第十五届中国水论坛学术报告，深圳，2017年11月11日

生态水文学的发展与展望

夏 军

武汉大学水安全研究院
中国科学院水资源研究中心

2017年11月11日

提 纲

一. 生态水文的学科需求

二. 生态水文研究的问题

三. 生态水文发展与展望

一、生态水文学的学科需求

我国是一个水问题十分突出的发展中国家。随着全球变化和社会发展，国家水安全面临愈来愈严峻的水与生态问题的挑战！

河道断流、湖泊干涸、湿地退化等问题严重，影响到我国生态安全

据2014年1月公布的湿地资源调查结果，近10年来我国湿地面积减少了339.63万公顷，其中自然湿地面积减少了337.62万公顷，减少率达9.33%。

举例：我国海绵城市建设面临的“年年看海”背后的水生态问题愈来愈凸显

仅以武汉市为例，2016年汛期暴雨灾害造成全市12个区75.7万人受灾。直接经济损失22.65亿元，....。

造成武汉市等超大城市严重的内涝因素很多，但其中一个重要的原因是城市水生态退化严峻！

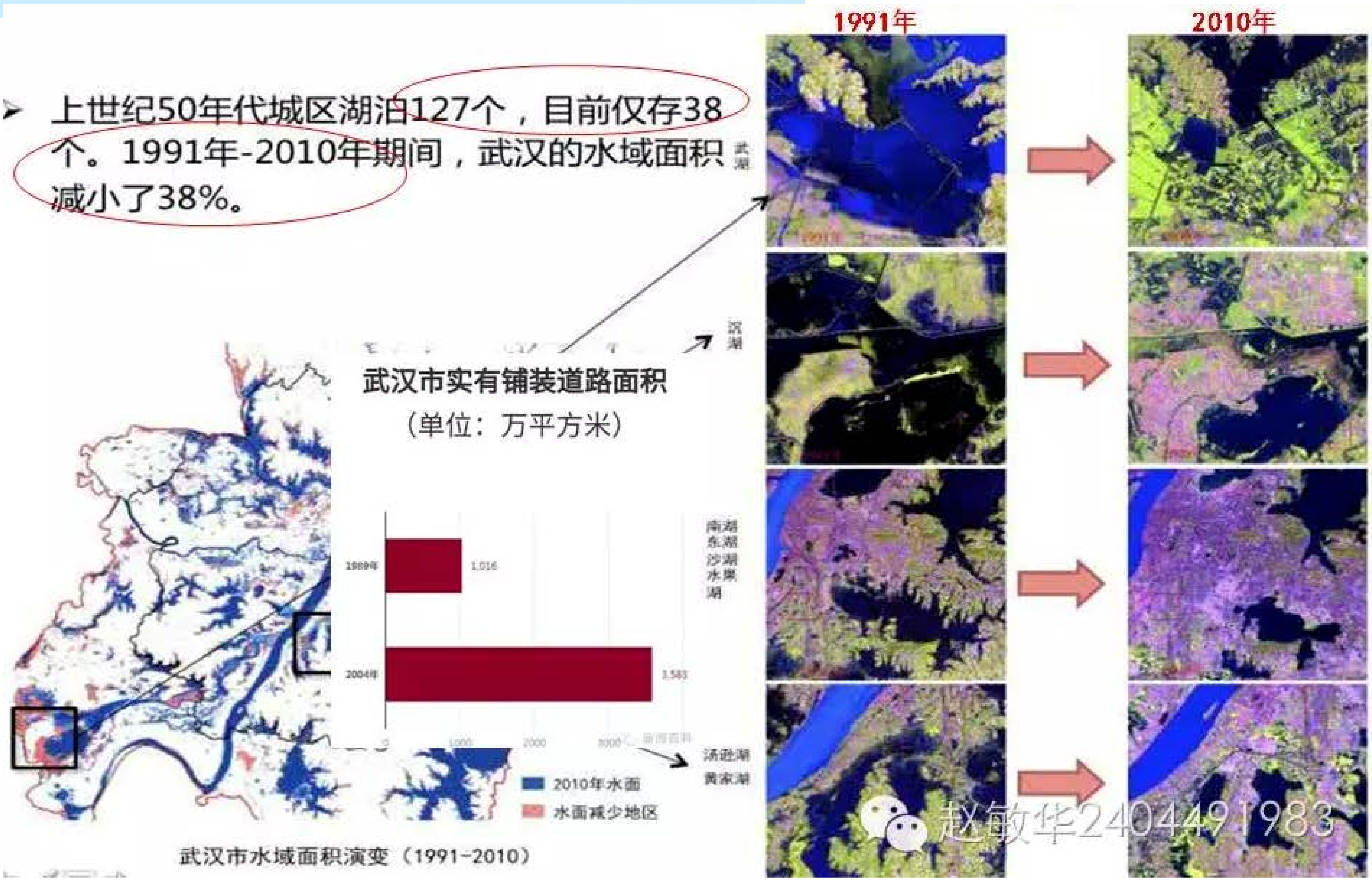
据统计，素有“百湖”之称的武汉市，近30年来武汉市的湖泊面积减少了228.9 km^2, 近10年减少11.4 km^2。

在国家实施海绵城市建设中，缺少基础的生态水文学知识与战略支撑，造成国家大量投资，但是仍然面临“年年看海”的困境!




武汉市湖泊退化及其蓄水变化

- 上世纪50年代城区湖泊127个，目前仅存38个。1991年-2010年期间，武汉的水域面积减小了38%。



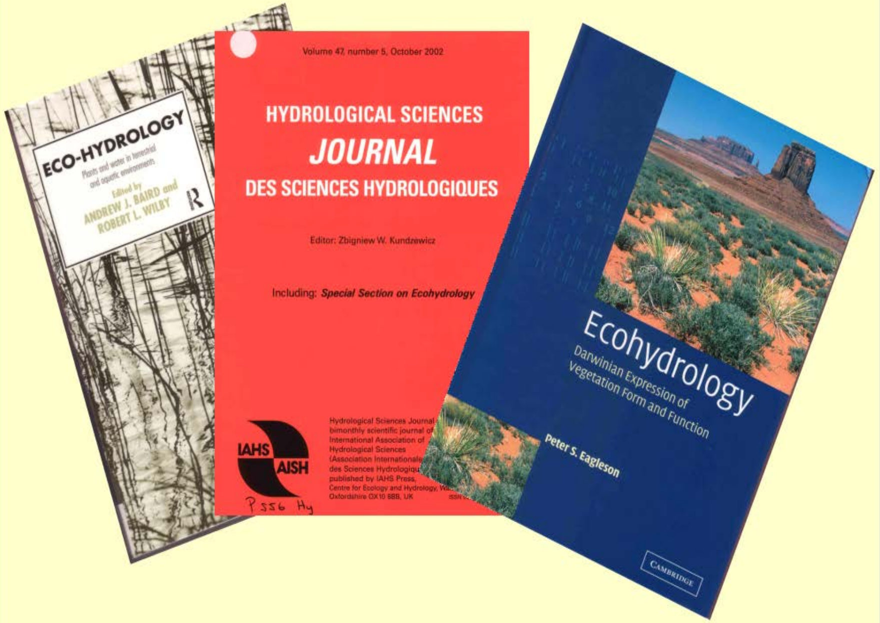
什么是生态水文？

生态水文学（Eco-hydrology)

定义 Definitions:

Eco-hydrology seeks to describe the hydrologic mechanisms that underlie ecologic patterns and processes. (Rodriguez-Iturbe, 2000)

探索与揭示形成生态格局和过程的水文学机制



一、生态水文学的学科需求

生态需水估算

河流生境（环境）流量

流域生态水调度与管理

多尺度的
水与生态问题

二、 生态水文学研究的问题

核心：水与生态的关系

1. 河湖生态水文




河湖生态系统

是与人类居住环境最为密切的载体

水文过程是其基础

水文过程

非生物过程

- 沉积、输送和再悬浮（如，Rhodes & Furey, 2004 ）
- 水下光环境（如，Loiselle et al.,2005）
- 水化学特性（如，Dinka et al., 2004）
- 温度分层（如，Nowlin et al.,2004）

生物过程

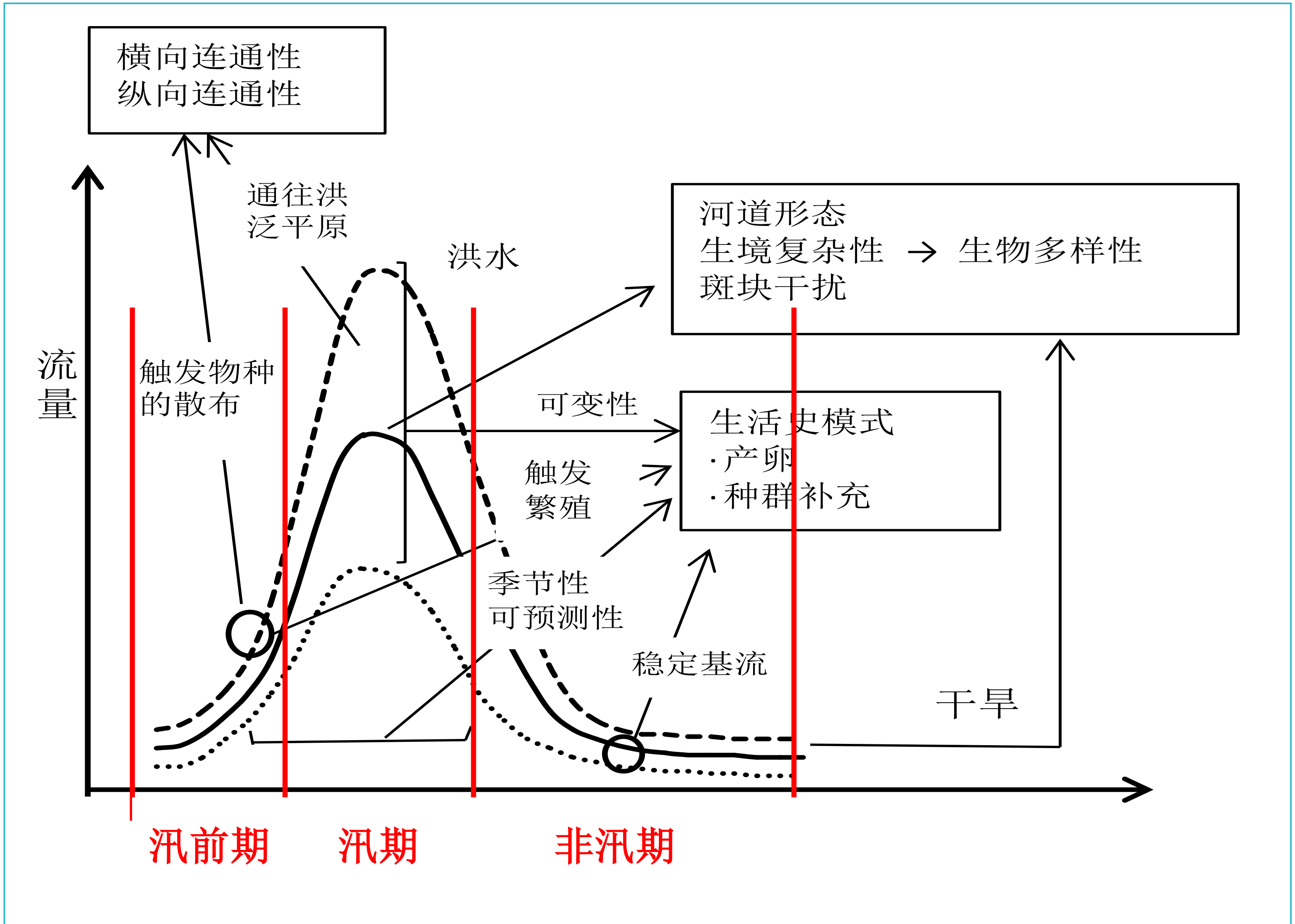
- 湿地植物（如，Nilsson and Keddy ,1988）
- 藻类（如Cantonati & Angeli, 2003）
- 底栖生物（如，Leslie et al., 1997）
- 两栖类（如，Real and others, 1993）
- 鱼类（如，Kinsolving and Bain, 1993）
- 水鸟（如，Desgranges et al., 2006）

河湖生态水文重要的研究内容

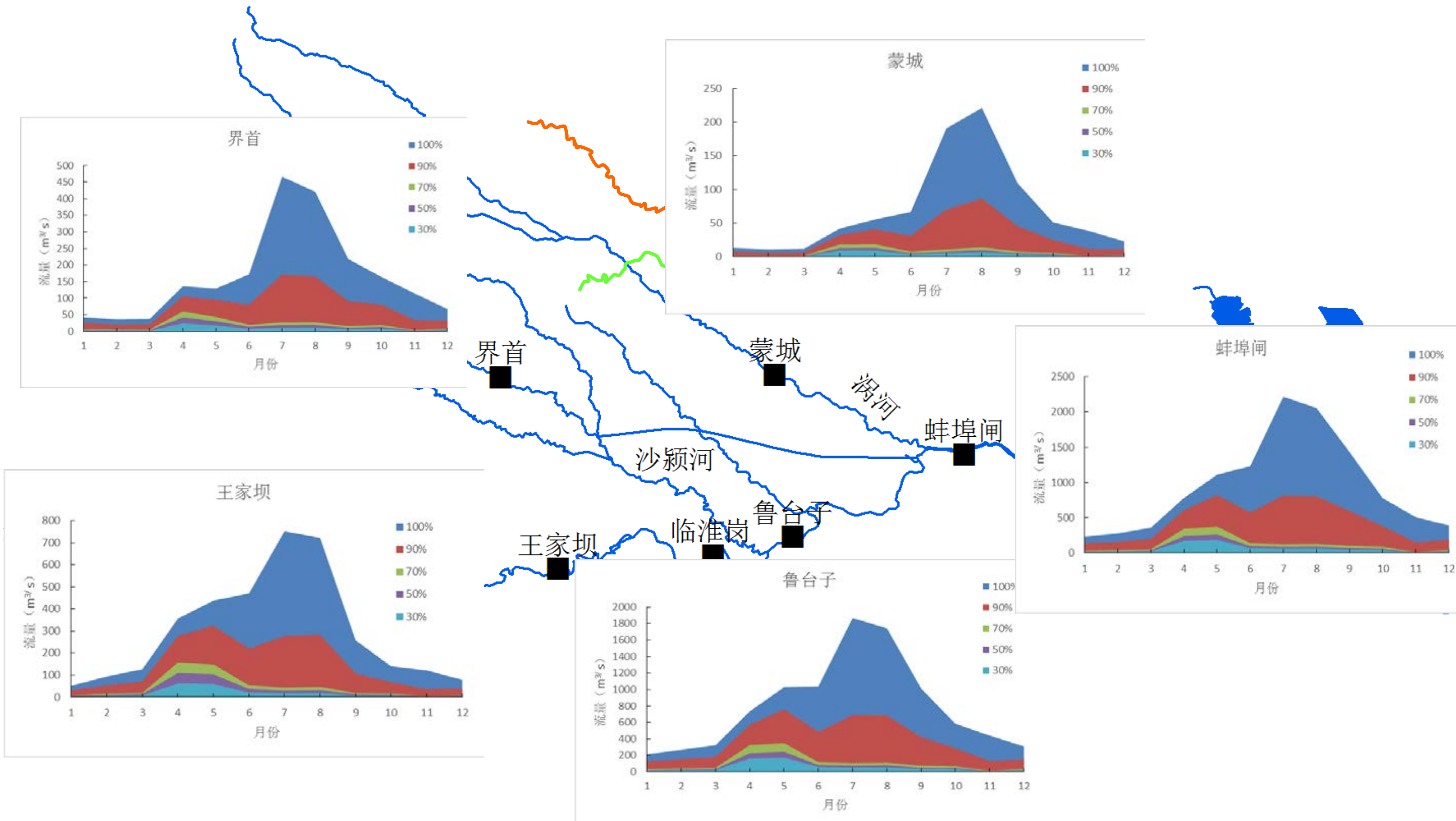
环境流量/生态需水



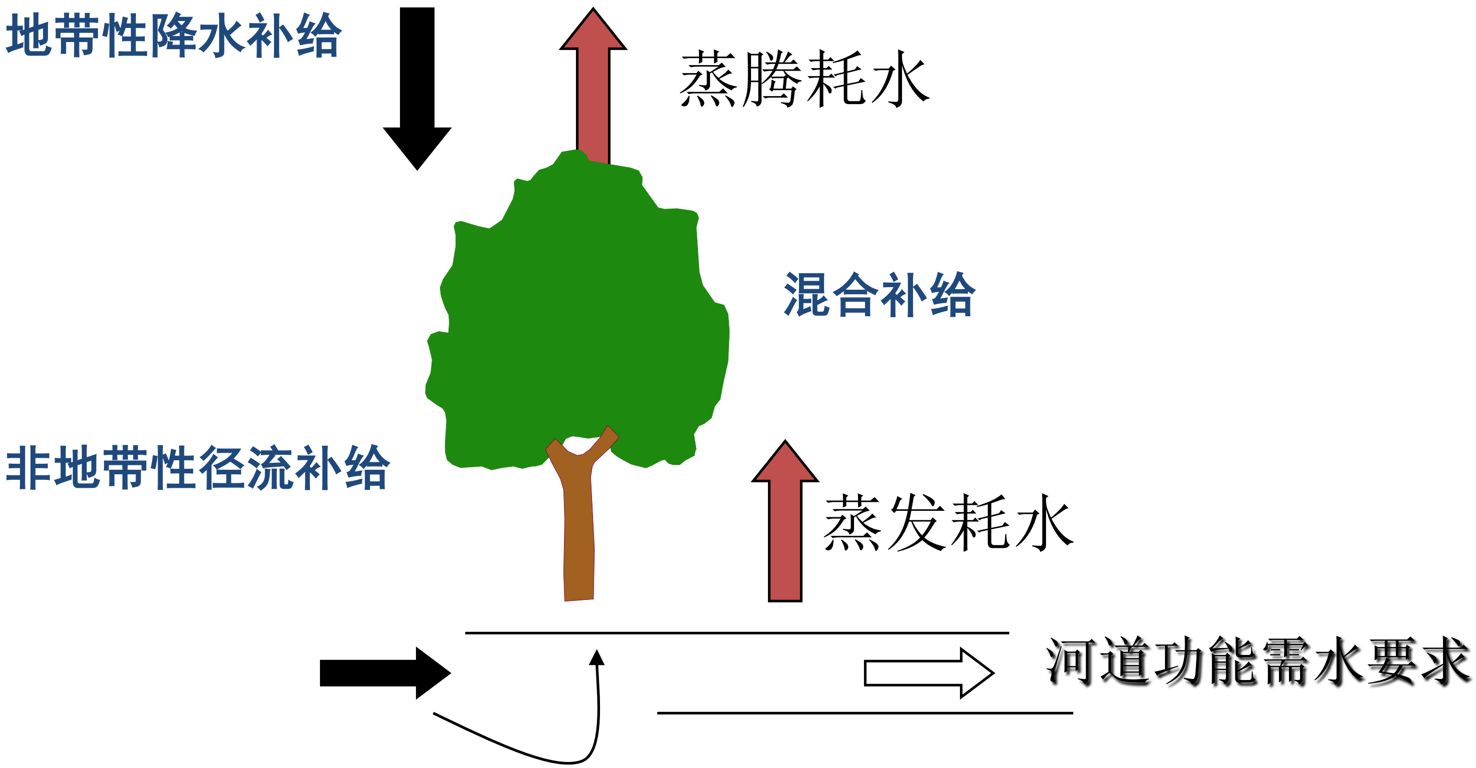

生态水文过程与标准生态流量



举例：为满足淮河流域干支流不同河流指示性鱼类和河流生态目标的生态水文过程的估计



2. 植被生态水文



以中国西部塔里木河流域下游为例：

地下水的变化直接影响植被生态系统的质量

塔里木胡杨林生态系统：

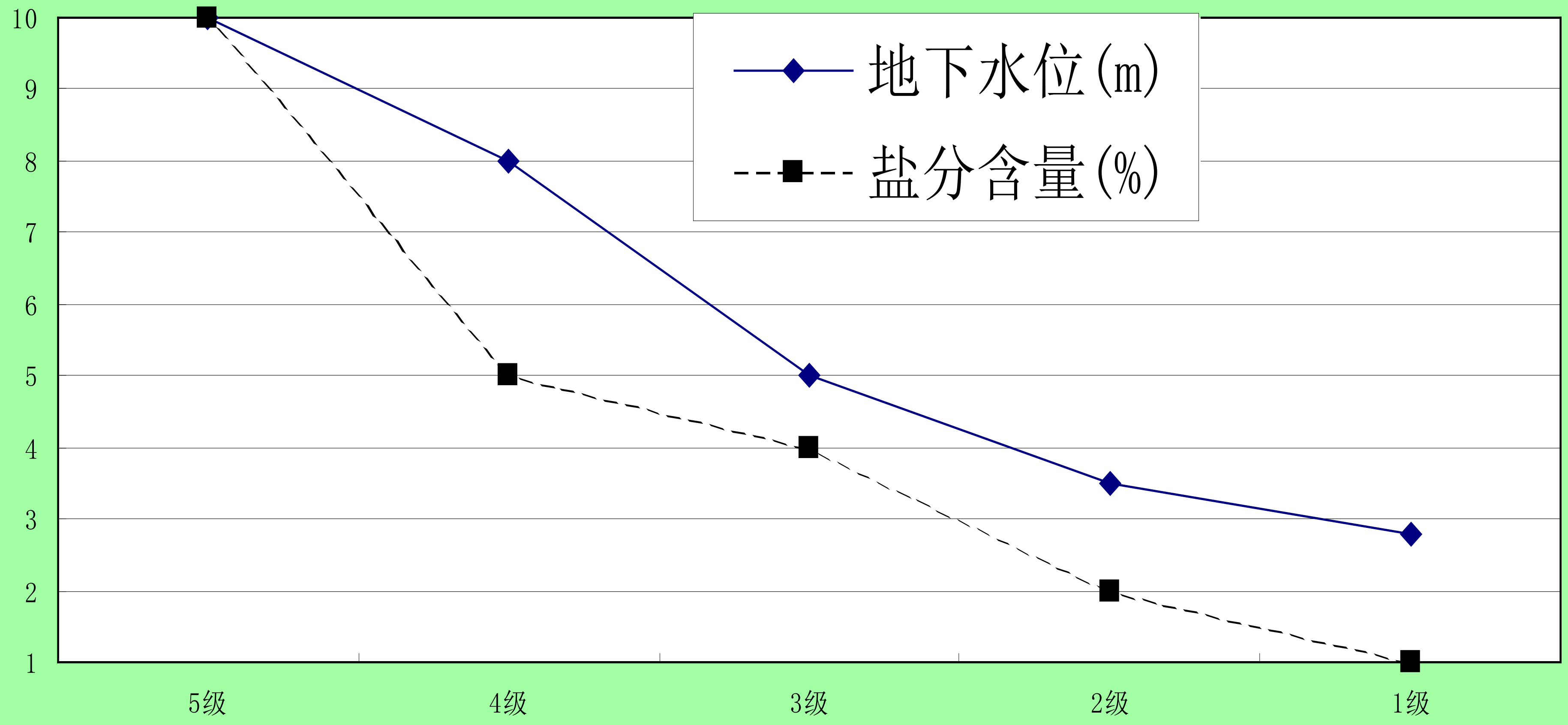
- 当地下水位埋深低于3米，生长比较好，
- 当地下水位埋深大于6米，胡杨林开始凋萎，接近死亡；
- 当地下水位埋深大于9米，胡杨林无法存活。

二、生态水文学研究的问题

塔里木河下游地下水位埋深大于9米死亡的胡杨林

水与生态系统的质量关系曲线

1级表示最好的生态质量，5级表示最差的生态质量

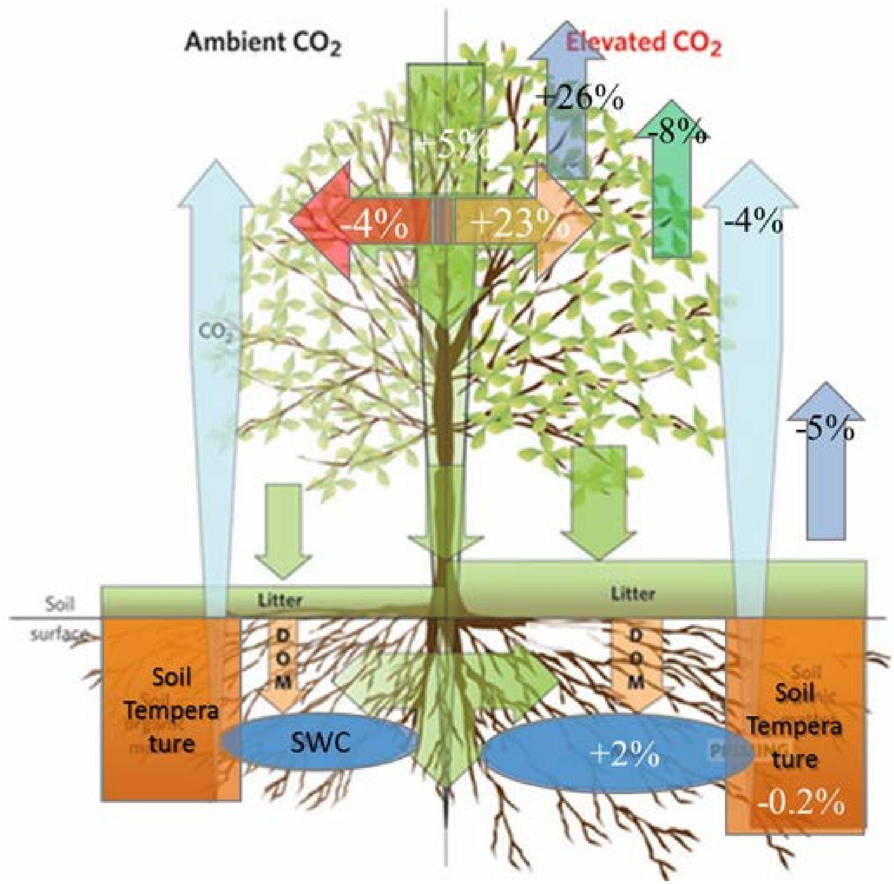


附图1　乔木（胡杨林）生境质量曲线图

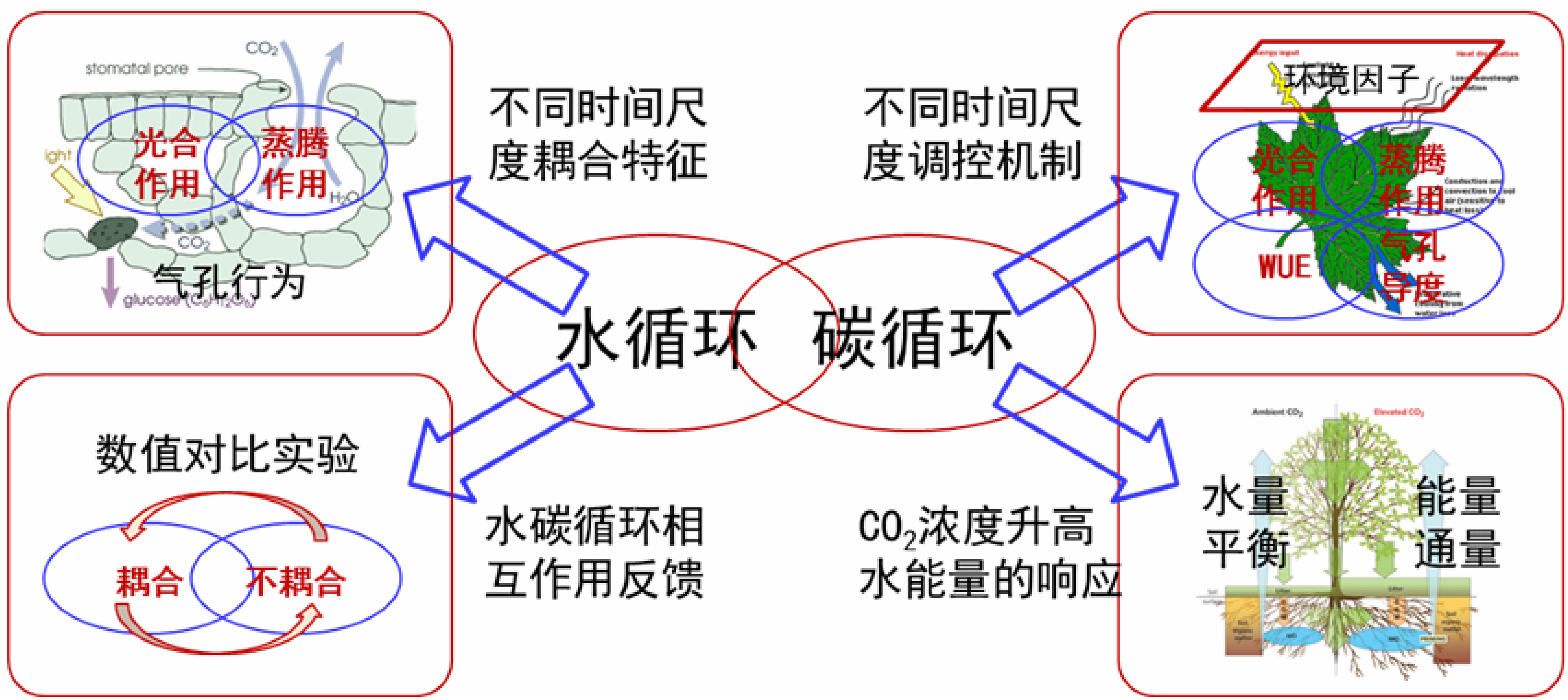
基础理论研究与模型

水、能量和碳氮的相互作用机制

4.3.2 双倍CO_2浓度条件下水、能量通量的响应



生态水文学的发展


stomatal pore
CO_2
光合
作用
蒸腾
作用
light
H_2O
CO_2
气孔行为
glucose ($C_6H_{12}O_6$)
不同时间尺
度耦合特征
不同时间尺
度调控机制
环境因子
光合
作用
蒸腾
作用
WUE
气孔
导度
水循环
碳循环
数值对比实验
耦合
不耦合
水碳循环相
互作用反馈
CO_2浓度升高
水能量的响应
水量
平衡
能量
通量

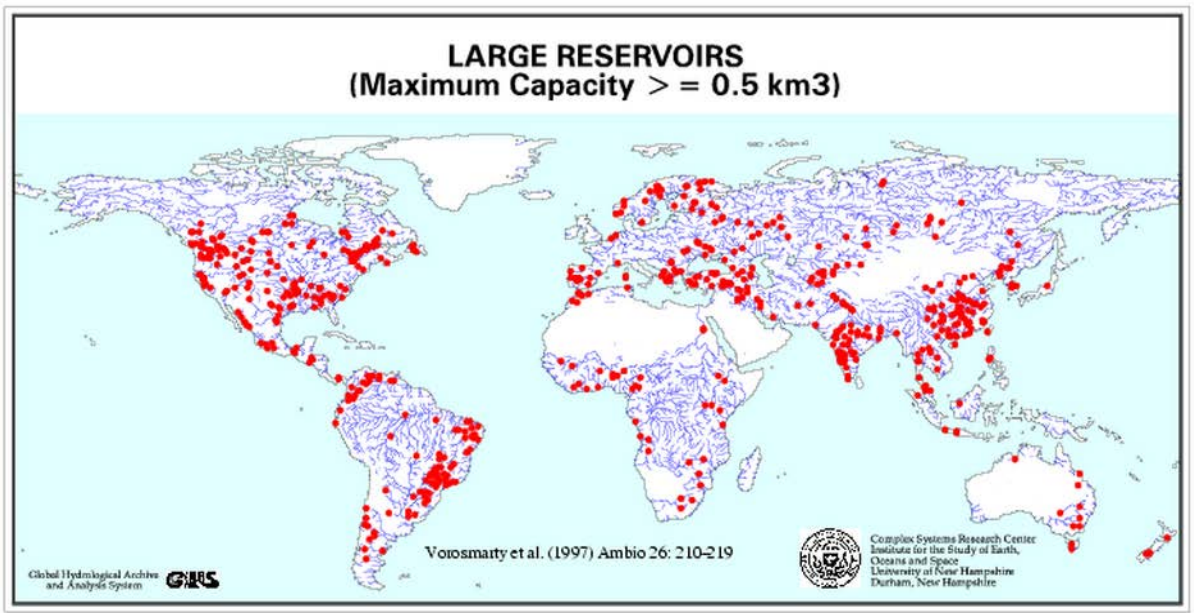
3. 流域/河湖/城市生态重建与管理

北京市永定河

- 水生态修复的生态用水估计
- 水水生态重建的规划设计
- 水系的水量-水质-水生态联合调控
- …

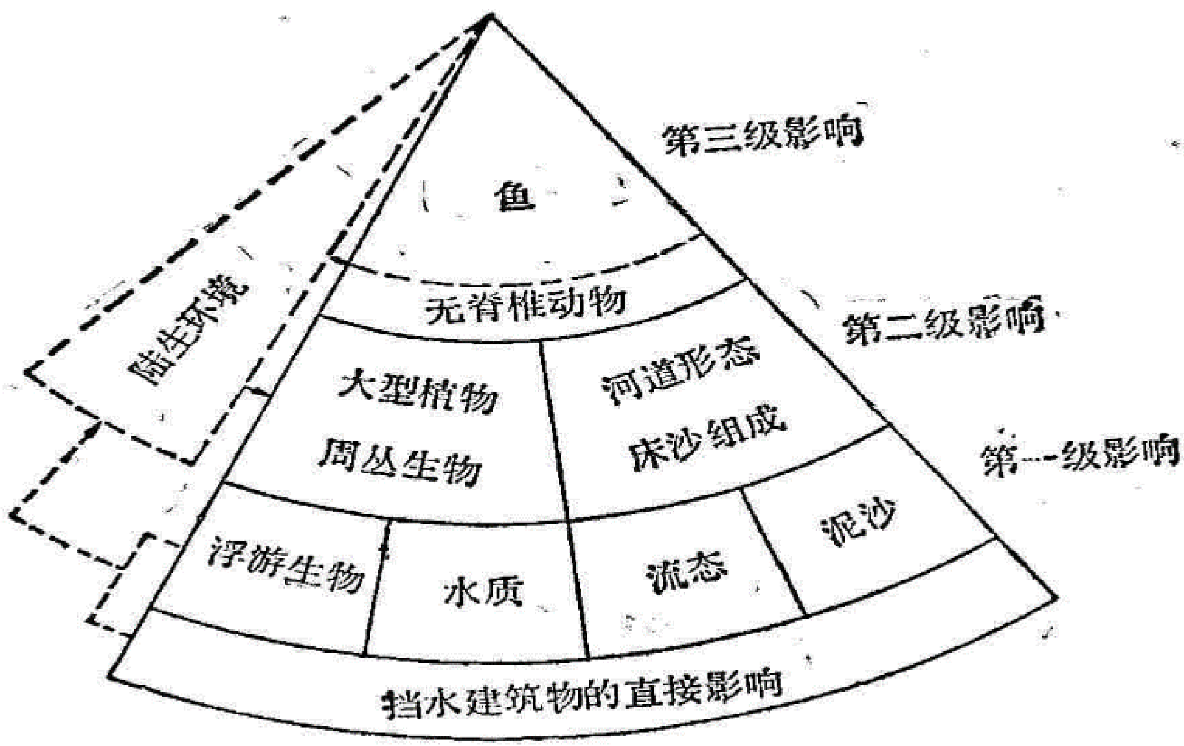
河流开发与水环境和生态的影响

全球约4.5万座大坝，中国约占有2.2万座大坝在运行，几乎所有这些大坝都是1949年以后建设的。



闸坝群建设对生态与环境影响评价的基础

水文学问题

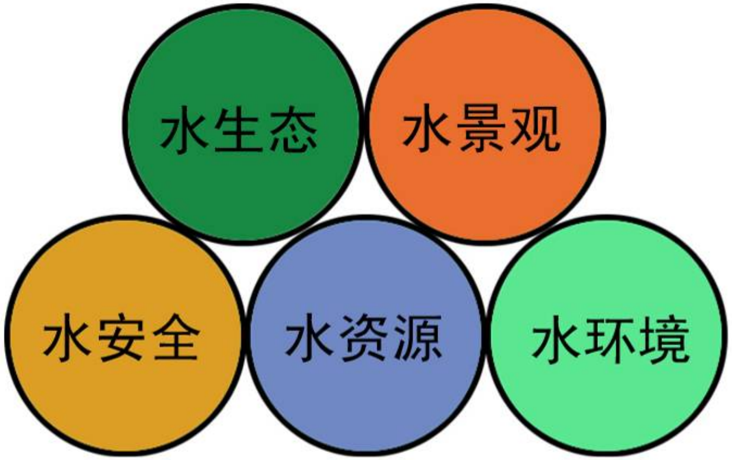


导致：水利水电工程下游减水河段生态退化
以至于造成很大尺度的生态环境影响

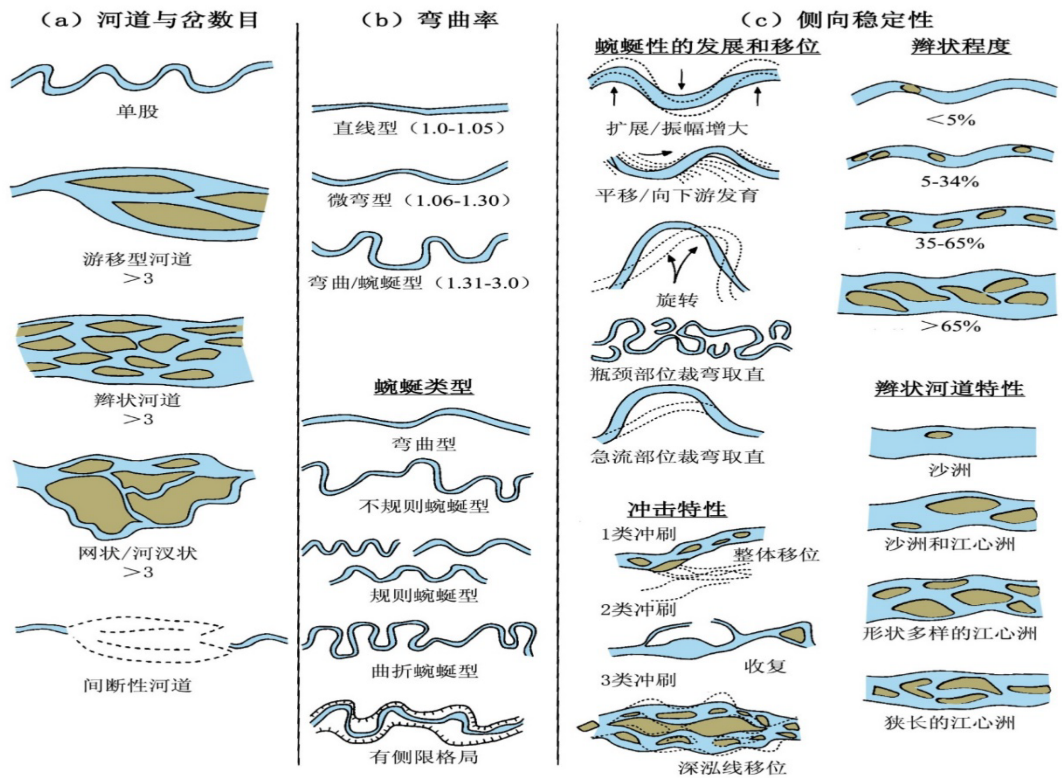
三峡工程、南水北调工程争议

河流生态治理任务

- 保障水安全
- 保护水资源
- 净化水环境
- 营造水景观
- 恢复水生态
- 彰显水文化



河道形态多样化



（a）河道与岔数目
单股
游移型河道
>3
辫状河道
>3
网状/河汊状
>3
间断性河道
（b）弯曲率
直线型（1.0-1.05）
微弯型（1.06-1.30）
弯曲/蜿蜒型（1.31-3.0）
蜿蜒类型
弯曲型
不规则蜿蜒型
规则蜿蜒型
曲折蜿蜒型
有侧限格局
（c）侧向稳定性
蜿蜒性的发展和移位
扩展/振幅增大
平移/向下游发育
旋转
瓶颈部位裁弯取直
急流部位裁弯取直
冲击特性
1类冲刷
整体移位
2类冲刷
收复
3类冲刷
深泓线移位
辫状程度
<5%
5-34%
35-65%
>65%
辫状河道特性
沙洲
沙洲和江心洲
形状多样的江心洲
狭长的江心洲

河流物种多样性

三、生态水文学的发展与展望

1. 生态水文学发展趋势（夏军，水利水电出版社， 2003）

- **2000年以后生态水文学研究进入了探索生态水文规律和应用上新的高度，也是水文科学发展最为突出的一个领域。…，从UNESCO-IHP 的发展计划来看, 生态水文学将向着淡水资源可持续发展理论的应用阶段发展,….**

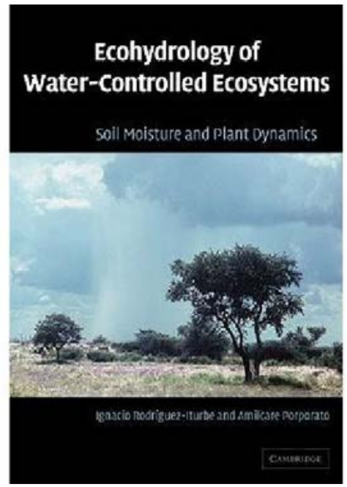
Timchenko 1994	研究所有生命及无生命组成的交互关系中的水文过程、现象及特性的科学
Hatton 1997	一系列环境条件下来探讨生态水文过程，它考虑了干旱地区、湿地、森林、河流和湖泊的生态水文过程
Post等 1998	研究水文、气象及生态过程之间的关系，包括不同时间下水文过程如何影响到生态过程及生态系统及地貌又如何回馈或影响到水文过程两个核心问题
Baird and Wilby 1999	是研究植物与水的相互作用以及与植物生长相关的水文过程
Rodriguez-Iturbe 2000	研究不同生态形式及过程中的水文机制的科学。它是在气候 - 土壤 - 植被动态过程中研究水文机制，以便预测生物对全球变化的响应
Nuttle 2002	关于水文过程对生态系统分布结构功能影响以及生物过程对水循环要素影响的交叉学科
穆兴民（2000）	整合了生态及水文知识，以了解生态系如何改变水文特性，而这些水文特性又如何影响生态系功能，虽仍为研究生态与水文之 关系，但较偏向水文特性之探讨

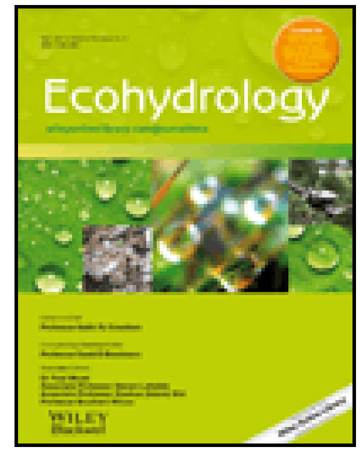
生态水文学的专著与杂志

国际：

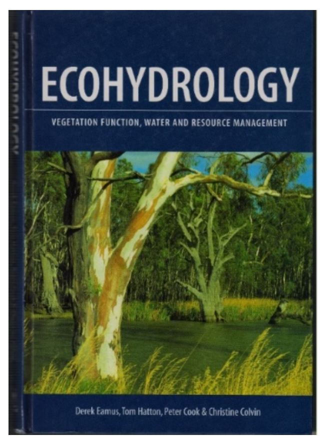
2000-2006年，Baird & Wilby，R. Iturbe D.Eamus 等出版“生态水文学”专著

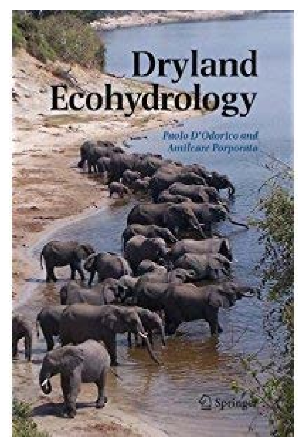
2013年，由UNESCO-IHP支持的生态水文学杂志

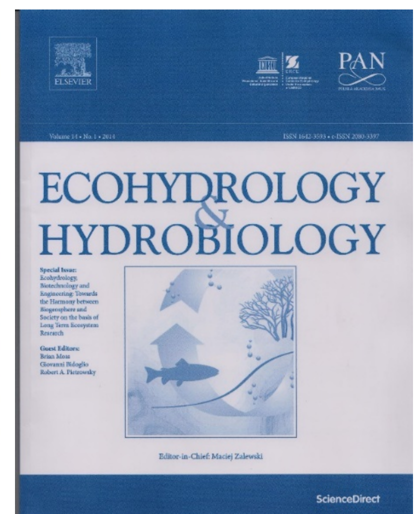




Edited By: Professor Keith RJ Smettem





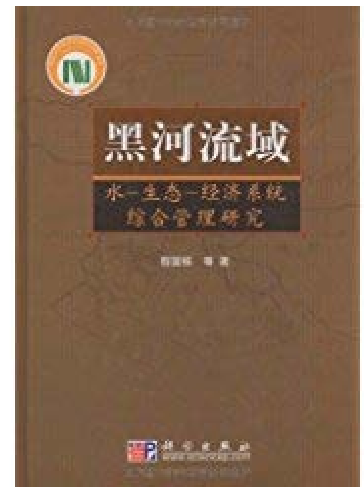


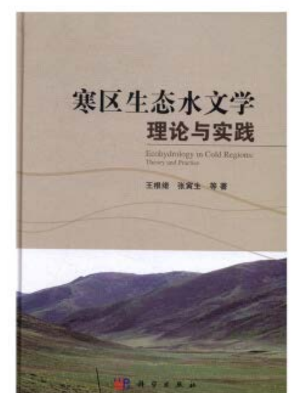
三、生态水文学的发展与展望

我国的生态水文学最早的系统性推动和引进是程国栋院士以及他的团队针对中国西部内陆河流域水与生态问题开展的，…

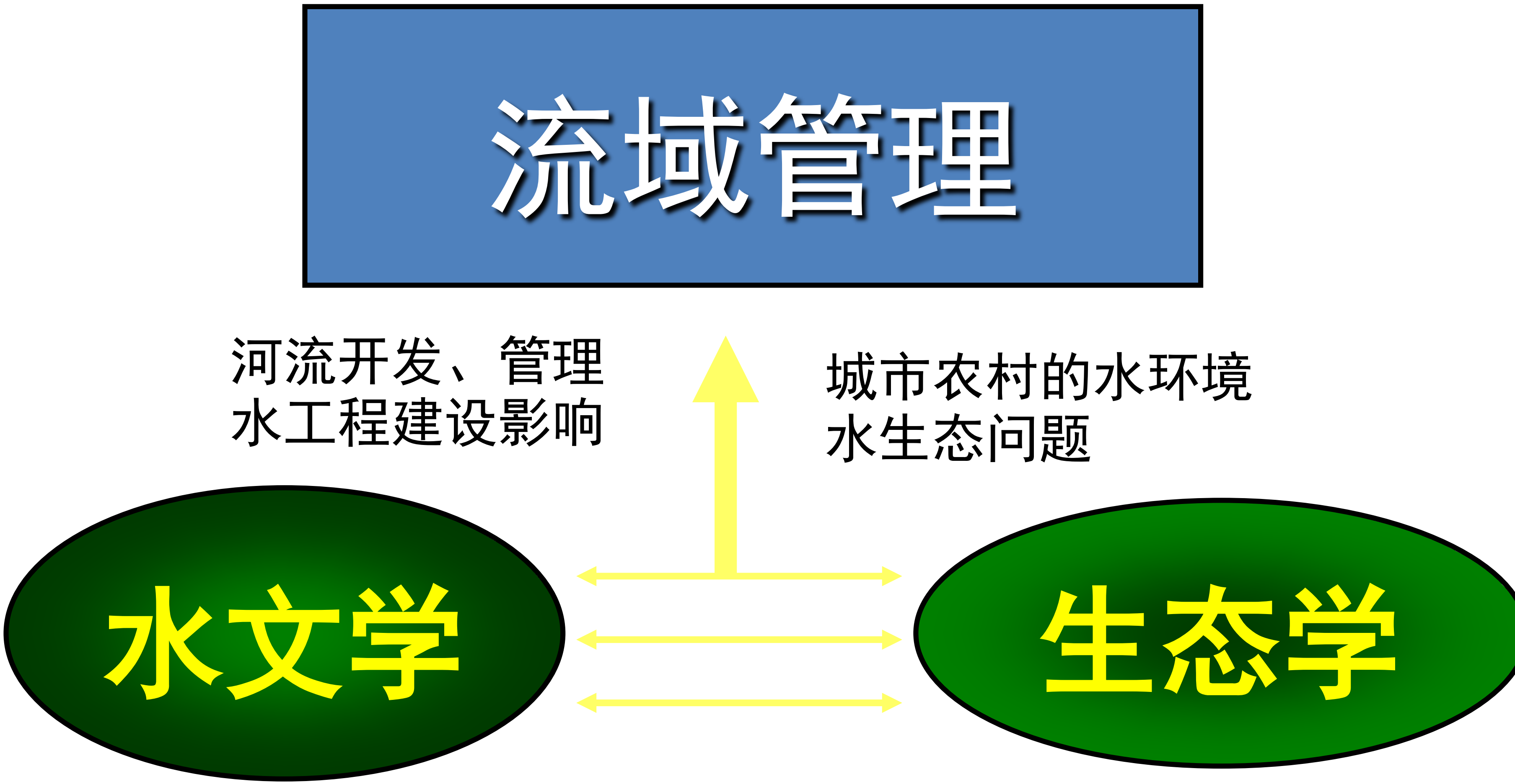
2015年8月14日 - Wilby著,赵文智,王根绪译,**生态水文学——陆生环境和水生环境植物与水分关系**,北京:海洋出版社,2002年

后来发展到寒区生态水文，国家基金委重大研究计划“黑河流域生态-水文过程集成研究”，…



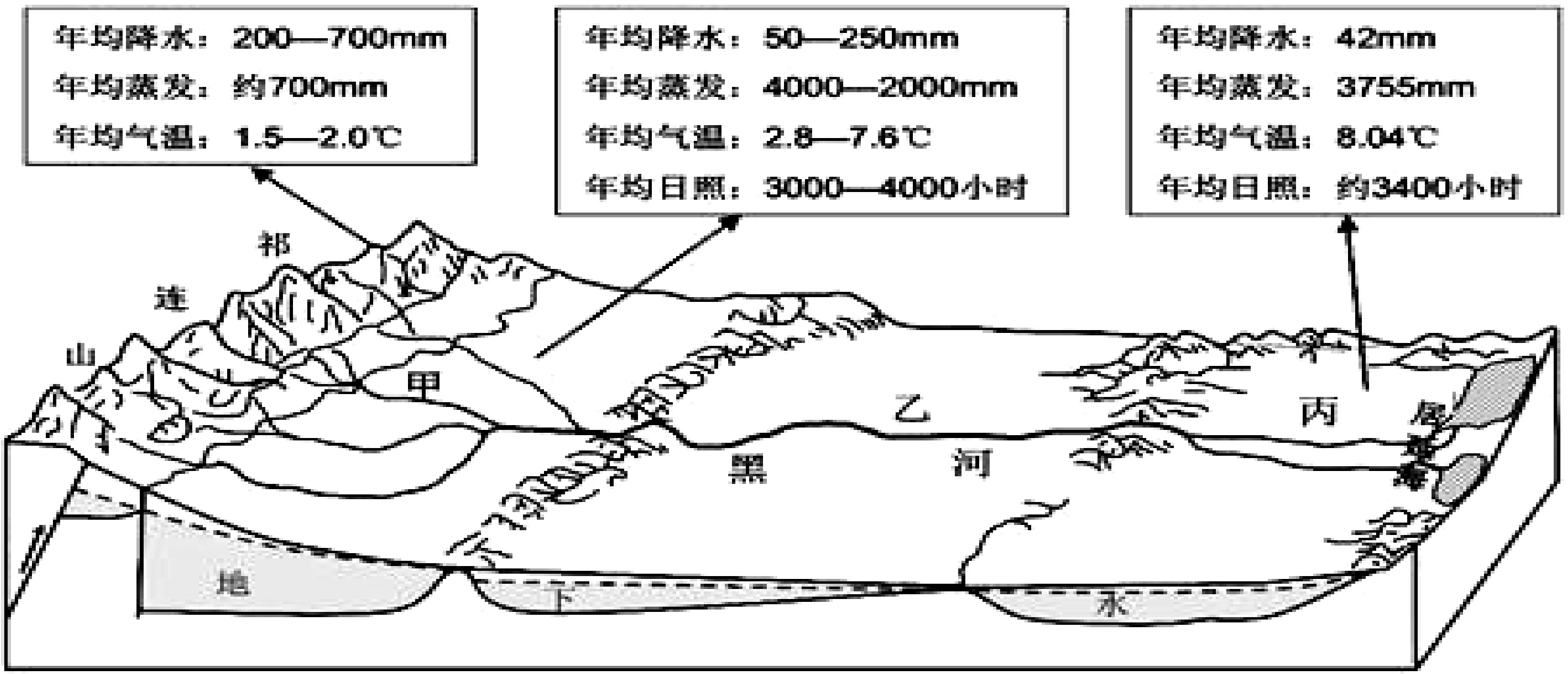


生态水文学



举例： **黑河上、中、下游不同的生态水文特征及其联系的**

流域系统生态水文过程示意



2017年5月科学院地学部批准了“生态水文学学科发展战略”院士咨询项目（负责人：夏军）

1. 目 标

（1）推动我国生态水文学的科学基础与战略研究

（2）服务于国家生态文明建设和水与生态问题的重大需求

（3）提升中科院在国家战略层面以及对国际生态水文学研究的影响

2、主要内容

（1）生态水文学国家需求和国际前沿问题分析

- 系统总结生态水文学知识，
- 阐述生态水文学的发展历程，
- 分析国内外研究现状和国际学科前沿问题
- 制定满足国家战略需求的学科发展思路

（2）生态水文学学科体系及理论方法总结

- 生态水文学学科体系的构架
- 生态水文学的理论方法，包括：
  基础理论、基本规律、
  研究方法、关键技术等

2、主要工作内容

（3）生态水文学未来发展趋势分析及研究展望

- 生态水文学要解决的重要科学问题
- 生态水文学未来发展趋势
- 生态水文学发展重点和应用前景
- 中国生态水文学研究重点突破的方向
- 中国生态水文学研究战略布局设计

（4）中国生态水文学发展战略制定及建议

- 学科战略发展总体规划
- 生态水文学重点分支战略规划
- 学科发展战略的建议

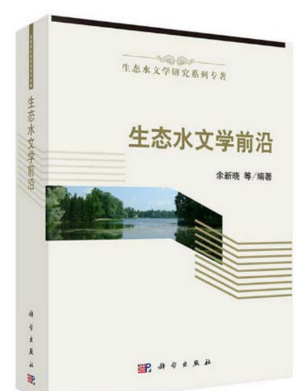
生态水文学的重点分支包括：

- ◆ 城市 生态水文学
- ◆ 农业 生态水文学
- ◆ 湿地 生态水文学
- ◆ 河流 生态水文学
- ◆ 湖泊水库 生态水文学
- ◆ 森林植被 生态水文学

生态水文

水文学
- 河流开发管理
- 水利工程建设影响

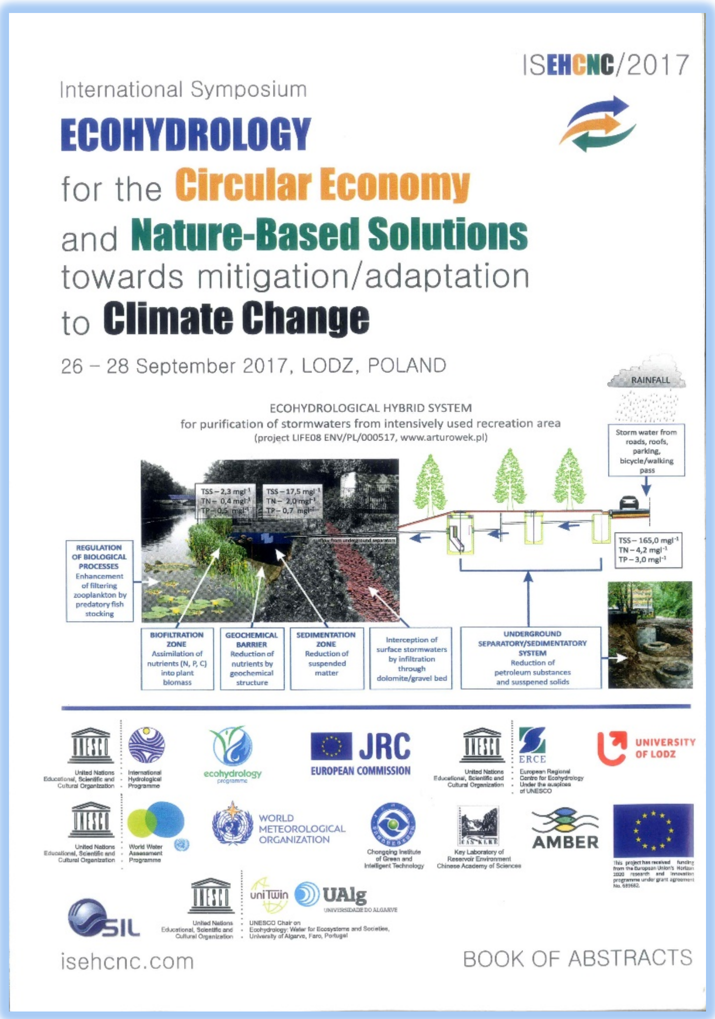
生态学
- 城市、农村的水环境、水生态问题



2017年国际生态水文学大会

-面向循环经济和基于自然修复以减缓和适应气候变化影响

波兰，罗兹，2017.10月15-18



UNESCO-IHP主持会议，在巴黎气候变化协议签订与新一轮国际水文计划启动的背景下召开的，旨在探索融合循环经济理念和基于自然生态系统的解决方案，推进新形势下的国际生态水文学研究与实践！

通过总结来自国际、国内相关学者们的学术交流内容总结以及个人看法，提出下列几点

生态水文学研究的展望

三、生态水文学的发展与展望

1. 健康河流的生态水文学基础：强调了流域环境治理和生态治理并重，加强河流、水库的碳循环和氮循环控制，抑制水库温室气体排放，保证流域物种多样性、生态服务功能和应对气候变化能力。**淮河流域水量、水质、水生态联合调度方法与实践（夏军）**

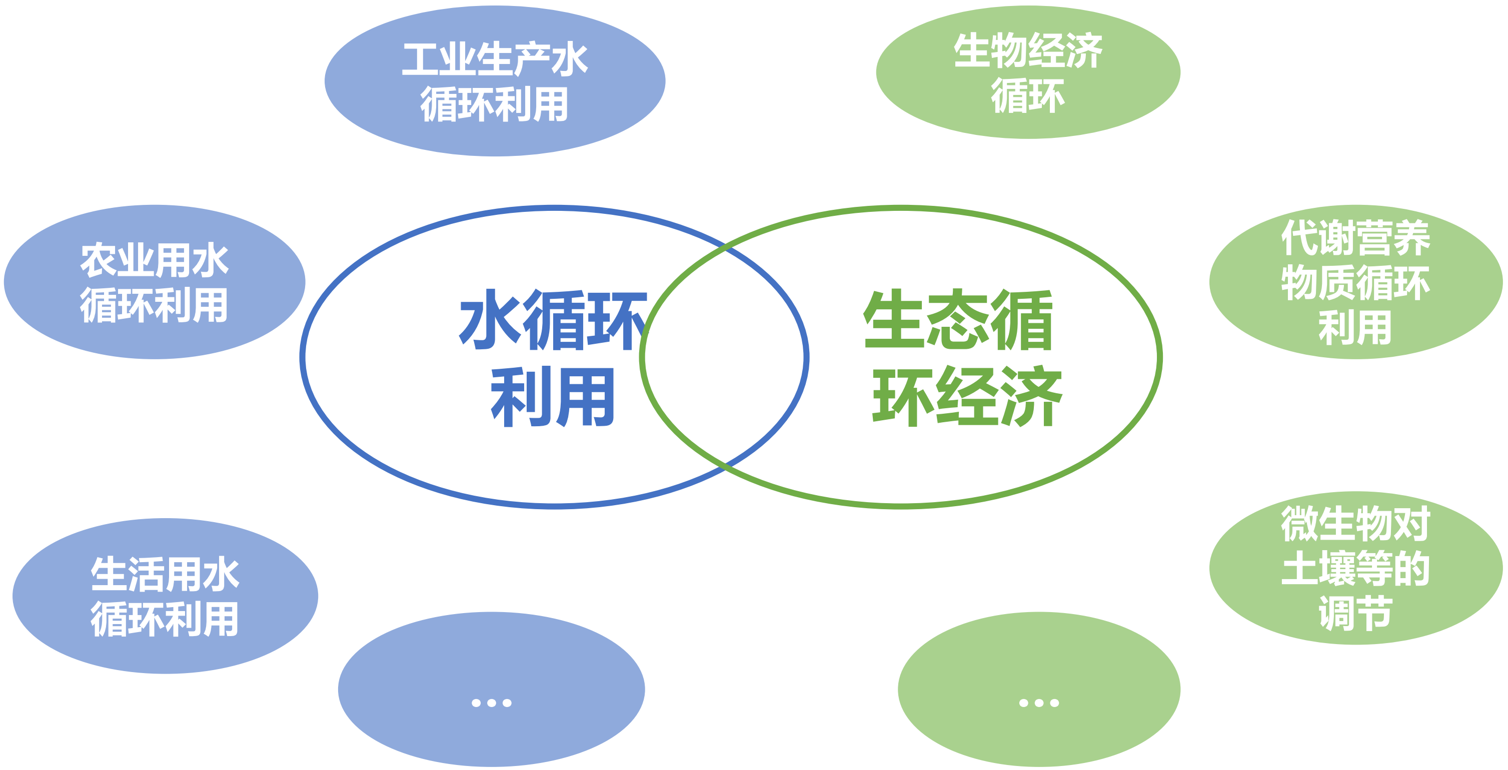
健康河流

物种丰富

水量充沛

水质良好

2. 面向循环经济的生态水文学研究：强调节能减排，以最小的能源消耗来得到最大物质产出；水和环境作为循环经济的重要组成部分，提倡水资源循环利用、基于新技术的生态循环经济



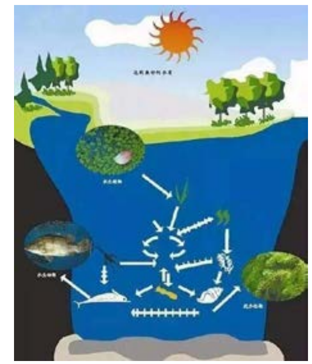
3. 应对全球变化影响的生态水文学：将湖沼学与生态水文学有机结合，寻求基于自然生态的系统解决方案。

生态水文学

＋

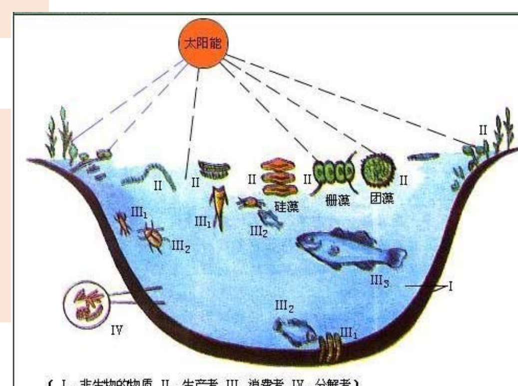
沼湖学

- 自然生态系统解决方案对湖泊、水库的保护
- 农田N、P平衡控制
- 丰富的鱼类和水生无脊椎生物对水质的积极贡献
- 应用水文学知识改进水库中水栖生物之间的相互作用机理



保持生物圈的生物多样性

农田N、P平衡控制



水生物改善水质

4. 针对已开发河流的欧洲河流生态修复计划(AMBER)：

包括: 分析修建大坝对河流水生态影响；对已开发河流阻断的联通；水电开发流域植被修复；对大坝等水工建筑物统一规划与适应性管理等

移除部分阻隔河流联通的水工建筑物

并非全部移除

对有重要能源供应的大坝予以保留

对有历史文化价值的建筑物予以保留

对阻隔物种入侵的水工建筑予以保留

成果分析和评价比较客观；很值得我国学习和思考（绿色/生态水利）

ISEHCNC/2017 – Lodz (Poland) 26-28 Sep 2017

Ecohydrology for the Circular Economy and Nature-based Solutions

Reconnecting Europe's Rivers: Challenges & Opportunities

AMBER

引自【Carlos Garcia de Leaniz，2017】

Why is river connectivity important?

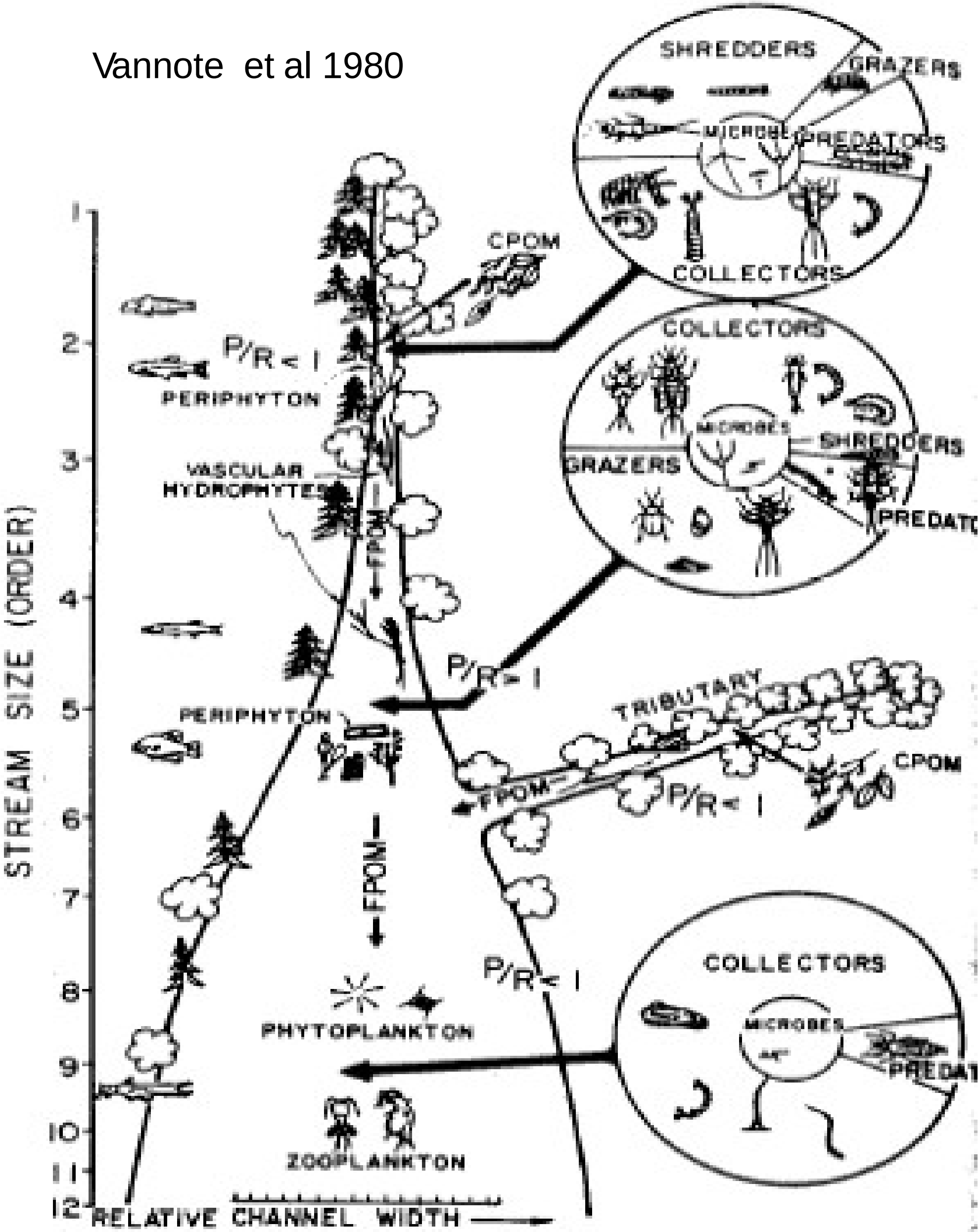
Many reasons:

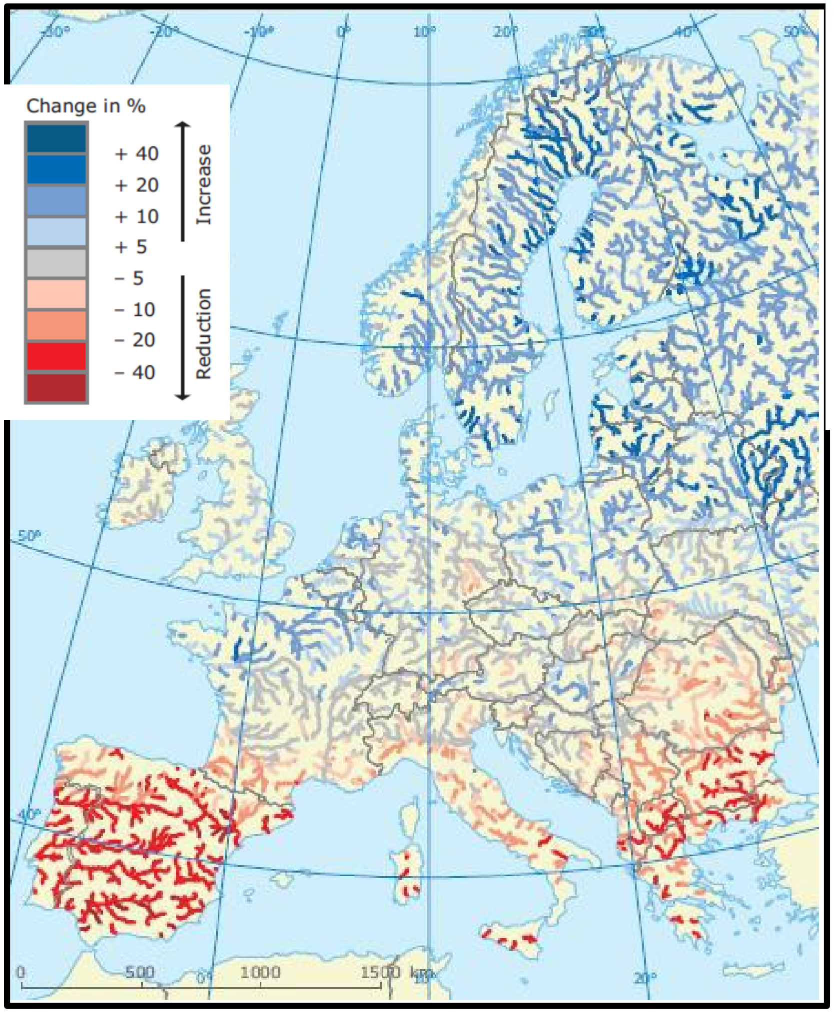
1. Healthy rivers = Flowing rivers

River continuum underpins structural and functional integrity of rivers

引自【Carlos Garcia de Leaniz, 2017】

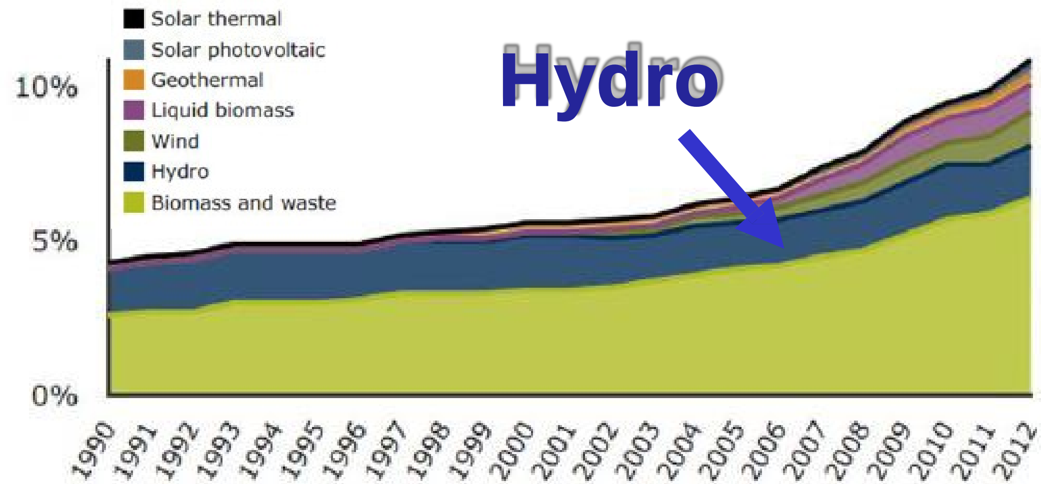
Vannote et al 1980





Projected changes in river flows over baseline values (EEA)

引自【Carlos Garcia de Leaniz, 2017】



Breakdown of renewable energies/total

4.River flows will decrease, ...where water is most needed!

5. Increase in hydro to meet EU energy targets

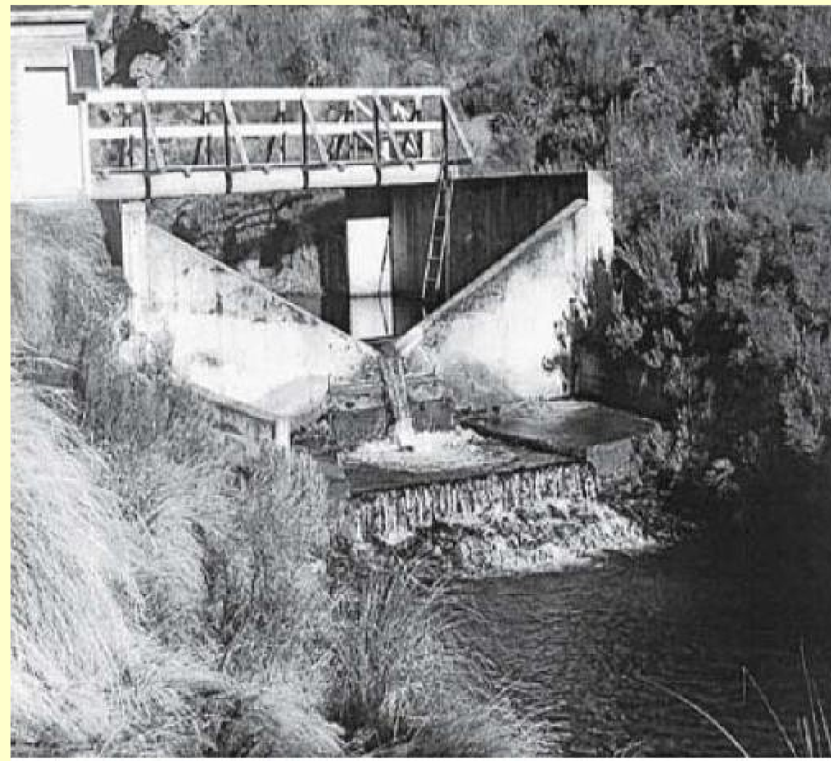
6.Impacts of barriers will worsen

8. Not all barriers can – or should – be mitigated

i.e. Aquatic Invasive Species

topmouth gudgeon

引自【Carlos Garcia de Leaniz, 2017】



Barrier to prevent immigration of invasive salmonids (NZ)

8. Not all barriers can – or should – be mitigated

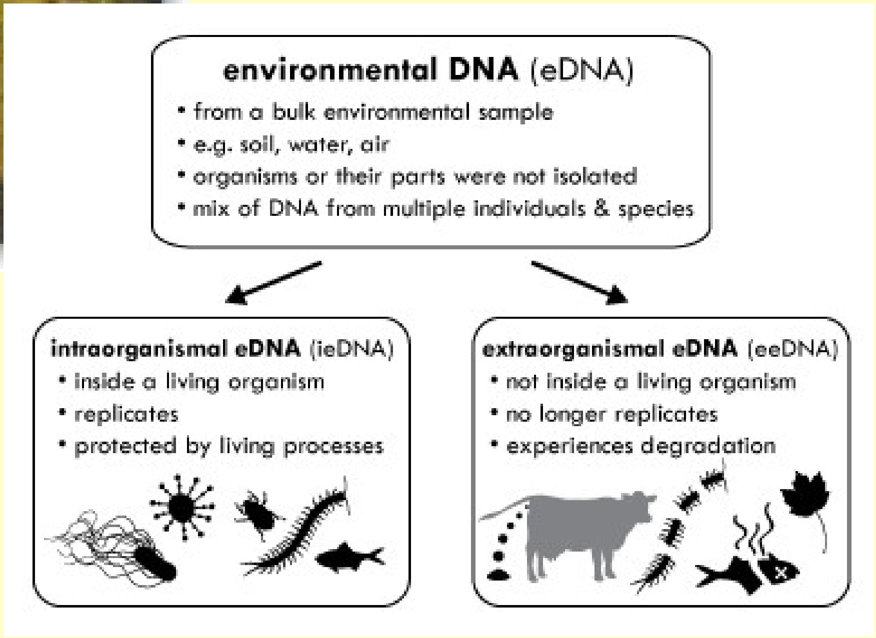
i.e. cultural heritage

Roman bridge (Cangas de Onis, R. Sella)

引自【Carlos Garcia de Leaniz, 2017】

New opportunities for restoring river connectivity

1. eDNA/meta-barcoding



引自【Carlos Garcia de Leaniz, 2017】

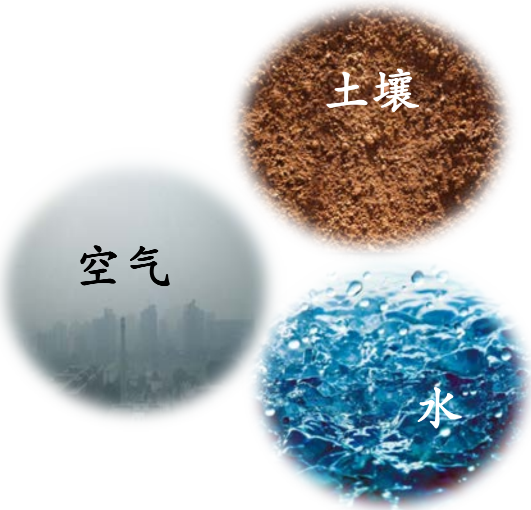
标注：DNA称为去氧核糖核酸，可组成遗传指令，引导生物发育与生命机能运作

主要功能是长期性的资讯储存，可比喻为“蓝图”或“食谱”

带有遗传讯息的DNA片段称为基因，其他的DNA序列，有些直接以自身构造发挥作用，有些则参与调控遗传讯息的表现

1 环境DNA 技术简介

Environmental DNA, eDNA
从环境样本中提取的DNA。



- 首次提及——Ogram et al. 1987
  从各种沉积物中提取微生物DNA

- 研究对象由微生物逐渐发展到大型生物

- 引入水生态监测领域——Ficetola et al. 2008

大型生物
环境DNA的来源

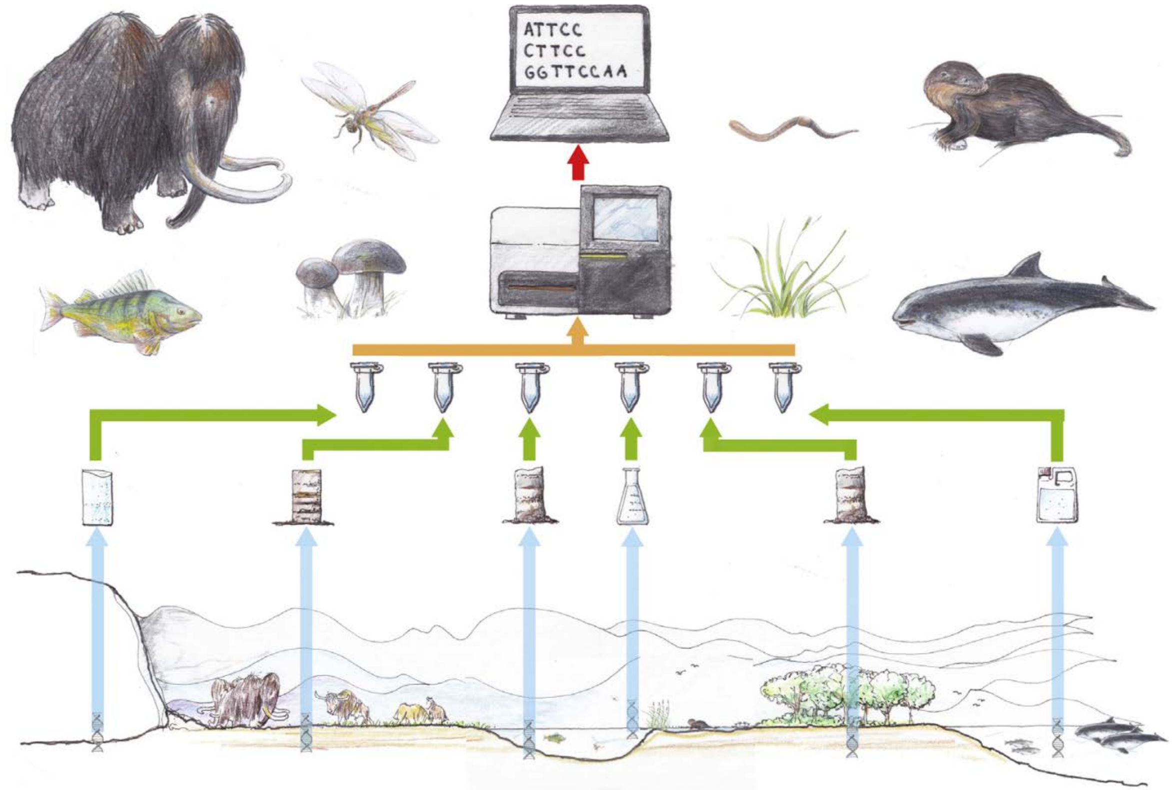
环境DNA 监测流程

片段和序列分析

分子标记检测

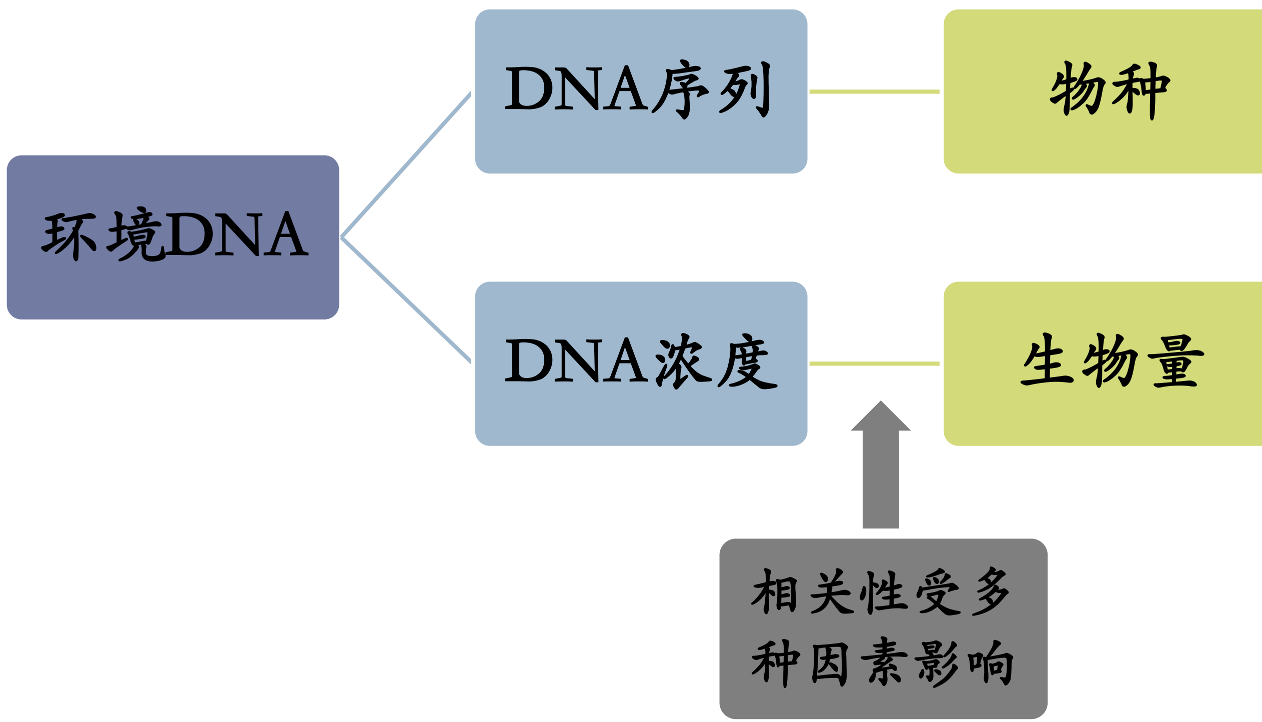
环境DNA提取

环境样本采集



取自【水利部中国科学院水工程生态研究所 】

从环境样本中能得到什么？



取自【水利部中国科学院水工程生态研究所 】

2 环境DNA 技术应用方向

入侵物种早期监测

珍稀濒危物种监测

物种多样性监测

种群生物量估算

取自【水利部中国科学院水工程生态研究所】

New opportunities for restoring river connectivity

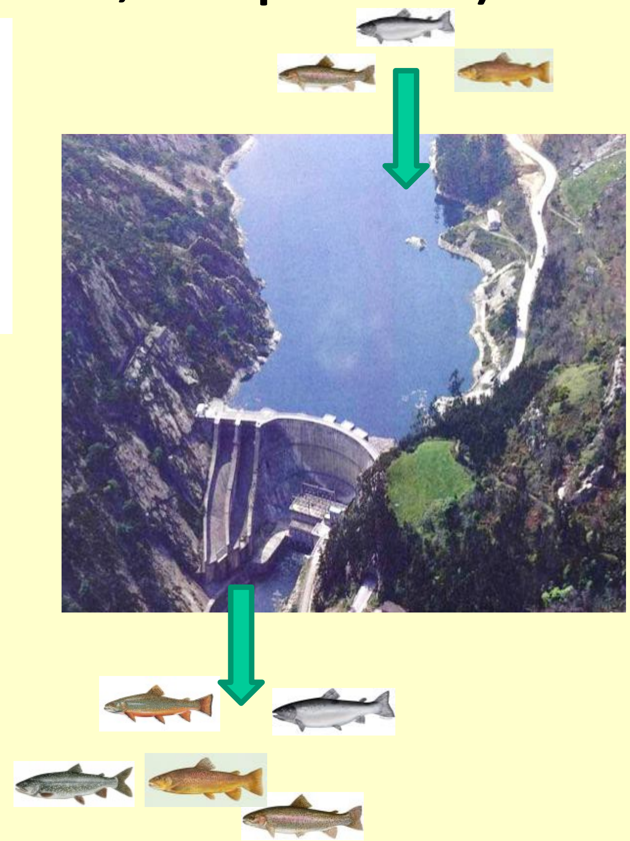
Case study (R Nalon, Spain; 5 dams, 5 species)

PeerJ

An extremely sensitive nested PCR-RFLP mitochondrial marker for detection and identification of salmonids in eDNA from water samples

Laura Clusa[1], Alba Ardura[2], Sara Fernández[1], Agustín A. Roca[1] and Eva García-Vázquez[1]

Figure 2 **Nalón River basin.** Dams along the river are shown; from downstream to upstream they are Valduno (D1), Priañes (D2), Furacón (D3), Rioseco (D4) and Tanes (D5). The fish farms are pointed as F1 to F7 and finally the sampling points are numbered in red from 1 to 16.



eDNA can help identify discontinuities

引自【Carlos Garcia de Leaniz, 2017】

兼顾经济与生态效益的适应性管理的水坝实践（法国）

变化的水坝：4米高
300米长的水库
维持90%发电

传统建坝：17米高
3000米长的水库

引自【Carlos Garcia de Leaniz, 2017】

5. 建设融合自然生态系统解决方案和循环经济的未来

城市生态建设，应对城市水生态环境恶化：包括提升城市河流自净能力、应用生物技术处理城市排放的残留营养物质、利用城中湖调蓄城市内涝、建设城市N、P污染缓冲地带、增加城市绿地面积和透水面积等。

增加城市绿地面积

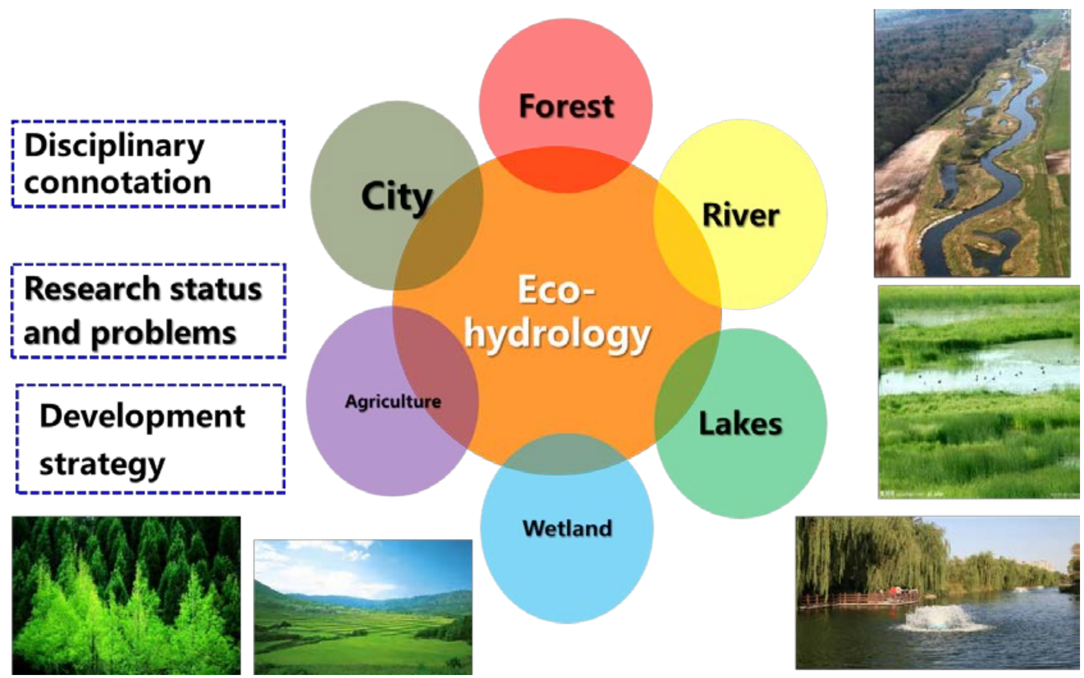
增加城市透水路面面积

加强城市湖泊调蓄

....

生态海绵的城市建设

6. 生态水文学的发展战略：主要由特邀的中国学者（夏军）的报告与建议，包括：生态水文学的发展、学科体系及理论方法；生态水文的重点分支学科，如森林水文、河湖水文、湿地水文、农业与城市水文等；生态水文学未来发展趋势分析及发展战略的展望等



小 结

1. **生态水文学**是流域水管理、河湖水治理和生态文明建设的重要水文科学的基础。**水与生态的关系**和**揭示形成生态格局和过程的水文学机制**是生态水文学的重要的科学问题

2. 我国的生态水文学的研究有了新的发展，特别是NSFC“**黑河流域生态-水文过程集成研究**”**重大计划**完成。当务之急，需进一步探索不同问题需求的**生态水文学理论方法及其学科体系**

3. 加强**水文学**与**生态学**学科交叉，加强生态水文学新的理论、方法及技术（如e-DNA等）的研究与实践，**推动中国生态水文学的发展**！

报告不妥之处，敬请斧正！

谢　谢！

联系方式：　xiajun666@whu.edu.cn