

规划院环境损害鉴定培训, 2021.12.1, 北京

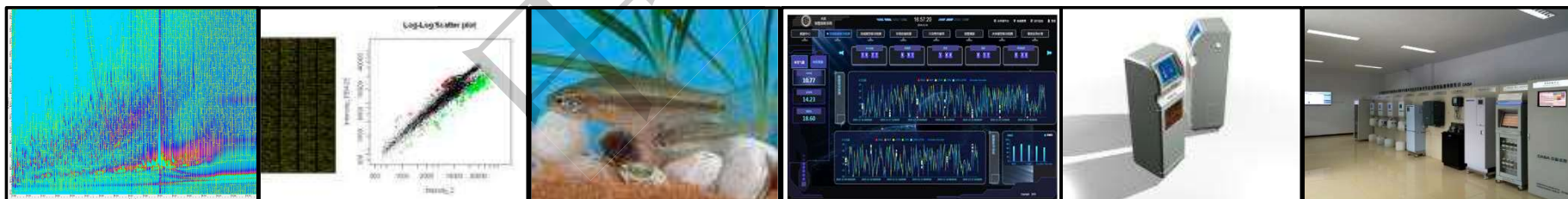
水生态损害鉴定中的生物条件评价方法

王子健

生态环境中心化学品环境风险评估中心 研究员 (聘)

北京大学环境科学与工程学院 教授(兼)

国家食品安全风险评估中心 研究员(聘)



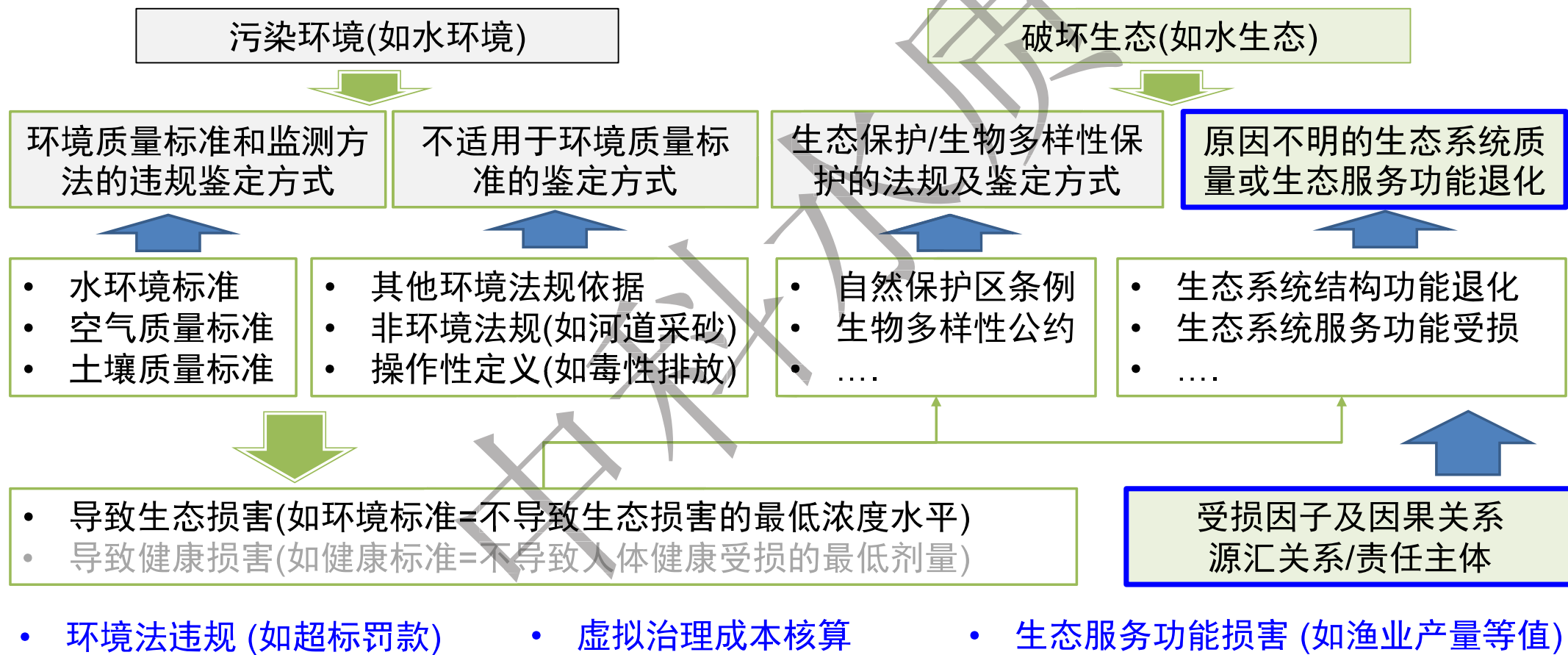
AQUALITY Technology

CASA 中科水质
www.casaet.com

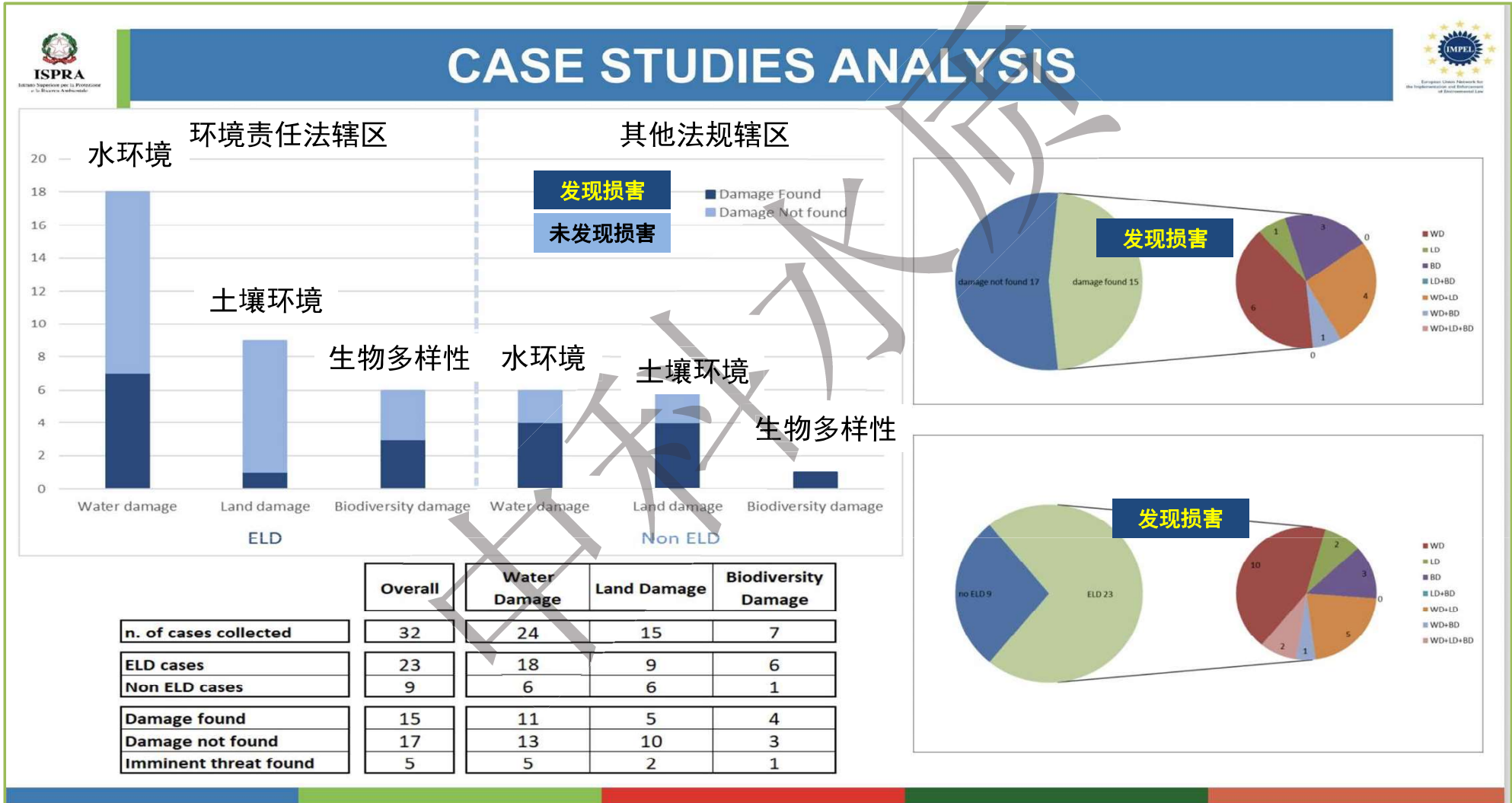
欧盟成员国执行环境责任法(ELD)中列举的典型案列(IMPEL, 2020)

1. 奥地利-杀虫剂污染了地下水，进而影响到公共饮用水供应(化学超标鉴定)
2. 意大利-地下水源被卤代烷烃类污染物污染，影响了供水安全(化学超标鉴定)
3. 瑞典-灭火过程中大量使用的消防泡沫对地下水饮用水源造成污染(化学超标鉴定)
4. 英国-从污水泵站向地表水直接排放污水，导致地表水水质污染(化学超标鉴定)
5. 斯洛文尼亚-危险废物储存实施发生大规模火灾导致土地和水污染，影响自然保护区(生态损害)
6. 丹麦-在自然保护区(Natura 2000)内的种植活动导致保护区的草原栖息地破坏(物理生境损害)
7. 苏格兰(英国)-化学物质释放进入水体，导致大量鱼类死亡(水生生物损害)
8. 爱尔兰-在生态保护区内有意毁坏了受保护石南丛的生境(物理生境损害)
9. 马耳他-在特殊保护区(SAC)非法铺设了进口材料，潜在影响保护区生境(物理生境损害)
10. 克罗地亚共和国-职业活动中在不受管制的场地上非法倾倒废物造成的土地污染(未鉴定损害)
11. 捷克共和国-制药生产工厂违规排放对地下水、土壤和建筑物的污染，导致一系列环境损害后果
12. 保加利亚-由于罐壁破裂，罐内储存的危险废物泄漏，导致潜在的水环境和空气环境损害(未鉴定损害)
13. 希腊-废物处理回收设施发生毁灭性火灾，导致大量污染物未经处理进入环境(未鉴定损害)
14. 西班牙-城市区域由于加油站管理问题而造成周边环境土壤和地下水污染(未鉴定损害)
15. 荷兰-化学品储存和包装设施的火灾导致有毒物质的泄露，进而污染环境(未鉴定损害)
16. 芬兰-通过冷却水渠化释放液压油造成地表水污染(未鉴定损害)
17. 瑞士-货运列车因排放了危险化学品而发生突发性环境污染事故(未鉴定健康或生态损害)
18. 拉脱维亚-化学品仓库的火灾引起大量化学品泄漏，导致潜在的大气和水环境损害(未鉴定损害)

生态环境损害评估鉴定中采用的技术路线和环境法规制度依据



欧盟成员国典型环境损害性质分析案例及环境责任法的界限(IMPEL, 2020)



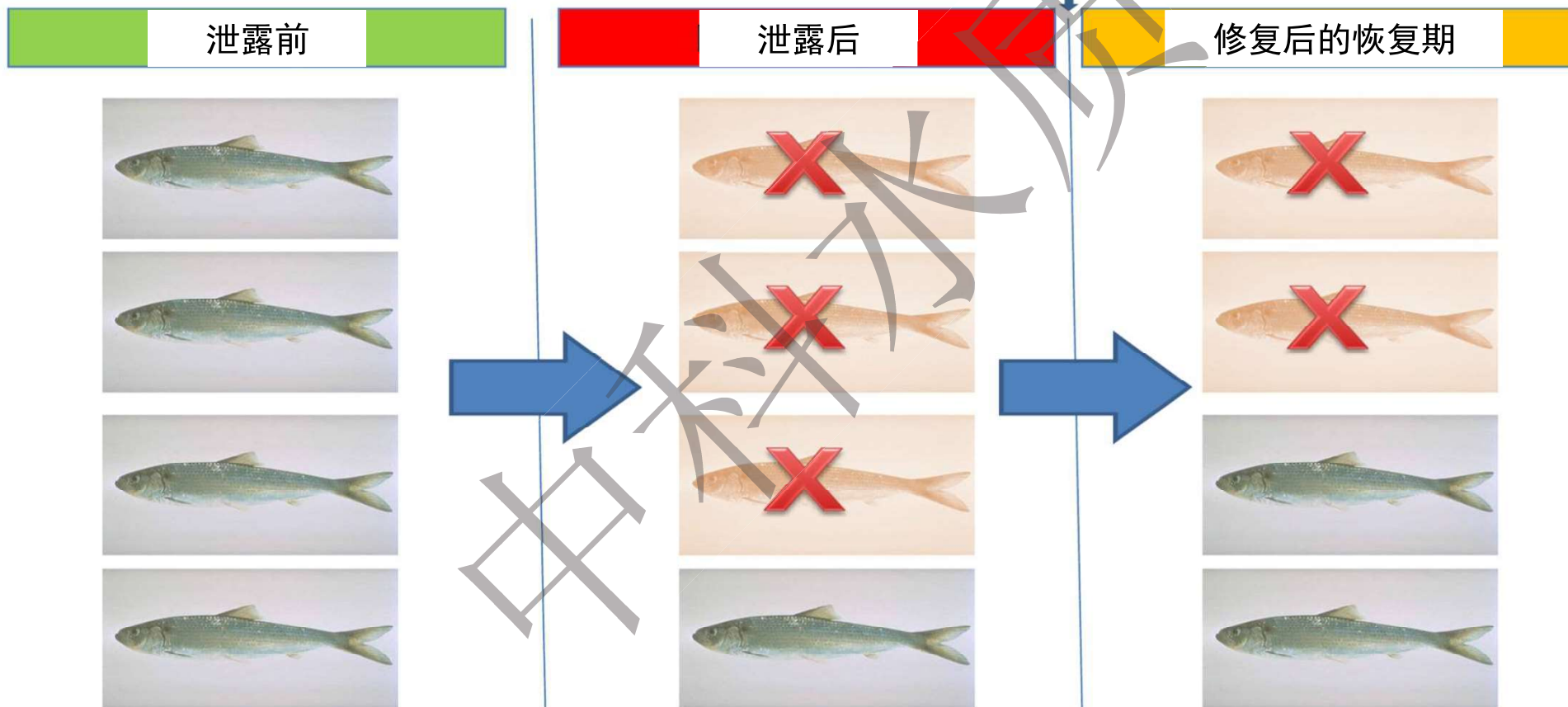
美国执行清洁水法(CWA)中列举的河流水体受损现象(303d水体清单)

Cause of Impairment Group	Miles Threatened or Impaired
Pathogens	187,872
Sediment	138,874
Nutrients	118,831
Organic Enrichment/Oxygen Depletion	98,037
Temperature	94,488
Metals (other than Mercury)	94,384
Polychlorinated Biphenyls (PCBs)	82,311
Mercury	72,554
Habitat Alterations	63,019
Turbidity	47,750
Cause Unknown	45,318
Cause Unknown - Impaired Biota	44,900
Flow Alteration(s)	41,329
Salinity/Total Dissolved Solids/Chlorides/Sulfates	38,072
pH/Acidity/Caustic Conditions	33,740
Pesticides	18,069
Ammonia	12,160
Total Toxics	11,174
Other Cause	9,273
Biotoxins	6,450
Algal Growth	5,823
Dioxins	5,061
Toxic Inorganics	4,706
Toxic Organics	4,677
Oil and Grease	2,725
Nuisance Exotic Species	1,229
Trash	1,219
Radiation	1,101
Taste, Color and Odor	990
Chlorine	585
Noxious Aquatic Plants	318
Fish Consumption Advisory	303
Cause Unknown - Fish Kills	89
Nuisance Native Species	56

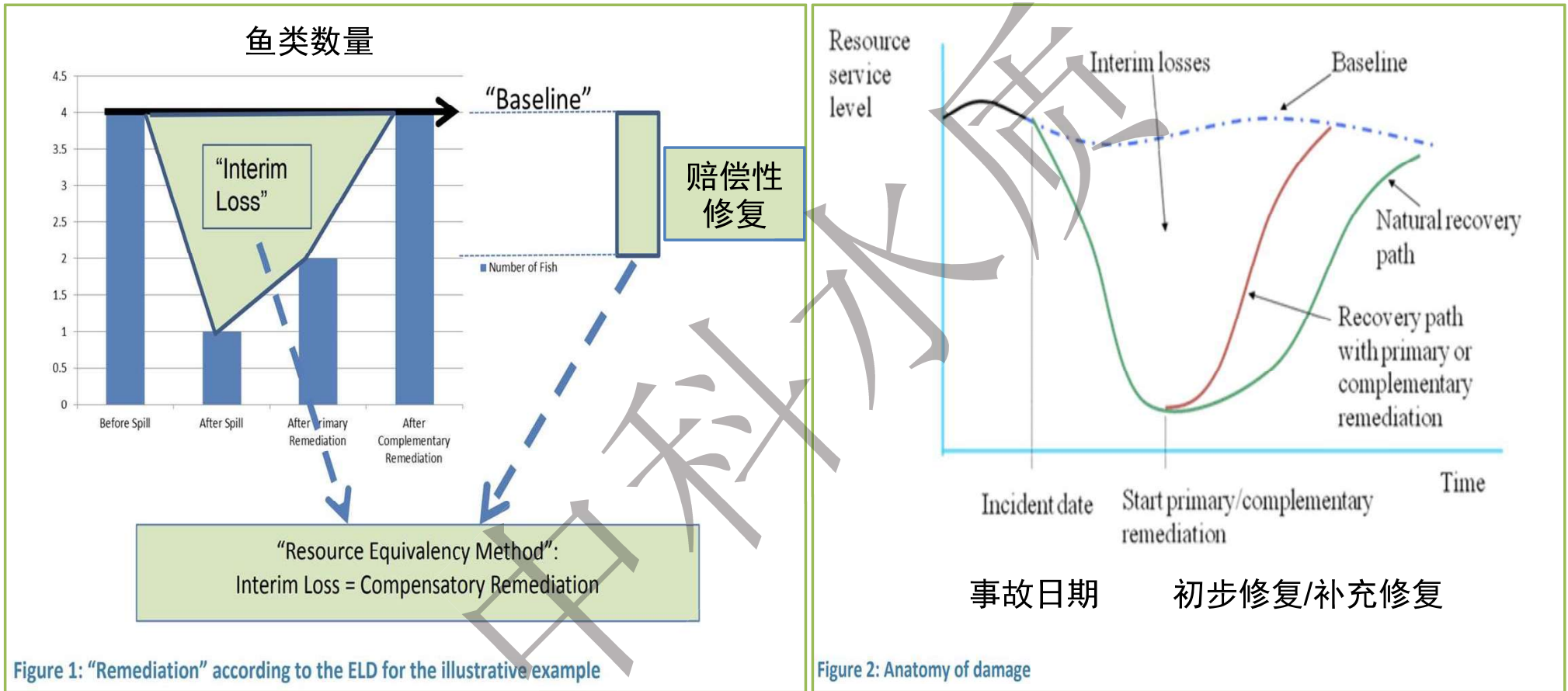
1. 病原体超标(雨污水)
2. 沉积物淤积(土地利用方式)
3. 营养盐超标(污水排放)
4. 有机质蓄积/缺氧(?)
5. 温度超标(环境基流)
6. 金属(除汞)超标(工业排放)
7. 汞超标(?)
8. 栖息地被破坏(?)
9. 浊度超标(?)
10. 原因不明的水质退化(?)
11. 原因不明生物条件受损(?)
12. 流速改变(闸坝调控)
13. 盐度/TDS等异常(海水入侵)
14. pH/酸度等超标(?)
15. 农药超标(点源或面源)
16. 游离氨超标(点源或面源)
17. 存在综合毒性(工业或场地)
18. 其他原因(?)
19. 生物毒素超标(藻华)
20. 藻类超常生长(营养盐过剩)
-

危险化学品储存装置泄露对水生生物的影响(欧洲环境责任法, IMPEL, 2015)

Benefits of Cleanup Actions



环境污染事件所导致的生物多样性受损：以某个河段内鱼类数量变化为例



资源等价方法：过渡期损失(Interim Loss)=赔偿性修复的费用；生态服务功能损失=自然恢复周期内损失

美国水质调查中按照水功能区分类的水质评价指标(USEPA, 1997年简化版)

水质目标	保护水生生物/野生动物	景观娱乐水体	饮用水源	水产品消费
核心指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 生物量和生物多样性 ● 溶解氧, 温度, pH ● 物理生境质量 ● 水流流速和连通性 ● 营养盐和富营养化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 病原菌 ● 超常生长的水草 ● 叶绿素 ● 水流速度 ● 植被覆盖度 	<ul style="list-style-type: none"> ● 病原菌 ● 金属污染物 ● 硝酸盐 ● 浊度 ● 水流速度 ● 取水口附近植被覆盖 	<ul style="list-style-type: none"> ● 病原菌 ● 有毒有机污染物 ● 有毒重金属 ● 藻毒素
	(湖泊水体附加指标)	(湖泊水体附加指标)		
	● 富营养化条件	● 透明度		
	(湿地水体附加指标)	(湿地水体附加指标)		
	● 湿地水文地貌	● 湿地水文地貌和功能相关参数指标		
	● 污染物相关参数指标			
补充指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 水体综合毒性 ● 沉积物综合毒性 ● 特征污染物 ● 优先污染物 ● 生物体健康状况 	<ul style="list-style-type: none"> ● 毒害污染物 ● 特征污染物 ● 人文文化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 挥发性有机物 ● 特征污染物 ● 亲水性农药 ● 营养盐 ● 藻密度 	<ul style="list-style-type: none"> ● 特征污染物

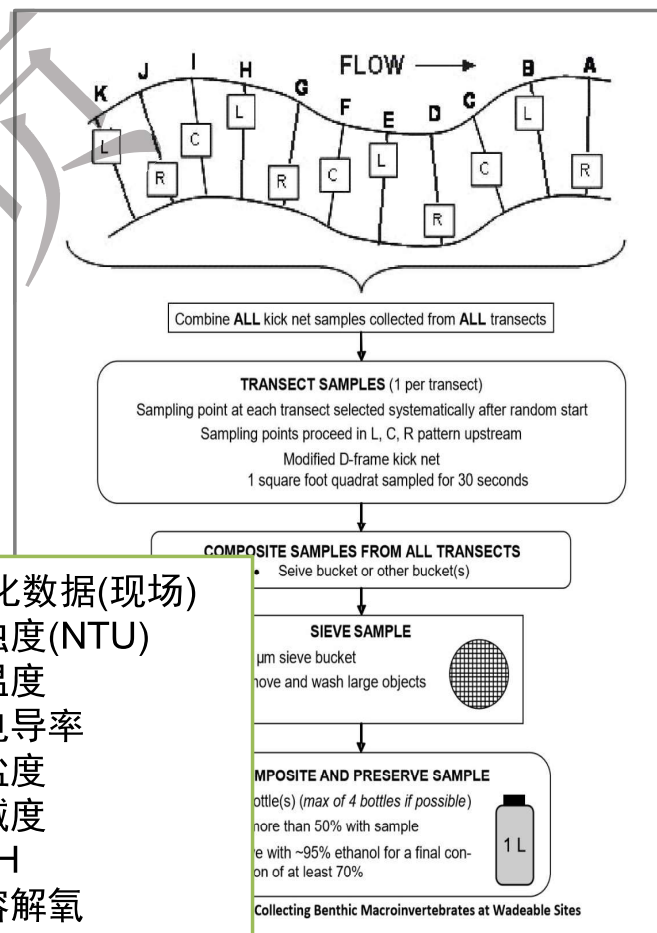
核心指标: 表征设定使用功能水体受损状态的参数, 用于执行监测规划, 水质改善评价, 建立水质标准

补充指标: 当核心指标指示水体使用功能受损时, 通过筛选程序方法确定特征污染因子的参数, 包括水质基准指标、NPDES中提出的控制指标和其他相关指标

环境损害的野外调查和数据收集：加州受损河段生物调查规范(根据环境损害调查特点修改)

调查河段情况描述/现场可视状态及其评分

- ▶初步确定受损河流断面长度及其地理坐标，划分出调查河段(3个以上)
- ▶描述每个采样河段情况和布设采样河段(河面宽度10米时采样长度150米)
- ▶在采样河段均匀布设11个采样点(A-K)，采集相邻2点的中间点和收集样品
- ▶记录各点现场测量数据，拍照新、旧水线、山火和其他可视现场情况



底栖生物数据(实验室)

- ▶底栖藻类
- ▶底栖大型无脊椎动物

水生生物数据(实验室)

- ▶水生植物
- ▶底栖大型无脊椎动物
- ▶鱼类

联系毒性数据与有毒物质(实验室)

- ▶相关涉水法规中列举的有毒污染物
- ▶文献资料中的毒性数据(如PNECs)
- ▶综合毒性及的毒性因子甄别(TIE)

物理生境数据(现场)

- ▶底质情况，如有机淤泥
- ▶河岸稳定性
- ▶交错带植被覆盖
- ▶河流宽度/湿区宽度
- ▶底栖藻类覆盖度
- ▶大型水生植物覆盖度
- ▶河道遮阴
- ▶河道内生境复杂性
- ▶河道坡度
- ▶河道蜿蜒程度
- ▶鹅卵石覆盖情况
- ▶人类扰动情况

生物评价：美国流域水体质量评价中的快速生物评价指南(USEPA, 2012)

- 生物评价(Biological Assessment)是采用生物监测方法(Biomonitoring)对生命周期或部分生命周期生活在水体中的生物进行调查和评价生物条件(Biological Condition)的过程；
- 生物调查(Biological Survey)是收集水体生物群落代表性样本(或生物指示物)的过程
- 生物指标(Biological Indicators)是一组代表性的生物个体或群体，如鱼、底栖动物、藻类、两栖类、大型植物和鸟类样本的分类分析鉴定(未来主要采用环境DNA方法)
- 生物参数(Biological Indices)是单个、一种、一类或多类生物指标的矩阵，用来评价生物个体和群落整体情况，如鱼类生物完整性指数(IBI)、无脊椎动物指数(BI)，浮游动物指数(EPT)等；
- 生物条件参数可以是代表性物种指数、某个类群的指数或整体多指标矩阵(Matrix)构成的指数；
- 环境损害调查中的生物评价通常采用观察/预期比值(O/E)来比较污染源上游采样河段(Reference Site)与污染源下游河段(Damage Sites)之间生物指数的差异。

Undisturbed/Minimally Disturbed Stream (Reference Site)



— Undisturbed=good

Nutrient Enriched Stream

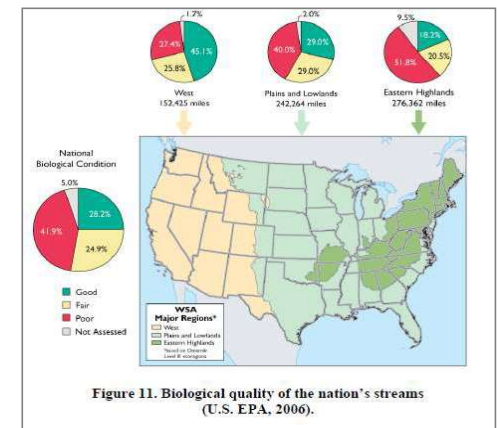


Disturbed=fair

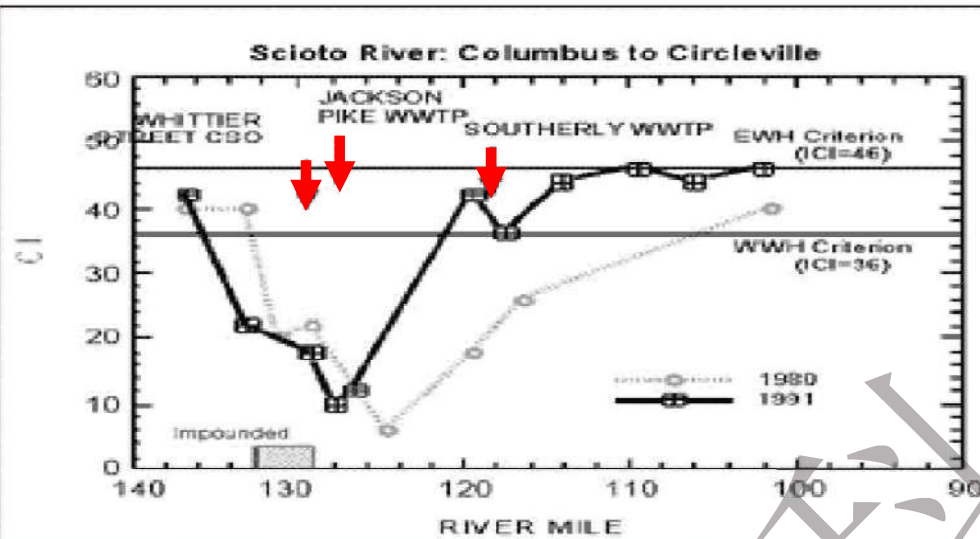
Drainage from a Shopping Mall Parking Lot



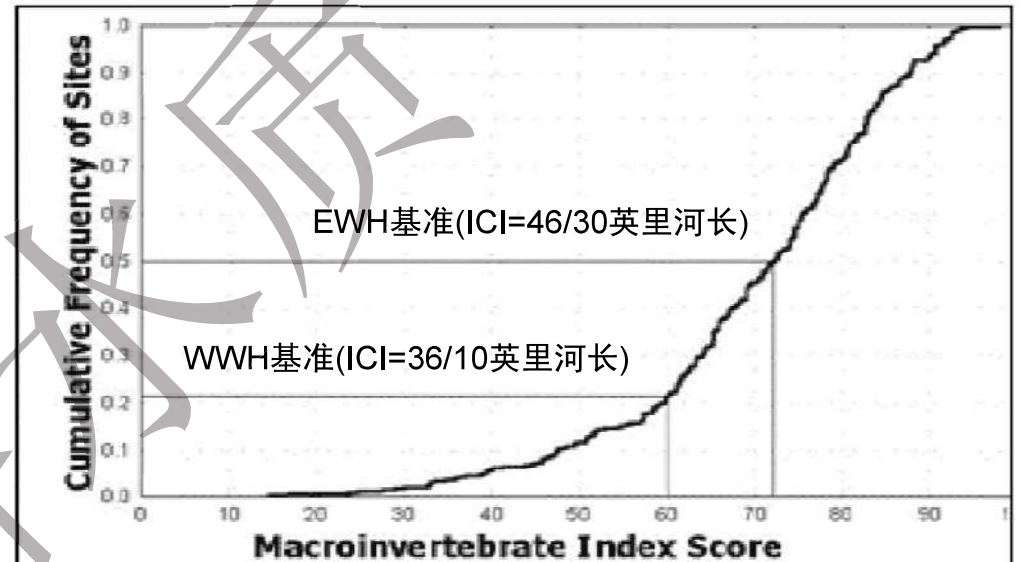
Impaired=bad



用生物指数评价受损状态：污染源与生物条件之间的关系以及决策情景(USEPA的TMDL案例分析)



Spatial and temporal trends of Ohio's Invertebrate Community Index (ICI) values for the Scioto River, Columbus to Circleville (from Ohio EPA)



Spatial and temporal trends of Ohio's Invertebrate Community Index (ICI) values for the Scioto River,

无脊椎动物群落指数(ICI)在污染源发生前和发生后的显著改变均标志了生物条件受损。1980年和1991年指数的变化显示污染源部分得到控制。

计算生物指数的累积发生频度(采样点数), 并设定损害程度界定的分位数。图中EWH和WWH基准对应的超标河断长度分别是10英里和30英里。

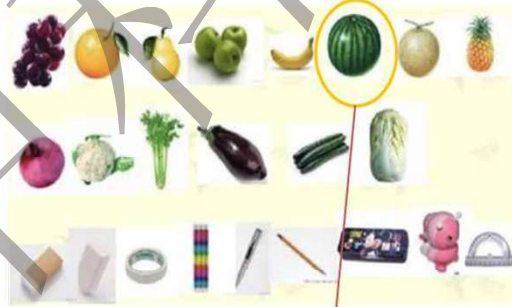
resource at any certain level.

受损状态的生物评价：分类学方法(生物多样性保护)和环境DNA技术及其在生态损害鉴定中的应用

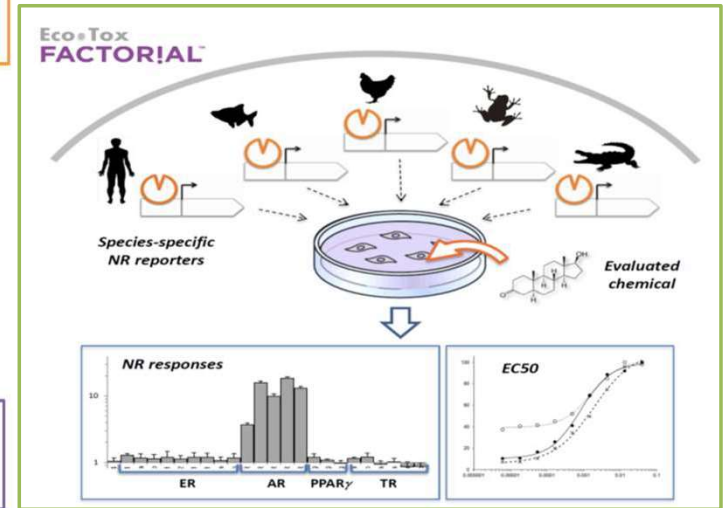
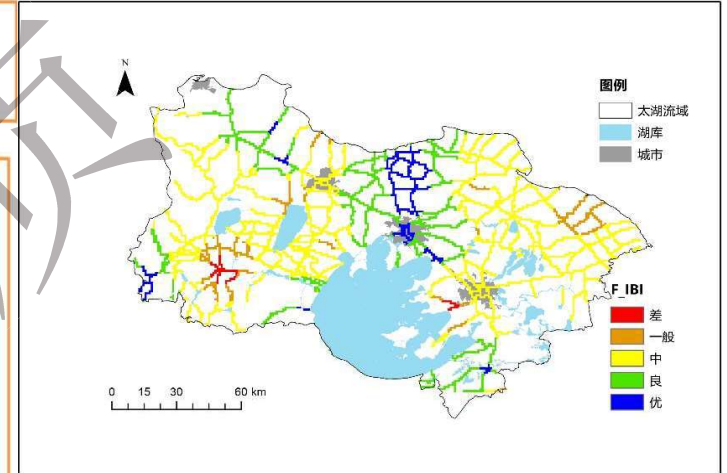
- ▣ A : Marine habitats
- ▣ B : Coastal habitats
- ▣ C : Inland surface waters
 - ▣ C1 : Surface standing waters
 - ▣ C1.1 : Permanent oligotrophic lakes, ponds and pools
 - ▣ C1.2 : Permanent mesotrophic lakes, ponds and pools
 - ▣ C1.21 : Benthic communities of mesotrophic waterbodies
 - ▣ C1.22 : Free-floating vegetation of mesotrophic waterbodies
 - ▣ C1.23 : Rooted submerged vegetation of mesotrophic waterbodies
 - ▣ C1.231 : Large pondweed beds
 - ▣ C1.232 : Small pondweed communities
 - ▣ C1.24 : Rooted floating vegetation of mesotrophic waterbodies
 - ▣ C1.241 : Floating broad-leaved carpets
 - ▣ C1.2411 : Waterlily beds
 - ▣ C1.24111 : *Nuphar* beds
 - ▣ C1.24112 : Northern *Nymphaea* beds
 - ▣ C1.24113 : Transylvanian hot-spring lotus beds
 - ▣ C1.2412 : Water chestnut carpets
 - ▣ C1.2413 : Fringed waterlily carpets
 - ▣ C1.2414 : Broad-leaved pondweed carpets
 - ▣ C1.2415 : Amphibious bistort carpets
 - ▣ C1.2416 : *Nelumbo nucifera* beds
 - ▣ C1.25 : Charophyte submerged carpets in mesotrophic waterbodies
 - ▣ C1.26 : Peatmoss and *Utricularia* communities of mesotrophic waterbodies
 - ▣ C1.27 : Plankton communities of mesotrophic standing waters
 - ▣ C1.3 : Permanent eutrophic lakes, ponds and pools
 - ▣ C1.4 : Permanent dystrophic lakes, ponds and pools
 - ▣ C1.5 : Permanent inland saline and brackish lakes, ponds and pools
 - ▣ C1.6 : Temporary lakes, ponds and pools
 - ▣ C1.7 : Permanent lake ice
- ▣ C2 : Surface running waters
 - ▣ C2.1 : Springs, spring brooks and geysers
 - ▣ C2.2 : Permanent non-tidal, fast, turbulent watercourses
 - ▣ C2.3 : Permanent non-tidal, smooth-flowing watercourses
 - ▣ C2.4 : Tidal rivers, upstream from the estuary
 - ▣ C2.5 : Temporary running waters
 - ▣ C2.6 : Films of water flowing over rocky watercourse margins

C类：内陆地表水类型
C1-地表静止水体
C1.1-永久性贫营养湖泊、池塘和蓄水池

C类：内陆地表水类型
C1-地表静止水体
...
C1.2-永久性中营养湖泊、池塘和蓄水池
...
C1.24-挺水植物
C1.241-宽叶覆盖型植物
C1.2411-睡莲
C1.24111-黄睡莲
C1.24112-北方睡莲
C1.24113-特兰西瓦尼亚莲蓬



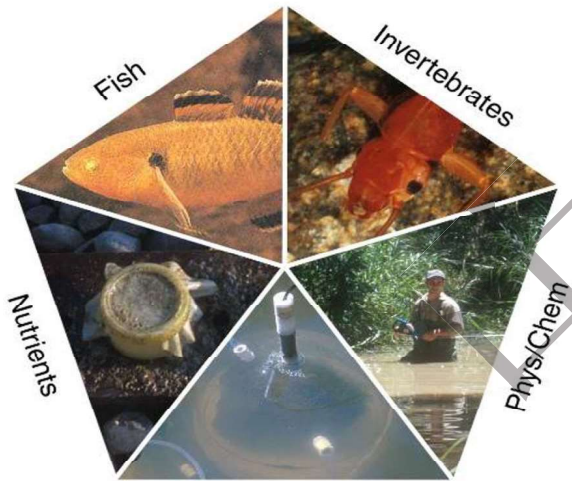
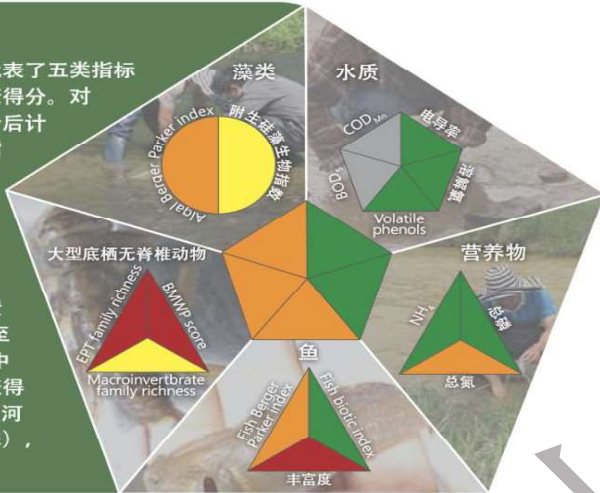
西瓜：植物界被子植物门双子叶植物纲
葫芦目葫芦科西瓜属西瓜种(大兴亚种)



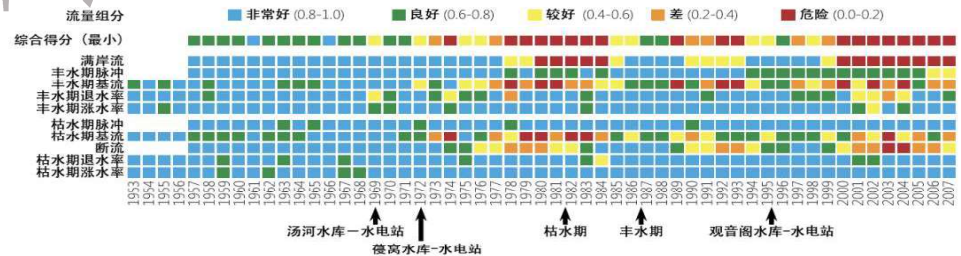
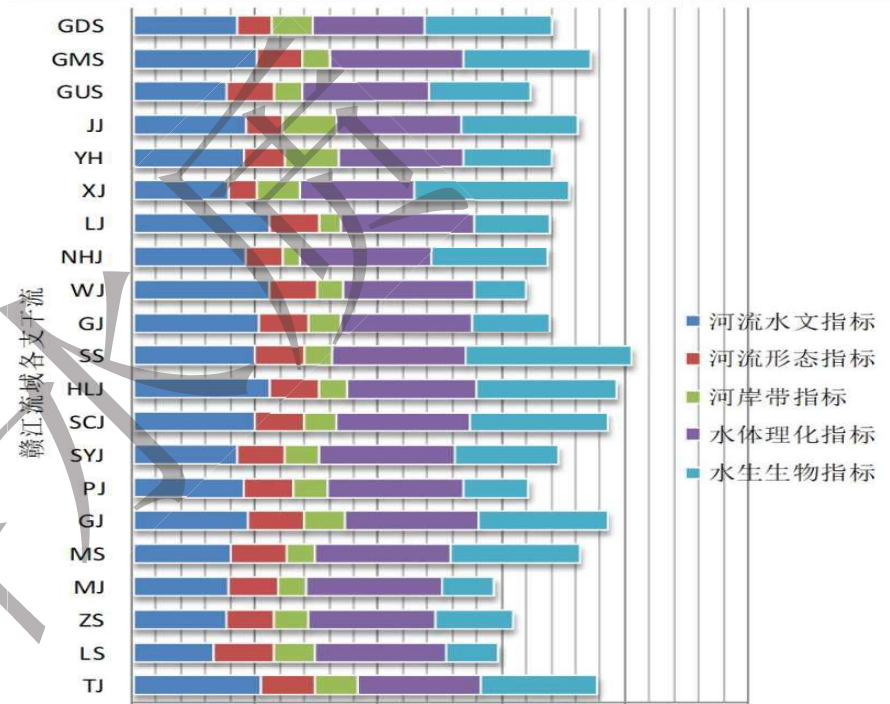
综合参数方法：我国文献或科研项目中采用的中国河流健康评估方法(健康卡方法)

五角形的组成

五角形的五个角分别代表了五类指标群在采样点的河流健康得分。对每类指标群的得分整合后计算出指标群的得分。指标群的得分通过五角形相对应的颜色予以显示：绿色区代表得分在0.6分至1分之间（河流健康状态良好至非常好），橙色区代表得分在0.2分至0.6分之间（河流健康中度退化），红色区代表得分在0分至0.2分之间（河流的健康处于危险状态），灰色代表暂无数据。



Eco Processes



辽阳市IHF值的时间为从1953年到2007年。每年IHF值为以上任意指标的最低值。

中华人民共和国国家标准(GB/T xxxxx_xxxx): 水生态健康监测与评价技术指南(建议稿)

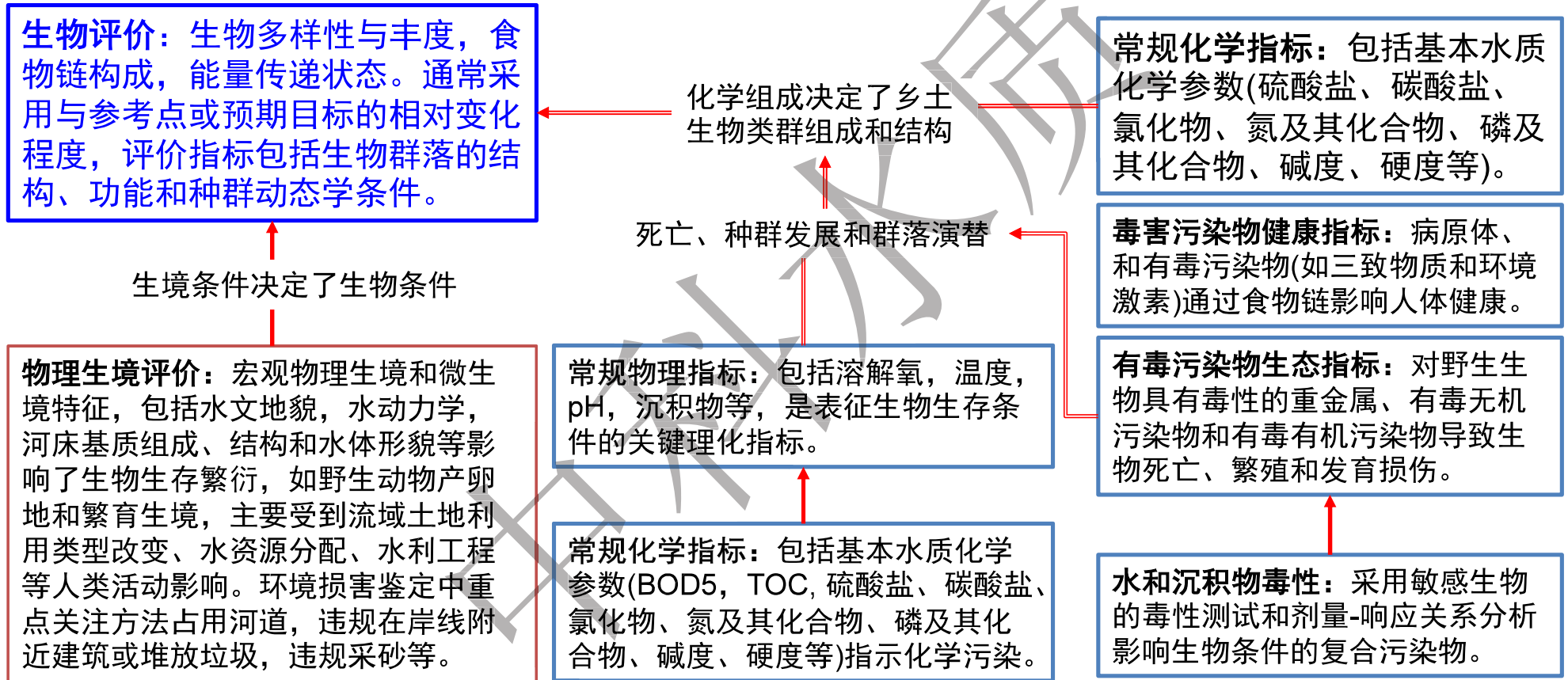
表2 湖泊和水库水生态健康评价指标体系

目标层	系统层	状态层	指标层	指标意义
湖泊和水库水生态健康	物理化学完整性	水质理化	溶解氧	含氧量指标, 水体缺氧会导致水生生物死亡
			电导率	电解质浓度指标
		营养盐	富营养化指数	营养状态指标, 包含叶绿素 a、总氮、总磷、透明度和高锰酸盐指数
			浮游植物	总分类单元数
	Berger-Parker (BP) 优势度指数	最具优势物种指标		
	蓝藻门密度比例%	特定指示物种, 指示富营养化程度		
	生物完整性	大型底栖无脊椎动物	总分类单元数	所有物种丰富度指标
			Berger-Parker (BP) 优势度指数	最具优势物种指标
			Family biotic index (FBI) 指数	敏感性指标, 表征生物的污染耐受程度
		鱼类	总分类单元数	所有物种丰富度指标
Berger-Parker (BP) 优势度指数	最具优势物种指标			

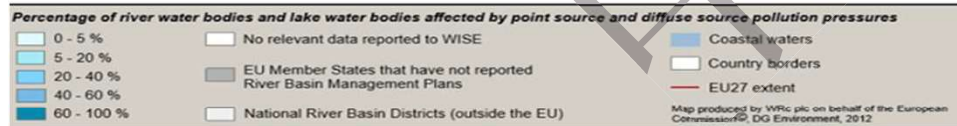
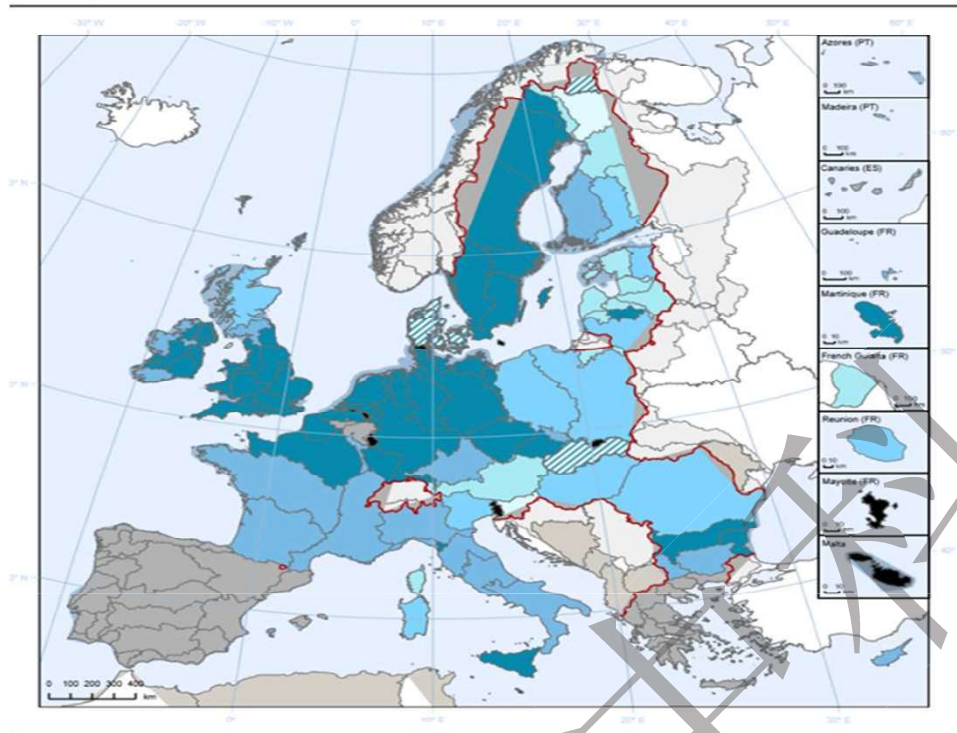
表3 水生态健康评价指标及其计算方法

生物群落	指标	计算方法	评价对象
着生藻类	总分类单元数	统计鉴定的物种总数量	河流
	Berger-Park (BP) 优势度指数	$BP = \frac{N_{max}}{N}$	河流
浮游植物	总分类单元数	统计鉴定的物种总数量	湖泊、水库
	Berger-Park (BP) 优势度指数	$BP = \frac{N_{max}}{N}$	湖泊、水库
	蓝藻门密度比例%	蓝藻门占总浮游植物数量的比例	湖泊、水库
大型底栖无脊椎动物	总分类单元数	统计鉴定的物种总数量	河流、湖泊、水库
	Berger-Park (BP) 优势度指数	$BP = \frac{N_{max}}{N}$	河流、湖泊、水库
	Family biotic index (FBI) 指数	$FBI = \sum_{i=1}^n \frac{g_i m_i}{N}$	河流、湖泊、水库
鱼类	总分类单元数	统计鉴定的物种总数量	河流、湖泊、水库
	Berger-Park (BP) 优势度指数	$BP = \frac{N_{max}}{N}$	河流、湖泊、水库

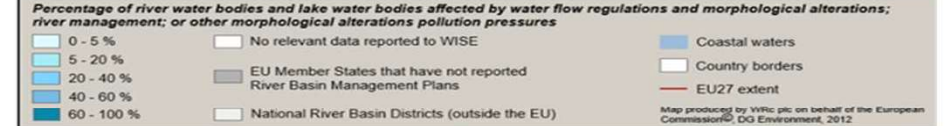
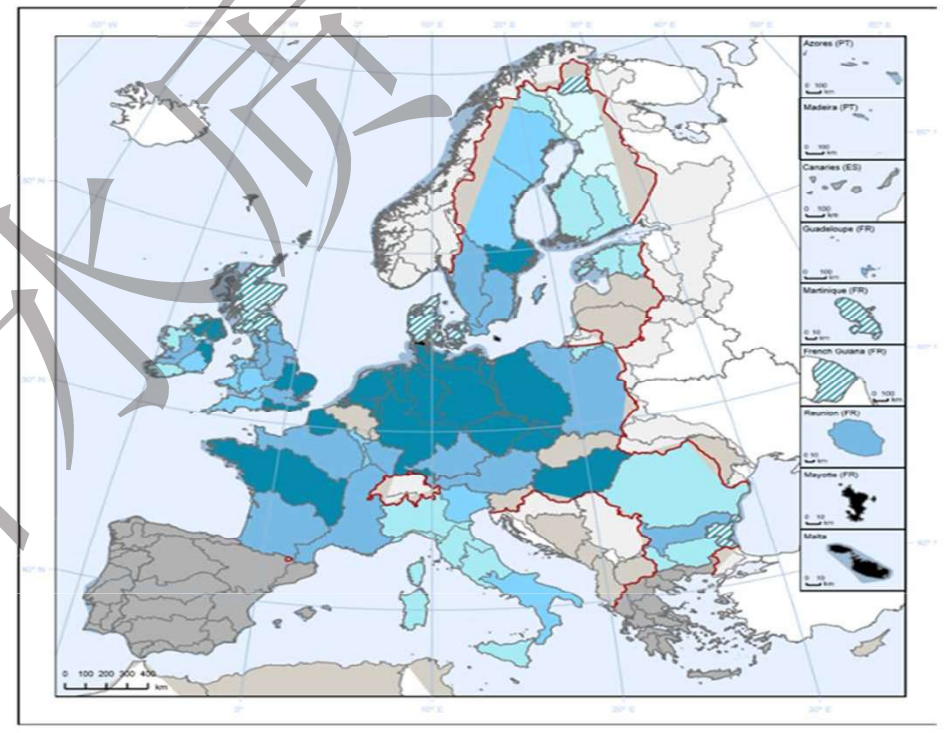
水生态质量评价中相关评价参数的构成关系及其在环境损害鉴定中的因果关系



问题分析：WFD框架下RBMP实施情况评价报告(2012)



点源和扩散源污染引起的水生态退化



水文、地貌和其他因子引起水生态退化

水文和地貌条件损害：代表性的物理生境破坏事件案例(尤其是生态保护区内)



健康河流的物理生境：河流形貌及其蜿蜒-湍流-潭-曲流构造保证了生物多样性

开阔的水陆
交错带截留
了营养物质

蜿蜒保证了
河流结构的
非均质性

水流平缓，
有机质丰富
处是产卵地

此处的障
碍物能够
改变流速

河岸带的数
目能够遮荫，
控制水温

岸边植被覆
盖，防止土
壤侵蚀作用

此处浅滩、
流速加大，
充分曝气

此处是主航
道，也是迁
徙鱼类的主
要通道

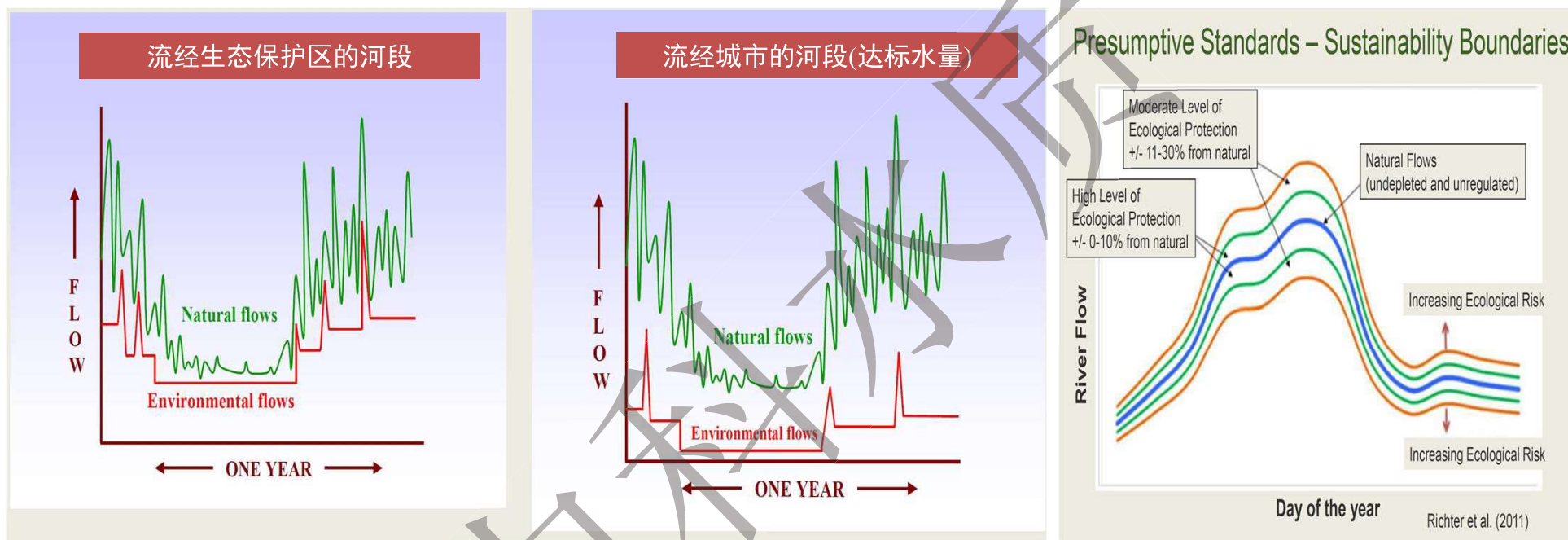




北京门头沟区一条生态修复后的河段

By the noteless photographer Zijian Wang via Huawei Mobile

物理生境条件：保证水体生态学功能和水质达标的最低流量和最佳流量



- I. 在水质目标(水质标准)确定时，重点控制单元的达标可以通过增加流量达标(调水/中水)；
- II. 在重点控制单元环境基流无法保证时，重点控制单元需要通过提标来实现达标；
- III. 调节流域水资源和用水政策控制的政策措施保障生态用水的最低需求。

水资源短缺与物理生境：呼伦湖土著鱼类恢复计划的决策方案和生态修复措施

产漂浮性卵鱼类的产卵场生境：产卵的水温在 16~20°C 之间，产卵时需要有涨水过程或持续大风天气。这类鱼类主要为贝氏鲶。

静水产粘性卵鱼类生境：鲤、银鲫、鲇等鱼类对产卵场要求不严格，一般在静水浅滩、水草丰茂处产卵，产卵场主要分布在湖岸、河流入湖口等水生维管束植物分布广、数量多及沙泥底的水域。

流水产粘性卵鱼类生境：这一类型对产卵水温要求较高，但对产卵场生境要求不高，一般在水深较浅的河道，底质为砂砾石的缓流水浅滩处集中产卵繁殖，受精卵具弱粘性，粘附于砾石或水草上孵化。这类鱼类主要有瓦氏雅罗鱼、黑斑狗鱼。

在蚌内产卵的鱚亚科鱼类：一般在蚌等软体动物较丰富的水域，如静缓流水体、细砂或淤泥底质处，无固定产卵场，主要零散分布于绰尔河干支流的河湾、河汊、浅滩等蚌类分布较多的水域。

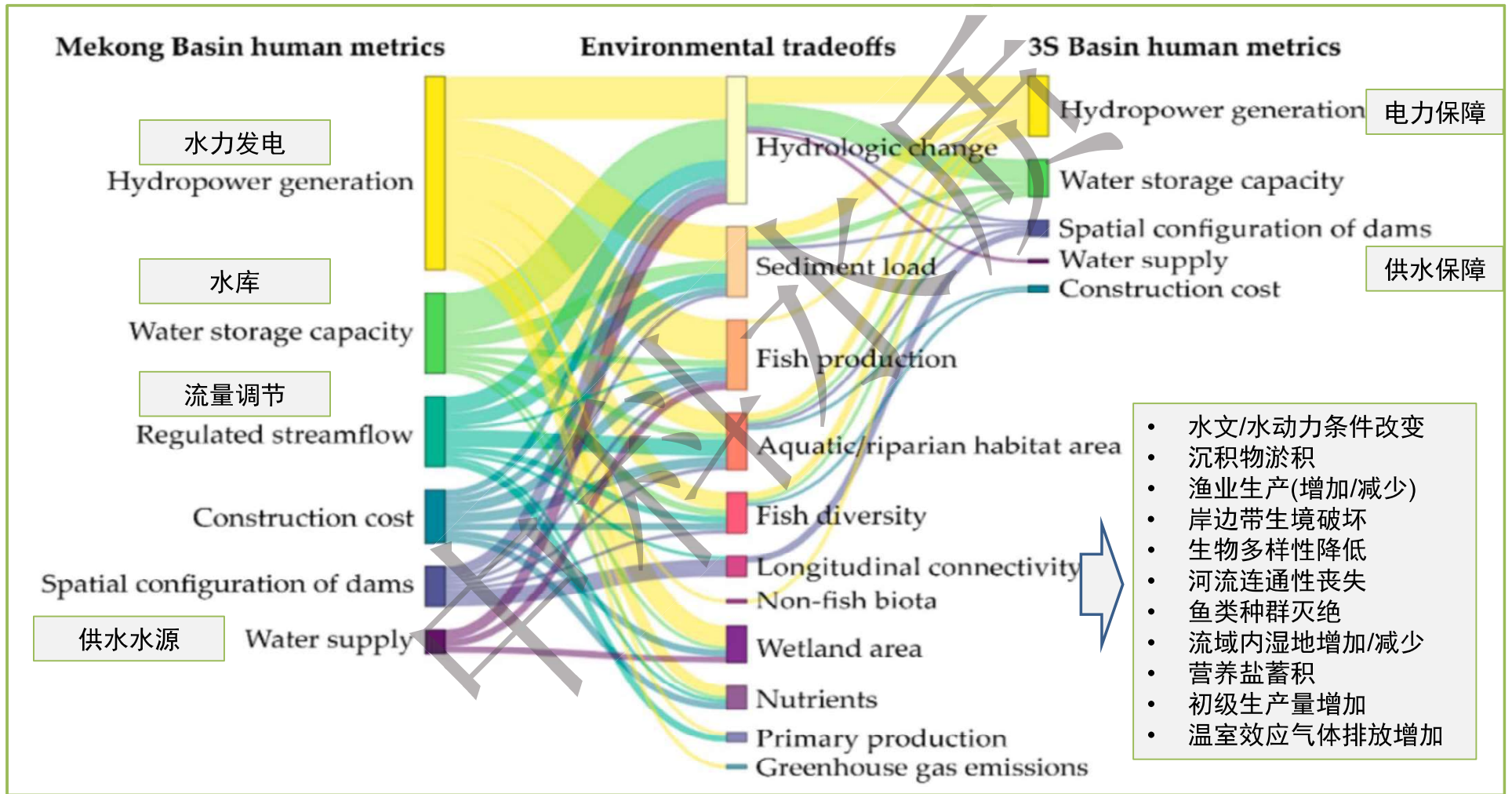


图 2.2-17 呼伦湖主要鱼类三场分布示意图

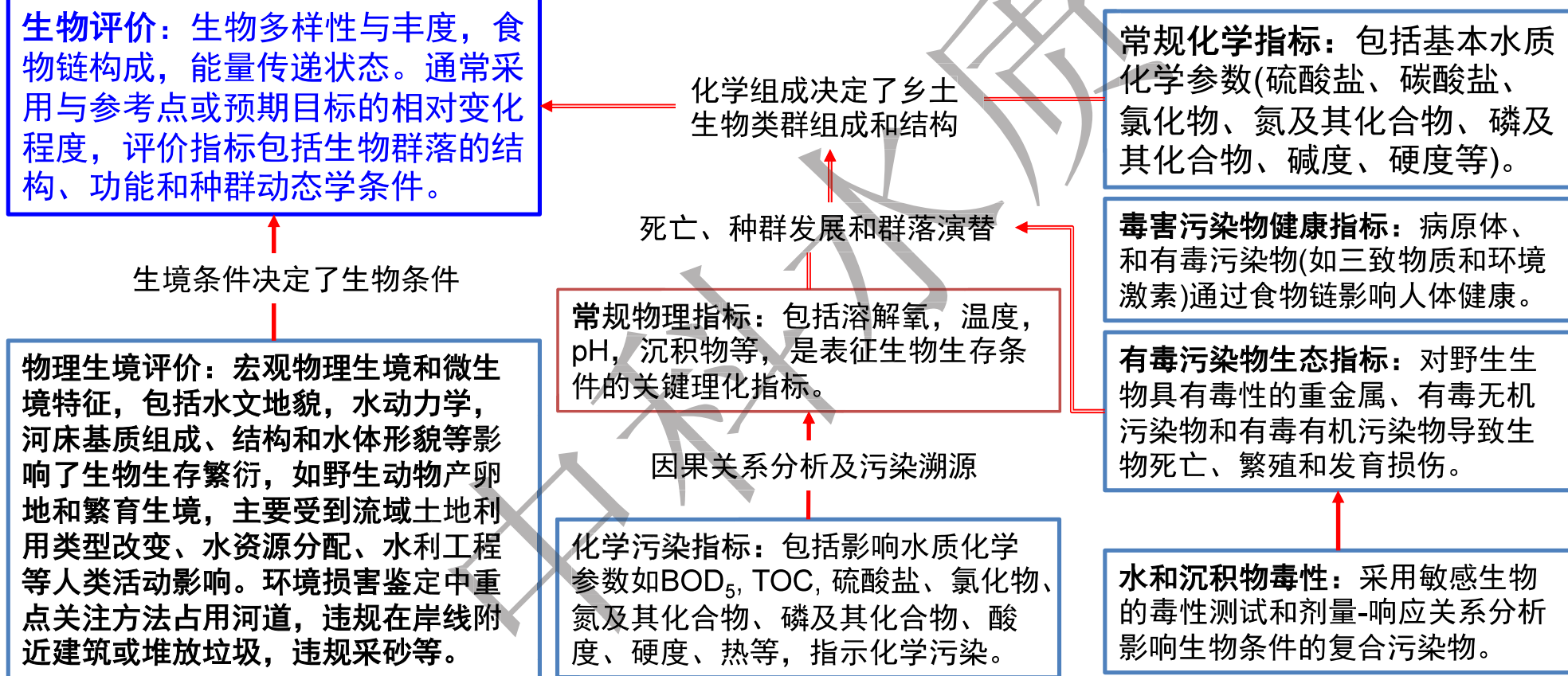
- 一个重要的粘性卵鱼类产卵场是在图1/2所示区域(2012/9)。但是如果继续淤积的话，这个产卵场就会丧失产卵功能，对鱼类种群恢复十分不利。
- 对黑斑狗鱼种群恢复，乌尔逊河(图1/3, 2019/9)连通性非常重要，应该是生态恢复/保护的重点，要有切实可行的水资源调度方案，尤其是产卵期的水文条件保证；

数据来源(呼伦湖土著鱼类恢复方案)：东北师范大学/呼伦湖管理局，2020

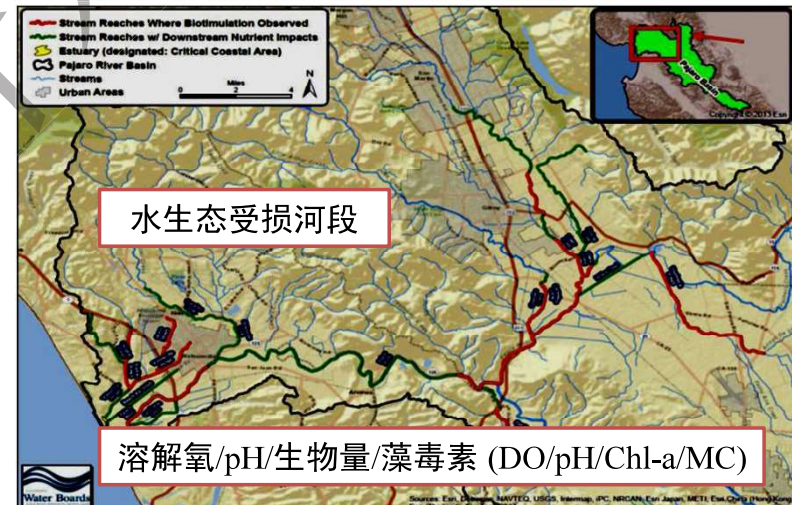
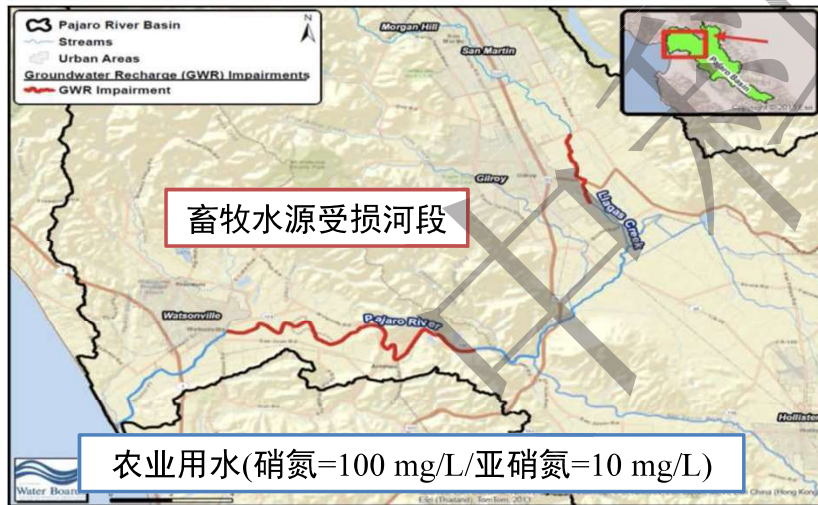
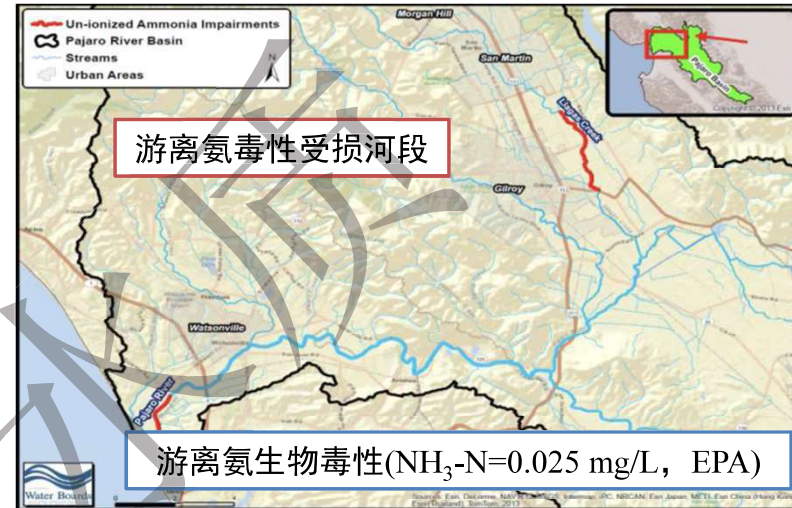
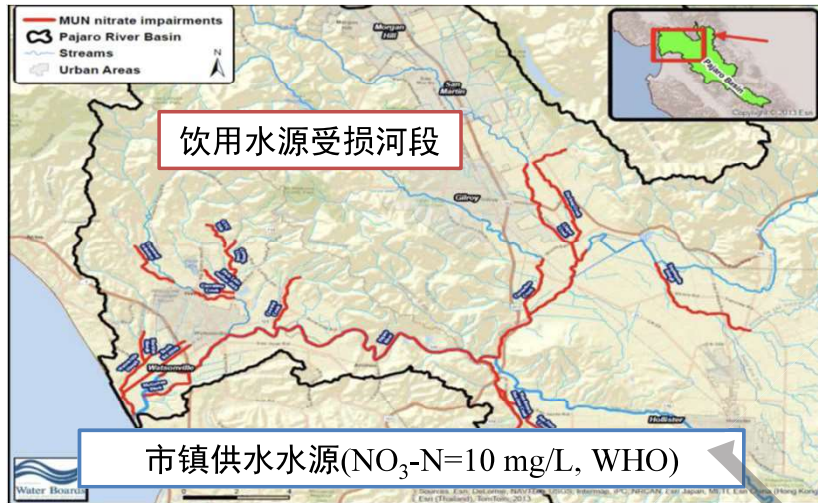
闸坝调控与水生态退化：人与自然之间的贸易纠纷(下湄公河流域案例：S. E, Null, 2020)



水生态系统质量评价中相关评价参数的构成关系及其在环境损害鉴定中的因果关系



营养盐超标水体的损害鉴定：加州Pajaro河分功能区水质受损河段(303d水体)



BOD和氨氮超标排放口下游河道溶解氧含量变化和水生生物多样性改变的的压力-响应关系

氧在水中的扩散速度大约是在空气中扩散速度的 10^{-4}



耗氧物质导致溶氧消耗速率大于补充速率=缺氧



$$tBOD = cBOD_0(1-e^{-k_1t}) + nBOD_0(1-e^{-k_n(t-t_c)})$$

模型计算BOD和氨氮排放后水体自净能力:

C_s : 饱和溶解氧浓度=8 mg/L(90%饱和度)

L_0 : BOD浓度(如排放的 $BOD_5=30$ mg/L)

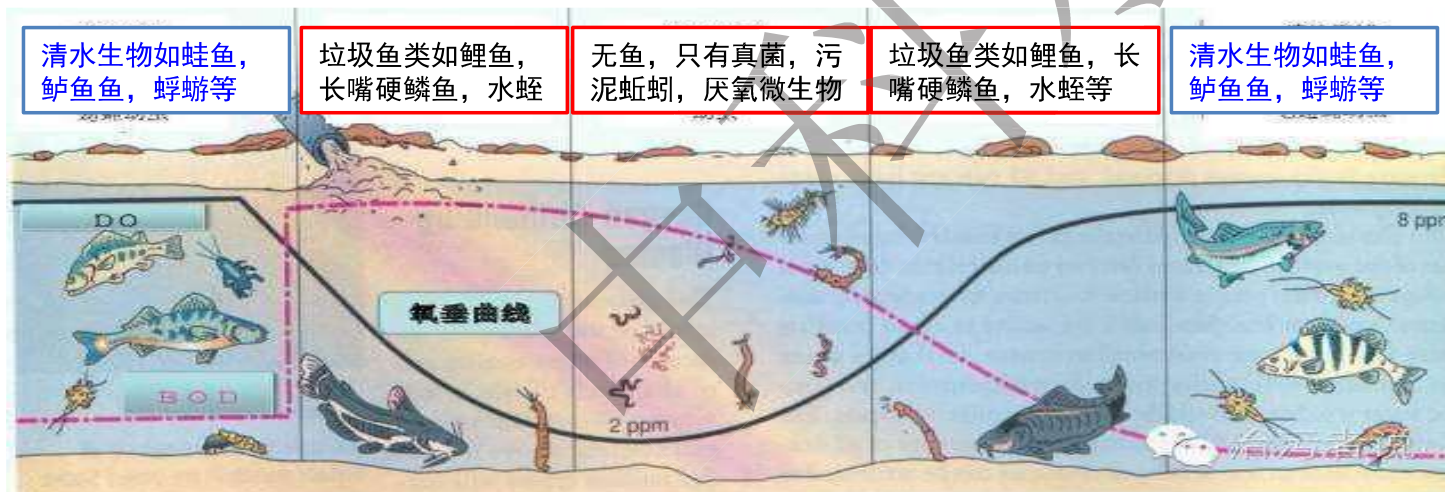
K_1 : DO衰减速率常数(按耗氧速度计算差值=0.3d⁻¹)

K_2 : DO复氧速率常数(按复氧速度计算差值=0.9d⁻¹)

T_c : BOD_5 降解的半衰期(按有机物生物降解速度=2.5d)

C_{min} : 排放所导致的最低DO=3.3 mg/L

耗氧物质所导致的局部水体缺氧受多种因素影响, 流速限制导致缺氧距离随流速降低迅速延长



微生物因素:

- 细胞密度
- 细胞活性
- 微生物种群结构
- 微生物适应性

BOD性质:

- 有机物组成
- 降解的生物有效性

环境因素

- 温度、pH、溶解氧等
- 水流速度
- 悬浮颗粒物/底泥性质
- 水生植物

原图UNESCO-IHE

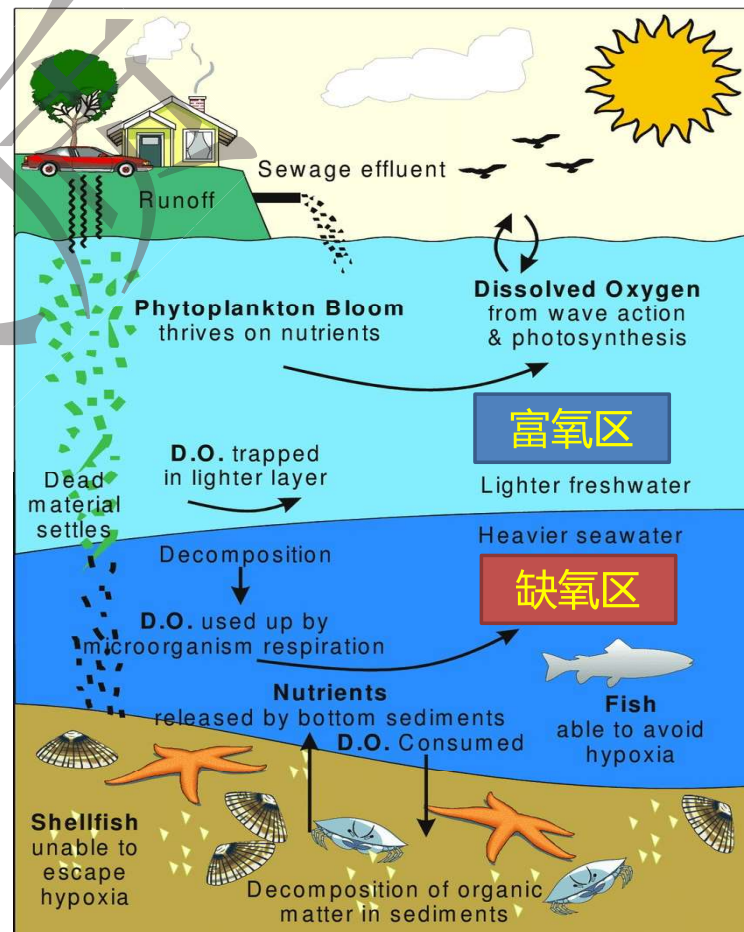
缺氧区长度或时间进程

水体pH、COD、溶解氧与生物多样性指数之间的关系和建设部黑臭水体的DO界定值

鱼类种类	溶解氧耐受量
鲶鱼, 泥鳅	> 1 mg/L
底部鱼类、底栖软体类动物、虾	> 3 mg/L
鲫鱼、鲤鱼	> 5 mg/L
浊水鱼, 青鱼, 草鱼, 鲢鱼	> 6 mg/L

水体生物等级	pH	DO	COD	生物多样性指数	指示生物
清洁	8.08	10.71	3.22	3.21	蜉蝣目幼虫、蜻蜓目幼虫、仙女虫、杜氏蚌
轻度污染	8.25	8.38	6.5	2.48	四节蜉蝣、扁卷螺类、毛颈虫
中度污染	8.12	6.7	53.4	1.77	梨形环棱螺、羽摇蚊幼虫
重度污染	7.78	3.36	138.7	0.65	霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、红色摇蚊幼虫、颤蚓
严重污染	7.11	2.11	883.1	0	无生物

参数	GB12941-91-C	GB3838-2002-V	建设部指南 (轻度黑臭)	建设部指南 (重度黑臭)
溶解氧	3	2	0.2~2.0	< 0.2

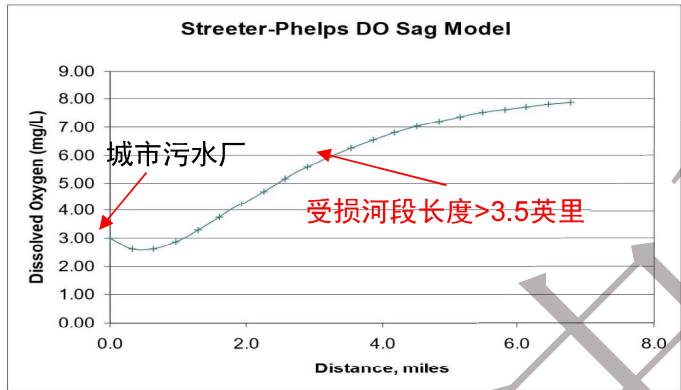
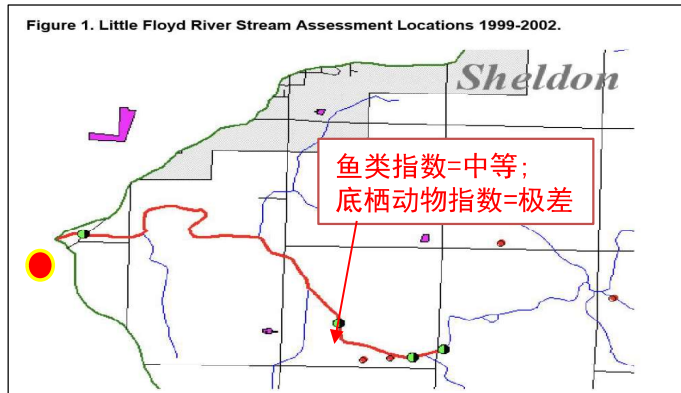


US EPA关于保护野生生物的溶解氧水质基准推荐值 (水质基准金皮书, 1986)

	冷水生物(mg/L)		暖水生物(mg/L)	
	生命早期阶段	其他生命阶段	生命早期阶段	其他生命阶段
30d平均值	NA	6.5	NA	5.5
7d平均值	9.5(6.5)	NA	6.0	NA
7d均值min	NA	5.0	NA	4.0
1d均值min	8.0(5.0)	4.0	5.0	3.0

- 括号内的数字是水柱浓度。
- 基准灵活性：建议可将1年内超过7d平均浓度不达标的次数不多3次。或将保护冷水生物的1d基准增加到4.5mg/L，将保护暖水生物的1d基准增加到3.5mg/L。

案例分析：因水体缺氧而导致的生物条件受损(Little Floyd River Biological TMDL, IOWA)



通过水文水质模型计算水环境容量(3个不同流量下的环境容量)

Table 6. Oxygen Demand Capacity at Three Stream Flows.

Streamflow (cu ft/hr)	Oxygen Demand Load Capacity (lbs/hr)
68,400	18.7
46,800	6.8
27,000	1.8

通过水质监测获得当前的水体需氧量(3个不同流量下的BOD负荷量)

Table 7. Existing Oxygen Demand at Three Stream Flows.

Streamflow (cu ft/hr)	Existing Oxygen Demand Load (lbs/hr)
68,400	22.4
46,800	10.2
27,000	3.8

计算水环境容量和水体需氧量的差值=减排量(3个不同流量下需要减排量)

Table 8. Departure From Oxygen Demand Capacity at Three Stream Flows.

Streamflow (cu ft/hr)	Departure From Oxygen Demand Load Capacity (lbs/hr)
68,400	3.7
46,800	3.4
27,000	2.0

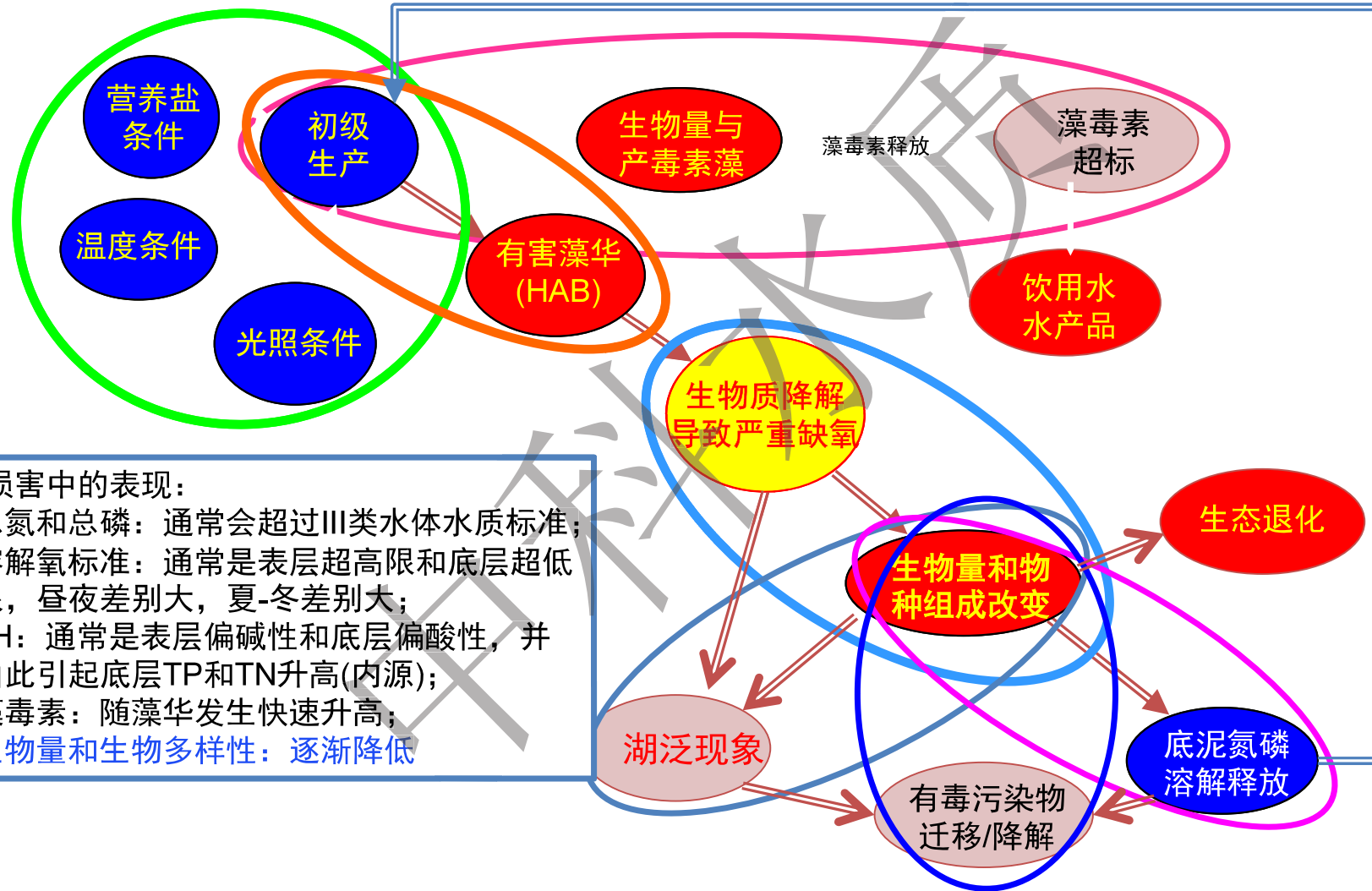
通过相关模型率定后分配给点源和面源复合削减量(采用最差情景假设)

Table 10. TMDL for Oxygen Demand Summary at Three Stream Flows.

Streamflow (cu ft/hr)	TMDL (lb/hr)	WLA (lb/hr)	LA (lb/hr)	MOS (lb/hr)
68,400	18.7	0	16.8	1.9
46,800	6.8	0	6.1	0.7
27,000	1.8	0	1.6	0.2

- 主要问题：由于缺氧和淤泥积累导致河段生物完整性受损(鱼类FI=fair; 底栖动物BMI=poor)
- 按照最差情景(最小河流流量)假设设计负荷削减，MOS取值10%，分配给点源18.7 lb/hr(全部)
- 环境损害计算：预防性损失=污水厂减排实施的建设费用；修复性损失=3.5英里河段生态修复工程费用

营养盐过剩导致水体富营养化的生态学过程及相关水质参数的改变(7个模块)

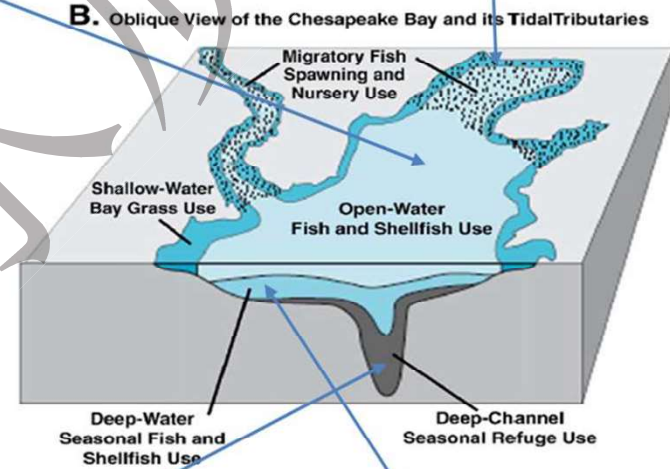
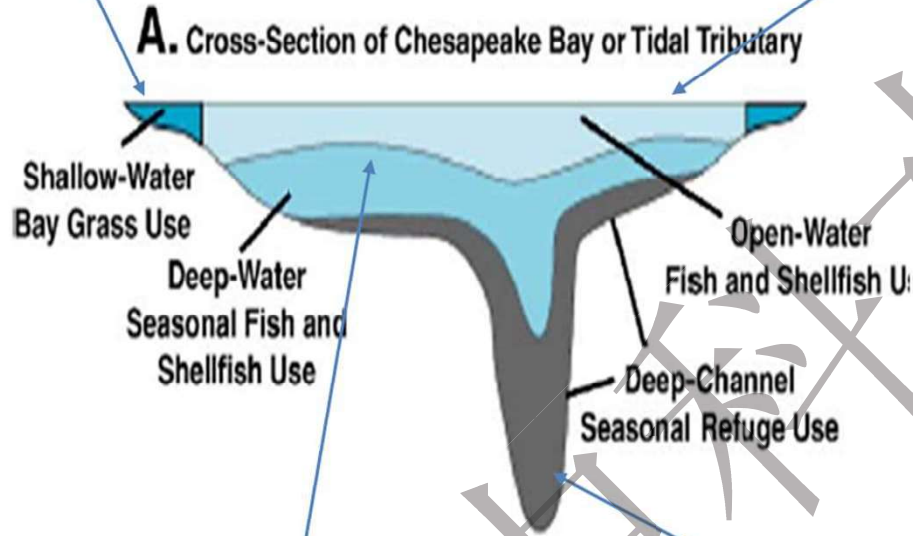


美国切萨皮克湾保护水生生物的溶解氧标准及根据功能区溶解氧要求制定营养盐控制策略

浅水湾水草功能区
(无溶解氧限制)

开放水面鱼类和贝类功能区
(30d平均浓度: >5 mg/L)

迁徙鱼类产卵和抚育功能区
(7d平均浓度: >6 mg/L)



深水季节性鱼类和贝类功能区
(30d平均浓度: >3 mg/L)

深水通道季节性逃避功能区
(任何时刻: >1 mg/L)

深水季节性鱼类和贝类功能区
(1d平均浓度: >2.3 mg/L)

“Biological Assessment—Rather Than Chemistry-- is the Best Way to Assess Aquatic Life Uses”

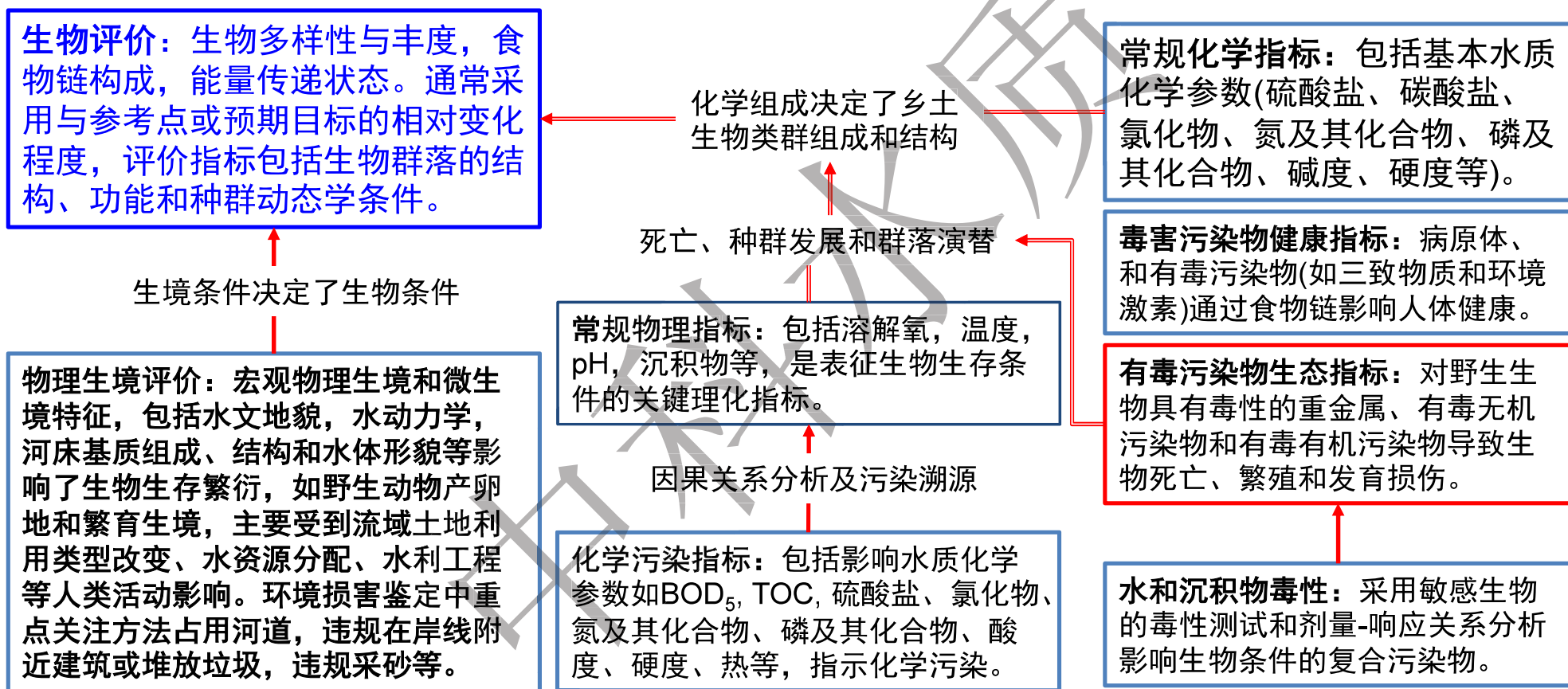
Also True for Nutrient Pollution Impacts

- 营养盐过剩导致水体富营养化，后果是导致水体的有机质蓄积和缺氧，但是如果将重点放在营养盐浓度本身则是误导；
- 保护水生生物目的驱动下的营养盐状态评价最好采用生物评价，而不是化学评价方式，对营养盐污染的控制方式亦然；
- 生物评价可以更好地指导恢复由营养盐污染引起的水体使用功能。

- Nutrients can cause eutrophication = excessive accumulation of organic matter
- Focus on alone nutrients can be misleading!
- Biological measures better assessment of beneficial use impacts

资料：加州生物评价计划，2018

水生态系统质量评价中相关评价参数的构成关系及其在环境损害鉴定中的因果关系



工业化学污染导致的环境损害及性质鉴定中适用的管理法规和标准(水环境损害)

化学物质的市场
准入/退出管理



化学物质生产/使用
环境安全管理



化学污染物排放
和环境质量管理



废弃物质资源化/
安全处置管理



环境责任与环境
损害鉴定/修复

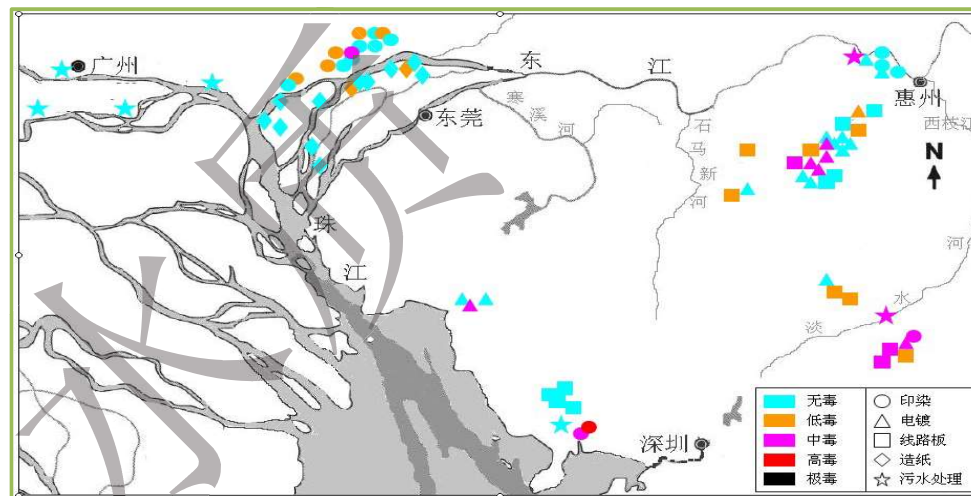


	新化学物质 登记/评估/授权	现存化学物 质评估/限制	化工生产过 程的污染防治	化工生产过 程污染事故防范	污染源管理 和排放许可制度	环境质量标准 管理法规	废弃物资源化 法规	污染事故预防 和环境责任法
美国	TSCA-PMN	TSCA	P2A/TRI	EPCRA	NPDES	CWA	RCRA	CERCLA
欧盟	REACH		ePRTR	DSD/DPD	IED	W _{ater} FD	W _{aste} FD	ELD
中国	生态环境部 新化学品登 记制度	尚无	中华人民共 和国清洁生 产促进法	中华人民共 和国国务院 危险品条例	生态环境部 排放标准/许 可证制度	生态环境部 水质标准/总 量控制策略	中华人民共 和国固废污 染防治法	生态环境部 生态环境损 害赔偿制度

生态环境损害鉴定中非管控毒性物质及毒性污染物溯源：受损环境生物多样性与排水综合毒性

测试生物和评价指标：

- 发光菌30min发光抑制试验
- 小球藻48h生长抑制试验
- 大型蚤48h急性毒性试验
- 青鳉96h急性毒性测试
- 大型蚤14d繁殖短期慢性试验
- 青鳉14d早期生命阶段短期慢性毒性试验



东江流域典型行业排水的毒性筛查（%调查污染源）

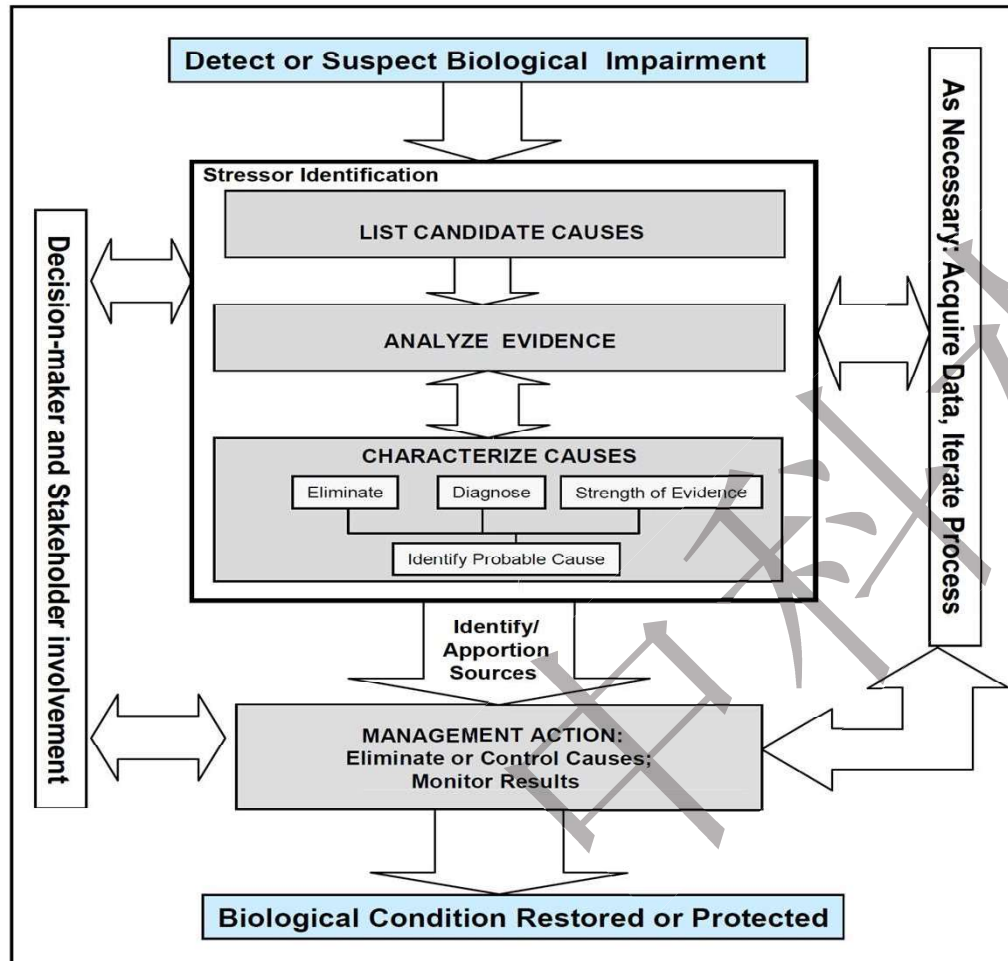
排水综合毒性(慢性TUC) (%)		印染业		电镀业		线路板		造纸业		污水处理	
		繁殖	发育	繁殖	鱼育	繁殖	发育	繁殖	发育	繁殖	发育
暂定短期慢性基准	低毒 (1~2)	14	57	5	10	45	10	15	15	0	10
	中毒 (2~10)	19	0	0	0	20	0	8	8	0	0
	高毒 (10~100)	0	19	53	42	5	30	0	0	0	0
	极高毒 (>100)	0	5	16	11	5	5	0	0	0	0
美国基准	CCC = 1.0 TUC	33	81	74	63	85	45	23	23	0	10

在线生物预警与智能化污染因子解析：浮沱河超级水质监测-预警-决策支持平台



2016年11月16日，山西省五台县（滹沱河上游支流）发生了运输煤焦油的罐车翻车起火事故，事故处理采用了灭火措施，过程中部分煤焦油（现场检出苯胺、氰化物等）随消防废水流入清水河。i-BEWs系统在跨省断面实时连续、稳定有效地运行120小时，获得1053组有效监测数据，排除了石家庄水源地水质安全隐患。

环境损害调查中的因果关系分析、溯源与损害鉴定的流程(探案寻踪)



分析所有可能的原因，包括物理化学、水文地貌参数改变、水质标准和综合毒性

分析证据(证据链条)，包括因果关系解析、剂量-响应关系和机理机制

原因甄别和不确定性分析，包括排除法，诊断法和证据权重法

源识别，包括空间相关，时间相关、强度相关、形态价态、毒性甄别等

治理/修复措施，包括新的排污许可，污染场地清理，工程修复/恢复措施等

案例分析：复合污染导致的河流生物条件受损的因果关系分析和修复方案

Table 6-1. Evidence of biological impairment in the Presumpscot River upstream and downstream of a pulp and paper mill effluent discharge.

Evidence	Upstream of Effluent	Downstream of Effluent
Aquatic Life Standard	Class C	Non-Attainment
Benthic Macroinvertebrate Community	90% insects	50% insects
Taxonomic Richness	--	15%-35% decrease relative to upstream
Sensitive Species (EPT)	--	46%-60% decrease relative to upstream
Snails and Worms	Low	High

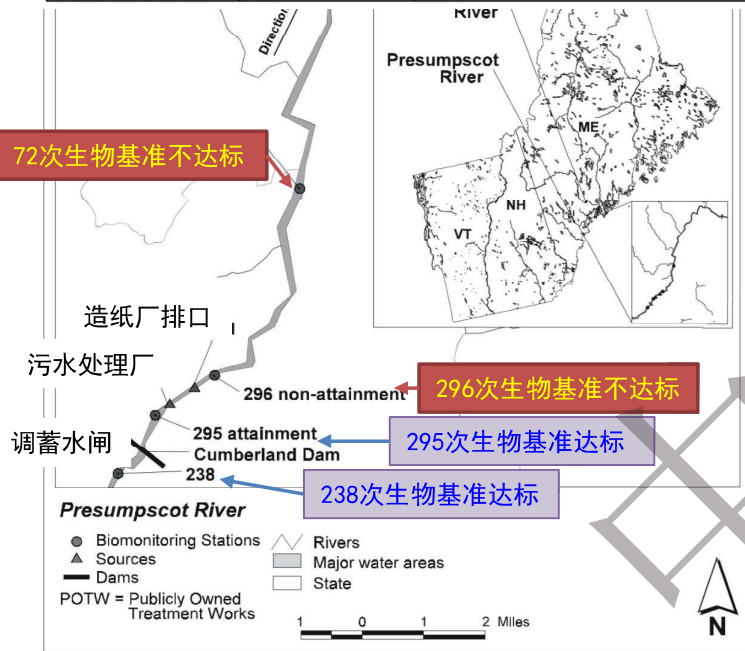


Figure 6-1. Map of the Presumpscot River showing biomonitoring stations, potential sources of impairment, and their location relative to the Androscoggin River (inset).

生物指数/生物组成	排污口上游	排污口下游
水生生物水质标准	类别C基准	未达标
大型无脊椎动物群落	昆虫占90%	昆虫占50%
类群丰富度	--	降低15%-35%
敏感物种EPT指数	--	降低46%-60%
蜗牛和蠕虫	丰度低	丰度高

- 有毒化学物质污染：造纸厂可能排放潜在有毒的化合物，这些化合物对水生生物产生不利影响；
- BOD排放：由造纸厂排放的BOD降低了河流DO水平，敏感的底栖无脊椎动物受损；
- 悬浮颗粒物排放：由造纸厂排放的SS沉淀后形成SOD并消耗底泥DO，导致底栖生物受损；
- 营养盐排放：上游农业区非点源和2个点源(POTW和造纸厂)排放的氮、磷引起水体富营养化和藻华，进而导致有机质蓄积和缺氧；
- 泥沙淤积：由于上、下游的闸坝导致河段水流速度减缓和泥沙淤积，会导致动物赖以生存的间隙减少，并可能令底栖生物窒息；
- 由蓄水形成的类似池塘的条件为藻类生长提供了更好的环境，藻类大量繁殖(分层和)缺氧或消耗藻类的无脊椎动物的优势种群改变而导致底栖生物群落改变；
- 蓄水引起的河流物理条件的变化减少了底栖生物的最佳栖息地。其影响是直接的：原生底栖大型无脊椎动物无法在改变的条件下茁壮成长。

- 预防性损失控制是给造纸厂重新核定总悬浮固体和综合毒性的排放许可证；
- 预防性损失控制是给污水厂重新核定BOD₅的排放许可证；
- 在20英里河段内进一步厘清入河排水口，采用最佳管理实践控制面源氮磷入河量；
- 针对泥沙淤积的生态修复可能需要疏浚河床，但短期内恢复河流底栖动物群落的可能性不大，甚至可能会更差；
- 从社会经济效益角度重新分析调蓄水闸的作用和损失生态服务功能的价值，如果有其他替代方式，建议拆除；
- 这个研究中的因果关系分析已经查明了生态环境损害的原因，对于确定治理和修复工作的污染责任和财政责任主体十分重要。

案例分析：多重压力下生物条件受损的综合毒性评价(代表性TMDL案例)

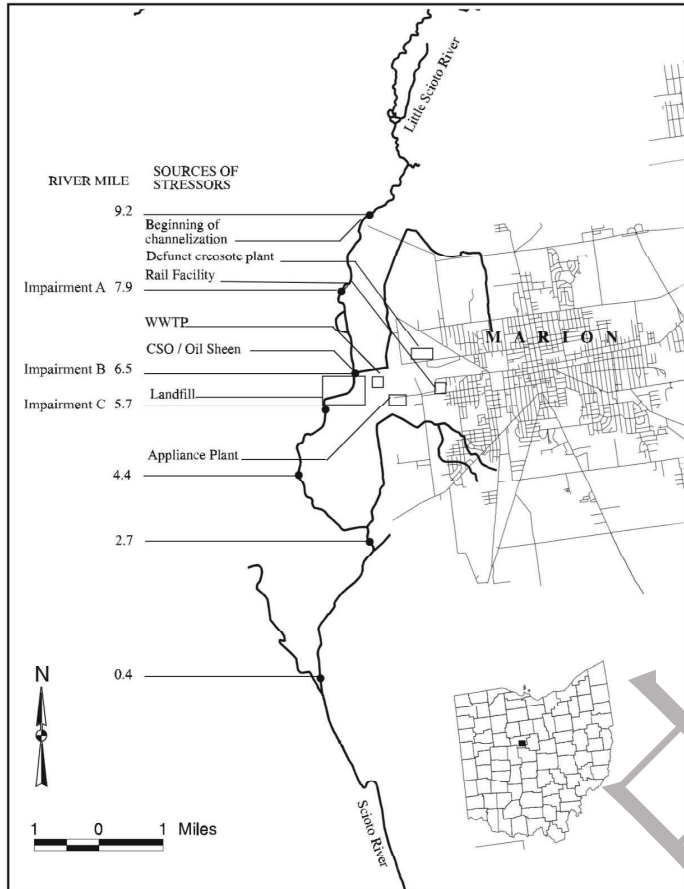


Figure 7-1. Map of the Little Scioto River, Ohio, showing sites where fish were sampled. (Approximate locations of significant physical features, tributaries and point source inputs are noted. The small inset shows the location of the study area in the state of Ohio. Locations of Impairments A, B and C are also shown.)

- Impairment A: 受损特征是鱼类和底栖无脊椎动物种类的减少、个别鱼类数量减少和相对重量增加;
- Impairment B: 受损特征是鱼的相对重量减少, 而畸形(D)、鳍部侵蚀(E)、损伤(L)、肿瘤(T)和异常(A)的数量却大量增加(Delta);
- Impairment C: 受损特征是Delta趋于严重, 且一种摇蚊科的蠓虫(*Tribe midges of the Tanytarsini*)灭绝。

1. 生境改变: 9.2英里处的河道改造工程导致河床加深和河床淤积(embedded stream);
2. 多环芳烃和3种重金属污染物: 历史上这条河曾经堆弃过含多环芳烃的杂酚油和含重金属的工业废弃物。因果关系分析PAH可能是生物受损的原因;
3. 游离氨毒性: 工业点源排放大量氨氮, 同时氮作为营养盐增加了光合作用和有机质, 后者会导致高pH和游离氨毒性;
4. 低溶解氧和高生化需氧量: 需氧物质(OD)来源于WWTP、CSO和上游的非点源。此外, OD也来自由于营养盐蓄积而加速的初级生产和有机质蓄积。该案例中缺少叶绿素和藻生物量数据, 所以只估算了排放贡献。

时间/空间序列分析:

- Impairment A: 生境改变、重金属和营养盐污染;
- Impairment B: PAH, 重金属, 氨毒性, 低DO/高OD和营养盐蓄积;
- Impairment C: 重金属、氨毒性和营养盐蓄积。

- 预防性损失控制是移除或减少潜在污染源;
- 生态工程措施包括恢复天然河道(恢复到清淤前的状态)、清除水和沉积物的污染;
- 有一些更经济有效的中间途径, 包括设定期望或预期的河流状况改善程度, 平衡河流资源的其他利用价值和恢复河流的费用(变更水体功能)。
- 生态修复工程预案需要多环芳烃和金属修复都可能需疏浚污染沉积物, 但可能不会改变生物条件或达到预期生态结果。
- 这个研究中的因果关系分析已经查明了生态环境损害的原因, 对于确定治理和修复工作的污染责任和财政责任主体十分重要;
- 如果确实需要治理则可能需要更多的信息和恢复成本分析。

突发性环境污染损害鉴定：水污染-水环境-水生态之间的关系及综合管理措施

BOD₅排放超标

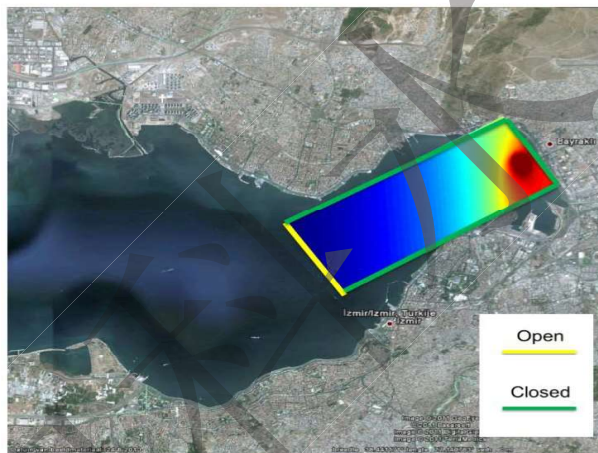
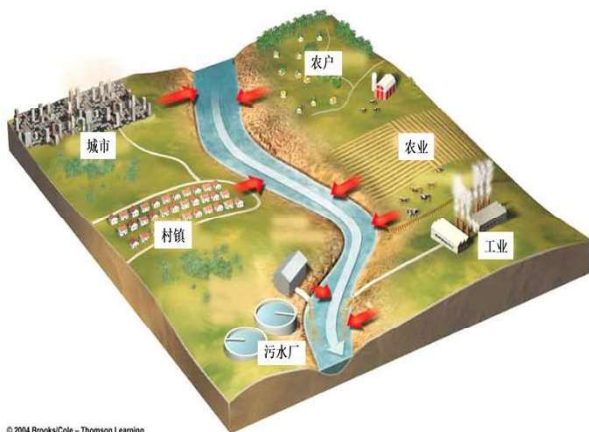
氮磷排放超标

水体溶解氧超标

水体富营养化/缺氧

水生生物死亡

生物多样性受损



污染物排放达标 ≠ 水环境质量达标

水环境质量达标 ≠ 水生态质量达标

排放标准
(排放超标或综合毒性)

水质标准
(水质超标或综合毒性)

流域水生态质量
(生物多样性降低)

此处有多个研究报告
<http://www.casaet.com/>

专业铸造品质

服务成就市场

感谢聆听，欢迎批评指正，欢迎合作



预警监测



环境检测



水质模拟



流域管理



环境风险



大数据中心



智慧决策应用