

学校编码: 10384
学号: 22620101151376

密级__

厦门大学

硕士学位论文

九龙江河流-库区系统磷循环及其生态
调控作用

Phosphorus Cycling in the Jiulong River-Reservoir
System and its Ecological Regulation

鲁婷

指导教师姓名: 陈能汪 副教授
专业名称: 环境管理
论文提交日期: 2013年05月
论文答辩时间: 2013年06月

2013年05月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

摘要	I
Abstract	III
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究进展.....	2
1.2.1 河流-库区系统磷的生物地球化学过程	2
1.2.2 沉积物磷释放过程和影响因素.....	4
1.2.3 沉积物磷释放的生态效应.....	7
1.2.4 沉积物磷形态的提取方法.....	9
1.2.5 存在的问题与不足.....	12
1.3 研究目标和内容.....	13
1.3.1 研究目标.....	13
1.3.2 研究内容.....	13
1.4 研究技术路线.....	14
第 2 章 研究区域概况	15
2.1 北溪流域概况.....	15
2.1.1 自然环境.....	15
2.1.2 社会经济.....	16
2.1.3 北溪水环境质量.....	16
2.1.4 北溪梯级水电站建设现状.....	18
2.2 西陂电站库区概况.....	18
第 3 章 材料与方法	20
3.1 野外观测方案.....	20
3.1.1 站点布设.....	20
3.1.2 采样安排.....	22
3.1.3 样品采集和保存.....	23

3.1.4 现场观测项目.....	23
3.2 样品测定方法.....	24
3.2.1 营养盐测定方法.....	24
3.2.2 沉积物测定方法.....	24
3.2.3 沉积物磷形态提取方法-SMT 法检验.....	25
3.3 数据统计分析.....	29
3.3.1 数据预处理.....	29
第 4 章 北溪河流-库区系统磷的地球化学特征	31
4.1 北溪表层水磷的时空分布特征.....	31
4.1.1 北溪表层水磷的空间分布.....	31
4.1.2 北溪表层水磷的季节性变化.....	32
4.2 北溪表层水 DTN/DTP 值变化特征.....	32
4.3 北溪表层沉积物磷的赋存形态及分布特征.....	34
4.3.1 沉积物 TP 含量的空间分布特征.....	34
4.3.2 沉积物磷赋存形态特征.....	35
4.4 沉积物磷的赋存形态与理化性质的关系.....	37
4.4.1 沉积物的相关理化特征.....	37
4.4.2 沉积物磷形态与理化性质的相关性分析.....	37
4.5 北溪沉积物磷空间分布的控制因素.....	38
4.6 本章小结.....	39
第 5 章 西陂电站库区磷的地球化学特征	41
5.1 西陂电站库区表层水磷的时空分布特征.....	41
5.1.1 表层水磷的空间分布.....	41
5.1.2 表层水磷的季节变化.....	44
5.2 水体理化性质及磷的垂直分布特征.....	45
5.3 沉积物不同形态磷的含量及分布特征.....	46
5.3.1 沉积物 TP 的时空分布.....	46
5.3.2 沉积物 IP 的时空分布.....	47
5.3.3 沉积物 Fe/Al-P 的时空分布.....	48

5.3.4 沉积物 Ca-P 的时空分布.....	49
5.3.5 沉积物 OP 的时空分布	50
5.4 西陂电站库区沉积物磷的赋存形态.....	51
5.5 沉积物磷赋存形态与理化性质的关系.....	53
5.6 库区磷时空分布的影响因素.....	55
5.6.1 库区水动力对磷空间分布的影响.....	55
5.6.2 理化性质对磷空间分布的影响.....	56
5.7 本章小结.....	56
第 6 章 沉积物-水界面氮、磷释放通量和库区磷收支估算	58
6.1 静态条件下沉积物氮、磷释放通量.....	58
6.1.1 柱状沉积物样品采集.....	58
6.1.2 培养实验方案.....	58
6.1.3 数据处理.....	60
6.1.4 室内培养实验结果.....	62
6.2 沉积物氮、磷释放通量的影响因素.....	63
6.3 库区磷收支估算.....	64
6.4 本章小结.....	66
第 7 章 九龙江磷的生态调控作用	68
7.1 北溪沉积物磷的生态学意义.....	68
7.2 西陂电站库区磷的生态调控作用.....	69
7.2.1 库区水质参数和叶绿素 a 的关系.....	69
7.2.2 库区水华期间磷的生态调控作用.....	70
7.3 河流-库区系统磷的循环过程	73
7.4 本章小结.....	74
第 8 章 结论与展望	76
8.1 主要结论.....	76
8.2 创新点.....	77
8.3 研究展望.....	77

参考文献	78
附录 硕士期间参与的课题研究与发表的论文	88
致谢	89

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Contents

Abstract (in Chinese)	I
Abstract (in English)	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and research motivation.....	1
1.2 Review of literature.....	2
1.2.1 The biogeochemistry of phosphorus in river-reservoir system.....	2
1.2.2 Release and influence factors of phosphorus in the sediment	4
1.2.3 Ecological effect of phosphorus in sediment	7
1.2.4 Extraction schemes of phosphorus forms in sediment.....	9
1.2.5 Questions of previous studies	12
1.3 Objectives and contents of study	13
1.3.1 Objectives	13
1.3.2 Contents	13
1.4 Study approach.....	14
Chapter 2 Study site descriptions	15
2.1 North Jiulong River watershed	15
2.1.1 Physical characteristics	15
2.1.2 Socia-eonomic conditions	16
2.1.3 Assessment of freshwater quality.....	16
2.1.4 Current status of cascade hydropower stations.....	18
2.2 Xipi Reservoir.....	18
Chapter 3 Materials and methods	20
3.1 Field survey.....	20
3.1.1 Sampling sites	20
3.1.2 Survey arrangement	22
3.1.3 Sampling and storage	23
3.1.4 Items in situ survey	23

3.2 Analyses	24
3.2.1 Nutrients measurement	24
3.2.2 Method of sediment	24
3.2.3 Extraction schemes of phosphorus forms in sediment -SMT procedure	25
3.3 Statistical analysis	29
3.3.1 Data preprocessing.....	29
Chapter 4 The geochemistry of phosphorus along the North Jiulong River-reservoir system	31
4.1 Spatial and temporal variations of phosphorus of surface water along the North Jiulong River.....	31
4.1.1 Spatial variation of phosphorus of surface water.....	31
4.1.2 Seasonal variation of phosphorus of surface water.....	32
4.2 Variation of DTN/DTP ratio in the North Jiulong River.....	32
4.3 Characteristics of sediment phosphorus along the North Jiulong River.....	34
4.3.1 Spatial pattern of TP in sediment	34
4.3.2 Characteristics of phosphorus forms in sediment	35
4.4 Correlation between sediment phosphorus and physicochemical parameters	37
4.4.1 Physicochemical parameters of sediment	37
4.4.2 Correlation between sediment phosphorus and physicochemical parameters	37
4.5 Controlling factors of spatial pattern in sediment phosphorus	38
4.6 Brief summary	39
Chapter 5 The geochemistry of phosphorus in Xipi Reservoir	41
5.1 Spatial and temporal variations of phosphorus of surface water	41
5.1.1 Spatial variation of phosphorus of surface water.....	41
5.1.2 Seasonal variation of phosphorus of surface water.....	44
5.2 Physicochemical parameters of water and vertical variation of phosphorus..	45
5.3 Sediment phosphorus content and component ratio	46

5.3.1 Spatial and temporal variations of sediment TP	46
5.3.2 Spatial and temporal variations of sediment IP	47
5.3.3 Spatial and temporal variations of sediment Fe/Al-P	48
5.3.4 Spatial and temporal variations of sediment Ca-P	49
5.3.5 Spatial and temporal variations of sediment OP	50
5.4 Characteristics of sediment phosphorus forms in Xipi Reservoir	51
5.5 Correlation between sediment phosphorus and physicochemical parameters	53
5.6 Influencing factors of spatial and temporal variations of phosphorus	55
5.6.1 Hydrodynamic force affect on the spatial pattern of phosphorus	55
5.6.2 Physicochemical parameters affect on the spatial pattern of phosphorus	
.....	56
5.7 Brief summary	56
Chapter 6 Fluxes of nitrogen and phosphorus and phosphorus budget	
estimation	58
6.1 Fluxes of nitrogen and phosphorus under static condition	58
6.1.1 Columnar sediment samples	58
6.1.2 Method of experimental cultivation	58
6.1.3 Data processing	60
6.1.4 Results of experimental cultivation	62
6.2 Influencing factors of fluxes in sediment nitrogen and phosphorus	63
6.3 Phosphorus budget estimation	64
6.4 Brief summary	66
Chapter 7 Ecological regulation of phosphorus in Jiulong River	68
7.1 Ecological significance of phosphorus in North Jiulong River	68
7.2 Ecological regulation of phosphorus in Xipi Reservoir	69
7.2.1 Correlation between water quality and chlorophyll a in Xipi Reservoir	
.....	69
7.2.2 Ecological regulation of phosphorus on the process of algal blooms in	
Xipi Reservoir	70

7.3 Phosphorus cycling process in river-reservoir system.....	73
7.4 Brief summary	74
Chapter 8 Conclusions and prospect	76
8.1 General conclusions	76
8.2 Innovation	77
8.3 Future work.....	77
References	78
Appendix	88
Acknowledgments	89

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

梯级电站开发形成河流-库区系统，由于改变了水文过程（如增加水力停留时间）和生物地球化学过程（如改变氮、磷、硅生源要素的输送通量和比例），发生水华的风险加大。为了认识福建省九龙江北溪梯级电站库区富营养化特征和水华爆发机理，本研究以九龙江北溪为整体研究对象，以中上游的西陂电站库区为研究重点，通过野外多参数同步观测和室内培养实验，全面分析河流表层水和沉积物磷的时空分布特征及其赋存形态。综合叶绿素、理化性质和气象水文等信息，初步探明了河流-库区系统磷的输送规律和循环过程，并探讨了九龙江磷的生态调控作用。主要研究结论如下：

(1) 受流域污染负荷和大坝的综合影响，九龙江北溪表层水磷在空间上呈现上游高、下游低的分布格局。受流域气象、水文条件控制，北溪表层水磷的季节变化明显，枯水期河流溶解态反应性磷（DRP）和溶解态总磷（DTP）的含量要明显高于丰水期。梯级电站较多的 N8-N16 段磷含量空间差异较小，说明库区对河流磷的输送有缓冲作用。北溪溶解态总氮（DTN）与溶解态总磷的比值（DTN/DTP，质量比）在上游龙岩-漳平段（N1-N6 站位平均为 27.9）和下游江东库区（2013 年 1 月 DTN/DTP 值为 33.2，接近 29）均较低，这些较低 DTN/DTP 值的河段，在合适的条件下发生水华的风险较大。

(2) 采用沉积物磷形态的标准测试方法（SMT），分析了九龙江北溪河流-库区系统的沉积物磷的含量、赋存形态及其空间分布。沉积物总磷（TP）含量在 387-2092 mg/kg 之间，平均 1032 mg/kg。以无机磷（IP）为主要赋存形态（IP 占 TP 的 48%-98%），IP 中以铁铝结合态磷（Fe/Al-P）为主（占 IP 的 43%-99%），北溪 TP 含量的高低主要受 Fe/Al-P 控制。总体上沉积物 TP 和 Fe/Al-P 含量均呈现上游高、下游低的空间分布规律，与表层水 DTP 含量和陆源污染负荷的分布一致，沉积物磷主要受流域污染输入影响。沉积物富磷、高 Fe/Al-P 比例（释放潜力大）以及“上游高下游低”的空间分布特征，加上九龙江上游水体较低的氮磷比值属于藻类生长磷弱限制，极可能是 2009 年以来九龙江多次水华事件首先在上游暴发并向下游库区蔓延的主要原因。

(3) 西陂电站库区表层水 DRP、总颗粒态磷（TPP）、TP 含量从入库到大坝均呈现沿程下降的变化规律，反映了库区对磷的截留作用。表层水 TP 和 TPP

含量春夏季高于秋冬季，与春夏季降雨径流冲刷有关。库区沉积物 TP 含量为 541-1224 mg/kg，平均为 892 mg/kg，其中 IP 是最主要的赋存形态（占 TP 的 59%-75%），Fe/Al-P 占 IP 的 80% 以上，具有较大的磷释放潜力。培养实验表明，湖泊区沉积物无机磷的释放通量为 0-4.92 mg/(m² d)，表明沉积物是一个重要的磷源。湖泊区藻类年均含量（5.24±5.15 μg/L）显著高于河流区和过渡区（3.44±1.64 μg/L），其中 2012 年 7 月最高（15.9-22.9 μg/L），同时观测到表层水 NH₄⁺-N 和 DRP 浓度极低、pH 和溶解氧（DO）有升高的现象。磷收支估算表明，河流输入后约 1% 的磷（30.29 t）在库区内截留，其中藻类吸收磷约为 6.57 t（约占截留磷量的 22%），沉积物释放磷约 1.61 t（约占截留磷量的 5%），未平衡磷量 25.31 t（约占截留磷量的 83%）。

(4) 九龙江磷具有显著的生态调控作用。高磷粪污（畜禽养殖、生活污水）排放导致水体具有较低的 N/P 值，生态系统总体处于磷的弱限制状态，上游龙岩-漳平段和下游浦南以下河段有先暴发水华的风险；加上沉积物无机磷特别是 Fe/Al-P 为主要赋存形态，为库区水华的形成和持续暴发提供了基础条件。现场观测和室内实验均表明九龙江河流-库区系统磷的循环过程在水华过程具有重要的调控作用。建议采取磷污染优先控制的策略，以减缓九龙江库区富营养化趋势。

关键词：河流-库区系统；磷循环；生态调控；SMT；九龙江

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫