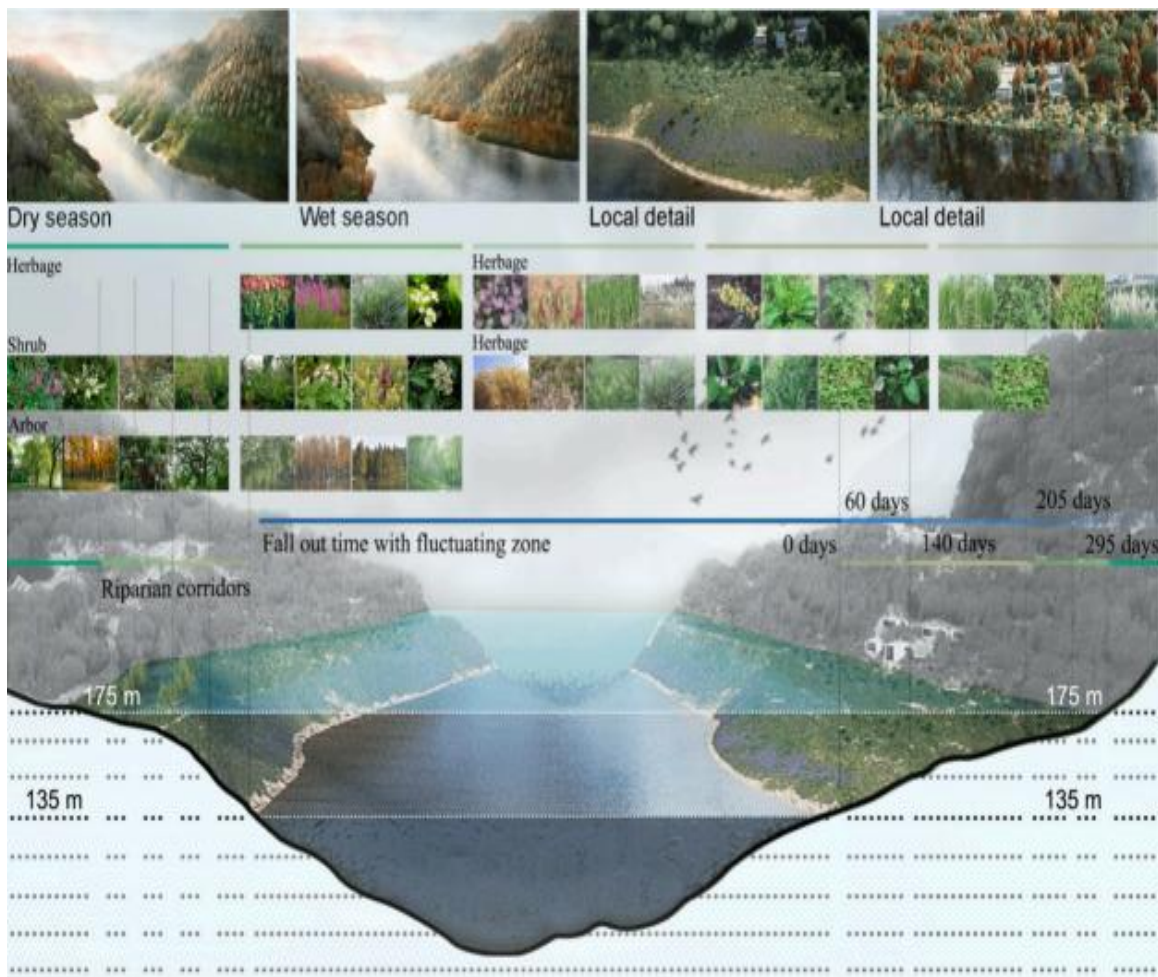
注：草本和小灌木的品种选择参照隔离带部分。



根据消落区所处的位置 and 不同的岸坡类型, 在总体治理保护措施基础上, 提出“纵向分段(库首至库尾)、垂向分层(水淹段至出露段)”的多维度治理保护策略, 并开展了措施典型设计, 基本覆盖了消落区所有的岸坡类型。

3.3 措施方案的创新

◆ 水库消落区的多维度治理保护措施



3.4 研究成果和产出



完成成果报告和调查报告4份；主编相关学术专著1部，参编国家出版基金资助专著1部；已发表SCI论文3篇，在投2篇；发表EI检索期刊和会议论文3篇，待出版国际会议论文1篇；其他各类中文期刊、会议论文近20篇。

3.4 研究成果和产出



授权国家发明专利4项，进入实质性审查1项；主编团体标准1项、参编1项；阶段性成果获得学会会议优秀论文一、二、三等奖各1篇，十篇优秀论文1篇；授权实用新型专利5项、软件著作权十多项、消落区生态修复设计图集1套等。



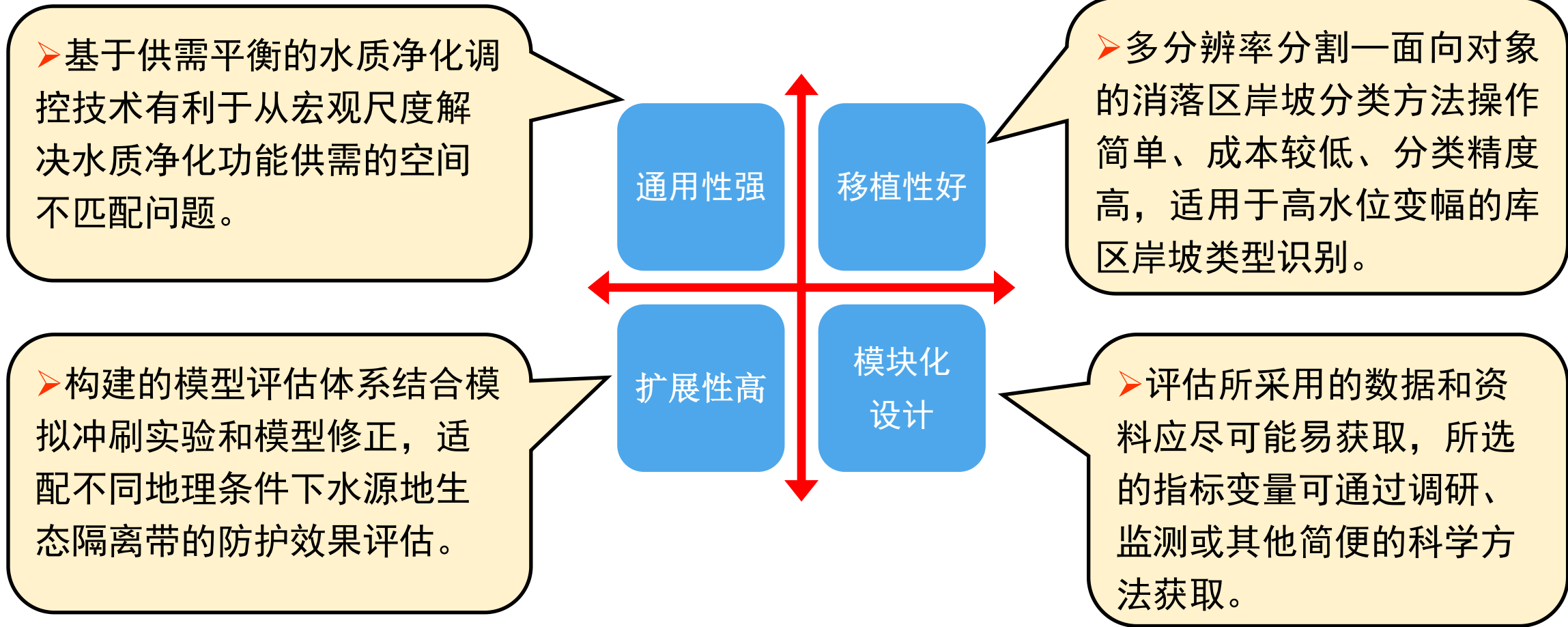
04

第四部分



可推广性和应用前景

4.1 技术可推广性



4.2 技术应用前景

提升消落区岸坡稳定性

能增强消落区岸坡稳定性，
减少岸坡坍塌等风险。

1

降低库周面源污染风险

减少库周面源污染，改善
库区水质环境。

2

3

4

减少屏障区水土流失

有效降低生态屏障区水土流
失，保护土地资源。

维护长江上游生态安全

保障长江上游生态屏障区生
态安全，促进可持续发展。



长江水资源保护科学研究所

CHANGJIANG WATER RESOURCES PROTECTION INSTITUTE

汇报完毕，感谢聆听，
请批评指正！