

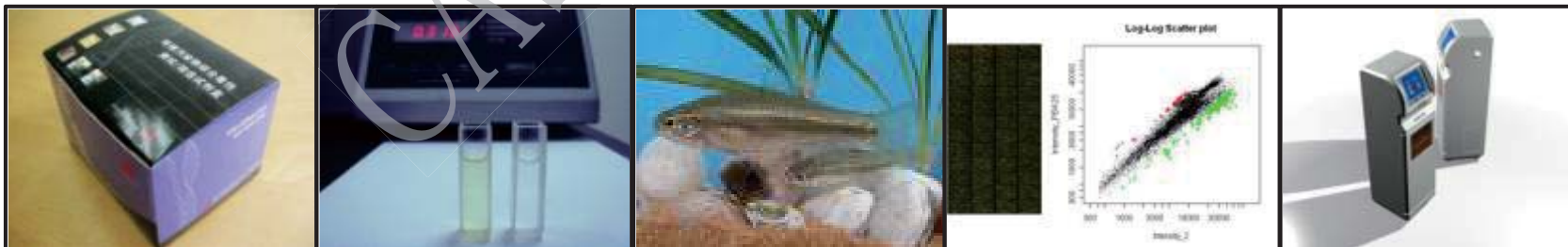
## 水生态系统质量状态中的生物条件评价方法分析

王子健

环境水质学国家重点实验室 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)



## 美国健康流域计划与中国山水林田湖草生命共同体

### Protecting Aquatic Systems via Landscape Approaches



*Health Watersheds Program, USEPA*

**水质保护的终极目标是水生态系统保护**，因为健康的水生态系统提供的生态服务功能满足了人类各种使用要求，如饮用、娱乐、水产和工农业用水。

**水生态系统质量受生态系统景观格局影响**，主要污染(清洁水法定义：影响物理、化学和生物完整性的外源因子)产生于土地利用格局改变和污染物输入。

**健康流域通过两大类指标评价**，分别是流域健康指数和流域脆弱性指数。前者包括景观条件，生境，水文，地貌，水质和**生物条件**；后者包括土地利用方式改变，水资源利用方式改变和山火等(USEPA-PHWA, 2017)。

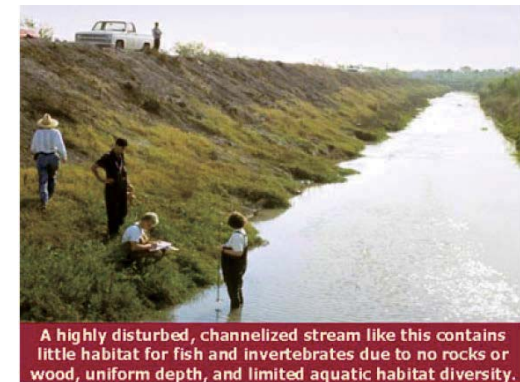
## 表征水生生态系统质量的关键生态参数类型和指标

景观条件	生物条件	物理化学属性	生态过程	水文过程和地貌	自然扰动
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 生态系统范围/生境类型</li> <li>• 景观组成</li> <li>• 景观格局和结构</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 生态系统/群落                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 群落幅度</li> <li>➢ 群落组成</li> <li>➢ 群落动态</li> <li>➢ 营养结构</li> <li>➢ 物理结构</li> </ul> </li> <li>• 物种和种群                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 种群规模</li> <li>➢ 种群结构</li> <li>➢ 种群动态</li> <li>➢ 遗传多样性</li> <li>➢ 生境适宜性</li> </ul> </li> <li>• 生物状态                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 生理状态</li> <li>➢ 疾病或创伤症状</li> <li>➢ 疾病的征兆</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 养分浓度                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 氮及其形态</li> <li>➢ 磷及其形态</li> <li>➢ 其他营养物</li> </ul> </li> <li>• 微量无机和有机化学品                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 金属</li> <li>➢ 微量元素</li> <li>➢ 有机化合物</li> </ul> </li> <li>• 其他参数                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ pH值</li> <li>➢ 溶解氧</li> <li>➢ 盐度</li> <li>➢ 有机质</li> <li>➢ 其他</li> </ul> </li> <li>• 物理参数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 能流                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 初级生产力</li> <li>➢ 净生产力</li> <li>➢ 生产效率</li> </ul> </li> <li>• 物流                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 有机碳循环</li> <li>➢ 氮/磷循环</li> <li>➢ 其他营养物质循环</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地表/地下水流动                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 表表水流模式</li> <li>➢ 流体力学</li> <li>➢ 地下水流模式</li> <li>➢ 盐度模式</li> <li>➢ 水存储</li> </ul> </li> <li>• 动态结构特征                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 沟渠/岸线形貌和复杂性</li> <li>➢ 与泛滥平原之间的连通/分布</li> <li>➢ 生境复杂性</li> </ul> </li> <li>• 沉积物/物质运移                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 沉积物供给/运移</li> <li>➢ 颗粒大小分布模式</li> <li>➢ 其他物流</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 频率</li> <li>• 强度</li> <li>• 程度</li> <li>• 持续时间</li> </ul>

生物条件是水体健康状况最全面的指标。当河流的生物状况良好时，河流的化学和物理成分通常也处于良好状态 (USEPA给美国国会的报告, 2017)。

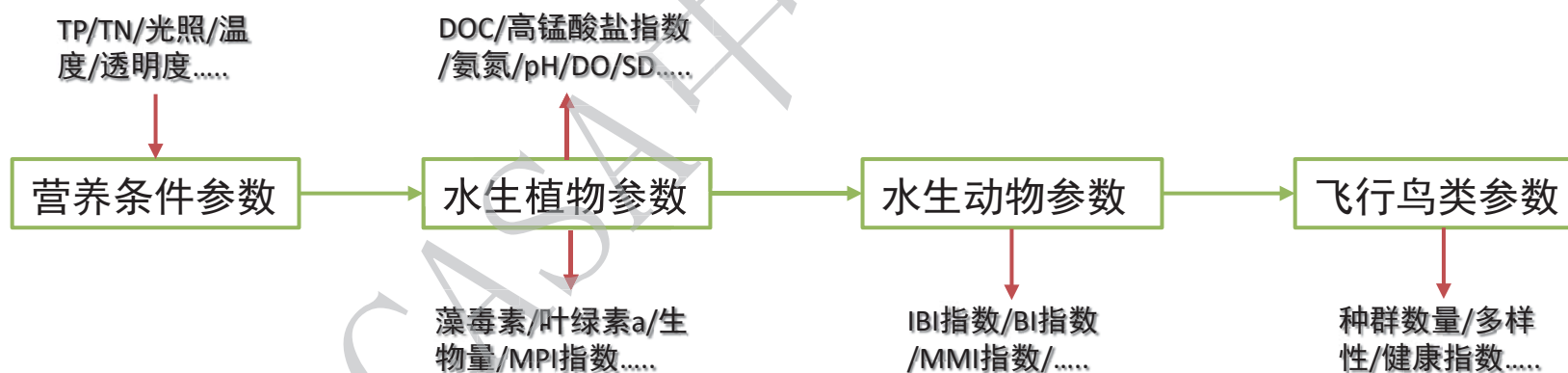
## 影响健康河流健康的驱动力、物理改变和由此引起的物理生境改变

驱动力	水文和地貌改变	生境改变
<ol style="list-style-type: none"><li>1. 农业用水</li><li>2. 市政用水</li><li>3. 水力发电</li><li>4. 航运</li><li>5. 海水防护</li><li>6. 矿业开采</li><li>7. 水产养殖</li></ol>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 蓄水，调水和取水</li><li>• 纵向结构性改造(水坝/蓄水段/水闸/涵管等)</li><li>• 横向结构改造(堤防工程和码头)</li><li>• 堤岸加固工程和路堤</li><li>• 疏通河道和采砂(河道管理)</li><li>• 沟渠化和河道取直</li><li>• 陆源排水及其封堵</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 改变流量、频度、持续时间、季节性水文节律和换水速率</li><li>• 阻断河流及其生境的连通性</li><li>• 改变沉积物输送和侵蚀作用</li><li>• 改变纵向连续性</li><li>• 毁灭泛滥平原</li><li>• 毁灭潮间带区域</li><li>• 破坏与湿地的连通性</li><li>• 破坏与牛轭湖连通性</li><li>• 改变河流断面结构</li><li>• 改变与地下水连通性</li></ul>



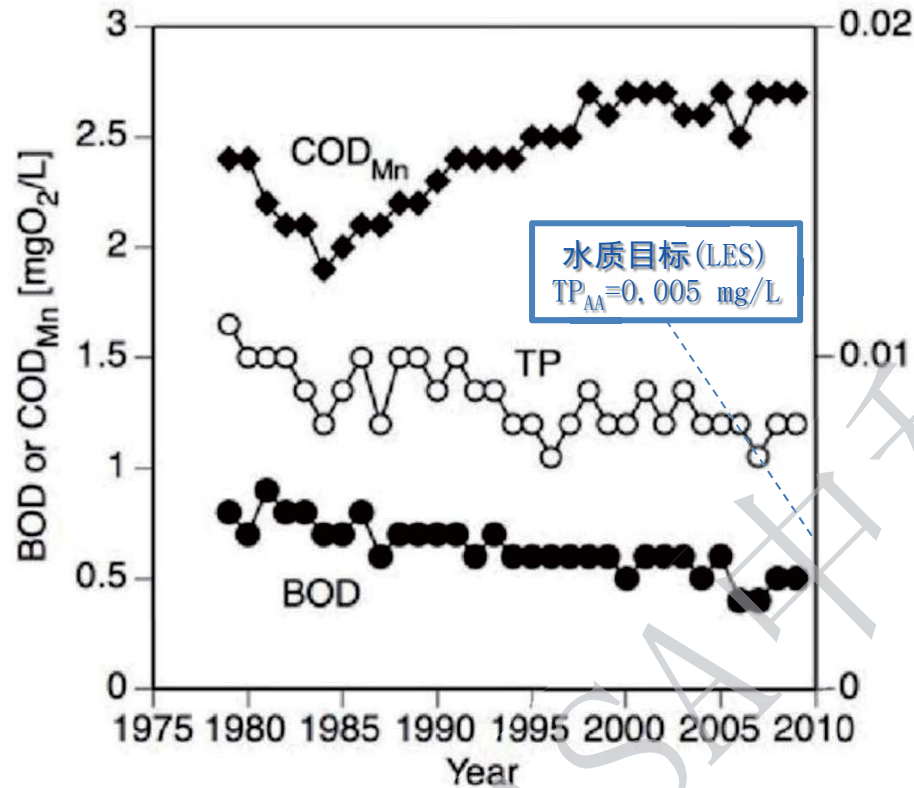
## 生物条件评价方法的核心科学问题

- 评价参数(组)的选择及参数之间的相互关系(因果关系分析)
- 参考条件和参考点位(记分方式的基准点)
- 生物评价指标与自然梯度之间的相关性(辨识自然变化的能力)
- 生物评价指标与人类活动强度之间的相关性(辨识受损原因的能力)
- 生物评价结论与生态治理、生态修复工程之间的关系(评价目的)

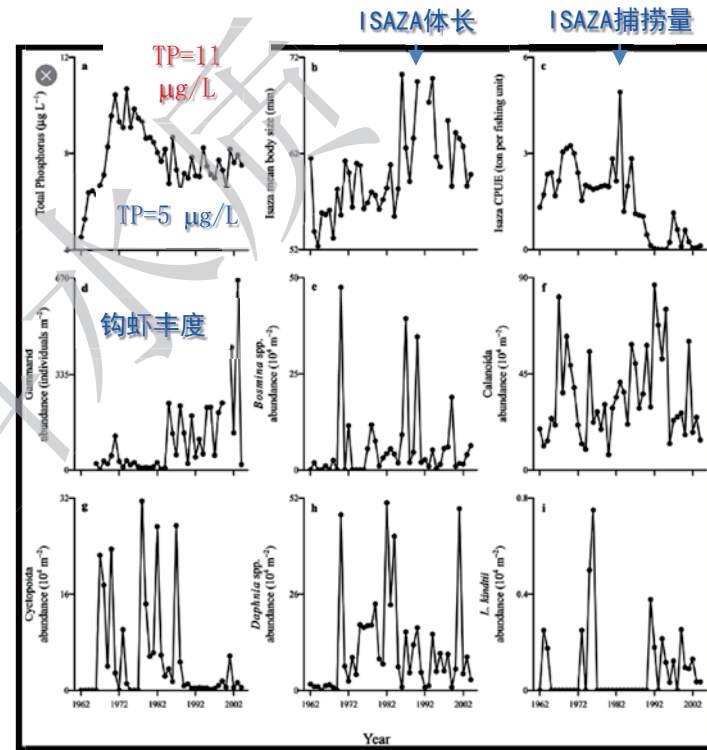


生物刺激条件(Biostimulatory Conditions)及其引起的水生态功能退化

## 参数分析：日本琵琶湖关键治理期间水质指标和生物指标的变化



琵琶湖治理关键时期水质指标的变化 (36年)



TP及水生动物的体重指数 (1962-2002)

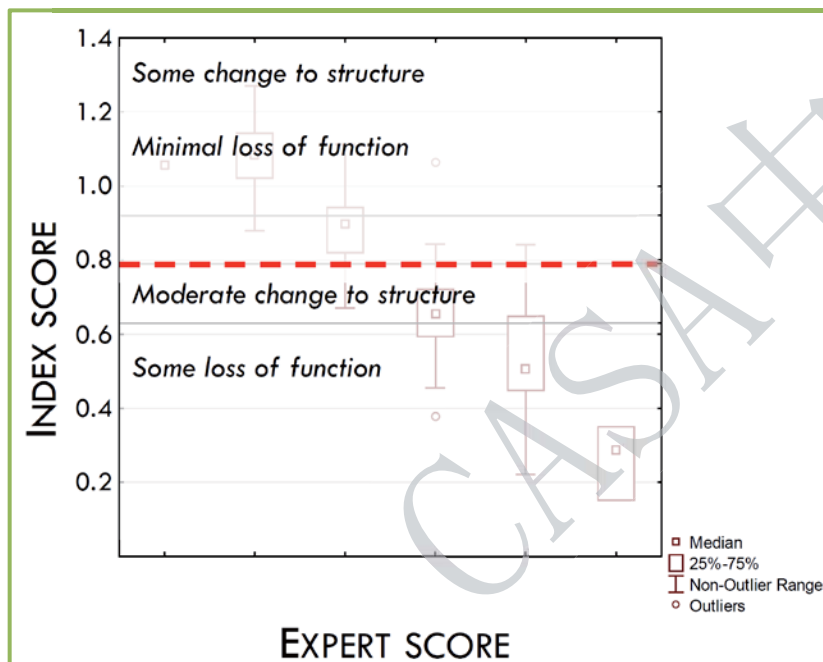
琵琶湖治理关键时期生物指标的变化

日本琵琶湖的生态服务功能已经基本恢复，但是并不能从简单的水质评价指标得到反映！

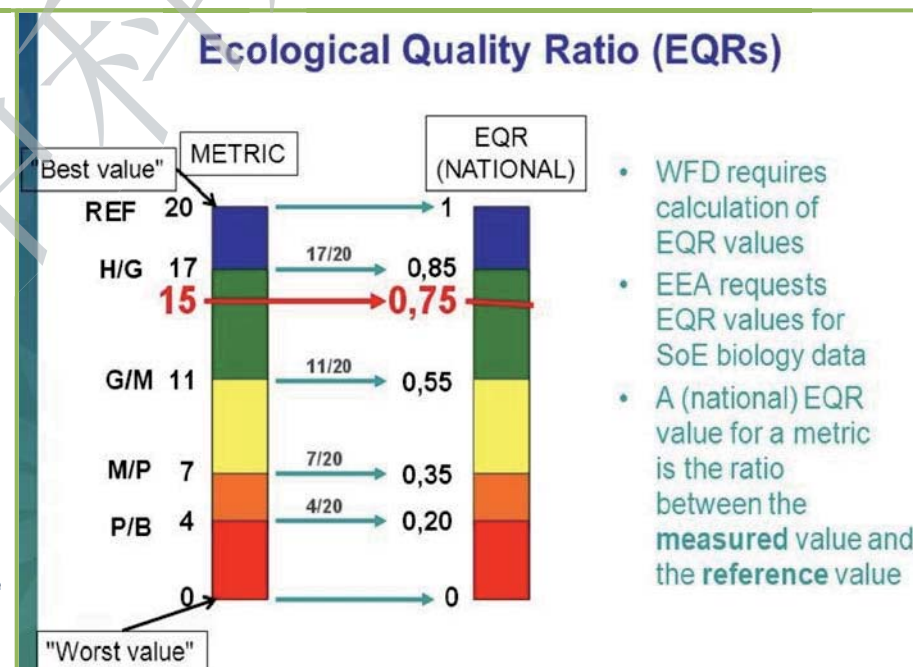
## 生物条件评价方法学中评价阈值的设定方式

- 根据自然背景属性或经验方式的记分(概率方法/Probability)
- 根据物理生境特征或先验方式的记分(生物梯度方法/BCG)

### 加州生物完整性科学中采用的BCG记分



### 欧盟WFD/EEA中采用的EQR记分



## 水生生物条件评价的主流方法

- 生物状态评价与生物基准方法(EPA保护水生生物的水质标准)
- 以随机抽样-统计学为基础的评价方法(EPA-NARS计划)
- 水生生态系统状态综合评价方法(欧盟水框架指令)
- 生物多样性调查/评价方法(美国自然资源计划/欧盟Natura-2000)
- 关键/珍稀/濒危物种评估/保护计划

代表性法规和研究计划:

美国清洁水法: [Clean Water Act](#)

美国EPA-NARS计划: National Aquatic Resource Survey (NARS/NLA/NWCA/NCCA)

欧盟水框架指令: Water Framework Directive

美国自然资源计划: Natural Heritage Program Biodiversity Assessments

欧盟Natura-2000: Natura 2000 network in Habitats Directive

## 清洁水法对水质的保护主要针对其服务功能(Beneficial Uses)

### Clean Water Act Definition of "Waters of the United States"



Small streams and wetlands provide habitat, food, spawning sites and nursery areas for a wide variety of plants, fish, amphibians, birds and mammals.

Clean water is the nation's most valuable natural resource and is relied on for drinking, recreation, manufacturing, energy development, agriculture, commercial fishing, tourism, and many other purposes that are essential to public health and the economy.

You will need Adobe Reader to view some of the files on this page. See [EPA's PDF page to learn](#)

**保护水生生物-101(a)(2):** 国家的小型溪流和湿地是各种植物、鱼、两栖类动物、鸟和哺乳动物的栖息地、食物来源地、繁殖地和幼苗培育场所(可渔)。

**保护休闲娱乐-101(a)(2):** 人们需要国家的天然水体来开展娱乐休闲, 包括游泳、滑水、水上快艇、皮划艇、垂钓等接触到水体的活动(可游)。

# 美国环保署加强版水质监测和评价标准及其方法指南(2002)

Consolidated assessment and listing methodology for water quality monitoring and assessment programs

<b>保护水生生物的水质标准</b> Aquatic Life-Based Water Quality Standards	<b>娱乐功能的水质标准</b> Recreation-Based Water Quality Standards	<b>公众供水的水质标准</b> Public Water Supply-Based Water Quality Standards	<b>水产品消费的水质标准</b> Fish and Shellfish Consumption-Based Water Quality Standards
<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ <b>生物数据</b>: 用生物评价定量评估采样点与参考点(或预期目标)之间的差别, 指标包括生物群落的结构、功能和条件</li> <li>✦ <b>生境数据</b>: 微生物特征, 包括基质组成、流速、河床结构和水体形态等</li> <li>✦ <b>水和沉积物毒性</b>: 采用敏感生物的毒性测试, 方法与WET相同, 适用毒性单位计量或描述性指标“无毒”</li> <li>✦ <b>化学和物理数据</b>: 化学指标包括优先和非优先污染物, 物理指标包括溶解氧、温度、pH和悬浮颗粒物浓度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ <b>细菌标准</b>: 包括细菌、病毒、原生动物、真菌和寄生虫。由于监测困难, 一般仅用指示菌方法评价粪源病原体污染, 常用指标是大肠杆菌(EC)和肠球菌(ENT)</li> <li>✦ <b>指示排泄污染的信息</b>: 一般常用描述性指标如浑浊度、藻华、嗅、味、油脂和固体废弃物等</li> <li>✦ <b>游人限制措施和围栏</b>: 配合其他部门如卫生检疫等设施的限制性措施</li> <li>✦ <b>化学数据</b>: 地表水基准中的健康基准和其他法规性文件中确定的有毒有害物质</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ <b>化学数据</b>: 主要是地表水基准中的健康基准部分, 包括重金属、有机物、氯化物和溶解固体。数据还可以参考SDWA-NPDWRs等其他资料</li> <li>✦ <b>细菌标准</b>: 主要参照NPDWRs基准值, 指标包括隐孢子虫、鞭毛虫lam、军团菌、总大肠菌和病毒</li> <li>✦ <b>限制性措施</b>: 对水源地进行保护的措施包括必要的围栏、至少持续30天的水源污染咨询报告、根据污染情况确定必须采用深度处理工艺、当存在某项或某几项指标超标时必须增加水质监测频率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ <b>化学数据</b>: 包括水、鱼体组织和沉积物中重金属和有机有毒物质数据, 水质数据参照地表水基准中的健康基准</li> <li>✦ <b>鱼类消费咨询信息</b>: 参考国家鱼和野生动物咨询报告的名录</li> <li>✦ <b>贝类生长区分类</b>: 参考国家贝类卫生计划(NSSP), 但是需要区别对待不同情境</li> <li>✦ <b>细菌标准</b>: 采用NSSP的粪大肠杆菌群数</li> </ul>

根据清洁水法要求的评估结果形成305b/303d报告, 评价河流水体占全美水体总长度(350万英里)的31%。

## TMDL典型案例：俄亥俄州Little Scioto河水体生物条件评价和污染因子甄别

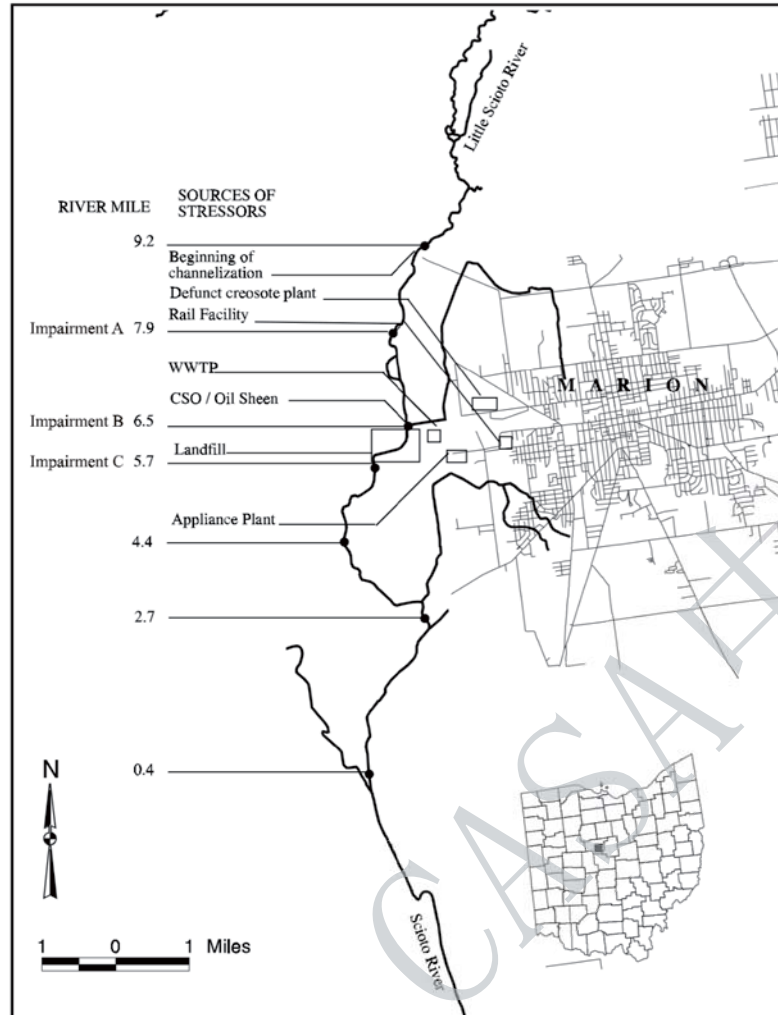


Figure 7-1. Map of the Little Scioto River, Ohio, showing sites where fish were sampled. (Approximate locations of significant physical features, tributaries and point source inputs are noted. The small inset shows the location of the study area in the state of Ohio. Locations of Impairments A, B and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

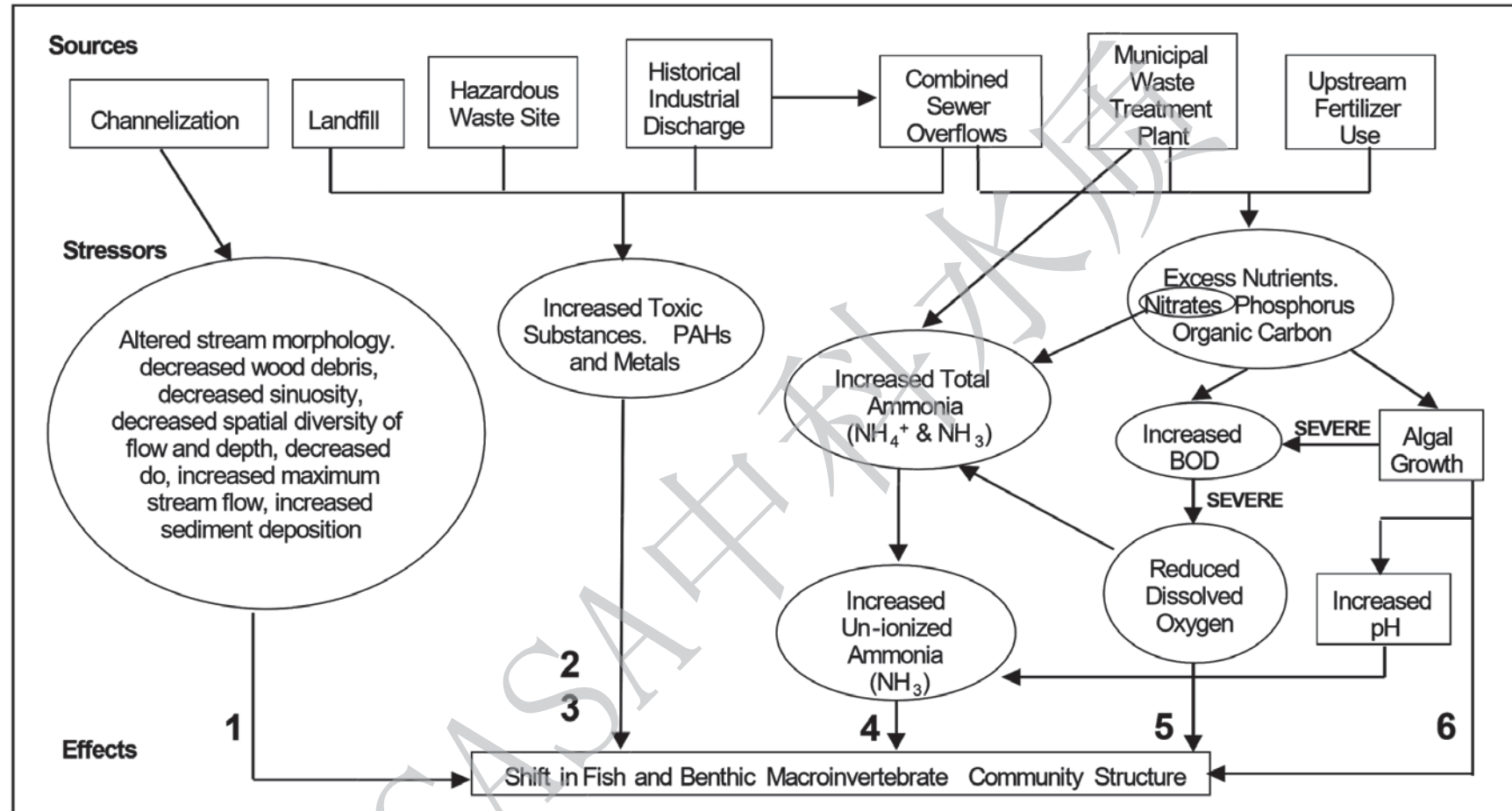
- 生物受损A：受损特征是鱼类和底栖无脊椎动物种类的减少、个别鱼类数量减少和相对重量增加；
- 生物受损B：受损特征是鱼的相对重量减少，而畸形(D)、鳍部侵蚀(E)、损伤(L)、肿瘤(T)和异常(A)的数量却大量增加(Delta)；
- 生物受损C：受损特征是Delta趋于严重，且一种摇蚊科的蠓虫(*Tribe midges of the Tanytarsini*)灭绝。

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，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。

## 案例分析-2：生物条件(鱼和底栖大型无脊椎动物)受损的因果关系分析



6个可能导致生物条件受损的原因：1) 河流渠道化后水文地貌条件改变；2) 底泥中存在历史遗留的多环芳烃和重金属污染物；3) 城市污水排放的氨氮和游离氨；4) 由过量营养盐排放导致的tBOD5过高，进而引起水体缺氧；6) 由过量营养盐排放导致的藻类超常生长，进入引起pH/DO/藻毒素/生物种群结构改变

## 水生生物条件评价的主流方法

- 生物评价与生物基准方法(EPA保护水生生物的水质标准)
- 以随机抽样-统计学为基础的评价方法(EPA-NARS计划)
- 水生态系统状态综合评价方法(欧盟水框架指令)
- 生物多样性调查/评价方法(美国自然资源计划/欧盟Natura-2000)
- 关键/珍稀/濒危物种评估/保护计划

代表性法规和研究计划:

美国清洁水法: Clean Water Act

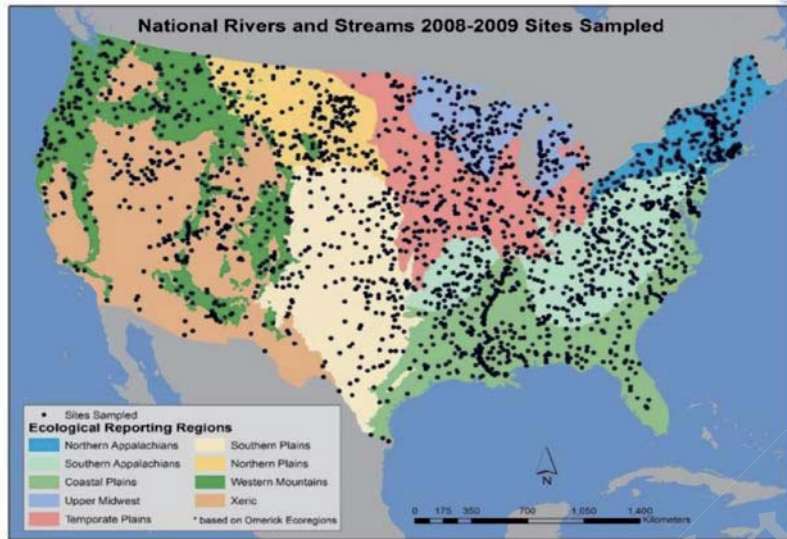
美国EPA-NARS计划: National Aquatic Resource Survey (NRSA/NLA/NWCA/NCCA)

欧盟水框架指令: Water Framework Directive

美国自然资源计划: Natural Heritage Program Biodiversity Assessments

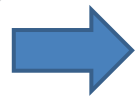
欧盟Natura-2000: Natura 2000 network in Habitats Directive

## NRSA计划：美国国家河流/湖泊水生资源评价报告及其随机选择的监测点位

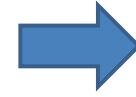


- NRSA根据Omernik生态分区将全国归纳为9个河流生态分区和9+1个湖泊生态分区的。河流调查结果根据3种不同的土地利用类型/气候条件报告，湖泊按照四个生物区条件报告；
- 国家河流和溪流评估计划(NRSA)：2008~2009年，EPA组织了85个野外调查组和随机采样方式对全美**1924条河流和溪流**采样点进行了调查评估，其结果代表120万英里总河长。2013~2014年和2018~2019年间，NRSA再次抽样调查了1853个随机采样点；

国家水文数据库中389 005个湖库有符合条件的159 652个湖库水文数据资料

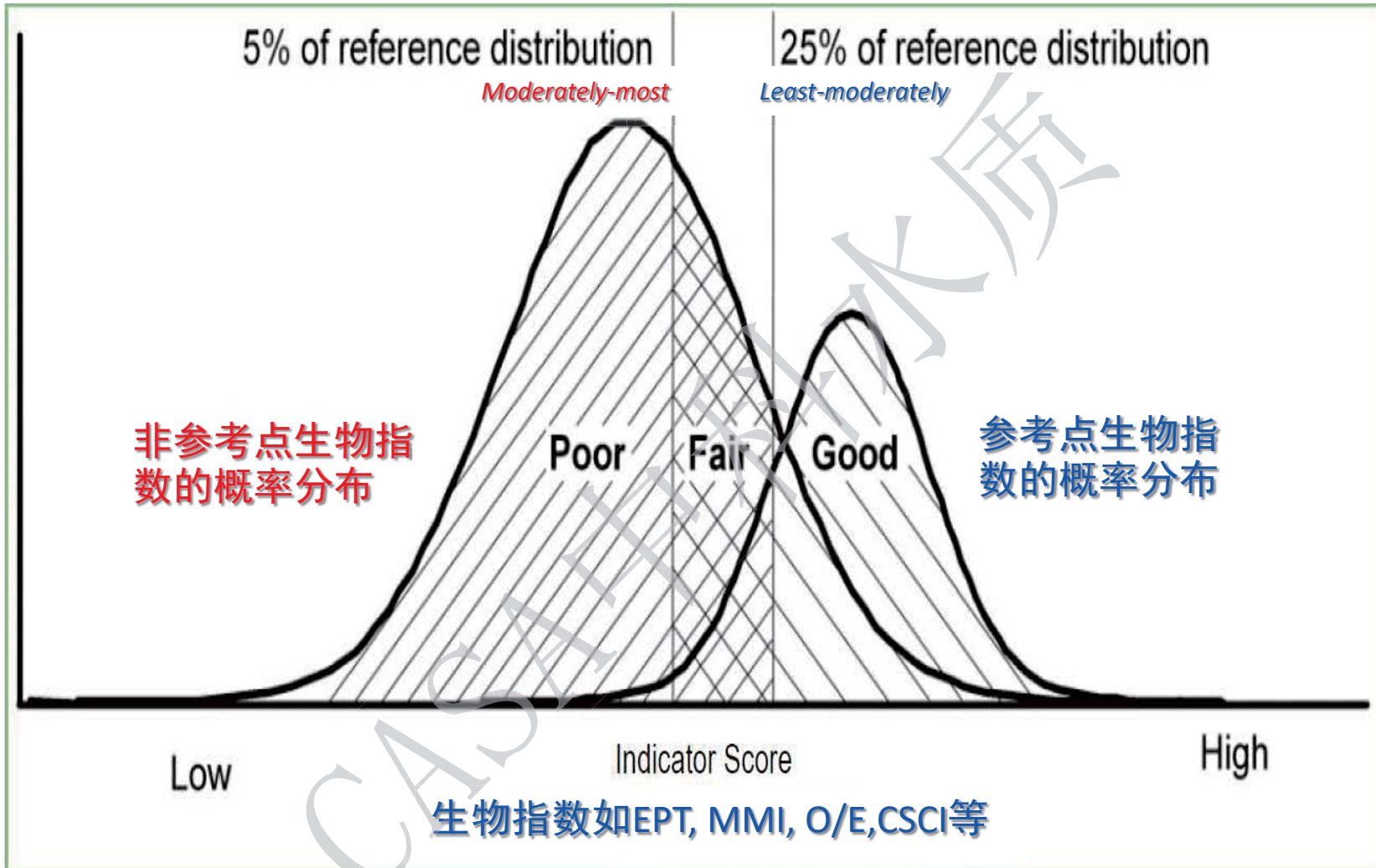


EPA剔除了47 833个湖库，得到111 818个能够采样的湖库



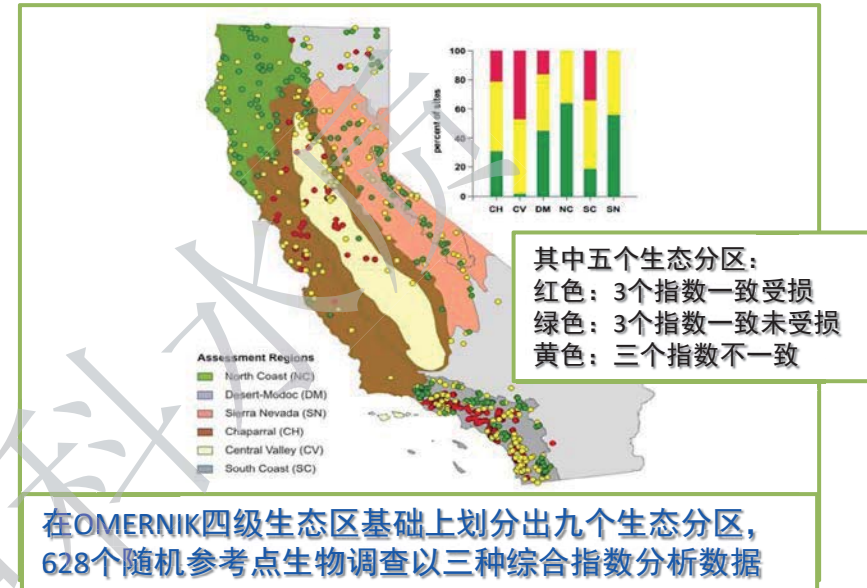
EPA对111 818湖库随机抽样后派出野外调查小组收集数据

美国NARS水质评价中采用参考条件的参数概率分布方法(*a posteriori* approach)



- 参考点与观察点生物指数之间的切割点代表生物完整性程度，较大切割点对应较高保护水平；
- 不同州生物条件评价中采用的切割点不同，从1%~10%(如圣地亚哥)到10%~25%(如明尼苏达)

## 加州水生生物评价中采用的技术路线：根据生态分区-参考条件-综合指数方式

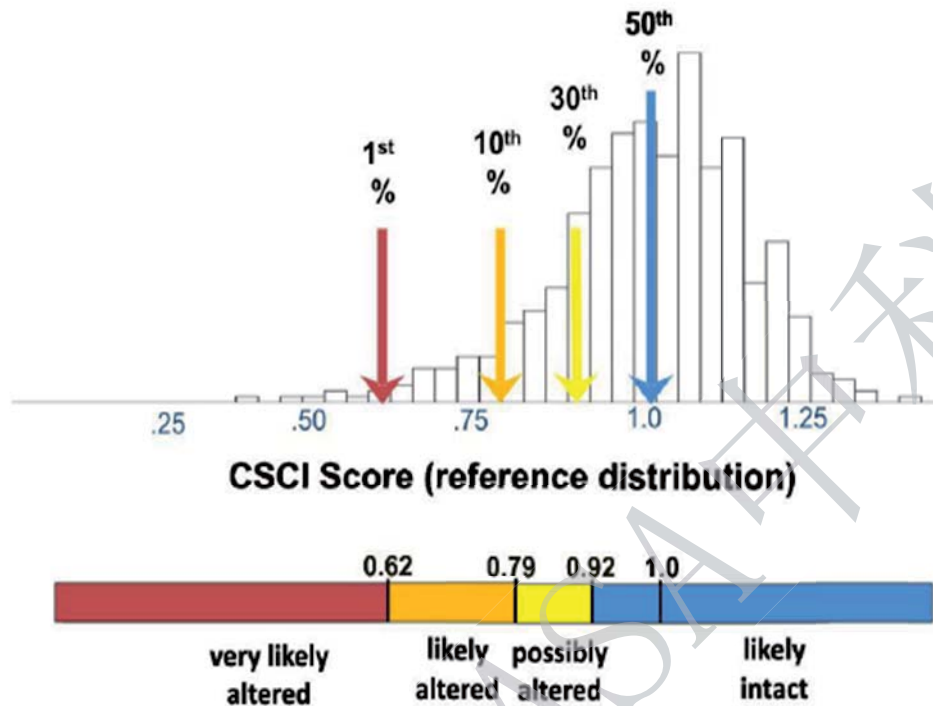


## 美国加州生物评价中采用的生态区及其参考条件下的生境参数阈值

	Chloride mg/L (CL)	Conductivity μS/cm (COND)	Total Nitrogen mg/L (NTL)	Percent sand & fines (FCT SAFN)	Total Phosphorous mg/L (PTL)	Total Suspended Solids mg/L (TSS)	Turbidity NTU (TURB)	错落带扰 动指数	岸边植被 覆盖度	平均河道 遮荫度	溪流生境 多样性
Sierra and North Coast	10.1	282	0.27	35	0.056	5.5	2.4	1.27	0.55	46	0.18
Southern California Mtns	25	930	0.586	54	0.19	10.1	3.2	0.73	0.37	59	0.27
Xeric California (= xeric SoCal, Central Valley and Chaparral)	122	1460	2.3	69	0.122	7.2	5.1	1.3	0.54	54	0.14
Xeric Southwest (= Desert-Modoc)	3.2	205	0.173	47	0.048	9.2	4.2	1.9	0.45	57	0.19

对应四个主要生态分区的生境参数背景值, 生物条件退化时任何参数超过背景值均被定义为风险因子, 如TN和TP。

## 加利福尼亚州河流条件指数及参考河流生物评价结果 (California stream condition index (CSCI), 2015)



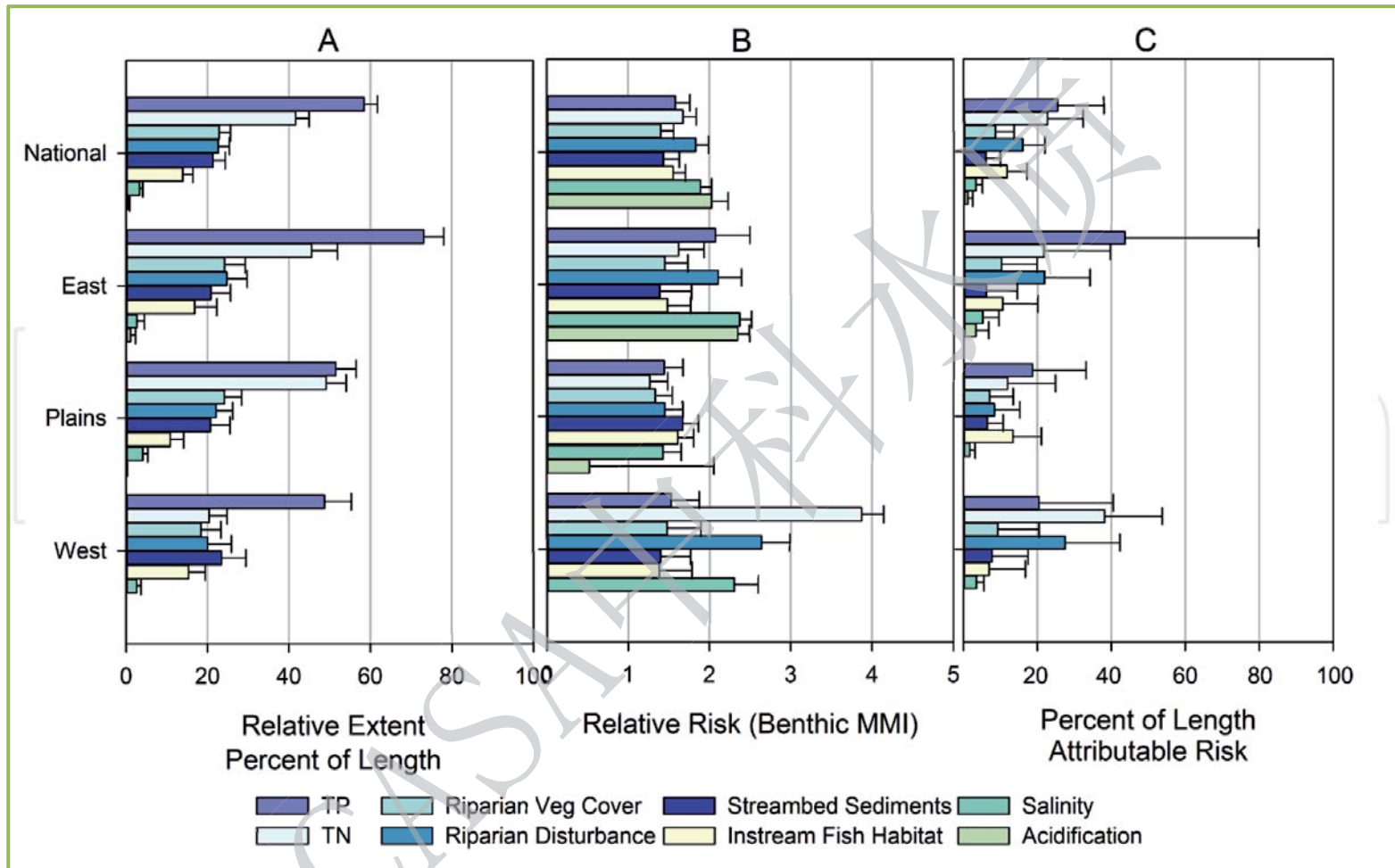
CSCI整合了

1. 多参数综合指数(MMI, Pont et al., 2009) 、
2. 观察/预期比值(O/E, Moss et al., 1987)
3. 不同溪流的环境条件，确定了3个阈值，再将其划分为4个生物条件类别：
  1.  $\geq 0.92$  = 几乎未受扰动；
  2.  $0.91$  to  $0.80$  = 可能有所改变；
  3.  $0.79$  to  $0.63$  = 像是有所改变；
  4.  $\leq 0.62$  = 十之八九改变了

Figure 5. Distribution of CSCI scores at reference sites with thresholds and condition categories.

Rehn, A.C., R.D. Mazor and P.R. Ode. 2015. The California Stream Condition Index (CSCI): A New Statewide Biological Scoring Tool for Assessing the Health of Freshwater Streams. Swamp Technical Memorandum SWAMP-TM-2015-0002.

## 影响全国河流/溪流水质的主要污染因子和风险归因分析(2013-2014)



- **相对影响程度**指生物条件评价结果为“差”河段总长度中不同污染因子的相对贡献率；
- **相对风险**指生物评价结果为“差”和生物条件评价结果为“优”河段的大型底栖生物MMI比值；
- **风险归因**是治理工程中将生物条件由“差”转变为“优”时不同污染因子相对重要性的量度。  
(注意：这个计算是将影响生物条件的8类应激因子进行了叠加处理，且未考虑其他风险因子如毒性)

## 水生生物条件评价的主流方法

- 生物评价与生物基准方法(EPA保护水生生物的水质标准)
- 以随机抽样-统计学为基础的评价方法(EPA-NARS计划)
- 水生态系统状态综合评价方法(欧盟水框架指令)
- 生物多样性调查/评价方法(美国自然资源计划/欧盟Natura-2000)
- 关键/珍稀/濒危物种评估/保护计划

代表性法规和研究计划:

美国清洁水法: Clean Water Act

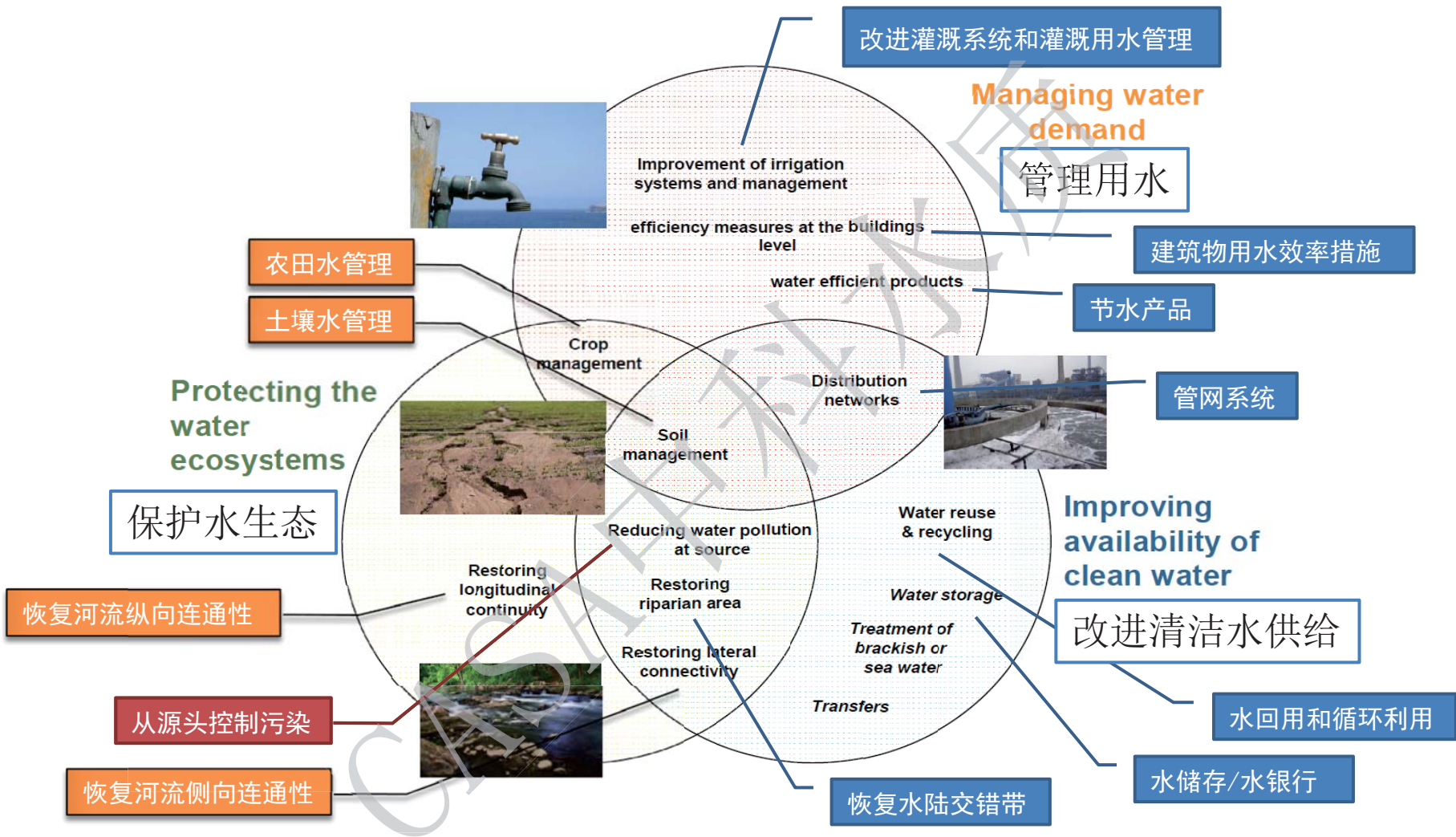
美国EPA-NARS计划: National Aquatic Resource Survey (NRSA/NLA/NWCA/NCCA)

欧盟水框架指令: [Water Framework Directive](#)

美国自然资源计划: Natural Heritage Program Biodiversity Assessments

欧盟Natura-2000: Natura 2000 network in Habitats Directive

RBMP报告内容：RBD特征鉴别，环境影响和水资源利用经济性分析(ARTICLE 5)



WFD关于“良好生态状况”定义: 不同类型地表水水体由于人类活动影响引起生物质量评价参数的数值扭曲程度较低，或仅与未经扰动的自然状态略有偏离。

# 水框架指令中的河流水体类别划分原则和参数分级(2000)

水框架的生态分区(25个)

每个生态分区的水体类型(4种)

每个水体类型的类别(参考点)

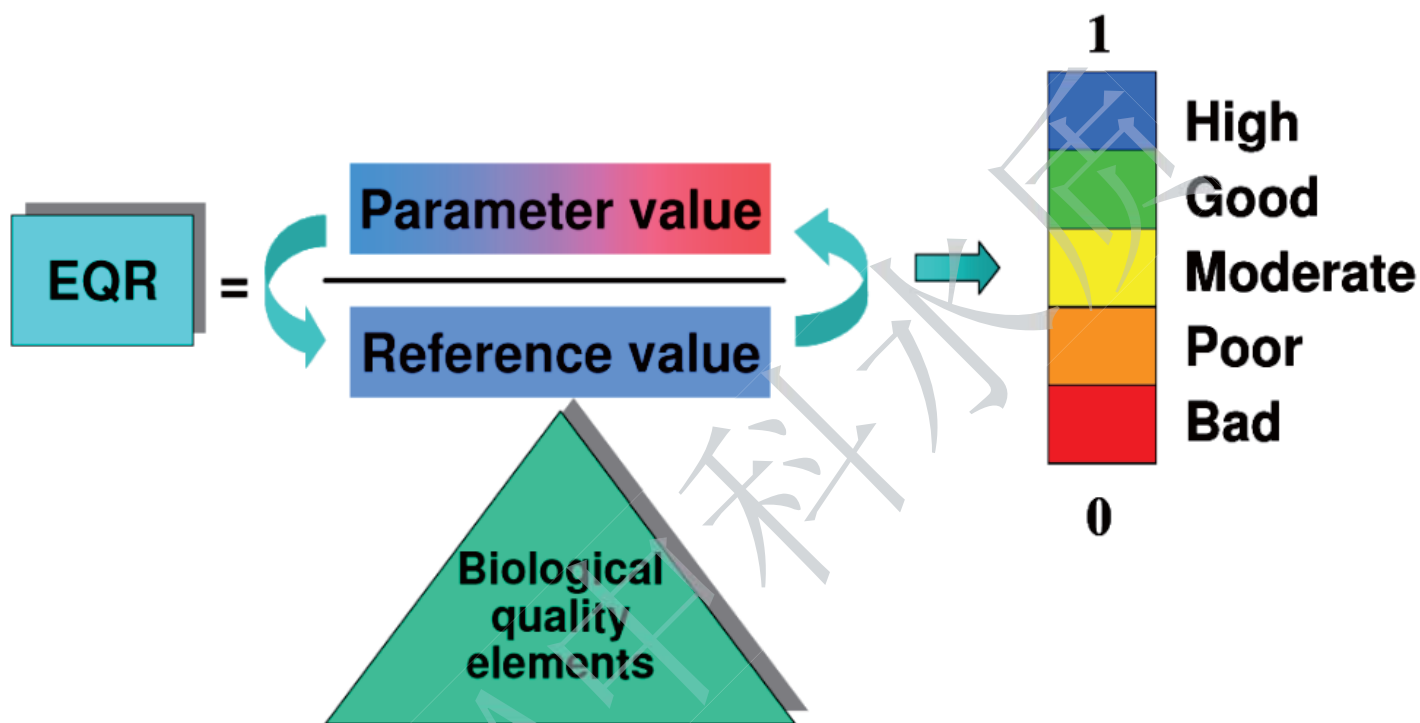
描述	类别	参数范围
高度	高海拔	> 800 m
	中海拔	200 to 800 m
	低地	< 200 m
面积	小流域	10 to 100 km <sup>2</sup>
	中流域	> 100 to 1 000 km <sup>2</sup>
	大流域	> 1 000 to 10 000 km <sup>2</sup>
	超大流域	> 10 000 km <sup>2</sup>
地质	钙质	碳酸盐或石灰结核
	硅质	硅质岩(SiO <sub>2</sub> >70%)
	有机质	富含有机质

	水体类型参数/描述符
替代特征参数	能够表征/区分RBD内不同河流/河段、并在支持生物群落结构条件上可区分的物理和化学参数
强制性描述符	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 海拔高度</li> <li>• 经度</li> <li>• 纬度</li> <li>• 地质</li> <li>• 大小</li> </ul>
选择性参数	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 距离河源的距离</li> <li>• 水力学能量(流速和坡度函数)</li> <li>• 平均水深/平均河宽/平均斜度</li> <li>• 主河床形状</li> <li>• 河流流量类别</li> <li>• 河谷形状</li> <li>• 固体物质运移</li> <li>• ANC</li> <li>• 基质组成</li> <li>• 氯化物</li> <li>• 降雨量</li> <li>• 平均气温/气温范围</li> </ul>

## Article 8: 欧盟水框架指令中地表水状态的评价指标体系(EQR=O/E)

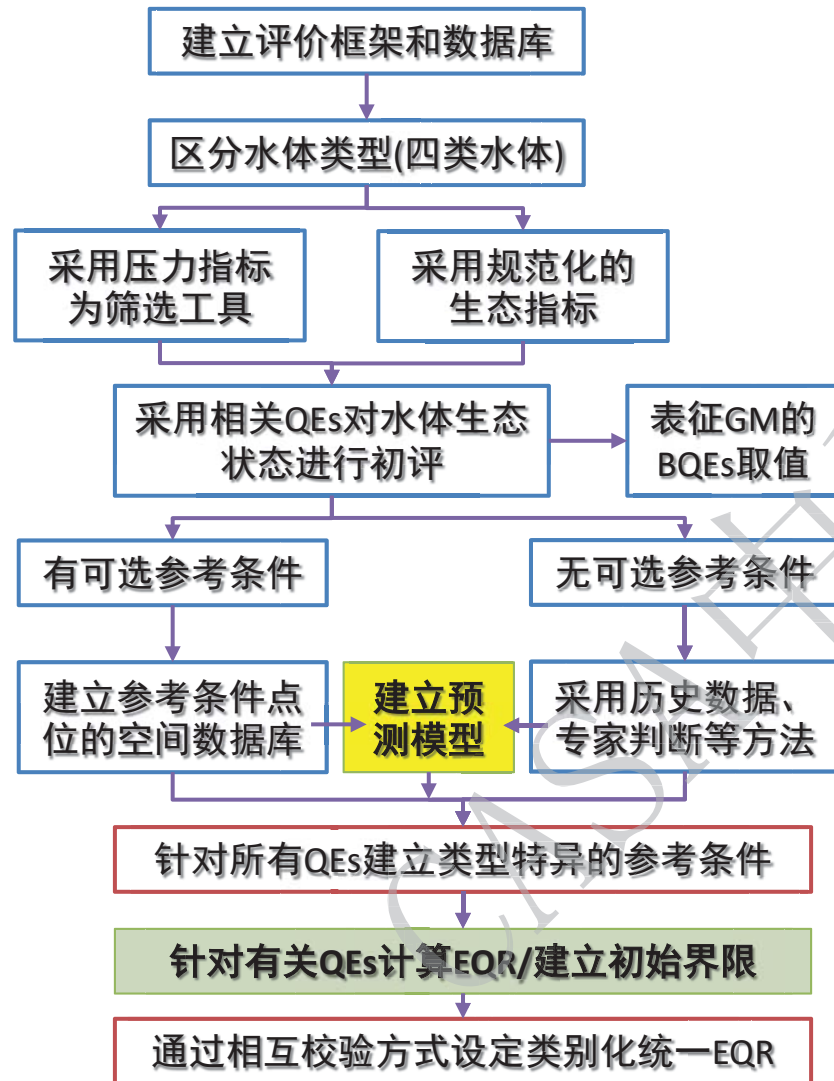
指标类别	河流	湖泊	过渡带水体	海岸带水体
<b>生物指标</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水生植物组成和丰度</li> <li>2. 低栖无脊椎动物组成和丰度</li> <li>3. 鱼类动物组成、丰度和年龄结构</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 光合植物组成、丰度和生物量</li> <li>2. 其他水生植物组成和丰度</li> <li>3. 底栖无脊椎动物组成和丰度</li> <li>4. 鱼类动物组成、丰度和年龄结构</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 光合植物组成、丰度和生物量</li> <li>2. 其他水生植物组成和丰度</li> <li>3. 底栖无脊椎动物组成和丰度</li> <li>4. 鱼类动物组成、丰度和年龄结构</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 光合植物组成、丰度和生物量</li> <li>2. 其他水生植物组成和丰度</li> <li>3. 底栖无脊椎动物组成和丰度</li> </ol>
<b>支持生物指标的水文地貌指标</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水文状况                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 水量和流态</li> <li>• 与地下水的连通性</li> </ul> </li> <li>2. 河流连续性</li> <li>3. 河流地貌                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 河流深度、宽度变幅</li> <li>• 河床结构和基质条件</li> <li>• 河滨带结构</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水文状况                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 水量和流态</li> <li>• 停留时间</li> <li>• 与地下水的连通性</li> </ul> </li> <li>2. 湖泊地貌                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 湖泊深度变幅</li> <li>• 湖床数量、结构和基质条件</li> <li>• 湖滨带结构</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 潮汐状况                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 淡水流量</li> <li>• 波浪冲刷</li> </ul> </li> <li>2. 地貌                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 深度变幅</li> <li>• 河床数量、结构和基质条件</li> <li>• 潮间带结构</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 潮汐状况                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 海流方向</li> <li>• 波浪冲刷</li> </ul> </li> <li>2. 地貌                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 深度变幅</li> <li>• 河床结构和基质条件</li> <li>• 潮间带结构</li> </ul> </li> </ol>
<b>支持生物指标的化学和物理化学指标</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一般状态                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 热条件</li> <li>• 溶解氧条件</li> <li>• 盐度</li> <li>• 酸度</li> <li>• 营养盐</li> </ul> </li> <li>2. 特征污染物                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 排放入河优先污染物</li> <li>• 以显著量排放入河其他污染物</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一般状态                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 热条件</li> <li>• 透明度</li> <li>• 溶解氧条件</li> <li>• 盐度</li> <li>• 酸度</li> <li>• 营养盐</li> </ul> </li> <li>2. 特征污染物                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 排放入湖优先污染物</li> <li>• 以显著量排放入湖的其他污染物</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一般状态                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 透明度</li> <li>• 溶解氧条件</li> <li>• 盐度</li> <li>• 酸度</li> <li>• 营养盐</li> </ul> </li> <li>2. 特征污染物                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 排放入海优先污染物</li> <li>• 以显著量排放入海的其他污染物</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一般状态                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 透明度</li> <li>• 溶解氧条件</li> <li>• 盐度</li> <li>• 营养盐</li> </ul> </li> <li>2. 特征污染物                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 排放入海优先污染物</li> <li>• 以显著量排放入海的其他污染物</li> </ul> </li> </ol>

## 水框架指令中采用的记分方式：生态质量比(Ecological Quality Ratio)



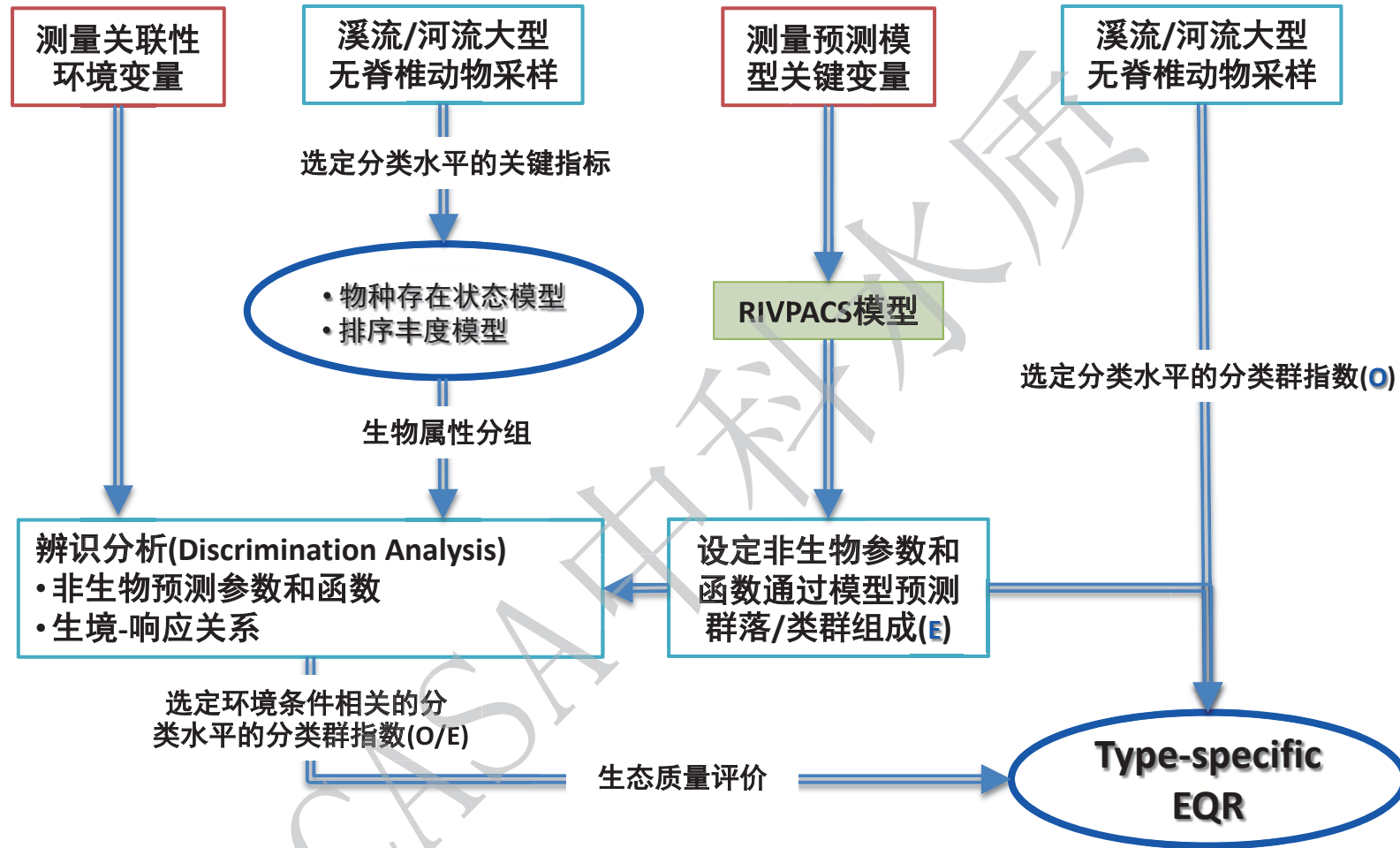
- 生态质量比(EQR)是给定地表水水体类型的生物质量要素(BQE)观测值与参考条件或期望值之比。比例应表示为0~1之间的数值，生态状态为“High”时EQR接近1，生态状态为“Bad”时以接近0的数值表示。参考条件的生物评价指数大于观察值时用负数转化。
- 采用类型校验后的EQR量度可以协调不同生物评价指标/参考条件方法所得到结果的一致性，降低不同国家EQR取值不确定性和提高可比性。EQR通常采用类别水体作为参照来“铆钉”评估结论。

## 欧盟水框架指令中地表水生态状态评价方法及其参考条件 (*a priori approach*)



- I. **基于空间特征建立参考条件**: 如果流域内存在一定数量几乎没有人类活动或很少人类活动的调查点位, 并适合用来计算参考条件参数的均值、中值、百分分布和置信度区间, 则根据调查数据建立参考条件是最有效、直接的方法;
- II. **基于预测模型建立参考条件**: 如果流域内没有足够通过空间特征建立参考条件的调查点位, 可以采用同一区域/类型水体的有效数据, 或借鉴类似区域/类型水体的有效数据建立模型并校验模型参数;
- III. **基于历史资料建立参考条件**: 在几乎没有未受人类活动扰动的区域或类型, 根据历史资料和考古资料重建参考条件;
- IV. **根据专家判断建立参考条件**: 专家判断通常是对预期条件的某种描述性意见, 再通过调查问卷方式转化为半定量、定量数据。专家判断最好用在无法通过其他方法找到参考条件的场合, 可以作为其他方法补充。

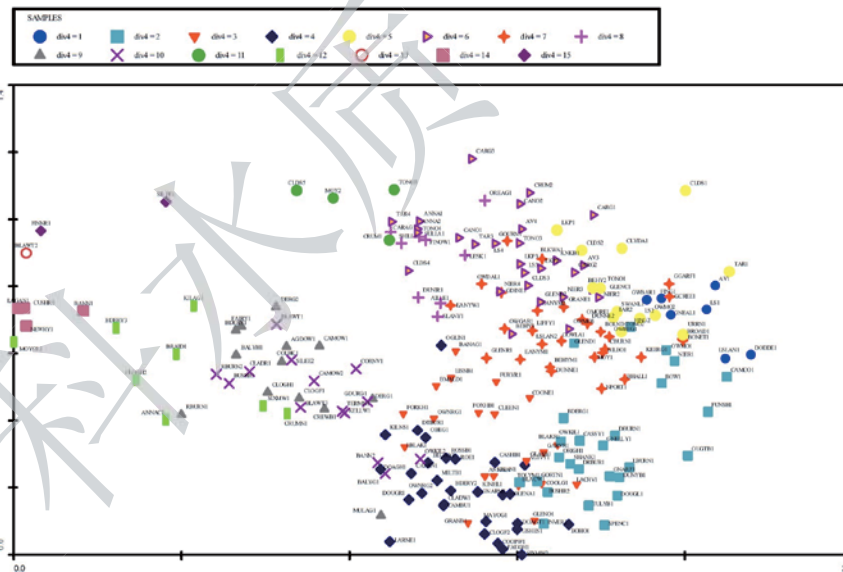
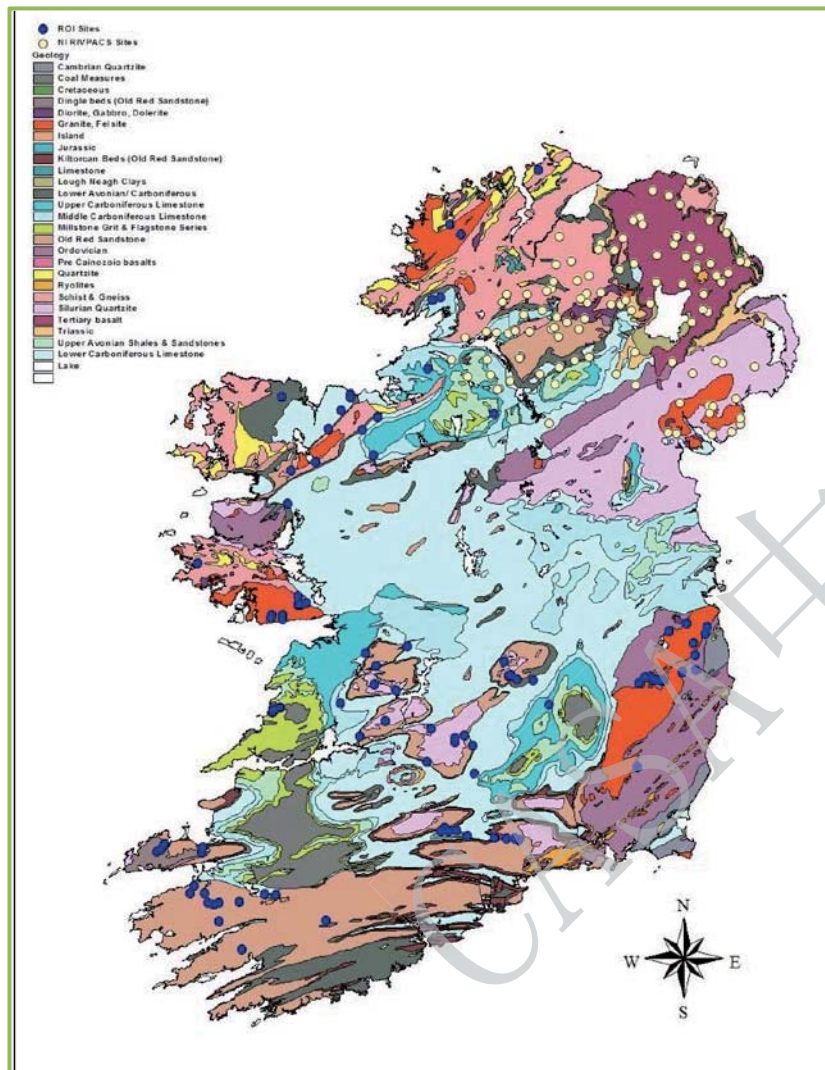
# 水体类型特异的参考条件(RIVPACS III预测模型及其应用流程)



RIVPACS模型根据地理条件、物理生境和水化学参数预测水生无脊椎动物生物指数的期望值(E)及其参考位点。RIVPACS-type模型采用预测模型关键变量的空间自相关数据分析方法对国家/流域层面的多个水体类别化(Typology)。英国利用RIVPACS于1995年共建立了614个参考点/条件。

# 爱尔兰(WFD 16<sup>th</sup>生态区)不同地质背景下参考点生物-生境类别化(TWINSPAN)

DCA作图将207个个位的266分类群生物数据类别化(15个)



DIV4-2(17个个位)

DIV4-3(17个个位)

Environmental Characteristics				
	Mean	Stdev	Min	Max
Altitude (masl)	104	53	10	172
D/Source (km)	9	5	2	21
Width (m)	7	5	2	15
Depth (cm)	33	14	20	70
Alkalinity (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	74	46	2	157
% Boulder/Cobble	63	32	5	95
% Gravel	23	23	5	85
% Sand	12	19	0	80
% Silt/Clay	2	5	0	20
Slope (m/km)	10.55	6.77	2.00	25.00
Discharge Category	3	1	1	5
Catchment Size Category	2	0	1	2
Geology Category	2	0	1	2

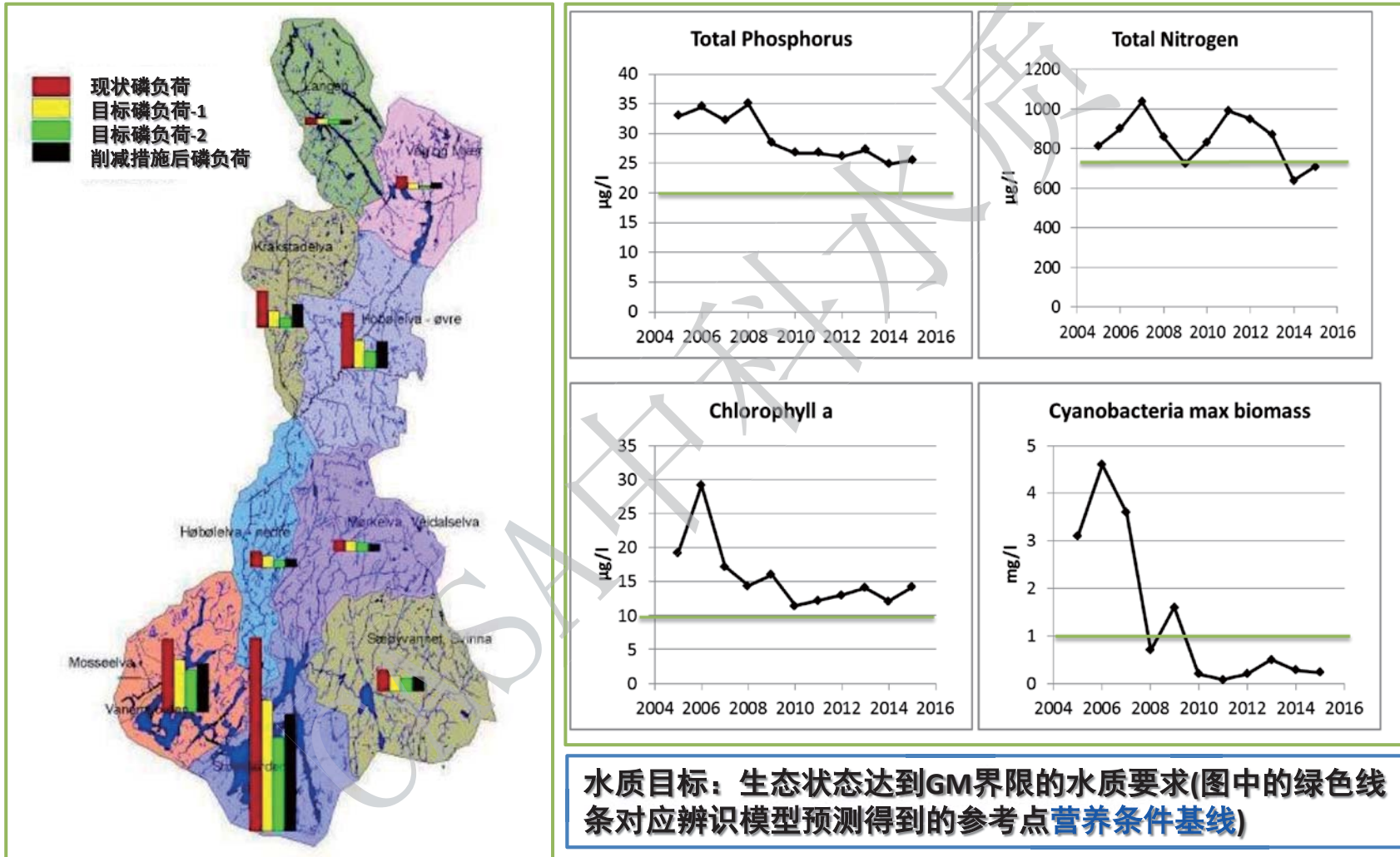
Biological Characteristics				
	Mean	Stdev	Min	Max
BMWP Score	165	21	134	202
Scoring Taxa	25	3	22	30
ASPT Score	6.48	0.27	6.00	6.96

Environmental Characteristics				
	Mean	Stdev	Min	Max
Altitude (masl)	80	52	5	180
D/Source (km)	6	2	3	11
Width (m)	6	3	2	10
Depth (cm)	27	7	15	40
Alkalinity (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	52	37	5	126
% Boulder/Cobble	70	21	15	95
% Gravel	22	19	5	80
% Sand	8	11	0	40
% Silt/Clay	0	0	0	0
Slope (m/km)	14.67	13.46	1.40	50.00
Discharge Category	2	1	1	4
Catchment Size Category	2	1	1	2
Geology Category	1	0	1	2

Biological Characteristics				
	Mean	Stdev	Min	Max
BMWP Score	147	16	119	177
Scoring Taxa	23	3	18	28
ASPT Score	6.48	0.27	6.08	6.91

# 在挪威Vansjø湖小流域RBMP中生态状态目标值和营养盐负荷削减计划



## 建议：中国生物评价的技术路线和eDNA可以发挥的作用

- 以受损水体生态(水生生物)修复为目的的生物质量评价方法比较适合现阶段国情(类似美国保护水生生物的TMDL)
- 由于资料数据严重缺失和认识水平有限，经费也不足支持经验路线/先验路线的评价，以“仅存最佳条件”作为参考条件比较现实
- eDNA可以用来建立“生物多样性”指数、研究种群依存关系和食物网结构、评估外来物种入侵和珍稀物种保护的相关参数
- 在四类建立参考条件的方法中，环境DNA可能有助于重建生物多样性背景和回溯已灭绝物种的历史情况(如湖相沉积物柱芯样品)

表征生物条件的三类参数分别是：种群依存关系和食物网结构，生物类群组成与丰度和生物个体健康状况  
建立参考条件的四类方式分别是：背景条件方法，历史回溯方法，模型预测方法和专家判断方法

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