

若尔盖湿地

沙化的生态水文过程研究初探



RUOERGAI SHIDI
SHAHUA DE SHENGTAI
SHUIWEN GUOCHENG
YANJIU CHUTAN

王 焱 贺 亮 胡 蓉 © 著



科学出版社

若尔盖湿地沙化的生态 水文过程研究初探

王 焱 贺 亮 胡 蓉 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书首次从生态水文学角度对若尔盖湿地沙化的机理进行定量研究。首先,通过构建若尔盖湿地沙化的生态水文模型,研究若尔盖湿地不同地类(沼泽湿地、沼泽化草甸、草甸、沙化草地和荒漠)的生态水文过程,揭示若尔盖湿地沙化成因。然后,通过改变气候条件(主要是降水)、地下水水位来考查模型中土壤水分、植物根系水势、叶面水势变化,从而模拟土壤理化性质和植物枯萎过程,获得发生沙化的临界气候水文条件,进而揭示若尔盖湿地沙化机理。最后,提出相应的生态功能恢复建议。

本书具有较强的学术性和实用性,适用于从事水文与水资源工程、环境科学、湿地保护和沙漠化治理等方面研究的学者和科研人员,也可作为高等学校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

若尔盖湿地沙化的生态水文过程研究初探 / 王焱, 贺亮, 胡蓉著.

— 北京: 科学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-03-045072-4

I. ①若… II. ①王… ②贺… ③胡… III. ①沼泽化地-沙漠化-陆面过程-研究-若尔盖县 IV. ①P942.714.78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 132060 号

责任编辑: 李小锐 唐 梅 / 封面设计: 墨创文化

责任校对: 韩雨舟 / 责任印制: 余少力

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第一版 开本: B5 (720*1000)

2015年6月第一次印刷 印张: 9.75 插页: 1

字数: 200千字

定价: 59.00元

前 言

若尔盖湿地特殊的地理位置、重要的生态功能、丰富的资源物产以及严重的退化沙化问题已成为国际社会关注的热点。若尔盖湿地生态环境的日益恶化与湿地生态系统水分分布及水分传输状况密不可分。只有掌握湿地相关生态水文特征,弄清水分在湿地土壤—植被—大气传输系统中的传输规律,才能为湿地沙化治理提供理论依据,最大限度地减少湿地退化沙化,维护湿地生态系统的平衡。

本书通过在若尔盖湿地研究区进行相关的水文试验、掌握若尔盖湿地的生态水文特征,将若尔盖湿地生态水文模型与地下水运动规律、气象条件和植物特性相结合,研究水分在大气、植物、地表、土壤和地下水层中的相互作用和相互关系,揭示了若尔盖湿地的沙化成因和沙化机理,由此获得若尔盖湿地沙化治理和生态功能恢复的新方法。

全书分为三篇,共 12 章。第一篇为研究概况,第二篇为若尔盖湿地生态水文模型及沙化成因分析,第三篇为若尔盖湿地沙化生态水文模型及沙化机理研究。第 1 章简要介绍了若尔盖湿地及若尔盖湿地国家级自然保护区及研究概况;第 2 章概述了研究区域的自然地理概况,着重于区域地质条件、气候变化特征、生态环境及沙化概况;第 3 章通过现场综合实验和调查获取湿地含水层特征及地下水循环、埋藏和运动特征等地下水水文特征;第 4 章分别进行地下水流模拟、土壤水运动模拟、根系吸水模拟和蒸发蒸腾模拟;第 5 章建立了若尔盖湿地生态水文耦合模型并对其进行了动态模拟,用实测的参数验证模型,并设置一定情境进行分析;第 6 章利用建立的湿地生态水文模型追踪水分在连续体各个子系统运动过程,分析湿地植物水分状况与环境之间的关系,特别在分析植物生物量与地下水位变动关系的基础上,确定植物“枯萎”与“渍死”时临界地下水位,进而分析沙化成因;第 7 章根据观测成果和调查资料,获得湿地地下水分布、埋藏和运动等地下水水文特征;第 8 章分别模拟了若尔盖湿地沙化的生态水文模型的土壤水运动过程、土壤蒸发过程和植物水分运动过程的子模型;第 9 章依据若尔盖湿地的特点,调整相关模拟参数、运算公式,验证若尔盖湿地沙化的生态水文模型,并介绍了模型的输入与输出及模型识别;第 10 章利用已建立的沙化生态水文模型结合湿地地下水运动规律进行生态水文过程应用及分析,分析湿地沙化状况与环境之间的关系,探讨若尔盖湿地沙化的机理;第 11 章利用建立的模型分析湿地土壤水分与植物根系水势、叶面水势的关系,从而模拟土壤理化性质

和植物枯萎过程，获得发生沙化的临界降水量和临界地下水位；第12章在分析降水、地下水对若尔盖湿地的影响和若尔盖湿地沙化机理的基础上，根据前述研究成果，提出了若尔盖湿地生态功能恢复建议。

本书的研究具有鲜明的应用特点，通过深入研究沙化的成因机制，探讨沙化演化的生态水文过程，并提出治理沙化及生态功能恢复的措施。研究成果不但为若尔盖湿地沙化的防治和治理提供理论依据和新的思路，同时还为其他高原湿地沙化(退化)研究提供参考。

在本书的撰写过程中，得到了课题组同事们的大力支持和帮助，在此深表感谢和敬意。还要衷心感谢四川大学刘国东教授。刘教授在若尔盖湿地的生态水文过程研究和沙化机理研究方面做出了开拓性的贡献。作者作为博士研究生参与了刘教授的相关课题研究。本书是在刘教授的悉心指导下得以完成的。

本书的撰写参考了大量的相关文献和专业书籍，谨向上述作者深表谢意！

由于时间仓促，加上作者水平和能力所限，对于书中疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2015年5月于成都

目 录

第一篇 研究概况

第 1 章 绪论	3
1.1 若尔盖湿地	3
1.2 若尔盖湿地国家级自然保护区	4
1.3 研究概况	5
1.4 结论	6
参考文献	6
第 2 章 研究区域概况	7
2.1 自然地理概况	7
2.2 区域地质条件	12
2.3 气候变化特征	13
2.4 若尔盖湿地生态环境	15
2.5 若尔盖湿地沙化概况	18
2.6 结论	21
参考文献	21

第二篇 若尔盖湿地生态水文模型及沙化成因分析

第 3 章 典型区一地下水水文特征	25
3.1 现场综合实验	25
3.2 含水层特征	26
3.3 地下水循环	27
3.4 地下水埋藏特征	29
3.5 地下水运动特征	30
3.6 结论	34

参考文献	34
第 4 章 典型区一子模型模拟	36
4.1 地下水流模拟	36
4.2 土壤水运动模拟	42
4.3 根系吸水模拟	52
4.4 蒸发蒸腾模拟	59
4.5 结论	63
参考文献	64
第 5 章 若尔盖湿地生态水文模型	66
5.1 SPAC 系统生态水文模型的动态模拟	66
5.2 模型验证及情景分析	68
5.3 结论	72
参考文献	72
第 6 章 湿地生态水文模型应用及沙化成因分析	74
6.1 耦合模型模拟试验及扩展	74
6.2 降雨变化对湿地 SPAC 系统的影响	75
6.3 地下水位变化对湿地 SPAC 系统的影响	76
6.4 结论	80
参考文献	80

第三篇 若尔盖湿地沙化生态水文模型及沙化机理研究

第 7 章 典型区二地下水水文特征	85
7.1 地下水特征	85
7.2 地下水运动	86
7.3 结论	91
参考文献	92
第 8 章 典型区二子模型模拟	93
8.1 土壤水运动过程模拟	93
8.2 土壤蒸发过程模拟	99
8.3 植物水分运动过程模拟	101
8.4 结论	105
参考文献	105

第9章 若尔盖湿地沙化的生态水文模型	108
9.1 若尔盖湿地沙化的生态水文模型	108
9.2 模型的输入与输出	110
9.3 模型识别	113
9.4 结论	116
参考文献	116
第10章 若尔盖湿地沙化的生态水文过程模拟	118
10.1 降雨	118
10.2 植被降水截留过程	119
10.3 蒸散发过程	120
10.4 地下水深层渗漏	124
10.5 土壤储水变化	124
10.6 土壤—植被—大气传输系统水分平衡	125
10.7 若尔盖湿地沙化机理	127
10.8 结论	127
参考文献	128
第11章 若尔盖湿地发生沙化的临界条件模拟	129
11.1 土壤水分与植物根系水势、叶面水势的关系	129
11.2 若尔盖湿地发生沙化的临界降水量	130
11.3 若尔盖湿地发生沙化的临界地下水位	133
11.4 结论	135
参考文献	135
第12章 若尔盖湿地沙化机理分析及沙化治理	137
12.1 降水、地下水位对若尔盖湿地的影响	137
12.2 若尔盖湿地沙化机理分析	138
12.3 若尔盖湿地生态功能恢复建议	139
12.4 结论	142
参考文献	142
索引	144

第一篇



研究概况



第1章 绪 论

1.1 若尔盖湿地

湿地是自然界生物多样性最富有和生态功能最高的生态系统。湿地为人类的生产、生活与休闲提供多种资源,是人类重要的生存环境,水力文明及水生文明的建立与发展均以湿地为基础;湿地在抵御与调节洪水、控制污染与降解污染物等方面具有不可替代性,被喻为“地球之肾”;湿地又是重要的国土资源和自然资源,也是野生动植物,尤其是鸟类,最重要的栖息地。湿地生态系统也因此与森林、海洋一起并称为全球三大生态系统^[1]。

若尔盖湿地地处青藏高原东缘,青海、甘肃、四川三省交界处,是青藏高原湿地的重要组成部分,也是世界上面积最大的高原沼泽湿地。若尔盖湿地位于四川省阿坝藏族羌族自治州若尔盖县、红原县和阿坝县境内,地理位置介于东经 $102^{\circ}10'$ ~ $103^{\circ}55'$,北纬 $32^{\circ}20'$ ~ $34^{\circ}05'$,海拔为3400~3900m,面积为7155 km²,1998年被列为国家级自然保护区,2008年被列入国际重要湿地名录。

若尔盖湿地内分布着辽阔的河流、湖泊、沼泽、草甸和草原。湿地内河流、湖泊受地势制约分属黄河、长江水系,并多属黄河水系,支流众多,较大的河流有黑河、白河和嘎曲等30多条,小型河流达400余条,河谷平坦开阔,河床比降小,水溪纵横,迂回曲折,蛇曲普遍发育。湿地内湖泊小而多,主要为小沼泽、牛轭湖和海子,总水面积约4880hm²。若尔盖湿地地下水主要靠降水和地表河、湖水入渗补给,地下水主要赋存于第四系松散堆积物中,其次赋存于基岩裂隙和岩溶裂隙中。湿地每年提供给黄河30%多的水量,是黄河重要的“蓄、供水库”^[2,3]。从全球角度看,若尔盖湿地是世界上低纬度高海拔带分布最为集中的高寒沼泽湿地,气候寒冷、降水少、日照强、日温差大,生态系统十分脆弱,对全球变化的反应极其敏感。从我国角度看,若尔盖湿地不仅是我国的气候调节器,而且是我国长江和黄河的自然分水区,是黄河上游重要的集水区和水源涵养区,其流量占黄河上游总来水量的约20%^[4,5]。

受地理、气候、人类活动和环境变迁的影响,若尔盖湿地正在加速退化。自

20 世纪 60 年代开始,水域和沼泽面积不断缩小,许多人畜终年难以靠近的大沼泽都退化成季节沼泽或干涸沼泽。草地日益沙化,喜水植物逐渐让位于喜湿植物,禾本科有明显侵入趋势。沼泽性动植物大量减少,并伴生沙蜥、骆驼刺之类的荒漠化地带才有的野生生物。沼泽湿地发生逆向演替:沼泽湿地→沼泽化草甸→草甸→沙化草地→荒漠。现在若尔盖湿地沙化、旱化现象日趋加重,沙化总面积达到 4091hm^2 ,仍以每年 11.8% 的速度递增^[6]。如果沙化问题不加治理,不到 20 年,整个若尔盖湿地将成为高原沙漠,引发的沙尘暴将“光顾”成都平原。距若尔盖湿地仅 92km 的“九寨沟”将不复存在,成为一条“黄沙沟”。由于都江堰失去水源,“天府之国”将变得水比油贵。若尔盖湿地的生态环境面临着全面恶化的危险^[7-12]。

1.2 若尔盖湿地国家级自然保护区

若尔盖湿地的重点保护区域是若尔盖湿地国家级自然保护区,主要分布在若尔盖县境内。

若尔盖湿地国家级自然保护区是 1998 年建立的以保护湿地生态、黑颈鹤等珍稀动物为主的国家级自然保护区,地处青藏高原东缘,涉及若尔盖县辖曼、唐克、嫩娃、红星、阿西、达扎寺 6 个乡镇及辖曼、黑河两个国有牧场^[4]。保护区地理坐标为东经 $102^{\circ}29' \sim 102^{\circ}59'$,北纬 $33^{\circ}25' \sim 24^{\circ}80'$,东西宽 47km,南北长 63km,面积为 1665.70km^2 ,平均海拔为 3500m。

为有效进行湿地保护,国家设立了四川若尔盖湿地国家级自然保护区管理局,管理局下设保护站,保护站下设监测点。根据位置适中、安全、地势平坦、水源好、交通方便和便于管理的原则,以及保护区内的地形地貌、野生动物分布情况、人为活动状况设立了 5 个保护站。

根据功能区区划的原则,若尔盖湿地自然保护区的自然环境、资源状况和性质,主要保护对象的空间状况,将若尔盖湿地自然保护区划分为核心区、缓冲区和实验区。

核心区:分为哈丘湖沼泽核心区和纳洛乔沼泽核心区两片。两片核心区之间通过缓冲区有机相连。核心区总面积为 $48\,662.2\text{hm}^2$,占保护区面积的 29.21%。本区是珍稀水禽(如黑颈鹤、赤麻鸭等)的主要栖息地。

缓冲区:位于核心区的四周,将核心区与保护区区界(东部、南部、北部)及实验区(西部)相隔,目的是防止和减少外界对核心区的影响和干扰。黑河在两个核心区之间的缓冲区内通过,达水曲在缓冲区北部通过。生境类型主要是能通行

沼泽、草甸、河流和一些过渡地带。面积为 73984.5hm², 占保护区面积的 44.42%。

实验区: 该区位于保护区的西部。其西界为保护区区界, 东部与缓冲区相接, 缓冲区与实验区北部主要以乡村公路为界, 面积为 43 918.0hm², 占保护区面积的 26.37%。黑河贯穿整个实验区, 由于河流降比小, 河流蜿蜒曲折, 区内地形相对复杂, 有河流、能通行沼泽、不能通行沼泽、草甸、山丘等。实验区在保护的前提下, 区内可从事科学实验、教学实习、参观考察、生态旅游等活动, 以上活动要有组织地开展并加强管理。

本书研究区域属于若尔盖湿地自然保护区实验区。

1.3 研究概况

本书依托交通部西部交通建设科技项目“高原湿地公路建设关键问题研究”(200431800054)中的子课题“公路建设中草原环境及湿地保护措施研究”和四川省应用基础研究项目“若尔盖湿地沙化的生态水文过程研究”(2007J13-087), 分别对若尔盖湿地的沙化成因和沙化机理进行了研究。

若尔盖湿地生态环境日益恶化, 这与湿地生态系统水分分布及水分传输状况密不可分。只有掌握湿地相关生态水文特征, 弄清水分在湿地土壤—植被—大气传输系统中的传输规律, 才能分析沙化成因、弄清沙化机理, 为湿地沙化治理提供理论依据, 最大限度地减少湿地退化沙化, 维护湿地生态系统的平衡。

若尔盖湿地目前的土地类型有沼泽湿地、沼泽化草甸、草甸、沙化草地和荒漠。沼泽湿地向荒漠转变则代表了湿地生态环境的恶化。因此, 若尔盖湿地沙化成因分析和沙化机理研究的重点区域应放在湿地逆向演替带上。为此, 2004~2009 年我们分别在研究区域选择两个典型区域开展研究工作。

典型区域一为若尔盖湿地国家级自然保护区实验区阿西牧场附近边界国道 213 郎川公路两侧草甸, 主要结合典型植物物种和地貌特征, 对局部土地单元进行生态水文过程模拟, 即土壤—植被—大气连续体研究, 为若尔盖湿地建立了完整的生态水文模型(SPAC 模型), 追踪水分在连续体各个子系统中的运动过程, 并分析湿地植物水分状况与环境之间的关系, 获得了湿地植物“枯萎”与“渍死”时的临界地下水位, 最终得到湿地沙化的基本成因。

典型区域二为若尔盖湿地国家级自然保护区实验区谢玛纳也沙化地及其以东的过渡带, 主要结合典型植物物种和地形、地貌特征, 构建若尔盖湿地沙化的生态水文模型(SVAT 模型), 定量描述局部土地单元的生态水文过程, 研究不同地

类的大气、植物、地表、土壤和地下含水层中的水及其相互作用和相互关系,获得发生沙化的临界气候水文条件,进而揭示若尔盖湿地沙化机理,为沙化治理提供理论依据。

目前,国内外关于沙化过程的研究也都是针对具体的草原或湿地进行的,多数采用定性或统计方法进行研究,尚无应用生态水文模型进行研究的案例。在此背景下,本书主要通过对若尔盖湿地的资料收集和实地调查,选择典型区进行水文试验、土壤水分测定和植被特性参数测定,建立若尔盖湿地的生态水文模型,模拟湿地沙化的土壤—植被—大气传输系统的生态水文过程,从而揭示沙化机理,为防沙治沙提供理论依据。

1.4 结 论

若尔盖湿地地处青藏高原东缘青海、甘肃、四川三省交界处,是青藏高原湿地的重要组成部分,也是世界上面积最大的高原沼泽湿地。本书研究区域属于若尔盖湿地自然保护区实验区。若尔盖湿地沙化成因分析和沙化机理研究的重点区域应放在湿地逆向演替带上。

参 考 文 献

- [1]中国国家林业局. 中国湿地保护行动计划[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [2]若尔盖县地方志编撰委员会. 若尔盖县志[M]. 北京: 民族出版社, 1996.
- [3]四川省林业厅. 四川若尔盖湿地自然保护区规划[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [4]白军红, 欧阳华, 徐惠风, 等. 青藏高原湿地研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(4): 1-9.
- [5]马学慧, 刘兴土. 中国湿地生态环境质量现状分析与评价方法[J]. 地理科学, 1997, 17(增刊): 401-408.
- [6]赵建, 朱建清, 张杰, 等. 若尔盖退化、沙化草地的治理[J]. 四川草原, 2004(1): 13-16.
- [7]中国湿地植被编辑委员会. 中国湿地植被[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [8]杨霞, 翟兴礼, 余国莹. 若尔盖高原湿地生物多样性现状及其保护对策[J]. 长春大学学报, 2002, 12(3): 16-20.
- [9]何池全, 赵魁义. 若尔盖高原湿地生物多样性保护及其可持续利用[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 7.
- [10]孙广友, 张文芬, 张家驹, 等. 若尔盖高原沼泽生态环境及其合理开发的研究[J]. 自然资源学报, 1987, 2(4): 359-358.
- [11]赵仁昌. 若尔盖沙化及防治对策[J]. 四川环境, 1995, 14(2): 15-20.
- [12]杨永兴. 若尔盖高原生态环境恶化与沼泽退化及其形成机制[J]. 山地学报, 1999, 17(4): 318-323.

第 2 章 研究区域概况

2.1 自然地理概况

2.1.1 地理位置

若尔盖湿地位于青藏高原东麓青海、甘肃、四川三省交界处,是世界上面积最大的高原沼泽湿地,涉及四川省阿坝藏族羌族自治州的若尔盖、红原和阿坝三县,总面积 100 多万公顷。湿地的重点保护区域是若尔盖湿地国家级自然保护区,主要分布在若尔盖县境内,见图 2-1。

若尔盖湿地国家级自然保护区地处青藏高原东部若尔盖大草原腹地,有辽阔的湖泊、沼泽、草甸和草原,是世界上罕见的高原湿地生态系统类型,地理位置为东经 $102^{\circ}29' \sim 102^{\circ}59'$,北纬 $33^{\circ}25' \sim 34^{\circ}00'$ 。保护区内地势东南高,西北低,相对高差 282m,一般丘高海拔 3500~3600m。保护区四周界线是:东西宽 47km,南北长 63km,东面以国道 213 线为界,南面以省道 209 线为界,西面和北面以唐热 317 公路为界,总面积为 166 570.6 hm^2 。核心保护区湿地面积为 22 953 hm^2 ,其中,沼泽面积为 19 892 hm^2 ,湖泊面积为 1 233 hm^2 ,河流面积为 1 828 hm^2 。

经现场勘查与调查,研究典型区域一位于若尔盖湿地自然保护区实验区的阿西牧场,研究方案设计的抽水试验场位于郎木寺至川主寺公路 K57+500~K59+500 公路两侧 500m 范围内,分布在阿西隆曲两条支流之间,场地面积约为 2.5 km^2 。研究典型区域二选在若尔盖湿地典型逆向演替带(若尔盖湿地国家级自然保护区内谢玛纳也沙化地及其以东的过渡带),地理位置为东经 $102^{\circ}57' \sim 102^{\circ}59'$,北纬 $33^{\circ}36' \sim 33^{\circ}37'$,面积为 120 km^2 ,包括沼泽湿地、沼泽化草甸、草甸、沙化草地、荒漠 5 种类型,受人为扰动相对较小。每种地类布设 1 块标准地 20m $\times$ 20m。研究区域地理位置详见图 2-2。

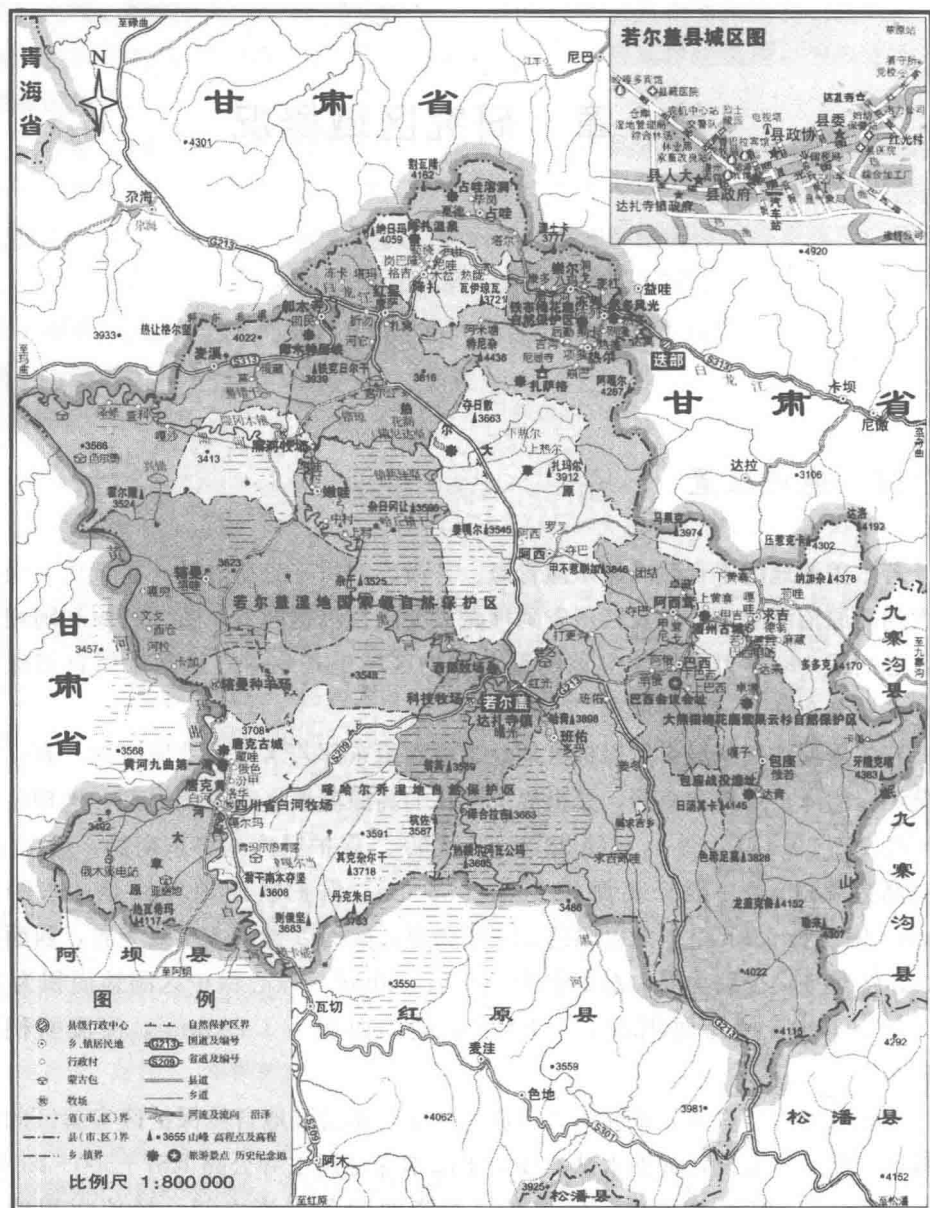


图 2-1 若尔盖湿地位置图

资料来源：若尔盖民政局，成都地图出版社，2004

2.1.2 水文

研究区域属黄河流域，主要河流有黑河、白河以及它们的支流。

白河为黄河的一级支流，发源于红原县境内嘎哇达则，流经若尔盖西南部，

在唐克注入黄河，全长为 269.9km，平均比降为 0.66%，积水面积为 5488.0km²，多年平均流量为 36.4m³/s。

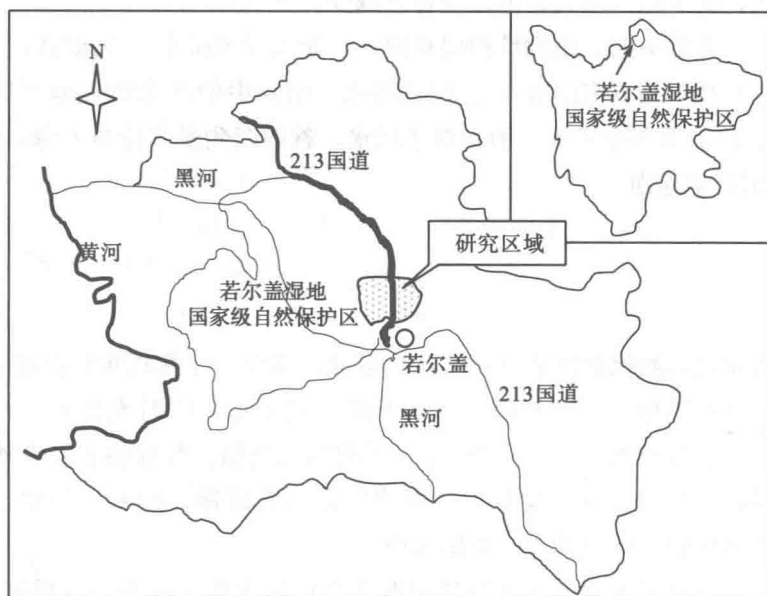


图 2-2 研究区域地理位置图

黑河也属黄河的一级支流，发源于哲波冻亚山(红原县)南葛利坪(垭坳克)，由南向北流，在若尔盖县城折向北西，在若尔盖县城西北与甘肃玛曲交界处注入黄河，全长为 455.9km，平均比降为 0.2%，积水面积为 7608.0km²，多年平均流量为 50.7m³/s。该河流经若尔盖县境腹地，在高原草地曲折迂回，河谷平坦开阔，切割不深^[1]。

在黑河流域，由于上游河网发达，沉积物较粗，排水条件较好；而中下游的河网不发达，地表平坦低洼，特别是黑河流域无流宽谷和伏流宽谷多，许多小河无正规河道，造成地表大面积积水，沼泽发育重，分布广。整个流域沼泽率达 23.5%，其中，中下游为 21.3%~43.2%，上游为 12.3%~17.4%^[2]。

本区域河流曲折迂回，河床曲率为 2~2.5；流速缓慢，流速一般为 0.1~0.5m/s，以 0.2~0.3 m/s 最为普遍。水位年变幅一般为 1~3m，最大时达 4.5m。在非汛期，黑河由于流域内沼泽发育，河水呈茶色；在汛期，河水浑浊，夹带大量泥沙和腐殖质^[3]。

研究区内牛轭湖较多，较大的有哈丘湖、措拉坚湖、拿龙措湖三个，面积分别为 628.13hm²、260hm²、150hm²，湖泊沼泽化明显，水质较差，浑浊，腐殖质含量较高。由于地面平坦低洼，水流不畅，形成大面积沼泽，有的地段人、畜