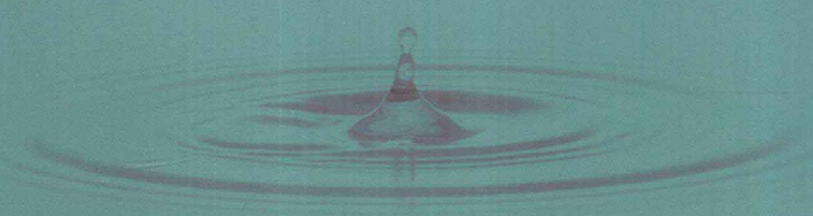




生态水文 模型与应用

杨胜天等◎著

Ecohydrological
Models: Introduction and Application



科学出版社

生态水文模型与应用

Ecohydrological Models: Introduction and Application

杨胜天 等 著

国家自然科学基金重点项目(40930740)

遥感科学国家重点实验室

资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地总结了作者在生态水文理论、方法、模型及应用方面的研究成果。全书分为11章,前6章为理论篇,系统全面地介绍生态水文学的产生背景、发展历程及生态水文原理和模拟方法,深入细致地阐述了生态水文系统的能量转化和营养物质循环理论,在此基础上论述了流域生态水文过程模拟和生态水文模型参数实验与遥感反演。后5章为应用篇,主要介绍生态水文模型(EcoHAT)在国内典型研究区的应用,主要包括贵州地区水文循环和植被NPP计算、贵州喀斯特森林酸沉降响应模拟、新疆特克斯河流域遥感驱动水文模拟、海南松涛水库流域面源污染计算及官厅水库库滨带非点源污染控制。

本书具有较强的学术性和实用性,适用于从事生态水文学、环境科学、水文模拟、非点源污染等方面研究的学者和科研人员,也可作为相关领域研究生教学与科研的参考书和工具书。

图书在版编目(CIP)数据

生态水文模型与应用 / 杨胜天等著. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-033504-3

I. 生… II. 杨… III. 生态学-水文模型-研究 IV. P334

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第019512号

责任编辑: 张 震 / 责任校对: 张凤琴

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 美光制版

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012年4月第一次印刷 印张: 27 1/4 插页: 2

字数: 600 000

定价: 110.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

在 21 世纪,我国水文水资源正面临着巨大的挑战与机遇。水资源问题以人类活动加剧引起的水资源短缺、水环境污染与水生态退化等为主要特征,尤其反映在生态与环境日益恶化的问题上。水资源问题直接影响生活与工农业用水,影响国民经济的健康发展;生态与环境恶化在一定程度上抵消了经济发展的成就,并危及未来的可持续发展。社会的需求和人类的进步要求开展水文循环过程及其相关生态环境变化的交叉研究,生态系统中的水文过程与植物对水文过程影响的重要性变得日益明显。综合考虑水文学和生态系统要素的关联,研究生态过程与水文过程相互作用的物理化学机制是当前亟待解决的重要问题。

生态水文是当今许多国际研究项目进行合作的热点,如国际地圈生物圈计划-生物圈方面(IGBP-BAHC)、地球系统科学联盟的全球水系统计划(ESSP-GWSP)与联合国教育、科学及文化组织国际水文计划(UNESCO IHP)等,都把生态水文学作为重要的研究课题;生态水文学发展为水资源可持续利用研究提供了新理论与方法。生态水文过程影响因素众多,而且具有明显的时间和空间变异性。随着 RS、GIS 和计算机技术的发展,数字模拟成为生态水文时空过程研究的重要手段。杨胜天教授及其研究团队著的《生态水文模型与应用》正是生态水文过程数字模拟方面的论著。该书首先从生态水文学产生的背景出发,介绍了生态水文学的内涵及发展情况,综述了生态水文原理与模拟方法;其次详细地描述了生态水文系统中水分能量转化和营养物质循环过程;然后重点讲解了自主研发的 EcoHAT 生态水文模型。EcoHAT 系统以生态水文过程为基础,从基本的水循环过程入手,在水循环过程中加入营养元素物质迁移过程,综合考虑生态系统中植被生长与水循环要素及营养物质的相互影响。模型采用适合中国自然条件的参数,建立本地化的数据库,并通过耦合分布式水文模型,实现基于像元的模型计算。在系统、全面地阐述生态水文过程模拟相关理论的基础上,最后作者根据多年的应用经验,介绍了 EcoHAT 模型在贵州喀斯特地区、新疆特克斯河流域、海南松涛水库流域以及官厅水库等区域模拟生态水文过程的探索性研究成果。

该书资料丰富、数据翔实,既有方法上的创新,也有理论上的突破,是一本具有很好参考价值的科学研究论著。相信该书对广大的生态水文科技工作者有很好的参考借鉴作用。

借此书出版之际,我谨表示诚挚的祝贺,并衷心期望通过该书的出版,推动我国生态水文学研究方法的发展。

中国科学院院士

2012 年 2 月

前 言

水是人类和一切生物赖以生存和发展的基础资源，也是一个多功能的生态系统因子，是生态、环境和社会等复合系统结构和功能的重要组成部分。在区域生态系统中，水是最重要的驱动力和制约因素；在区域水文系统中，生态过程是主要的边界条件。如何正确处理生态系统格局和生态过程与水文过程的交叉问题是水文学理论亟待解决的课题，在寻求可持续利用水资源的实践中逐渐形成了一门新的交叉学科，即生态水文学。

生态水文学是揭示生态系统中生态格局和生态过程水文学机制的科学，探讨生态系统中植物对于水文过程的影响，以及水文过程对于植物生长和分布的作用。生态水文学以植物与水分关系为学科研究基础，以土壤水分及植被蒸散为核心研究内容，以生态过程和水文过程耦合机制的尺度效应为学科关键点，以水资源可持续利用、维持生态系统健康和实现可持续发展为研究目标；研究对象包括湿地生态系统、干旱区生态系统、森林生态系统、河流生态系统和湖泊生态系统等不同生态系统类型。因此，可以利用生态水文学原理和方法来保护和改善自然景观，正确指导生态环境脆弱地区的生态环境建设与管理，其理论和方法对生态环境的保护和恢复具有重要指导作用。近年来，以GIS和RS为代表的信息技术的高速发展，特别是地球观测系统技术和计算机数字模拟技术的不断提高，使生态水文模型研究的有效性大大提高，使得生态水文模型的研究成为当前水文科学和生态科学研究充满科学发现机遇的、备受关注的前沿领域。

本书以遥感和地理信息系统作为获取区域生态与水文系统参数的主要手段，并结合有关野外台站监测数据和实地实验数据，运用基于生态水文物理、化学和生物机制的理论和空间分析方法，构建起探究区域生态系统、水文系统特征与格局的生态水文模型，模拟生态过程和水文过程的相互作用关系，探究生态水文过程机理，以应对所面临的水资源短缺和水质恶化等问题，谋求水资源的持续利用，维护社会的稳定和经济的健康发展。

本书内容是课题组对近五年来的生态水文过程机理和模拟研究的总结。本书共分11章。前6章为理论篇，系统地介绍生态水文学的理论和计算模型及生态水文地面实验与遥感信息获取。后5章为应用篇，主要介绍生态水文模型应用。第1章从生态水文学的产生背景开始，回顾了生态水文学的历史发展过程，阐述了生态水文学的内涵、模型研究及其研究进展；第2章从水循环与水量平衡、植物与水分关系和生态水文过程三个方面论述生态水文原理，并重点介绍了分布式生态水文模拟系统EcoHAT (ecohydrological analysis tool) 的结构和功能；第3章和第4章分别介绍了生态水文系统中水分能量转化计算模型和营养物质循环计算模型；第5章主要描述了流域生态水文过程模拟基本原理和方法；第6章系统阐述了生态水文地面实验和生态水文过程参数的遥感信息提取；第

7 章以贵州地区为例,利用 EcoHAT 模型模拟了贵州地区水分循环以及陆地植被净第一性生产力;第 8 章对喀斯特地区森林酸沉降影响下的土壤和植物营养元素循环过程进行了定量模拟,并定量评价了森林生态效益;第 9 章从区域生态水文学角度,以中尺度流域为重点,利用遥感驱动水文模型,定量分析了新疆特克斯河流域水文过程;第 10 章以海南松涛水库流域为研究对象,采用野外调查和模型模拟的研究方法,定量计算了流域的面源污染;第 11 章利用生态水文模型模拟了官厅水库库滨带非点源污染控制效应,并进行了验证和分析。

本书各章的参编人员分别为:

第 1 章 杨胜天 王玉娟 董国涛

第 2 章 杨胜天 王玉娟 温志群 张 宇 潘圣林

第 3 章 杨胜天 王雪蕾 曾红娟 张 宇 蔡明勇 王鸣程

第 4 章 杨胜天 王雪蕾 高云飞 郑东海 朗 杨

第 5 章 杨胜天 郑东海 曾红娟 蔡明勇 王雪蕾 盛浩然 李 茜 宋文龙

白晓辉 刘艳妮

第 6 章 杨胜天 曾红娟 李 茜 郑东海 宋文龙 王志伟

第 7 章 杨胜天 田 雷 王 冰 宋文龙

第 8 章 杨胜天 李 茜 盛浩然 白晓辉

第 9 章 杨胜天 曾红娟 蔡明勇 张 宇

第 10 章 杨胜天 郑东海 朗 杨 董国涛 吕 洋 白 娟

第 11 章 杨胜天 王雪蕾 高云飞 董国涛 白 娟

全书由杨胜天统稿,刘艳妮、王鸣程和周秋文做了大量文字和图表修改工作。

生态水文模型许多重要理论和实践问题仍在探索之中,研究的不断深入必将对生态水文学理论体系的发展和应用起到积极的推动作用。殷切希望本书的出版能引起相关人士对该研究领域的更大关注和支持,若能起到抛砖引玉的作用,作者将深感欣慰。

本研究工作得到了水利部、科学技术部、国家自然科学基金委员会、黄河水利委员会、贵州省水利厅等单位的大力支持,在此深表感谢。

感谢恩师刘昌明院士长期以来对课题组的具体指导,并为本书作序!

鉴于生态水文研究的复杂性,仍有许多的工作有待深化,加之作者的知识能力有限,书中难免有不妥之处,敬请不吝赐教。

杨胜天

2011 年 8 月于北京

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 生态水文学产生背景	1
1.2 生态水文学内涵	2
1.2.1 生态水文学概念	2
1.2.2 生态水文学研究内容	3
1.3 生态水文学发展	5
1.4 生态水文模型	7
参考文献	9
第2章 生态水文原理与模拟方法	12
2.1 水循环与水量平衡	12
2.1.1 水循环过程	12
2.1.2 水量平衡原理	13
2.2 植物与水分	14
2.2.1 水分吸收	14
2.2.2 水分散失	15
2.2.3 水分传导	16
2.3 生态水文过程	17
2.3.1 生态水文物理过程	17
2.3.2 生态水文化学过程	19
2.3.3 生态水文生物效应	20
2.4 生态水文过程模拟	21
2.4.1 生态水文分析系统原理	21
2.4.2 生态水文分析系统结构	22
2.4.3 生态水文分析系统功能	27
参考文献	29
第3章 生态水文系统中水分能量转化计算	31
3.1 太阳辐射能量计算	31
3.1.1 太阳总辐射量估算	32
3.1.2 地表净辐射	34
3.2 植被截留计算	35
3.3 地表蒸散	36

3.3.1 Priestley-Taylor 计算方法	36
3.3.2 FAO Penman-Monteith 计算方法	37
3.3.3 能量余项法模型	39
3.4 土壤水分	39
3.4.1 土壤水分均衡模型	40
3.4.2 一维土壤水运动方程	42
3.5 土壤温度	44
3.6 积雪与融雪计算	45
参考文献	46
第4章 生态水文系统中营养物质循环计算	49
4.1 氮循环过程模拟	49
4.1.1 土壤中氮循环过程	50
4.1.2 大气沉降	50
4.1.3 反硝化过程	51
4.1.4 硝化和氨挥发过程	54
4.1.5 矿化和分解过程	55
4.2 磷循环过程模拟	56
4.2.1 土壤中磷循环过程	57
4.2.2 凋落物分解	58
4.2.3 有机磷池内部交换	59
4.2.4 有机磷池与无机磷池交换	60
4.2.5 无机磷池平衡	60
4.3 土壤盐基离子循环过程模拟	61
4.3.1 化学反应平衡方程	61
4.3.2 质量平衡	63
4.3.3 土壤水离子浓度	66
4.4 植被生长模型	67
4.4.1 植物 NPP	67
4.4.2 生产力分配	70
4.4.3 植物凋落物	71
4.4.4 植被营养元素吸收	72
4.5 土壤侵蚀计算	73
参考文献	75
第5章 流域生态水文过程模拟	78
5.1 遥感-三水源新安江产汇流模型	78
5.1.1 模型原理	78
5.1.2 产流计算	80
5.1.3 汇流计算	83
5.2 RS-DTVGM 产汇流模型	85

5.2.1 DTVGM 原理	85
5.2.2 DTVGM 模型遥感驱动	88
5.2.3 RS-DTVGM 模型结构	89
5.2.4 蒸散发计算	90
5.2.5 产流计算	92
5.2.6 汇流计算	94
5.2.7 模型参数获取	96
5.3 大尺度非点源污染模型	98
5.3.1 模型原理	98
5.3.2 模型优点及局限性分析	101
5.3.3 大尺度非点源污染模型修正	102
5.3.4 溶解态农村居民点、畜禽养殖计算	104
5.3.5 植被生长养分吸收计算	104
5.3.6 氮迁移计算	105
5.3.7 磷迁移计算	108
5.4 岸边带非点源污染控制模型	110
5.4.1 模型原理	111
5.4.2 岸边带对氮的控制效应	112
5.4.3 岸边带对磷的控制效应	113
5.5 土壤酸化空间信息模型	114
5.5.1 模型原理	114
5.5.2 模型实施	115
5.6 森林植被营养元素循环空间信息模型	116
5.6.1 模型原理	118
5.6.2 模型实施	120
5.7 植被生态需水与农田耗水模型	122
5.7.1 植被生态需水与农田耗水计算原理	122
5.7.2 植被生态需水与农田耗水模型结构	124
5.8 森林生态效应评价模型	124
5.8.1 水土保持效益	125
5.8.2 森林保肥效益	126
5.8.3 森林固碳效益	126
5.8.4 森林涵养水源效益	127
参考文献	128
第6章 生态水文模型参数实验与遥感反演	134
6.1 野外生态调查及实验	134
6.1.1 生态调查与样品采集	134
6.1.2 实验分析与测定	140
6.2 野外降水模拟实验	145
6.2.1 模拟降雨装置	145

6.2.2	模拟降雨用途	147
6.2.3	实验步骤	147
6.3	野外生态定位监测	149
6.3.1	生态环境要素定位监测	149
6.3.2	蒸散发定位监测	150
6.4	土壤呼吸和植物光合作用野外监测	151
6.4.1	光合作用测量系统仪器组成	151
6.4.2	土壤呼吸野外监测	152
6.4.3	植物光合作用野外监测	153
6.5	下垫面生态水文参数遥感计算	153
6.5.1	遥感数据预处理	153
6.5.2	植被指数	154
6.5.3	植被覆盖度	156
6.5.4	叶面积指数	157
6.5.5	根系深度	158
6.5.6	地表反照率	158
6.5.7	地表温度	159
6.5.8	条件温度植被指数	160
6.5.9	水分吸收深度指数	161
6.6	降水量遥感反演	162
6.6.1	遥感降水产品及算法	163
6.6.2	遥感降水产品应用现状及评价指标	164
6.6.3	高纬度地区 TRMM 3B42 精度评价	165
6.6.4	FY-2 降水估计产品精度评价	168
6.7	大气温度遥感估算	174
6.7.1	地面温度遥感数据	174
6.7.2	简单统计法	175
6.7.3	高级统计法	180
6.7.4	简单与高级统计综合法	184
	参考文献	193
第7章	贵州地区水分循环和植被 NPP 计算	195
7.1	贵州省概况	195
7.2	贵州生态水文数据获取及处理	196
7.2.1	气象数据获取及处理	196
7.2.2	遥感数据获取及处理	197
7.2.3	地面观测数据处理与分析	197
7.3	贵州辐射量时空变化	201
7.3.1	辐射量空间分布特征	201
7.3.2	辐射量与日照参数相关关系	204
7.3.3	光合有效辐射时空变化特征	204

7.4 贵州蒸散量时空变化	206
7.4.1 蒸散发时空分布格局	206
7.4.2 蒸散发与气候因子相关关系	207
7.5 贵州土壤水分时空变化	210
7.5.1 土壤水分模型初始设置	211
7.5.2 土壤水分估算	211
7.5.3 典型区不同植被类型下土壤水分时空分布格局	213
7.6 贵州陆地植被 NPP	214
7.6.1 植被 NPP 模型的验证	214
7.6.2 全省植被 NPP 的时空变化特征	216
7.6.3 贵州典型区不同植被类型植被 NPP 差异分析	219
7.6.4 植被 NPP 对未来气候变化的响应	222
参考文献	227
第8章 喀斯特森林酸沉降响应模拟	228
8.1 喀斯特森林实验区概况	228
8.2 典型实验区森林数据获取和处理	230
8.2.1 监测实验结果分析	230
8.2.2 遥感数据获取和处理	238
8.3 土壤营养元素循环过程定量模拟	239
8.3.1 土壤水运动特征分析	239
8.3.2 土壤酸化模型运行结果及分析	242
8.3.3 土壤对酸沉降响应分析	260
8.4 植物营养元素生物循环过程定量模拟	264
8.4.1 植被 NPP 特征分析	264
8.4.2 植被 NPP 分配分析	269
8.4.3 植被凋落的模拟及分析	273
8.4.4 植被吸收的模拟及分析	276
8.4.5 森林植被群落生物循环特征分析	282
8.4.6 植被 NPP 与环境因子的相关关系	283
8.4.7 植被 NPP 对酸沉降的变化响应	286
8.5 森林生态效益定量模拟及评价	291
8.5.1 森林防止土壤侵蚀效益分析	291
8.5.2 森林保肥效益分析	294
8.5.3 森林固碳效益分析	297
8.5.4 森林涵养水源效益分析	299
8.5.5 森林生态效益核算	301
8.5.6 酸沉降对森林生态影响评价	303
参考文献	306
第9章 特克斯河流域遥感驱动水文模拟	308
9.1 特克斯河流域概况	308

9.2 流域水文信息空间数据库构建	310
9.2.1 数据源选择	310
9.2.2 数字地形与河网	311
9.2.3 土地覆被类型	314
9.2.4 积雪覆盖	315
9.2.5 叶面积指数	317
9.2.6 植被盖度与根系深度	318
9.2.7 土壤水分参数	320
9.3 RS-DTVGM 模型参数	320
9.3.1 融雪模型参数	320
9.3.2 蒸散发模型参数	321
9.3.3 产流模型参数	322
9.3.4 汇流模型参数	322
9.3.5 模型参数率定及设置	323
9.4 流域水文过程数值模拟	324
9.4.1 精度评价指标	324
9.4.2 模拟结果及分析	325
参考文献	325
第10章 海南松涛水库流域面源污染计算	327
10.1 海南松涛水库概况	327
10.2 模型参数及获取	328
10.3 模型数据库构建与模型验证	331
10.3.1 基于 DEM 的参数分析	332
10.3.2 基于遥感的参数获取	333
10.3.3 参数的模型计算	337
10.3.4 模型参数校准与验证	339
10.4 非点源污染模拟与情景分析	343
10.4.1 非点源污染负荷估算与分析	343
10.4.2 情景分析	348
10.4.3 非点源污染防治对策与建议	351
参考文献	355
第11章 官厅水库库滨带非点源污染控制	356
11.1 官厅水库概况	356
11.2 模拟实验研究及结果分析	357
11.2.1 土壤潜在反硝化速率的测定和模拟	358
11.2.2 盆栽小试模拟实验	360
11.2.3 小区中试模拟实验	368
11.3 水源岸边带流域空间信息的遥感解析	378
11.3.1 遥感数据	378

11.3.2 岸边带空间信息的定性遥感解译	379
11.3.3 岸边带空间信息参数的定量反演	382
11.4 流域尺度模拟和验证	386
11.4.1 流域尺度模拟结果与分析	386
11.4.2 流域尺度的验证	402
11.5 水源地岸边带非点源污染控制效应分析	409
11.5.1 官厅水库库滨带去污量的估算	410
11.5.2 官厅水库库滨带土地利用结构的环境效应分析	413
参考文献	418

彩图

第1章 绪 论

水危机是全球面临的重大问题，水资源可持续开发利用已成为人类社会发展的的重要途径，正是在这样的背景下，20 世纪 90 年代兴起了一门边缘学科——生态水文学。生态水文学是生态学和水文学的交叉学科，在一系列国际大型研究计划直接推动下迅速发展起来，目前在世界范围内已得到广泛应用。本章阐述生态水文学的产生、内涵和发展历程，以及与其他学科之间的关系，同时也阐述生态水文模型研究进展。作为新兴的交叉学科，各国学者对生态水文学的认识和理解有所不同，形成了不同的观点，综合国内外对生态水文学的理解和阐述，相对比较一致的观点认为生态水文学是揭示生态系统中生态格局和生态过程水文学机制的科学，探讨生态系统中植物对水文过程的影响，以及水文过程对植物生长和分布的作用。生态水文学以水资源可持续利用、维持生态系统健康和实现可持续发展为研究目标，以植物与水分关系为研究基础，以土壤水分及植被蒸散为核心研究内容，以生态过程和水文过程耦合机制的尺度效应为关键点；研究对象包括湿地生态系统、干旱区生态系统、森林生态系统、河流生态系统和湖泊生态系统，以及以流域为基本空间单元的生态过程、水文过程和人类活动的相互作用。

1.1 生态水文学产生背景

水是人类和一切生物赖以生存和发展的基础资源，也是一个多功能的生态系统因子，是生态、环境、社会和经济等复合系统结构和功能的重要组成部分，支持着生命系统、非生命环境系统和社会经济系统的正常运行。急剧膨胀的人类活动破坏了水资源的生态空间，使水资源问题成为 21 世纪人类面临的重要资源问题之一。随着人类社会科学技术的发展，人们认识自然和改造自然的能力不断加强，对于人类社会自身所居住环境的影响越来越大，特别是负面影响已经威胁到人类自身的生存和可持续发展。而现有的水利工程技术难以有效解决人类面临淡水资源短缺日益严重这一问题。

面对当前水资源环境危机，人们意识到需要在专门学科深入研究的基础上，与其他相关学科进行综合，建立跨学科的研究队伍，融合各相关学科的理论和方法，以解决目前所面临的重大环境问题，谋求水资源的持续利用，以维护社会的稳定、经济的健康发展。为此，全球科学界取得共识，启动了一批旨在从全球视角出发，在全球范围内合作的大型国际合作项目，如 IGBP、IHP、LUCC、ILTER、IHDP、GTOS 等，并且成立了国际科学联合会（<http://www.zsr.cc/ExpertHome/StudyDatum/200608/39742.html>）。

国际科学联合会提出，21 世纪科学界的主要任务是加强跨学科综合研究，为政策决策者提供可靠的科学依据，以应对全球环境变化的挑战，并维持地球生态系统和人类社

会自身可持续发展。就全球尺度而言, 淡水资源有限性正成为社会经济可持续发展和生态系统可持续性的重要限制因子, 目前科学技术条件已经难以解决淡水资源短缺、水质恶化和生物多样性减少等环境问题, 需要探索新的方法和机制 (Zalewski et al., 2003)。

为寻求一种环境友好、经济可行、社会可接受的多维、有效淡水资源可持续管理模式, 一方面是要应对水资源短缺、水质恶化和生物多样性减少等全球环境问题的挑战, 另一方面也要适应现代科学研究过程中, 实现跨学科 (interdisciplinary) 集成、综合研究发展趋势的需要。随着科学技术的发展, 在生态学和水文学两个传统学科长期各自独立发展, 形成各自比较完备的理论基础上, 逐渐开始了这两个学科融合交叉, 同时吸收其他相关学科, 如地理学、土壤学、气象学、植物学等的理论和方法, 发展了生态水文学这一交叉学科。

1.2 生态水文学内涵

1.2.1 生态水文学概念

目前, 关于生态水文学这一新的边缘性交叉学科的准确定义仍然存在诸多争议, 对于该学科的定义和研究内容, 可谓仁者见仁、智者见智。生态水文学概念首先从水陆缓冲带的研究过程中产生。Ingram 等 (1987) 在研究苏格兰泥炭地的过程中, 首次提出了 ecohydrology (生态水文学), 并具体描述了泥炭地的生态水文过程; 1992 年在都柏林召开的国际水与环境大会上, 正式把 Ingram 提出的 ecohydrology 提升为一门独立的学科。很多学者认为生态水文学是实现淡水资源持续利用的重要理论和有效工具; 通过生态水文学的研究, 人类有望走出水资源问题的困境。生态水文学在解决人类所面临的淡水资源短缺问题上所表现出的强大应用前景受到了国际社会的广泛关注, 为此, 联合国教育、科学及文化组织 (UNESCO) 主持的国际水文计划第五阶段 (IHP-V) 执行过程中, 把生态水文学理论和方法的探索作为一个重要内容之一, 并在 26 个国家和地区开展了 39 个探索性的项目活动 (pilot project)。这些先期开展的项目分别从景观格局与营养负荷、水文格局的化学效应、生态流量等方面展开了大量的研究探索工作。

生态水文学的概念首先由 Zalewski (2000) 提出, 是指对地表环境中水文学和生态学相互关系的研究; 在他后来的文章中认为生态水文学是在流域尺度上, 研究水文和生物相互功能关系的科学, 是实现水资源可持续管理的一种新方法; 同时指出气候、地形、植物群落和动态、人类活动影响 4 个因素决定了环境中水的动态变化, 表明在不同的环境中生态过程和水文过程之间的相互关系各不相同。Rodriguez-Iturbe (2000) 认为生态水文学作为一门学科, 是指在生态模式和生态过程的基础上, 寻求水文机制的一门科学。在这些过程中, 土壤水是时空尺度内连接气候变化和植被动态的关键因子; 在他后来的研究中认为植物是生态水文学的核心内容。Nuttle (2002) 认为生态水文学是生态学和水文学的亚学科, 它所关心的是水文过程对生态系统配置、结构和动态的影响, 以及生物过程对水循环要素的影响; 这一定义聚焦于水文过程在生态系统所起的作用

上,这与 Rodriguez 所提到的在生态模式和生态过程上研究水文机制的概念相一致。Hatton 等 (1997) 认为生态水文学需要在质量守恒和能量守恒定律的基础上,在周围环境不同的情况下,研究环境过程的机制。Acreman (2001) 关于应用水文生态学的定义是指运用水文学、水力学、地形学和生物学 (生态学) 的综合知识,来预测不同时空尺度范围内,淡水生物和生态系统对非生物环境变化的响应;另外,水文生态学侧重研究河流和洪泛平原区的水文与生态过程,以及建立模拟这两个过程相互作用的模型。

在国内,王根绪等 (2001) 认为生态水文科学研究是区域生态系统研究和区域水文科学研究的交叉领域,其核心内容是揭示不同环境条件下植物与水的相互关系机理,探索各种植被的生态水文作用过程。黄奕龙、傅伯杰等 (2003) 指出生态水文学是研究生态格局和生态过程变化水文学机制的科学。它的一个重要研究方向是在不同时空尺度上和一系列环境条件下探讨生态水文过程。生态水文过程是指水文过程与生物动力过程之间的功能关系,它包括生态水文物理过程、生态水文化学过程及其生态效应。夏军等 (2003) 认为生态水文学是生态学和在水文学交叉领域的内容,即水文过程对生态系统结构、分布、格局、生长状况的影响,同时研究生态系统 (生态系统中植被类型、格局、配置等) 变化对水文循环的影响,是一个相互影响的过程。武强和董东林 (2001) 认为生态水文学是一个集地表水文学、地下水文学、植物生理学、生态学、土壤学、气象学和自然地理学等于一体、彼此间相互影响渗透而形成的一门新型边缘交叉学科。章光新 (2006) 提出了流域生态水文学 (watershed ecohydrology) 的概念,以流域为研究单元,应用生态水文学的理论思维和系统科学的方法,在时空尺度上研究生态过程与水文过程相互影响、相互作用、共同耦合演进的过程、机理和机制,探求流域水资源持续利用与水环境安全管理的一门新型学科。

综合以上对于生态水文学的理解和阐述,相对比较一致的观点认为该学科是揭示生态系统中生态格局和生态过程水文学机制的科学,探讨生态系统中植物对于水文过程的影响,以及水文过程对于植物生长和分布的作用。生态水文学以植物与水分关系为学科研究基础,以土壤水分及植被蒸散为核心研究内容,以生态过程和水文过程耦合机制的尺度效应为学科关键点,以水资源可持续利用、维持生态系统健康和实现可持续发展为学科研究目标。研究对象主要包括湿地生态系统、干旱区生态系统、森林生态系统、河流生态系统和湖泊生态系统等不同生态系统类型,以及以流域空间为基本单元的生态过程、水文过程和人类活动的相互作用。

1.2.2 生态水文学研究内容

生态水文学属于地球科学范畴,是集地表水文学、地下水文学、植物生理学、生态学、土壤学、气象学和自然地理学于一体、彼此之间相互影响渗透而形成的一门新型边缘交叉学科,它研究不同时空尺度上水文过程与生物动力过程的耦合机制与规律,以期实现水资源的持续管理。Rodriguez-Iturbe (2000) 认为生态水文学是研究生态格局和过程下的水文机制的科学,气候、植被和土壤的相互作用是其控制性的因素,土壤湿度是

其关键的研究因子。IHP-V 列出的地表生态水文过程 (ecohydrological process in the surficial environment) 包括植被变化、土地利用和侵蚀过程, 水库和三角洲的沉积过程, 河系、洪泛平原和湿地之间的关系及地表水过程, 并认为生态水文学的实用性含义 (working definition) 是研究在不同时空尺度上水文过程与生物动力过程的综合学科。

Zalewski (2000) 在《UNESCO/IHP-V2. 3、2.4 项目实施背景、内容、原理和科学指南》中, 指出生态水文学研究的设想包括: ①采用生态水文学方法提高河道的抗干扰和缓冲能力, 实现水资源持续利用; ②河流、水库和河口的脆弱性取决于水文和生物过程的时间演化, 这些演化会在人类的干预下发生变化; ③营养物质进入到水体环境的方式和强度取决于人为因素对流域内的水文和生态特征的干扰; ④洪水的强度及持续时间受到河道系统生物过程的改变, 即水文变化受到生态格局的影响; ⑤河流中营养物质富集状况受到地表水和河道生物结构的影响; ⑥污染物的转移和变化受到水力-水文格局和河流廊道生态特征的影响; ⑦基于 GIS 的生态水文学方法应用于由交错带和基本斑块组成的流域, 获得在微观尺度上的水文和生态信息, 在高一级尺度上汇合, 这种对水文信息的增加将会对流域水文格局作出更深刻的解释; ⑧对生态水文过程的深刻理解和预测能力的提高是实现水资源和景观高效管理的基础; ⑨交错带, 如河岸缓冲区、湿地和洪泛平原结构的理想化是降低污染物从流域进入河流和下游水体的一个主要工具 (图 1-1)。

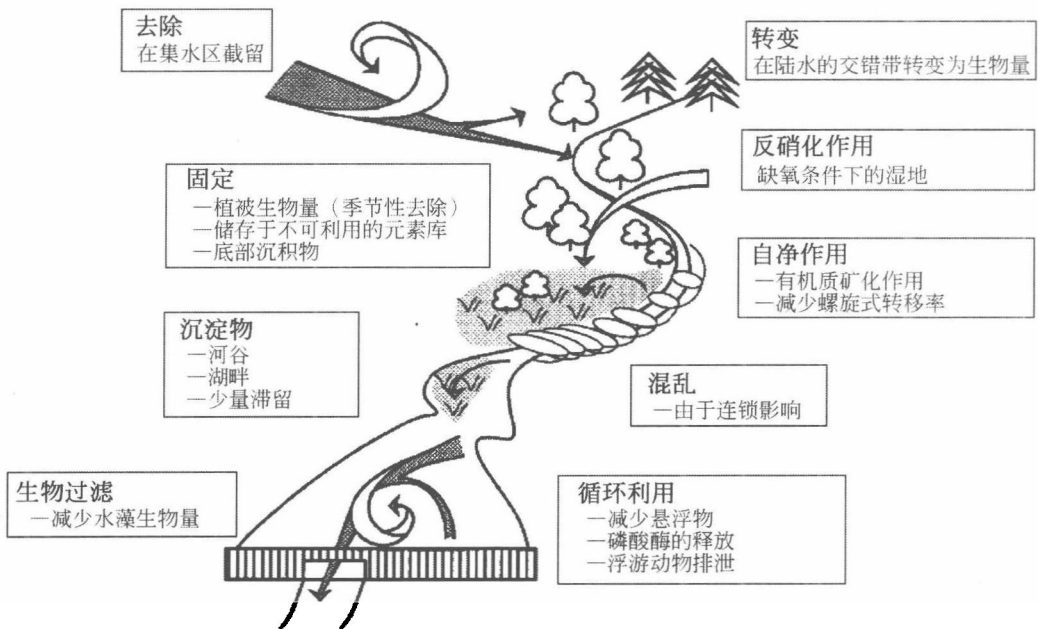


图 1-1 生物技术治理水域富营养化示意图 (Zalewski, 2000)

夏军等 (2003) 按不同的因素, 将生态水文学研究划分为两个层面, 即影响生态水文的主导因素为自然影响和人类活动影响两大因素。人类活动影响引起的水文循环变化