

学校编码: 10384

密级_____

学 号: 22620101151371

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

九 龙 江 流 域 水 生 态 分 区 研 究

Study on Aquatic Ecoregion in the Jiulong River Basin

黄 玲

指导教师姓名: 黄金良 副教授

专 业 名 称: 环 境 管 理

论文提交日期: 2013 年 5 月

论文答辩时间: 2013 年 5 月

2013年6月

九
龙
江
流
域
水
生
态
分
区
研
究

黄
玲

指
导
教
师

黄
金
良
副
教
授

厦
门
大
学

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 研究背景与意义.....	1
1.2 国内外研究进展.....	2
1.2.1 水生态分区的国内外研究现状	2
1.2.2 水生态承载力的国内外研究进展	10
1.2.3 水生态分区在水环境管理应用中存在的问题和困难.....	13
1.3 研究目标、内容及技术路线.....	14
1.3.1 研究目标.....	14
1.3.2 研究内容及技术路线.....	14
1.4 论文结构安排.....	16
第 2 章 研究流域概况、数据来源与研究方法.....	17
2.1 研究流域概况.....	17
2.1.1 九龙江流域自然概况	17
2.1.2 九龙江流域社会经济概况	22
2.1.3 九龙江流域子流域概况.....	24
2.2 基础地理数据及资料来源.....	26
2.2.1 水质数据收集、现场监测与分析	26
2.2.2 自然资源数据资料来源与处理	27
2.2.3 社会经济数据来源	27
2.2.4 系统动力学模型数据来源	27
2.3 研究方法.....	28
2.3.1 水生态分区方法及技术.....	28
2.3.2 水生态承载力量化方法.....	31

第 3 章 九龙江流域水生态分区.....	33
3.1 九龙江流域水生态分区的目标与原则.....	33
3.1.1 九龙江流域水生态一级分区的目标与原则.....	34
3.1.2 九龙江流域水生态二级分区的目标与原则.....	34
3.2 九龙江流域水生态分区尺度与分区单元选取.....	35
3.3 九龙江流域水生态分区指标体系构建.....	36
3.3.1 水生态一级分区指标选取和指标体系的构建.....	36
3.3.2 水生态二级分区指标选取和指标体系的构建.....	38
3.4 九龙江流域水生态区划过程.....	39
3.4.1 水生态一级分区区划过程.....	39
3.4.2 水生态二级分区区划过程.....	43
3.5 水生态分区方案.....	45
3.5.1 水生态分区命名及方案.....	45
3.5.2 水生态分区的基本特征.....	47
3.6 九龙江流域水生态分区结果验证.....	49
3.6.1 九龙江流域的 $R-B$ 指数特征分析.....	49
3.6.2 九龙江流域水生态分区与水质关联分析.....	51
3.7 讨论.....	53
3.8 本章小结.....	55
第 4 章 基于水生态分区的水生态承载力量化研究.....	57
4.1 分区水生态承载力指标体系构建.....	57
4.2 基于隶属度法的分区水生态承载力量化.....	59
4.3 基于系统动力学的分区水生态承载力预测.....	62
4.3.1 流域水生态系统分析及系统动力学模型构建.....	62
4.3.2 模型检验.....	67
4.3.3 水生态承载力预测.....	69
4.4 流域水生态管理启示.....	74

4.5 本章小结.....	75
第 5 章 结论与展望	77
5.1 主要结论.....	77
5.2 存在问题与展望.....	78
参考文献.....	80
硕士学习期间参加课题与发表论文情况	86
致谢.....	87

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Table of Contents

Abstract (in Chinese)	I
Abstract (in English).....	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 Research significance	2
1.2.1 Previous studies of the aquatic ecoregion	2
1.2.2 Previous studies of the water ecological carrying capacity	10
1.2.3 Problems and difficulty of applied aquatic ecoregion	13
1.3 Study objective, contents and technical route	14
1.3.1 Study objective	14
1.3.2 Contents and technical route	14
1.4 Article outline.....	16
Chapter 2 Study basin, data source and research methods	17
2.1 Study area	17
2.1.1 Natural general condition of the Jiulong River Basin	17
2.1.2 Social-economic general condition of the Jiulong River Basin	22
2.1.3 Catchments of the Jiulong River Basin.....	24
2.2 Data source.....	26
2.2.1 Water quality monitoring and analysis.....	26
2.2.2 Natural general condition data analysis	27
2.2.3 Data source of the social-economic general condition	27
2.2.4 Data source of the system dynamics model.....	27
2.3 Methods.....	28
2.3.1 Methods and technology of the aquatic ecoregion	28
2.3.2 Methods of the water ecological carrying capacity	31
Chapter 3 Delineation of aquatic ecoregion of the JRB.....	33
3.1 Goals and principles of aquatic ecoregion of the Jiulong River Basin	33

3.1.1 Goals and principles of level I aquatic ecoregion	34
3.1.2 Goals and principles of level II aquatic ecoregion	34
3.2 Zoning scale and units	35
3.3 Index system of aquatic ecoregion	36
3.3.1 Index system of level I aquatic ecoregion.....	36
3.3.2 Index system of level II aquatic ecoregion	38
3.4 Delineation of aquatic ecoregion of the Jiulong River Basin	39
3.4.1 Delineation of level I aquatic ecoregion of the JRB	39
3.4.2 Delineation of level II aquatic ecoregion of the JRB	43
3.5 Aquatic ecoregion scheme.....	45
3.5.1 Aquatic ecoregion scheme	45
3.5.2 Characteristics of aquatic ecoregion of the JRB.....	47
3.6 Validation.....	49
3.6.1 Validation by Richards-Baker index.....	49
3.6.2 Association analysis of the water quality indicators	51
3.7 Discussion	53
3.8 Summary	55
Chapter 4 Quantifying the water ecological carrying capacity	57
4.1 Index system of the water ecological carrying capacity.....	57
4.2 Results of water ecological carrying capacity based on fuzzy mathematics ..	59
4.3 Results of water ecological carrying capacity based on system dynamics	62
4.3.1 Analysis of aquatic ecological system and system dynamics model ..	62
4.3.2 Validation of the system dynamics model.....	67
4.3.3 Prediction of the water ecological carrying capacity	69
4.4 Management revelation	74
4.5 Summary	75
Chapter 5 Conclusion and progress	77
5.1 Conclusions	77
5.2 Deficiencies of research and future work	78

References	80
Study programs and achievements	86
Acknowledgements.....	87

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

生态环境状况存在时空差异性, 统一的生态和环境标准执行效果各不相同, 常常出现一些地区过度保护, 而另一些地区没有达到生态环境保护的目的。水生生态分区是从整个水生态系统的角度出发, 通过各地区的地质、地貌、气候、土壤、水文、土地利用等特征将相似的单元进行系统性的划分, 以便管理者针对各分区实际情况制定相应的资源开发、保护和环境管理决策。

本研究以城市化进程较快, 涉及区域饮用水安全的九龙江流域为研究区域。作为福建省第二大河流, 九龙江是龙岩、漳州和厦门三地市超过 800 万人口的饮用水和工农业水源地, 其水环境安全对于福建省乃至海峡西岸经济区具有十分重要的意义。为了保护和改善水生态系统状况、保证当地人民饮用水安全, 亟待从水生态系统的整体角度出发进行九龙江流域水生生态分区划分。此外, 本研究基于分区结果, 对各分区的水生态承载力进行量化研究, 试图提供环境管理者和研究者一个科学、合理以及可信的阈值, 以揭示流域水资源量和水环境容量所能持续支撑的人类经济社会发展规模。

本研究利用地理信息系统 (GIS) 进行空间数据的分析、提取和处理; 根据水生生态分区原则及典范对应分析法构建了九龙江流域水生生态分区指标体系; 运用层次聚类和两步聚类法实现了流域水生生态分区区划; 针对分区结果, 本研究分别采用 $R-B$ 指数和关联分析法对分区结果进行验证。此外, 本研究基于水生生态二级分区结果, 分别运用了模糊评价法和系统动力学法进行水生生态承载能力估算, 并预测了未来一段时间研究区水生生态承载力的变化情况, 研究成果如下:

本研究将研究区划分为 2 个水生生态一级区、11 个水生生态二级区。其中, 水生生态一级区 B 区 (西北丰水区) 处于较为健康的状态; 水生生态一级区 A 区 (东南平水区) 受到的人类活动影响较为剧烈, 水生生态系统稳定性降低。研究表明, $\text{PO}_4^{3+}\text{-P}$ 浓度最高值出现在 B3 区 (新罗-低山建设用地-丰水区), 达到 0.424 mg/L, 最小值出现在 B2 区 (漳平-低山林地-丰水区), 仅为 0.135 mg/L; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度最高值同样在 B3 区, 达到 1.862 mg/L, 最小值则分布在 A1 区 (华安-中山耕地-平水区), 仅为 0.207 mg/L; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度最高值出现在 B6 区 (平和-低山耕地-丰水区), 达到了 3.914 mg/L; COD_{Mn} 浓度在各分区内差异不大, 最高点落在 B3 区, 最大值为 8.9 mg/L; Cl^- 和 Mg^{2+} 最大平均浓度亦分布在 B3 区。总体来说, 本

研究水生态一级、二级分区结果合理、可信。

基于模糊数学的隶属度方法估算的综合隶属度值以水生态分区 B1（龙岩-低山林地-丰水区）最高，B2（漳平-低山林地-丰水区）次之，其水生态承载力较好，水生态系统均处于可承载状态；水生态分区 B3（新罗-低山建设用地-丰水区）、B4（华安-中山林地-丰水区）、B5（南靖-低山林地-丰水区）、A1（华安-中山耕地-平水区）和 A2（华安-低山耕地-平水区）综合隶属度介于 0.6~0.8 之间，水生态承载力处于弱可承载状态；水生态分区 B6（平和-低山耕地-丰水区）、A3（长泰-低山耕地-平水区）、A4（漳州-平原园地-平水区）和 A5（龙海-平原耕地-平水区）的综合隶属度均小于 0.6，处于不可承载状态。基于系统动力学方法得到的各分区水生态承载力估算结果表明，2010 年 B1 综合隶属度大于 0.8，水生态系统处于可承载状态；水生态分区 A1、A2、B2、B3、B4 和 B5 处于弱可承载状态；水生态分区 A3、A4、A5 和 B6 综合隶属度低于 0.6，处于不可承载状态。总体来说，各二级水生态分区的水生态承载力量化结果合理、可信。此外，经系统动力学模型预测 2005~2020 年期间，水生态一级区 A 区内除 A1 外，其余各分区的水生态承载力均低于 0.6，处于不可承载状态，且呈现出波动递减的变化趋势，长期以往将严重制约漳州和龙海市的社会经济发展。水生态分区 B 区的水生态承载力相对较好，但变化幅度大。在水资源总量不可预见且不受人为干预的前提下，若保持现有的发展规模而不加以政府的政策引导，2016~2020 年内水生态一级区 B 区的水生态系统将恶化至不可承载状态。

关键词：水生态分区；水生态一级区；水生态二级区；水生态承载力；系统动力

Abstract

Spatiotemporal variations in ecological environment inevitably lead to different standards or patterns for ecological and environmental protection. Ecoregions have been used extensively to classify geographic areas into zones of similar characteristics. Previous studies have shown that the significance of the aquatic ecoregion in determining water quality patterns, development of nutrient criteria and water resource management. The Jiulong River Basin, a typical medium-sized subtropical coastal watershed in China, experienced intensive human activities and subsequent degradation in ecological environment in recent decades. It plays an important role in regional economic and ecological health. More than eight million residents from Xiamen, Zhangzhou, and Longyan use the Jiulong River as their source of water for residential, industrial and agricultural activities. Developing aquatic ecoregion framework and thereafter quantifying the water carrying capacity for the ecoregions at different levels are therefore crucial for sustainable utilization of regional water resource and ecosystem based management in the JRB.

Canonical correspondence analysis, hierarchical clustering and two-step clustering method were coupled in this study to delineate the aquatic ecoregions of the Jiulong River Basin. Besides, the Richards - Baker index and correlation analysis were used to verify the results. Based on the aquatic ecoregion delineated, fuzzy evaluation method and system dynamics method were further applied to quantify and predict the water ecological carrying capacity in the JRB. The major conclusions are as follows:

The study area can be divided into 2 Level I aquatic ecoregions and 11 Level II aquatic ecoregions. The level I aquatic ecoregion B zone has a relatively healthy water ecological system than A zone, which was severely affected by human activities. For the water index of $\text{PO}_4^{3+}\text{-P}$, the maximum and the minimum appeared in B3 zone and B2 zone, the concentration were 0.424 mg/L and 0.135 mg/L, respectively. For the concentration index of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, the max value reached 1.862 mg/L appeared in B3 zone, the minimum value distributed in A1 zone, only 0.207 mg/L. The peak of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ appeared in B6 zone has reached to 3.914 mg/L. All of the max value of the concentration of COD_{Mn} , Cl^- and Mg^{2+} distributed in B3 zone. Overall, the delineation of the results of level I and level II aquatic ecoregion were reasonable and credible.

The water ecological carrying capacity of B1 and B2 zone were better than B3, B4, B5, A1 and A2 zone. Opposite, the water ecological carrying capacity of B6, A3, A4

and A5 zone were weak. They were similar to the results calculated by system dynamics method. In general, the water ecological carrying capacity of each level II aquatic ecoregion was reasonable and credible. In addition, the system dynamics model forecast during 2005~2020, the water ecological carrying capacity of the level I aquatic ecoregion A zone has a trend of decline. For a long time, it will seriously restrict the social and economic development of Zhangzhou and Long Hai. For level I aquatic ecoregion B zone was relatively good. With the unpredictable water resources, if keep the existing development scale without any policy guidance of government, the water ecological system of B zone will deteriorate during 2016~2020. The findings of this study provide a spatial framework for ecosystem-based management in the Jiulong River Basin.

Keywords: Aquatic ecoregion; Level I aquatic ecoregion; Level II aquatic ecoregion; Water ecological carrying capacity; System dynamics

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

水是生命之源，是地球上一切生物赖以生存的基本物质，是不可替代的自然资源，更是亟待保护的环境资源。长期的粗放型经济发展使得水生态系统受到越来越多的人为扰动，各种尺度的生态退化与环境污染问题摆在人们面前。水污染严重、水资源匮乏、水生态失衡、水开发过度、水管理水平低等一系列生态问题将严重制约我国未来的可持续发展。针对日益严峻的水环境问题，长期以来，人们习惯于在行政单元、流域水文分区单元的基础上开展区域水资源和水环境的管理和评价。然而，由于生态环境状况存在时空差异性，统一的生态和环境标准执行的效果各不相同，常常出现一些地区过度保护，而另一些地区没有达到生态环境保护的目的。因此，越来越多的研究者和政府机构人士意识到从整个水生态系统的特征出发，全面系统的对水生态资源进行管理的重要性。

20 世纪 70 年代出现的生态分区理论，是一种通过各地区的地质、地貌、气候、土壤、水文、土地利用等特征将相似的单元通过系统性的安排分成组或类的多尺度生态区域分级嵌套区划和评价系统。生态分区不仅为资源开发、保护和环境管理提供了一种相对简便、有效的解决办法^[1]，同时也被证实是识别各类生态问题及问题溯源的有效工具^[2-3]。20 世纪 80 年代，许多学者在生态分区的基础上进行深入研究，提出了水生态分区。其应用生态学原理和方法，以水生态系统为核心，筛选出主要的驱动环境要素作为分区指标，以此确定与水生态系统密切相关的周围陆地环境。国际上典型的以水环境管理服务为目标的水生态分区，如：美国环境保护署（US Environmental Protection Agency，简称 USEPA）以生态整合为目标的淡水生态分区^[2,4]，利用土壤、地质地貌、潜在自然植被和土地利用类型等数据制作了美国和太平洋西北部的生态分区图，并在此基础上开展了关于水资源评价、水环境管理评价^[5]、河流恢复评估^[6]和地表水质问题^[1]等多方面的理论和方法研究；另外，“欧盟水政策管理框架”（EU Water Framework Directive，简称 WFD）以保护和改善欧盟地区水体环境为目标的海洋水生态分区，集中研究了同类型水体边界确定^[7]、根据鱼类^[8]、浮游植物^[9]、大型无脊椎动物^[10]等生物指标或各种因素综合指数^[11]进行海水生态状况评价等方面内容。相比之下，我国的水生态分区是以反映地貌、水文、水生生物以及水体功能的分布特征为目的，

针对单一水体环境要素的分区,如流域分区^[12]、淡水鱼类分布区划^[13]、内陆渔业区划^[14]、水文分区^[15]、生态分区^[16]、河流生态水文分区^[17]以及水环境功能区划^[18]等。此外,分区时对水生生态系统的区域特征和生态背景缺乏充分考虑,割裂了水体及其周围陆域生态系统的整体关系,使得分区成果难以达到水资源和水环境管理以及水生态恢复的要求。总之,将陆域生态系统与水体要素结合起来进行水生态分区的研究仍显匮乏^[17,19]。

20 世纪 80 年代以来,以流域为单元实施水环境管理的理念在国际上得到广泛的认可^[1-2]。本研究将以城市化进程较快,涉及区域饮用水安全的九龙江流域为研究区域。作为福建省第二大河流,九龙江是龙岩、漳州和厦门三地市超过 800 万人口的饮用水和工农业水源地,其水环境安全对于福建省乃至海峡西岸经济区具有十分重要的意义。2009 年 1 月下旬至 3 月上旬,九龙江流域漳州与厦门取水口处的江东库区首次发生了大规模的甲藻水华事件,威胁到流域下游的饮用水安全。另外,据 2000~2008 年九龙江流域省控断面调查结果显示,流域内 17 个断面共发生 21 次的总磷超标现象^[20]。总体来说,九龙江流域水质状况不容乐观。然而,传统的淡水生态系统监测、保护和管理大多只基于行政单元和水文单元,导致其分散而片面,无法行之有效的保护流域水生态环境。为了保护和改善水生态系统状况、保证当地人民饮用水安全,亟待从生态系统的整体角度出发进行九龙江流域的水生态分区划分。

本研究以九龙江流域为例,利用 GIS 技术进行空间数据的分析、提取和处理,根据水生态分区原则构建流域水生态分区指标体系,运用层次聚类 and 两步聚类方法实现九龙江流域水生态一、二级分区,最终将九龙江流域划分为 2 个一级区和 11 个二级区,并利用 *R-B* 指数和相关的水质数据对划分的分区结果进行验证。此外,基于划分的水生态二级分区结果,分别运用模糊评价法和系统动力学方法对各分区的水生态承载能力进行估算,并预测了未来一段时间内研究区水生态承载力的变化情况。研究结果有助于为国家重大水专项或其他流域水生态分区提供参考意义,并为流域的水资源开发、水环境保护和管理提供决策依据。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 水生态分区的国内外研究现状

1.2.1.1 水生态分区的国外研究现状

生态区域的起源可追溯到 1898 年,Merriam 对美国的生命带和农作物进行

了系统的划分，从此人类开始尝试将生物因子作为自然分区的依据。1962年，加拿大森林学家 Orié Loucks 首次提出“生态区 (Ecoregion)”一词。1967年，Crowley 对“生态区”的概念进行了定义，将具有相似生态系统以及发挥相似生态功能的陆域和水域称为“生态区”^[21]，并根据植被和气候的特征，绘制了加拿大的生态区地图，这意味着传统的地理分区研究进入了生态学领域。

20世纪70年代初期，Likens 就尝试把陆地和水生态系统的特征结合起来进行北美的水生态分区研究^[22]，但由于数据的连续性和完整性难以保证，使得分区研究主要集中在陆地生态分区，这也为后续的水生态分区提供了坚实的理论和研究基础。20世纪70年代末期，美国环境保护署 (USEPA) 以生态整合为目的，提出了水生态系统的区划体系。此方案主要是通过叠加和比较地形、土壤、自然植被和土地利用类型四个特征指标的专题地图，将性质相似的淡水生态系统及其周围的陆地和水域归并为同一生态区。这样不仅能更好的体现出水生态系统空间特征的异质性，还能为制定水生态系统保护标准提供重要依据，进而实现水环境管理和保护从水体化学指标转向水生态指标。根据研究对象和研究目的差异建立不同类型的生态分区体系，一系列成果中以 Bailey^[4]的研究最具代表性。1976年，Bailey 首次提出“生态区划”的概念，并以陆地生态系统为对象绘制了美国的生态区地图。随后又分别绘制了北美洲^[23]、世界大陆^[24]以及海洋^[25]的生态区地图。

20世纪80年代，许多部门和学者在陆地生态分区的基础上开展了深入积极的研究，使得水生态分区开始初具雏形。1986年，Omernik^[2]首先提出了水生态分区的概念及方法，利用土地利用类型、地形、潜在自然植被和土壤四个特征指标的专题图进行叠加，对全美大陆进行了水生态分区。分区结果既体现了水生态系统空间特征的差异，又为水生态系统完整性标准的制定提供了依据，更适应了流域水质管理和水资源保护。Omernik 的研究是20世纪80年代 USEPA 淡水生态分区的典型代表。同年，Albert 等提出以湖滨河岸带保护区为对象的五大湖区划方法^[26]。1986~1988年，Hughes 等在美国陆域生态分区的基础上，以阿肯色州、俄亥俄州、明尼苏达州和俄勒冈州为例，根据水质和水生生物群落方面的内在差异性，建立了水生态分区、水质类型和鱼类群落的关系模型，并以此来验证分区结果的正确性，研究表明水生态分区对于定量制订区域性的化学和生物标准均具有明显的适用性^[27,1]。

20世纪90年代末期，Bailey 以海洋生态系统为对象开展了海洋生态区划^[25]。

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.

厦门大学博硕士学位论文摘要库