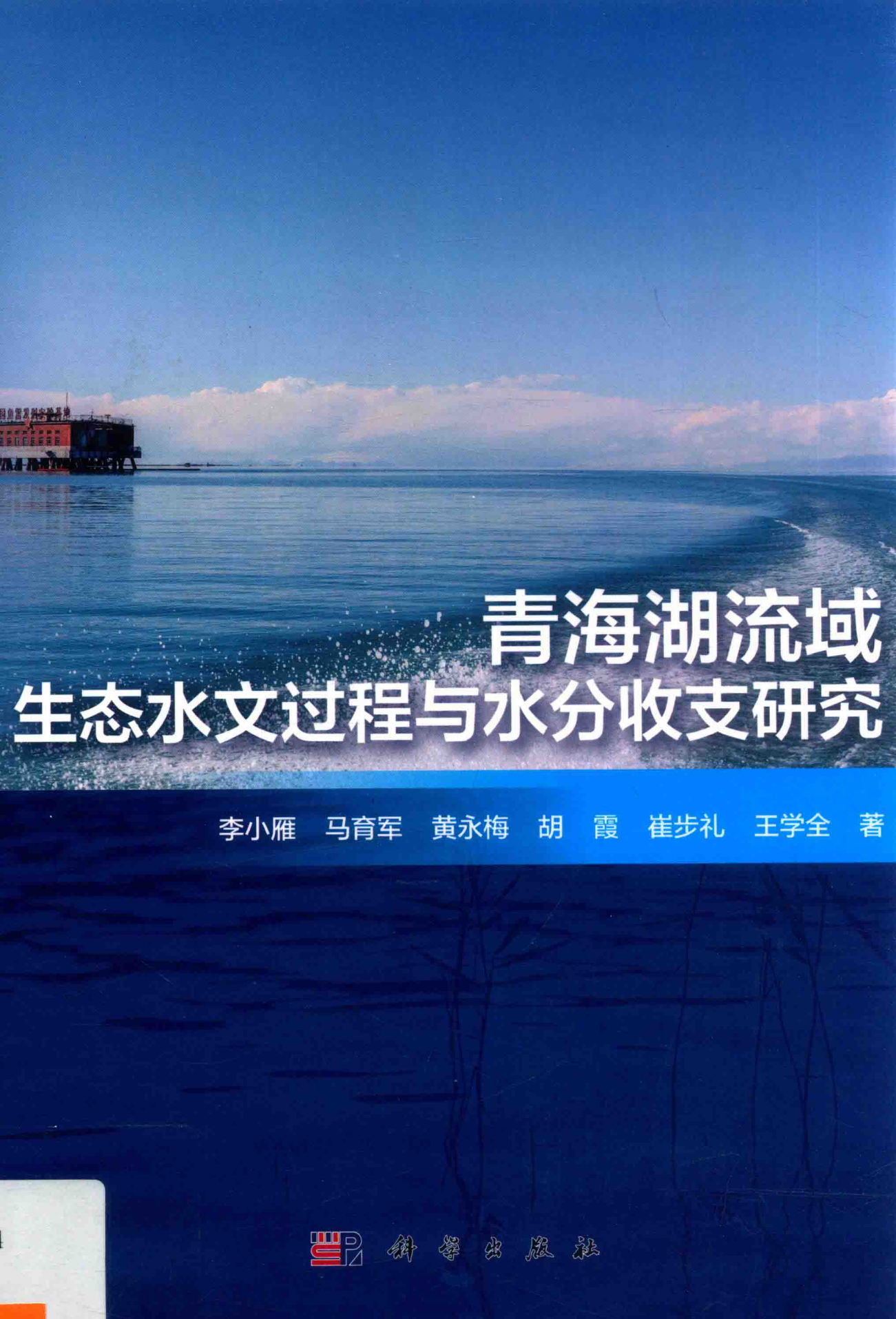




青海湖流域 生态水文过程与水分收支研究

李小雁 马育军 黄永梅 胡 霞 崔步礼 王学全 著



科学出版社

青海湖流域生态水文过程 与水分收支研究

李小雁 马育军 黄永梅 著
胡 霞 崔步礼 王学全

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在简要介绍青海湖流域自然地理特征、社会经济状况和生态环境问题的基础上,论述不同生态系统的生态水文过程,研究典型陆地生态系统优势种的水分利用特征和流域水量转换,探讨青海湖湖体水热交换过程与蒸发规律,模拟不同尺度的水分平衡关系,评价流域水资源承载力,并提出水资源优化配置方案。本书力图将实验观测、过程分析和模型模拟相结合,诠释青海湖流域不同尺度生态过程与水文过程的相互作用及其对水资源的影响,并发展高寒半干旱区生态水文学。

本书适合地理学、生态学等专业的研究生和本科生阅读,也可供相关学科的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

青海湖流域生态水文过程与水分收支研究/李小雁等著。—北京:科学出版社,2018.3

ISBN 978-7-03-056944-8

I. ①青… II. ①李… III. ①青海湖—区域水文学—研究 IV. ①P344.244

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 049300 号

责任编辑:杨帅英 白 丹 / 责任校对:韩 杨

责任印制:张 伟 / 封面设计:图阅社

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>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 3 月第一次印刷 印张:16 插页:4

字数:380 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

青海湖是维系青藏高原东北部生态安全的重要水体,其整个流域是生物多样性保护和生态环境建设的重点地区。作为青海省生态旅游业、草地畜牧业等社会经济发展的集中区域,近几十年来在气候变化和人类活动的共同影响下,青海湖流域草地退化、湿地萎缩、沙化土地扩张等生态环境问题突出,引起各级政府、国际社会和科学家们的广泛关注。水文循环过程的改变是干旱区生态退化的直接驱动力,水文过程与生态过程的相互作用机理是干旱区生态环境保护和恢复重建中必须面对的基础科学问题。在国家自然科学基金重点项目“青海湖流域生态水文过程与水分收支研究”(41130640)支持下,并吸纳国家自然科学基金重点项目“青海湖流域关键带碳水过程及其生态功能变化”(41730854)的部分研究结果,北京师范大学主持开展了青海湖流域典型生态系统生态与水文过程相互作用机理及水分收支特征、流域水文空间格局及其对水循环和水量转化的影响、流域多尺度水分平衡模型模拟、流域水资源承载力评价与优化配置等研究。项目经过5年研究,建成青海湖流域多尺度生态水文过程与通量观测系统,量化不同生态系统水循环过程与水分收支数量关系,揭示高寒植被水热通量变化规律及其影响因素;测算青海湖湖面蒸发量,阐明高海拔地区湖泊-大气相互作用规律,探究青海湖水位变化的原因;构建流域多尺度生态水文耦合模型,评价青海湖流域水资源承载力,进行流域水资源优化配置。

本书以青海湖流域水循环过程为核心内容,首先通过实验观测分析不同生态系统的生态水文过程,然后借助于稳定同位素技术研究典型陆地生态系统优势种的水分利用特征和流域水量转换,进一步利用模型模拟不同尺度的水分平衡关系,最后评价流域水资源承载力,并提出水资源优化配置方案。本书共分为8章。第1章简要介绍青海湖流域的自然地理特征、社会经济状况和面临的主要生态环境问题。第2章对比青海湖流域典型陆地生态系统的土壤微结构特征,在此基础上论述了典型陆地生态系统(嵩草草甸、金露梅灌丛、芨芨草原、具鳞水柏枝灌丛、农田、沙地)的主要水文过程(降雨、冠层降雨再分配、土壤水、径流、蒸散发)。第3章论述青海湖流域典型陆地生态系统优势种的水分利用特征。第4章论述青海湖水体的水热交换过程。第5章论述青海湖流域不同水体(降水、河水、地下水、湖水)的氢氧稳定同位素和水化学特征,在此基础上探究了不同水体之间的水量转换关系和青海湖水位变化原因。第6章论述青海湖流域不同陆地生态系统和整个流域的水分收支数量关系。第7章模拟青海湖流域不同尺度(叶片尺度、生态系统尺度、流域尺度)的水分平衡关系。第8章评价青海湖流域的水资源承载力,在此基础上提出了水资源优化配置方案。

本书由李小雁、马育军完成全书的章节编制与统稿工作。各章执笔人分别为:第1章,马育军、李小雁;第2章,张思毅、李小雁、胡霞、蒋志云、肖雄、马育军;第3

章, 吴华武、李小雁、赵国琴; 第4章, 马育军、李小雁; 第5章, 崔步礼、李小雁; 第6章, 李小雁、刘磊、马育军、崔步礼; 第7章, 黄永梅、陈慧颖、杨吉林、周一飞; 第8章, 王学全、马育军、伊万娟。

除上述人员以外, 先后参加项目野外考察、实验观测和材料撰写等相关工作的还有李广泳、魏俊奇、吴艺楠、刘文玲、李宗超、刘勇、孙贞婷、李少华等。项目在北京师范大学青海湖流域地表过程综合观测研究站进行, 特别感谢青海省三角城种羊场在项目实施过程中的密切合作和大力支持, 感谢青海湖国家级自然保护区管理局、青海省铁卜加草原改良试验站等单位提供的诸多帮助。

生态水文过程涉及许多学科与研究领域, 本书通过实验观测、样品分析和模型模拟, 建立了不同生态系统和流域尺度的水分收支数量关系, 但对不同尺度生态过程和水文过程相互作用的内在机理还不是很清楚, 对于全球变化背景下生态水文过程的响应规律及其对生物地球化学循环的影响也需要深入研究。另外, 由于作者水平有限, 书中不足之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年12月17日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 自然地理特征	1
1.1.1 地貌特征	2
1.1.2 气候特征	2
1.1.3 水文状况	3
1.1.4 土壤类型	3
1.1.5 植被类型	4
1.2 社会经济状况	5
1.2.1 行政区划	5
1.2.2 人口状况	6
1.2.3 经济发展	6
1.3 生态环境问题	7
1.3.1 天然草场退化	7
1.3.2 湿地面积缩小	8
1.3.3 土地沙漠化	8
1.3.4 环湖带污染与人为破坏	9
参考文献	9
第 2 章 典型陆地生态系统生态水文过程	10
2.1 研究方法	10
2.1.1 植被样方调查	11
2.1.2 土壤物理性质测定	12
2.1.3 土壤微结构观测	12
2.1.4 土壤水分和温度监测	13
2.1.5 壤中流观测	13
2.1.6 微气象观测	15
2.1.7 冠层截留测定	15
2.1.8 用波文比能量平衡方法计算潜热和显热	17
2.1.9 用 Penman-Monteith 方法计算参考蒸散发	21
2.2 典型陆地生态系统土壤微结构特征	21
2.2.1 土壤大孔隙三维结构	21
2.2.2 土壤大孔隙数量特征	21

2.2.3	土壤大孔隙度特征	22
2.2.4	土壤大孔隙直径	23
2.3	嵩草草甸生态水文过程	24
2.3.1	嵩草草甸样地降雨特征	24
2.3.2	嵩草草甸冠层降雨再分配特征	24
2.3.3	嵩草草甸土壤水分特征	25
2.3.4	嵩草草甸壤中流特征	27
2.3.5	嵩草草甸蒸散发特征	43
2.4	金露梅灌丛生态水文过程	45
2.4.1	金露梅灌丛样地降雨特征	45
2.4.2	金露梅灌丛冠层降雨再分配特征	46
2.4.3	金露梅灌丛土壤水分特征	47
2.4.4	金露梅灌丛蒸散发特征	50
2.5	芨芨草草原生态水文过程	51
2.5.1	芨芨草草原样地降雨特征	51
2.5.2	芨芨草草原冠层降雨再分配特征	53
2.5.3	芨芨草草原土壤水分特征	59
2.5.4	芨芨草草原地表径流特征	61
2.5.5	芨芨草草原蒸散发特征	65
2.6	具鳞水柏枝灌丛生态水文过程	67
2.6.1	具鳞水柏枝灌丛样地降雨特征	67
2.6.2	具鳞水柏枝灌丛冠层降雨再分配特征	67
2.6.3	具鳞水柏枝灌丛土壤水分特征	71
2.6.4	具鳞水柏枝灌丛蒸散发特征	72
2.7	农田生态水文过程	74
2.7.1	农田样地降雨特征	74
2.7.2	农田土壤水分特征	74
2.7.3	农田地表径流特征	76
2.7.4	农田蒸散发特征	76
2.8	沙地生态水文过程	77
2.8.1	沙地土壤水分特征	77
2.8.2	沙地地表径流特征	78
2.8.3	沙地蒸散发特征	79
2.9	小结	80
	参考文献	81
第3章	典型陆地生态系统水分利用特征	83
3.1	研究方法	83
3.1.1	样地选择与样品采集	83

3.1.2 样品测试.....	84
3.1.3 数据处理.....	84
3.2 金露梅灌丛水分利用特征.....	85
3.2.1 金露梅灌丛植物水和潜在水源同位素特征.....	85
3.2.2 金露梅灌丛植物水分利用来源.....	86
3.3 芨芨草草原水分利用特征.....	87
3.3.1 芨芨草草原植物水和潜在水源同位素特征.....	87
3.3.2 芨芨草草原植物水分利用来源.....	88
3.4 具鳞水柏枝灌丛水分利用特征.....	89
3.4.1 具鳞水柏枝灌丛植物水和潜在水源同位素特征.....	89
3.4.2 具鳞水柏枝灌丛植物水分利用来源.....	92
3.5 农田水分利用特征.....	95
3.5.1 农田植物水和潜在水源同位素特征.....	95
3.5.2 农田植物水分利用来源.....	95
3.6 沙地水分利用特征.....	98
3.6.1 沙地植物水和潜在水源同位素特征.....	98
3.6.2 沙地植物水分利用来源.....	99
3.7 小结.....	101
参考文献.....	101
第4章 青海湖水体水热交换与蒸发量.....	103
4.1 研究方法.....	103
4.1.1 观测点与观测系统.....	103
4.1.2 涡动相关技术基本原理.....	104
4.1.3 观测数据处理.....	104
4.2 湖面微气象特征.....	105
4.3 湖面能量分配特征.....	106
4.4 湖面能量分配影响因素.....	110
4.5 小结.....	113
参考文献.....	114
第5章 流域水文循环特征和水量转换.....	115
5.1 研究方法.....	115
5.1.1 样品采集及测试.....	115
5.1.2 分析计算.....	116
5.2 流域水文空间格局.....	119
5.3 大气降水同位素特征及水汽来源.....	119
5.3.1 大气降水同位素特征.....	120
5.3.2 大气降水同位素地理效应.....	121
5.3.3 青海湖流域大气降水来源.....	123

5.3.4 青海湖水面蒸发对流域降水的贡献.....	124
5.4 河水同位素特征及径流过程.....	126
5.4.1 青海湖流域河水同位素特征.....	126
5.4.2 青海湖流域河水水化学特征.....	129
5.4.3 青海湖流域河川径流过程.....	130
5.4.4 青海湖流域地表产流特征.....	133
5.5 环湖地下水同位素特征及补给来源.....	134
5.5.1 环湖地下水同位素特征.....	134
5.5.2 环湖地下水水化学特征.....	134
5.5.3 环湖地下水补给来源.....	137
5.6 湖水同位素特征及演化过程.....	138
5.6.1 青海湖及周边小湖泊湖水同位素特征.....	138
5.6.2 青海湖及周边小湖泊湖水水化学特征.....	140
5.6.3 青海湖湖水演化过程.....	142
5.7 湖水位变化原因初探.....	144
5.8 小结.....	148
参考文献.....	149
第6章 陆地生态系统和流域水分收支.....	151
6.1 研究方法.....	151
6.1.1 陆地生态系统水量平衡分析.....	151
6.1.2 基于同位素方法的青海湖水量平衡分析.....	151
6.1.3 土壤水分和蒸散发反演.....	152
6.2 陆地生态系统水分收支.....	154
6.2.1 不同生态系统水分收支对比.....	154
6.2.2 不同生态系统水分收支年内变化.....	158
6.2.3 不同生态系统水分收支年际变化.....	162
6.2.4 不同海拔水分收支对比.....	165
6.3 流域水分收支.....	167
6.3.1 水分收支数量关系.....	167
6.3.2 水分收支空间格局.....	168
6.4 小结.....	169
参考文献.....	170
第7章 多尺度水分平衡模型模拟与分析.....	171
7.1 模型介绍.....	171
7.1.1 气孔导度模型.....	171
7.1.2 生态系统水分平衡模型.....	172
7.1.3 SWIM 模型.....	181
7.2 建群种叶片气孔导度模拟.....	184

7.2.1 模型输入数据.....	184
7.2.2 模型参数率定及验证.....	185
7.2.3 叶片气孔导度模拟结果分析.....	186
7.3 生态系统水分平衡模拟.....	187
7.3.1 模型输入数据.....	187
7.3.2 模型验证.....	190
7.3.3 典型生态系统水分平衡模拟结果分析.....	197
7.4 流域生态水文过程模拟.....	206
7.4.1 模型输入数据.....	206
7.4.2 模型水文响应单元划分.....	209
7.4.3 模型参数率定与验证.....	210
7.4.4 流域生态水文特征分析.....	211
7.4.5 气候变化对流域生态水文过程的影响评估.....	216
7.5 小结.....	221
参考文献.....	221
第8章 流域水资源承载力评价与优化配置.....	225
8.1 研究方法.....	225
8.2 流域水资源利用现状分析.....	225
8.2.1 水资源系统构成.....	225
8.2.2 水资源开发利用现状分析.....	227
8.2.3 青海湖流域需水预测.....	229
8.2.4 青海湖水量平衡分析.....	232
8.2.5 水资源利用存在的主要问题.....	233
8.3 流域水资源承载力评价.....	233
8.3.1 评判因素的选取、分级和评分.....	234
8.3.2 模糊关系矩阵和综合评价模型.....	234
8.3.3 评价因素隶属度刻化.....	235
8.3.4 流域水资源承载力综合评价.....	236
8.4 流域水资源系统动力学模型构建与模拟.....	238
8.4.1 系统动力学模型介绍.....	238
8.4.2 水资源系统动力学模型构建.....	239
8.5 流域水资源优化配置.....	243
8.5.1 水资源配置理论与目标.....	243
8.5.2 水资源配置方案.....	243
8.5.3 水资源优化配置对策.....	244
8.6 小结.....	246
参考文献.....	246

第1章 绪 论

青海湖流域地处青藏高原东北部，位于 $36^{\circ}15' \sim 38^{\circ}20'N$ 和 $97^{\circ}50' \sim 101^{\circ}20'E$ ，流域面积为 $29\,661\text{ km}^2$ 。流域内部地势最低处发育了巨大的水体——青海湖，其水面面积达 4425 km^2 （2016 年），是我国最大的内陆咸水湖。湖盆四周群山环绕，北依大通山，南临青海南山，东界日月山，西靠阿木尼尼库山（图 1.1）。

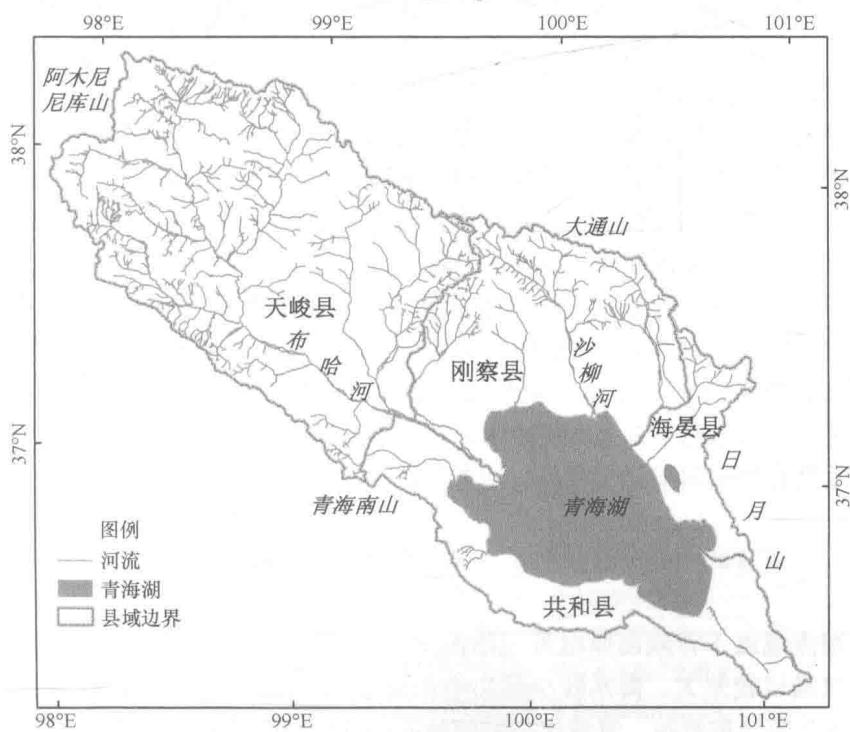


图 1.1 青海湖流域地理位置

青海湖流域地处我国东部季风区、西北部干旱区和西南部高寒区的交汇地带，既是维系青藏高原东北部生态安全的重要屏障，也是生物多样性保护和生态环境建设的重点区域，对全球气候变化的响应十分敏感。而作为青海省生态旅游、草地畜牧业等社会经济发展的集中区域，近年来在气候变化和人类活动的共同影响下，环湖草地退化、沙化土地扩张、湿地面积缩小，整个流域正面临着严重的生态破坏和环境退化危机。

1.1 自然地理特征

青海湖流域是一个由山地草原与湖泊湿地组合而成的生态系统，具有独特的高寒半

干旱特点。而作为一个相对独立的封闭盆地,整个流域以青海湖为集水中心,河流发源于四周群山,蜿蜒向青海湖辐聚。流域内自然地理环境的空间分异特征明显,由湖盆向四周,地貌、气候、水文、土壤和植被等自然地理要素大致呈环带状分布。

1.1.1 地貌特征

青海湖流域是封闭式山间内陆盆地,整个流域近似织梭形,呈北西西—南东东走向,四周被海拔为 4000~5000 m 的山体所包围。盆地北部的大通山是本流域与大通河流域的分水岭;南部的青海南山是本流域与共和盆地的分水岭;东部的日月山是本流域与湟水谷地的分水岭,也是我国季风区与非季风区、内流区与外流区、农业区与牧业区的分界;而西部的高原丘陵地带构成了本流域与柴达木盆地的分界。流域内部地势从西北向东南倾斜,最高海拔为 5291 m,位于北面大通山西段的岗格尔肖合力峰;最低处为流域东南部的青海湖,水面海拔为 3194.78 m (2016 年)。

从湖面到四周山岭之间,呈环带状分布着宽窄不一的风积地貌、冲积地貌和构造剥蚀地貌,地貌类型由湖滨平原、冲积平原、低山丘陵、中山和高山、冰原台地和现代冰川等组成。流域内山地面积较大,约占整个流域陆地面积的 68.6%;河谷和平原面积较小,约占整个流域陆地面积的 31.4%,主要分布于河流下游和青海湖周围。湖滨地带的情况为:湖的西岸和北岸以河流冲积形成的三角洲、河漫滩、阶地等河积-湖积地貌为主;在湖的南岸,山麓地带地形破碎,山麓与平原交接带多坡积裙、洪积和冲积扇,其下为向湖倾斜的洪积-湖积平原;湖东岸地形相对低缓,倒淌河入湖处地势低洼,形成大片沼泽湿地;湖东北岸有大面积沙地分布,耳海和沙岛一带多见连岛沙坝、沙嘴、沙堤,向上发育有固定和半固定沙丘、沙垄等。

1.1.2 气候特征

青海湖流域属于青藏高原温带大陆性半干旱气候,表现为冬季寒冷漫长、夏季温凉短促、气温日较差大、降水较少且集中于夏季、蒸发量大、太阳辐射强烈、日照充足、风力强劲等气候特征。流域年平均气温在 $-1.1\sim 4.0^{\circ}\text{C}$,最高月平均气温为 11.0°C ,最低月平均气温为 -13.5°C 。气温自东南向西北递减,受湖泊水体影响,湖区气温较高,边远山地较低。流域年平均降水量在 291~579 mm,受地形影响,降水分布不均,湖北岸从北向南递减,大通山一带一般为 500 mm,至湖滨地带约为 320 mm;湖南岸相反,由南向北递减;湖西岸在布哈河下游河谷地带自东向西递减;湖东岸由东向西至湖滨递减;湖滨四周向湖中心递减。青海湖流域属于半干旱地区,蒸发量大,多年平均蒸发皿蒸发量介于 1300~2000 mm,蒸发量空间分布特征与降水量相反,即湖滨平原和地势较低的河谷地区蒸发量较大,山区随地势升高蒸发量减小。由于受高空西风带和东南季风带共同影响,境内常年多风,夏秋两季以东南风为主,冬春两季则盛行偏西风且风力强劲。

1.1.3 水 文 状 况

青海湖流域内水系分布不均，西部和北部水系发达，东部和南部相反。河流大多发源于四周高山，并向中心辐聚，最终汇于青海湖，较大的河流有布哈河、沙柳河、哈尔盖河、泉吉河、黑马河等。流域西部的布哈河最大，其次是湖北岸的沙柳河和哈尔盖河，这3条河流的径流量占入湖总径流量的75%以上。

受地理位置和地形、气候等自然条件的影响，青海湖流域河川径流的补给主要来自于大气降水。河川径流年内分配不均，6~9月径流量占全年的80%。径流分布与降水分布基本一致，湖北岸为高值区，布哈河南岸和湖东地区为低值区。流域地下水具有半干旱区内陆盆地典型的环带状分布特征，即周边山区为补给区、山前洪积-冲积平原为渗流区、环湖湖滨平原为排泄区，受山体宽度影响，北部地下水比南部丰富。

除青海湖外，流域内面积大于0.03 km²的湖泊有70多个，其中，面积大于1 km²的湖泊有12个，主要分布于流域西部的布哈河河源区（淡水湖）和东南部的湖滨地带（咸水湖）。

1.1.4 土 壤 类 型

青海湖流域主要土壤类型包括草毡寒冻锥形土、暗沃寒冻锥形土、钙积筒育寒冻锥形土、有机正常潜育土、黏化钙积干润均腐土、寒性干润均腐土等（附图1和图1.2，全国土壤普查办公室，1995）。

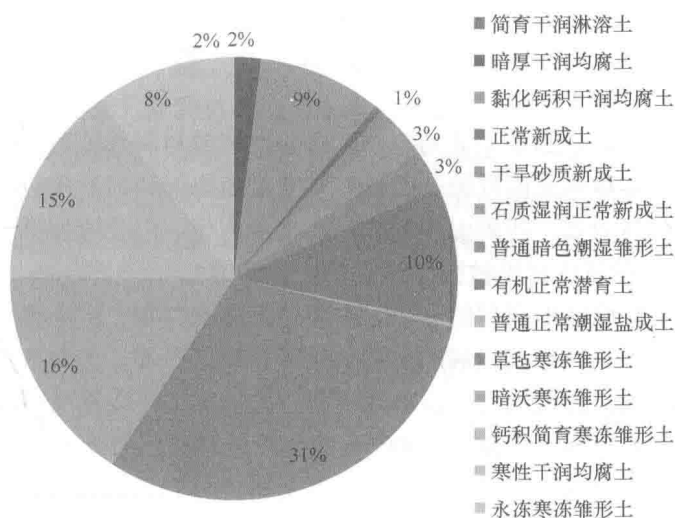


图 1.2 青海湖流域土壤类型统计

不同土壤类型及其空间分布是母质、地形、气候、水文、生物等因素共同作用的结果。青海湖流域地势较低的冲积和洪积平原、河谷和湖滨地区，成土母质主要是冲、洪积物及湖积物；而地势较高的山坡成土母质主要是各种岩石风化的残积物和坡积物，

4000 m 以上的高山成土母质还有冰碛物。下面分别介绍青海湖流域主要的土壤类型。

草毡寒冻雏形土（草毡土）：占流域陆地面积的 31%，主要分布于布哈河中上游、青海南山山脊地带、沙柳河上游、哈尔盖河上游等地，是密集生长高山草甸的湿润土体，表层有 3~10 cm 厚的草皮，根系交织似毛毡状，轻韧而有弹性。

暗沃寒冻雏形土（黑毡土）：占流域陆地面积的 16%，主要分布于布哈河中游，在青海南山山麓地带呈条带状分布，在沙柳河中游和哈尔盖河上游也有零星分布。草皮较薄而松软，腐殖质层较厚，有机质含量高。

钙积筒育寒冻雏形土（寒钙土）：占流域陆地面积的 15%，集中分布于布哈河上游，青海南山山脊处也有零星分布。腐殖质层发育，多呈棕色或灰棕色；钙积层碳酸钙淀积形态呈斑点状、苗丝状，少数呈霜粉状或斑块状；母质层多为各种基岩的残积或坡积物。

有机正常潜育土（沼泽土）：占流域陆地面积的 10%，大量分布于沙柳河上游、布哈河流域北部，另有部分沿沙柳河河谷和倒淌河河谷呈条带状分布，在湖西岸鸟岛附近也有少量分布。表层积聚大量分解程度低的有机质或泥炭，土壤呈微酸性至酸性，底层有低价铁、锰存在。

黏化钙积干润均腐土（栗钙土）：占流域陆地面积的 9%，呈条带状集中分布于环湖地区和布哈河中游。淋溶层呈暗棕色至灰黄棕色，多为砂壤至砂质黏壤，具有粒状或团块状结构；淀积层呈灰棕至浅灰色，多为沙质黏壤至壤黏土，具有块状结构；母质类型多样，洪积、坡积母质多砾石，残积母质呈杂色斑纹并有石灰淀积物。

寒性干润均腐土（冷钙土）：占流域陆地面积的 8%，主要分布于二郎剑和倒淌河附近的青海南山山脊。上部有腐殖质积累，颜色为灰棕色或棕色，表层可见簇状草根层；剖面中下部常有明显的钙积层。

1.1.5 植被类型

青海湖流域地处青藏高原东北边缘，区内温性植被与高寒植被共存，且具有水平和垂直分布的规律性。草原是流域的基带植被，受盆地地形和湖泊效应的影响，温性草原在湖盆周围呈环带状分布，四周山地则以高寒植被占优。主要植被类型分布如下（附图 2 和图 1.3，中国科学院中国植被图编辑委员会，2007）。

高寒草甸：占流域陆地面积的 68%，主要包括高寒草甸、沼泽草甸和盐生草甸，是重要的天然草场。①高寒草甸以嵩草属为优势种，广泛分布于海拔 3200~4100 m 的山地阴坡、宽谷和滩地，面积较大，是本区主要的植被类型；②沼泽草甸，以华扁穗草和西藏嵩草为优势种，分布于 3200~4000 m 的湖滨洼地、河谷滩地和河源地，与高寒草甸镶嵌分布；③盐生草甸，以马蔺、禾草为优势种，分布于海拔 3200~3250 m 的河口和湖滨滩地，如倒淌河及黑马河河口、鸟岛周围等。

草原：占流域陆地面积的 15%，包括温性草原和高寒草原，受水分条件限制，群落盖度和单位面积产草量均不如草甸类草场。①温性草原，以芨芨草、长芒草和短花针茅为优势种，呈环带状分布于湖盆四周 3200~3400 m 的冲积、洪积平原；②高寒草原，以紫花针茅和高山苔草为优势种，集中分布于大通山海拔 3300~3800 m 的山地阳坡，

并沿布哈河河谷延伸。

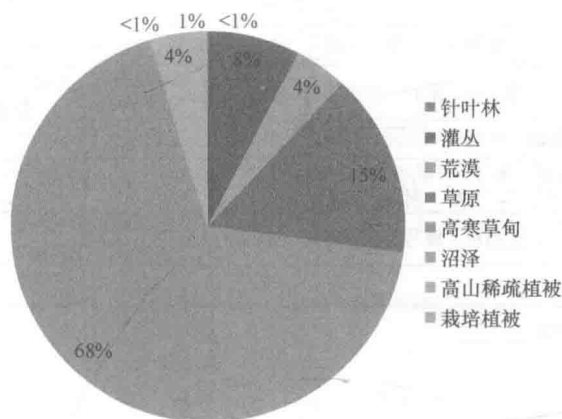


图 1.3 青海湖流域植被类型统计

灌丛：占流域陆地面积的 8%，包括河谷灌丛、高寒灌丛和沙地灌丛，物种多样、群落结构相对复杂，是流域内比较优质的生态系统。①河谷灌丛，在河谷滩地呈斑块状分布，如布哈河、沙柳河、哈尔盖河中下游河谷（3200~3300 m）的具鳞水柏枝；②高寒灌丛，包括金露梅和毛枝山居柳等，主要分布于青海南山、日月山和热水等地海拔 3300~3800 m 的山地阴坡和沟谷地带；③沙地灌丛，以沙地柏为主，分布于青海湖东北海拔 3200~3350 m 的沙丘边缘或丘间洼地。

高山稀疏植被：占流域陆地面积的 4%，分布于海拔 4100 m 以上的高寒流石坡，高山岩体常年遭受寒冻风化形成流石滩，呈舌状延伸到高寒草甸带内，植被植株矮小，群落结构单一，常见有风毛菊等菊科高山植物和垫状植物。

荒漠：占流域陆地面积的 4%，包括沙地和高寒荒漠，植被稀疏，群落结构简单。①沙地，集中分布于青海湖东北岸的海晏湾和东岸的克土地区，海拔介于 3200~3250 m，以沙蒿为优势种。②高寒荒漠，集中分布于布哈河源头地区，以唐古特红景天等为优势种。

栽培植被：占流域陆地面积的 1%，集中分布于青海省三角城种羊场、青海湖农场、哈尔盖乡和青海湖南岸一带海拔 3200~3350 m 的冲积平原上，以油菜为主，其次为燕麦和青稞。

1.2 社会经济状况

1.2.1 行政区划

青海湖流域包括青海省海北藏族自治州（简称海北州）刚察县和海晏县、海西蒙古族藏族自治州（简称海西州）天峻县、海南藏族自治州（简称海南州）共和县的部分行政区，范围涉及 3 州 4 县 25 个乡（镇），以及 5 个农牧场：青海省农牧厅管辖的青海省三角城种羊场、海北州管辖的青海湖农场、刚察县管辖的黄玉农场、三江集团公司管理的湖东种羊场和铁卜加草原改良试验站（表 1.1）。

表 1.1 青海湖流域行政区划

县名	流域内乡镇数/个	行政区划		行政村数目/个		
		流域内乡(镇)名称	省、州、县属农牧场	流域内	跨流域	合计
刚察县	5	沙柳河、哈尔盖、泉吉、伊克乌兰、吉尔孟	青海湖农场、青海省三角城种羊场、黄玉农场	5	26	31
海晏县	5	青海湖、托勒、甘子河、金滩、三角城		2	13	15
天峻县	10	新源、龙门、舟群、江河、织合玛、快尔玛、生格、阳康、木里、苏里		43	14	57
共和县	5	倒淌河、江西沟、黑马河、石乃亥、英德尔	湖东种羊场、铁卜加草原改良试验站	10	17	27
合计	25			60	70	130

资料来源：陈桂琛等，2008。

1.2.2 人口状况

青海湖流域人口稀少，传统上以农牧业人口为主，近年外来人口不断增加，且主要从事采矿业和服务业。截至 2010 年年底，流域总人口为 11.11 万人，其中，农牧业人口为 7.71 万人。从不同行政区看（仅为青海湖流域范围内），天峻县为 2.59 万人，其中城镇人口为 1.04 万人；刚察县为 5.04 万人，其中城镇人口为 1.83 万人；共和县为 2.78 万人，其中城镇人口为 0.51 万人；海晏县为 0.70 万人，其中城镇人口为 0.01 万人（赵麦换等，2014）。伴随旅游业和服务业的发展，外来流动人口逐渐增多。

青海湖流域人口密度平均每平方千米不足 5 人，但人口分布很不均匀。在环湖的狭长地带，特别是河流沿岸或道路沿线，由于地形平坦、水源充足、交通便利，成为人口主要集聚区。例如，以刚察县为中心的青海湖北岸湖滨三角地带，人口密度较大；而四周的山地主要是牧民的夏季草场，基本未建定居点。

1.2.3 经济发展

青海湖流域 2010 年国内生产总值为 11.36 亿元，其中第一产业、第二产业、第三产业所占比例分别为 39.8%、12.8%和 47.4%（赵麦换等，2014）。第一产业是青海湖流域的传统产业，畜牧业生产历史悠久，丰富的草地资源为畜牧业生产提供了良好的基础条件，2010 年流域内共有各类大小牲畜 284.8 万头（只）；农业方面，2000 年青海湖流域开始实施退耕还林还草工程，截至 2010 年流域内保有耕地面积为 1.61 万 hm^2 ，其中有效灌溉面积为 0.52 万 hm^2 ，主要作物包括油菜、青稞等。青海湖流域第二产业中的建筑业所占比重很大，而工业基础相对薄弱，迄今为止还没有大型工业设施和现代工业企业，主要工业行业包括煤炭开采、铅锌矿采选、食品生产、畜产品加工、建材制造等，规模小、产量低。第三产业自 20 世纪 80 年代以来取得了较大发展，特别是交通运输、旅游业和居民服务业发展迅速。

从不同行政区看（仅为青海湖流域范围内），2010 年刚察县国内生产总值最高，达到 4.61 亿元，其次为天峻县和共和县，分别为 3.23 亿元和 2.73 亿元，海晏县最低，仅为 0.78 亿元（图 1.4）。刚察县以第一产业和第三产业为主，近年来经济发展迅速，国内

生产总值明显增加。根据天峻县的经济统计数据,2004 年以前,第一产业是全县主导产业,在国民经济中占较大比重,经济增长速度较慢;2004 年以后,以采矿业为主的第二产业迅速发展,并带动了运输业、服务业的发展,推动国内生产总值迅速增加。位于流域范围内的乡(镇)是共和县的主要牧业区,并且还有湖东种羊场等大型农牧场,农牧业产值较高;第二产业以建筑业为主,其他工业部门极少;同时,青海湖边的地理位置优越,近年来旅游业发展较快。位于青海湖流域范围内的甘子河乡、青海湖乡等都是牧业乡,所以海晏县经济以牧业为主,第一产业产值在总产值中占较大比重。

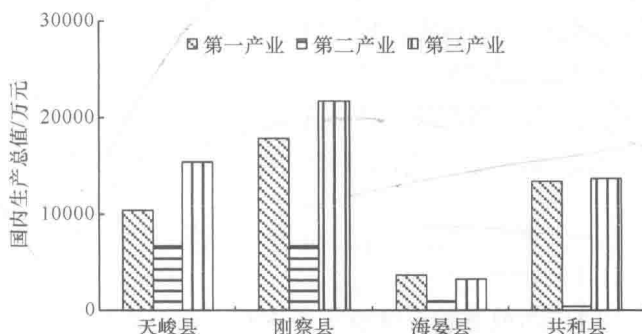


图 1.4 青海湖流域各县 2010 年国内生产总值构成

1.3 生态环境问题

青海湖流域地势较高,在低温、干旱、多风等气候条件的影响下,流域内的植被大多植株低矮、生长缓慢、群落结构简单、抗干扰能力有限,流域生态环境表现出独特的原始性和脆弱性特点。同时,该地区又是以牧为主的高原少数民族聚居区,生产方式比较粗放落后,独特的自然环境和民族文化吸引着越来越多的游客到此观光游览。随着人口和经济的快速增长,人类对环境的干扰和破坏也与日俱增。目前,青海湖流域面临的生态环境问题主要包括天然草场退化、湿地面积缩小、土地沙漠化、环湖带污染与破坏等。

1.3.1 天然草场退化

青海湖流域现有天然草地 213.65 万 hm^2 ,占流域总面积的 72%,其中可利用草地面积为 193.50 万 hm^2 ,占天然草地面积的 90.6%,是流域畜牧业发展的重要物质基础。然而,青海湖流域的畜牧业仍停留在自然放牧、靠天养畜的状态,牧民追求经济效益,盲目增加存栏头数,超载放牧,导致草场不断退化。近 50 年来,超载放牧、垦殖和管理不当等造成草场退化面积高达 93.3 万 hm^2 ,占可利用草地面积的 48.2%,其中,中度以上退化草场有 65.67 万 hm^2 ,占可利用草地面积的 33.9% (表 1.2)。

草场退化主要表现为植被盖度下降、产草量减少、毒杂草蔓延和鼠虫害加重等。1977~2004 年高覆盖草地和中覆盖草地分别减少了 1.28 万 hm^2 和 0.91 万 hm^2 ,而低覆盖草地增加了 1.55 万 hm^2 (Li et al., 2009)。湖区优良草场鲜草产量由 1963 年的 1740 kg/hm^2