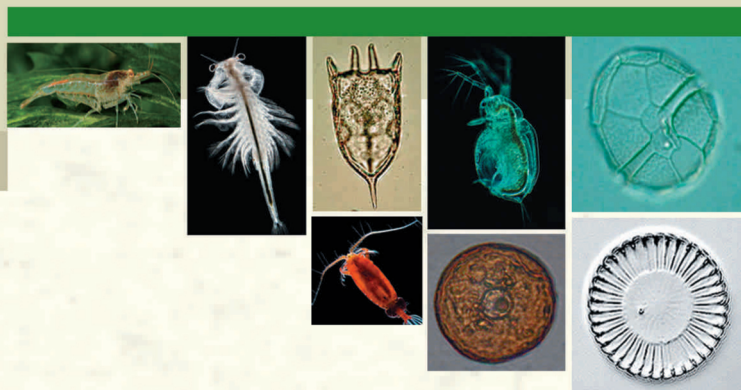




Ecology of Inland Saline Lakes in China

中国盐湖生态学

赵文等著



科学出版社
www.sciencep.com

中国盐湖生态学

赵 文 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以作者多年科研实践为主,结合国内外相关文献,阐述了中国盐湖的非生物环境特征、盐湖生物的多样性、典型盐湖的生态系统结构与功能及其动态、盐湖生物资源的开发利用现状和前景等,是对我国盐湖生态学研究的总结和论述。全书共分5章20节:第一章概述了盐湖的概念、形成、类型和分布;第二章介绍了盐湖的物理性状和化学性状;第三章论述了中国盐湖生物群落物种主要类群、对水环境的适应特征、群落划分和群落演替规律;第四章就中国各盐湖区有代表性的盐湖生态系统的生境特征、生物群落及时空动态加以分述,以此介绍中国盐湖生态系统的多样性,包括空间异质性和时间上的变化差异;第五章简述了中国盐湖特产生物资源状况及研发前景。

本书资料丰富,内容翔实,图文并茂,可供资源环境、水生生物学、水产养殖学及其他相关专业的大专院校师生、科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国盐湖生态学/赵文等著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-029120-2

I. ①中… II. ①赵… III. ①盐湖-生态学-研究-中国 IV. ①P942.078

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第190271号

责任编辑:莫结胜 刘 晶 / 责任校对:李 影

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年10月第一次印刷 印张:16 1/4 插页:8

印数:1—1 000 字数:385 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

Ecology of Inland Saline Lakes in China

Zhao Wen et al.

Science Press
Beijing

大连市人民政府
本书由 大连海洋大学学术著作出版基金 联合资助
高等学校本科教学质量与教学改革工程项目

The published book is sponsored by
the Dalian Municipal Government
the Foundation of Academic Publications of the
Dalian Ocean University
the National Quality Engineering Project

著 者

赵 文 殷旭旺 张 鹏 魏 杰

序

内陆盐水水体包括大小和深浅不等的盐湖和盐沼，其中有许多是间歇性水体。世界盐水湖总面积仅略小于淡水湖，我国湖泊总面积中有一半是盐水湖。盐湖具有丰富的矿产资源和可观的生物资源，早期的研究主要是地质学者从开发利用矿产资源方面研究盐湖的水化学和地质特征，仅少数学者研究盐水水体的生物区系和分布。20 世纪 70 年代以来，盐湖的生物学研究开始受到重视，在先后召开的 11 次国际盐湖学术讨论会上，盐湖的生物资源和生态学逐渐成为大会的主题，并且围绕该主题发表了许多论文。我国对盐湖动、植物分类和区系的研究有较长的历史，60 年代开始就已从渔业利用方面对青海湖、岱海、乌梁素海等盐湖进行过颇具规模的饵料基础和鱼类资源调研；80 年代以来对山西运城盐湖和新疆艾比湖的卤虫资源做过调研；90 年代黑龙江水产研究所等单位对新疆、青海、内蒙古三省（自治区）的高盐湖泊的水化学、浮游生物的种和量及卤虫资源做了较全面的综合调研。中国地质科学院矿产资源研究所盐湖中心对西藏盐湖的大量调研工作也涉及一些盐湖的生物学和生态学。

大连水产学院（现更名为大连海洋大学）1975~1976 年在“达里湖渔业资源和增殖”项目中为探究该湖大量死鱼原因和合理渔业利用，进行了为期一年的采样调研，首次阐明了碱度和 pH 的协同作用是苏打型盐湖重要的生态限制因子；1981~1985 年在“黄河水系渔业资源调查和计划”中，对中游 7 个代表性盐水水体进行了采样调研；1990~1994 年在“内陆盐水水域生物资源的调查和利用”中对晋南、河北张家口、内蒙古乌兰察布盟和吉林白城地区 40 多个盐水水体进行了采样调研；进入 21 世纪以来参与了中国地质科学院矿产资源研究所盐湖中心对西藏地区多个盐湖浮游生物的调研。

综上所述，通过 60 年来的大量研究，对中国盐湖生态系统的结构和渔业功能已经有了一个初步的了解，积累了丰富的资料，但迄今为止还没有全面的总结和分析。因此，赵文等所著《中国盐湖生态学》一书的问世是必要和及时的，将对我国盐湖的科研和开发利用起到积极的推动作用。



2010 年 3 月

前 言

盐湖是地球上重要的水资源之一，其中蕴藏着丰富的矿产资源和生物资源。我国是世界上盐湖众多的国家之一，矿产资源利用历史悠久，研究也较深入，但是关于中国盐湖生物资源的研究起步较晚，在半个多世纪的研究中积累了一定的数据和资料。

本书从盐湖生态系统角度出发，总结了我国盐湖生态系统的非生物环境特征、盐湖的生物群落、典型盐湖的生态系统结构与功能及其动态特征、盐湖生物资源的开发利用现状和前景等。相关调研工作大多数有文章发表，本书为上述工作的全面总结，旨在为推动盐湖生物资源的深入研究和开发利用起到“抛砖引玉”的作用。

本书主要为大连海洋大学（原大连水产学院）的研究成果，由赵文主持撰写。全书共分5章20节：第一章概述了盐湖的概念、形成、类型和分布；第二章介绍了盐湖物理性状和化学性状；第三章论述了中国盐湖生物群落的主要类群、对水环境的适应特征、群落划分和群落演替规律；第四章就我国各盐湖有代表性的盐湖生态系统的生境特征、生物群落及时空动态加以分述，以此介绍我国盐湖生态系统的多样性，包括空间异质性和时间上的变化差异；第五章简述了中国盐湖特产生物资源状况及研发前景。

非常感谢大连海洋大学何志辉先生给予热忱指导，并为本书提供资料、审阅书稿及撰写序言，感谢中国地质科学院郑绵平院士及其研究团队在西藏盐湖调查研究中给予的帮助和指导，也感谢陈倅、梁殿超、郭凯、刘钢、霍元子、谢玺、张春兰、徐锋、邢跃楠、王珊、金盈等同志在书稿编写过程中给予的帮助。

由于著者水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，敬请读者不吝指教。

赵 文

2010年3月于大连海洋大学

目 录

序

前言

第一章 盐湖的形成、类型和分布.....	1
第一节 盐湖的概念.....	1
第二节 盐湖的形成.....	2
第三节 盐湖的类型.....	2
第四节 盐湖的分布.....	3
第二章 盐湖的非生物环境.....	6
第一节 调研概述.....	6
第二节 盐湖的物理性状.....	7
一、水温	7
二、透明度	9
三、光照	9
四、水色.....	10
五、水位、水深与面积	10
第三节 盐湖的化学性状	12
一、盐度.....	12
二、离子组成	15
三、溶解氧	17
四、碱度.....	17
五、硬度.....	18
六、pH	19
七、营养盐类	19
八、化学耗氧量（COD）	20
第三章 盐湖的生物群落	21
第一节 盐湖生物群落概述	21
第二节 盐湖生物的主要类群	21
一、细菌.....	21
二、浮游植物	23
三、浮游动物	33
四、底栖动物	53
五、鱼类.....	59
六、水生维管束植物	67
七、水鸟.....	70
第三节 盐湖生物对盐水环境的适应特征	73

一、水生生物对盐度变化的适应机制——渗透压调节	73
二、水生生物对盐度变化的适应能力	77
三、盐度对淡水生物生活的影响	80
四、盐类成分的影响	81
五、离子的拮抗作用和协同作用	83
六、对其他环境因子的适应	84
第四节 盐湖生物群落的划分	87
第五节 盐湖生物群落的演替	91
第四章 中国盐湖生态系统	94
第一节 研究概述	94
第二节 青藏高原盐湖区	94
一、西藏盐湖生态系统特征	94
二、青海尕斯库勒湖浮游生物多样性特征	135
三、青海湖生态系统特征	137
第三节 西北盐湖区	139
一、赛里木湖	139
二、艾比湖	144
第四节 东北盐湖区	145
一、达里湖	145
二、内蒙古锡林郭勒盟盐湖	146
三、河北北部内陆盐湖水域的生物学及生态学特征	154
第五节 东部分散盐湖区	166
一、吉林省西北部内陆盐水的浮游生物研究	166
二、晋南盐湖水域生物资源调查——硝池	173
三、晋南盐湖水域生物资源调查——北门滩	185
四、晋南盐湖水域生物资源调查——盐池	196
第五章 盐湖生物资源的开发与利用	205
第一节 中国盐湖资源利用的历史和现状	205
一、中国盐湖矿产资源的利用	205
二、中国盐湖渔业资源的利用	206
三、中国盐湖特产生物资源及其利用	207
第二节 盐湖特产生物资源	207
一、盐藻	207
二、螺旋藻	210
三、褶皱臂尾轮虫	215
四、卤虫	221
五、蒙古裸腹蚤	225
六、西藏拟蚤	229
第三节 盐湖生物资源的研发前景展望	232
主要参考文献	235
图版	

Contents

Foreword

Preface

Chapter 1 Inland Saline Lakes—Origins, Forms and Distribution	1
1. Definition of inland saline lakes	1
2. Origins of inland saline lakes	2
3. Forms of inland saline lakes	2
4. Distribution of inland saline lakes	3
Chapter 2 Abiotic Environment in Inland Saline Lakes	6
1. Investigation summary	6
2. Physics character of inland saline lakes	7
2.1 Temperature	7
2.2 Transparency	9
2.3 Light	9
2.4 Water color	10
2.5 Level, depth and area	10
3. Chemistry character of inland saline lakes	12
3.1 Salinity	12
3.2 Ions composition	15
3.3 Dissolve oxygen	17
3.4 Alkalinity	17
3.5 Hardness	18
3.6 pH	19
3.7 Nutrient salts	19
3.8 Chemical oxygen demand	20
Chapter 3 Community in Inland Saline Lakes	21
1. Summarize	21
2. Major taxa in inland saline lakes	21
2.1 Bacteria	21
2.2 Phytoplankton	23
2.3 Zooplankton	33
2.4 Zoobenthos	53
2.5 Fish	59
2.6 Aquatic macrophyte	67
2.7 Water birds	70

3. Adaptation characters of organisms in inland saline lakes to salt water environment	73
3.1 Adaptation mechanism of aquatic organisms to salinity change; osmotic adjustment	73
3.2 Adaptation of aquatic organisms to dissolved salts	77
3.3 The influence of salinity on the life of freshwater organisms	80
3.4 The influence of salt composition on the life of aquatic organisms	81
3.5 Antagonistic and synergetic effect of ions	83
3.6 Adaptability to other environment factors in aquatic organisms	84
4. Classification of community in inland saline lakes	87
5. Community succession of inland saline lakes	91
Chapter 4 Ecosystem of Inland Saline Lake in China	94
1. Summary	94
2. Saline lakes zone in Qinghai-Tibet Plateau	94
2.1 Characteristic of ecosystem in Tibet	94
2.2 Study of plankton diversity in Ga Lake, Qinghai	135
2.3 Characteristic of ecosystem in Qinghai Lake	137
3. Saline Lakes zone in the northwest	139
3.1 Lake Sayram	139
3.2 Aibi Lake	144
4. Saline lakes zone in the northeast	145
4.1 Dali Lake	145
4.2 Inland saline lakes in Xilinguole, Inner Mongolia	146
4.3 Biological and ecological features of inland saline waters in the north of Hebei	154
5. Dispersed saline lakes zone in East	166
5.1 Plankton of inland saline lakes in the northwest of Jilin	166
5.2 Investigation of biological resource in Jinnan saline lakes; Xiao Chi	173
5.3 Investigation of biological resource in Jinnan saline lakes; Beimen Tan	185
5.4 Investigation of biological resource in Jinnan saline lakes; Yan Chi	196
Chapter 5 Exploitation and Utilization of Biological Resource in Inland Saline Lakes	205
1. History and current status of resources in inland saline lakes in China	205
1.1 The utilization of mineral resources in inland saline lakes in China	205
1.2 The utilization of fisheries resources in inland saline lakes in China	206
1.3 The utilization of special biological resources in inland saline lakes in China	207
2. Exploitation and utilization of unique biological resource in inland saline lakes	207
2.1 <i>Dunaliella salina</i>	207
2.2 <i>Spirulina</i> sp.	210

2.3 *Branchinus plicatilis* 215

2.4 *Artemia* 221

2.5 *Moina mongolica* 225

2.6 *Daphniopsis tibetana* 229

3. Perspective of study and exploit of biological resource in inland saline lakes
..... 232

References 235

Color Plates

第一章 盐湖的形成、类型和分布

第一节 盐湖的概念

关于淡水和盐水的区分历来存在不同的分类方法。根据国际湖沼学会 1958 年的方案,天然水体按盐度 (salinity) 可划分为淡水 (fresh waters, $<0.5\text{g/L}$)、混盐水 (mixing-haline waters, $0.5\sim30\text{g/L}$)、真盐水 (euhaline waters, $30\sim40\text{g/L}$) 和超盐水 (hyperhaline waters, $\geq 40\text{g/L}$), 其中混盐水又可分为寡盐水 (oligohaline waters, $0.5\sim5\text{g/L}$)、中盐水 (mesohaline waters, $5\sim18\text{g/L}$) 和多盐水 (polyhaline waters, $18\sim30\text{g/L}$)。我国水文部门通常依据阿列金分类法将天然水体按矿化度 (total dissolved solids, TDS) 划分为淡水 ($<1\text{g/L}$)、咸水 ($1\sim35\text{g/L}$) 和盐水 ($>35\text{g/L}$)。Beadle (1959) 将内陆水划分为淡水 ($<3\text{g/L}$)、低盐水 (hyposaline waters, $3\sim20\text{g/L}$)、中盐水 (mesosaline waters, $20\sim50\text{g/L}$) 和高盐水 (hypersaline waters, $>50\text{g/L}$), 在淡水中又划分出亚盐水 (subsaline waters, $0.5\sim3.0\text{g/L}$)。

以上分类体系中淡水的盐度上限有 0.5g/L 、 1.0g/L 或 3.0g/L 。以 1.0g/L 作为界限的依据是水开始有咸味, 但这因人的味觉而有差异。以 3.0g/L 为界限的依据是在这个界限以内生物区系与淡水没有明显差别, 目前这种划分方法较通用。

内陆盐水 (inland saline waters) 指与海洋不相关联的内陆水域, 也有学者用“盐湖”或“碱湖”描述内陆盐水。

半咸水 (brackish) 通常是指海水和淡水混合的中间盐度的水域, 一些湖沼学家和海洋生物学家一直用半咸水描述低盐度的内陆水域, 但是多数学者反对用半咸水描述内陆盐水。

非海源盐水 (athalassic saline waters) 指内陆盐水, 由 Bayly (1967) 首次提出, 用“athalassic” (希腊文, a 意为“非”, thalassa 意为“海”) 描述与海无关而与陆地关联的内陆水域。

Hammer (1986) 得出如下结论: “内陆盐湖可以定义为近代在地理学上与海洋无关或海水泛滥和反复泛滥后蒸发至干形成的水体, 因此, 这类水体动植物区系不是直接来源于海洋生物。既然这些生物与海洋并无直接联系, 那么半咸水的概念就不能应用于这些系统或其生物区系。”

盐湖 (saline lake) 是含盐量很高的湖。在我国, 盐湖通常是指盐度大于 35g/L 的湖泊, 而广义盐湖是指含盐量在 $0.5\sim3\text{g/L}$ 以上的湖泊。内陆盐湖是内陆盐水水域的一部分, 包括大小不等的盐湖和盐沼。本书所述的盐湖系广义盐湖即盐度大于 1g/L 的内陆盐湖 (inland saline lake)。

第二节 盐湖的形成

盐湖的形成是自然界物质运动在特定地区和特定阶段的产物。盐湖形成一般必须具备以下三个条件：①干燥的气候和有利的物理、化学环境；②有一个适宜的闭流或半闭流的湖盆；③有充足的盐类物质的来源。

内陆盐湖多在干旱气候区形成。大多数盐湖出现于半干旱半湿润地区，趋向于在蒸发大于降雨地区形成内流湖盆。盐湖的前身多半是淡水湖，它们在一定的地理环境和气候条件下，才能逐渐演化成高矿化度的盐湖。深居内陆的湖泊，由于气候干燥，在水分的自然循环过程中，湖面蒸发量远远大于湖面降水量和流域补给水量，湖水由于强烈蒸发而日益浓缩，水中的含盐量就会越来越大，以致演变成盐湖。这种由内陆淡水湖演变成的盐湖，称之为大陆盐湖。我国的盐湖均系大陆盐湖。

大多数盐湖湖盆有其地球构造运动起源，主要构造运动包括下弯和下沉、造陆上举、不同类型的断层和造山运动。这些湖泊包括大而深的湖泊。构造形成的湖盆通常由冲刷、冰河作用和侵蚀力填充而改变。火山作用形成火山口、火口壁或水坝，进而形成湖盆。冰河作用形成湖的分布仅见于新近冰河作用期，这类湖泊在壶部或冰河溢洪道形成，一般很浅，但是偶尔也会形成相对较大的湖泊。在其他地区冰河作用形成湖泊的同时，温暖气候下的雨季也会形成湖泊。在地球很多地方风蚀作用能形成浅湖盆，但是仅能形成暂时性湖泊。

盐湖中溶解盐类的来源主要有三个，即流域湖盆内土壤岩石的侵蚀、地下水和空运盐。岩石侵蚀或风化后随水溶解入湖是封闭湖泊盐类的主要来源，岩石和土壤的起源和性质决定着可用盐类的种类。空运盐可能从海上转运而来，转运量随内地与海洋之间的距离呈几何级数减少。干盐床和土壤中的盐类也可从相当远的地方通过陆路转运到其他内陆流域湖盆。盛行风在转运量和转运距离上起着重要作用。降雨可洗涤盐类使之脱离大气层，但是进入水中的干散落物可由一系列过程产生。从地下岩石和沉积物溶入大量盐类的泉水是盐湖盐类的另一重要来源。

第三节 盐湖的类型

中国盐湖类型十分丰富，拥有按湖盆成因分类的内陆盐湖中所有的类型。

盐湖的类型有多种，其分类方法大致有以下 4 种。

1) 按表面形态的不同划分

按表面形态的不同可分为卤水湖、干盐湖和沙下湖。卤水湖为一年四季都存在着表层卤水的盐湖，如青海省的达布逊盐湖；干盐湖为经常干涸或者仅在潮湿季节才有少量的表层卤水的盐湖，如青海省的察尔汉盐湖；沙下湖是指完全没有表面卤水，盐类沉积被厚薄不等的浮土所埋，晶间卤水面比盐类沉积层的表面要低得多的一类盐湖。

2) 按湖水所含的主要化学成分划分

按湖水所含的主要化学成分可分为碳酸盐型、硫酸盐型、氯化物型三类。碳酸盐型的盐湖，其水的主要成分是氯化钠、硫酸钠、碳酸氢钠及碳酸钠。夏季可能从这类盐湖

中析出石盐、天然碱及芒硝等盐类，而冬季则可能析出苏打、芒硝等盐类，西藏的班戈错盐湖就属于此类盐湖。硫酸盐型的盐湖，其水的主要化学成分为氯化钠、氯化镁、硫酸钠、硫酸镁、重碳酸钙、重碳酸镁等，夏季从这类盐湖中析出石盐、芒硝、石膏、光卤石等盐类，在冬季可能析出芒硝、水石盐等盐类，青海省大、小柴旦湖属于此类湖。氯化物型盐湖，其水的主要化学成分是氯化钠、氯化镁、氯化钙、硫酸钙、重硫酸镁、重碳酸钙等，夏季从这类盐湖中可以析出石盐、水氯镁石、石膏、溢晶石等盐类，冬季则可能析出水石盐，青海省察尔汗湖属于此类盐湖。在干旱的气候条件下，经过漫长的地质时期，碳酸盐型盐湖可逐渐变为硫酸盐型盐湖和氯化物型盐湖。

3) 按湖水来源划分

按湖水来源可分为海成盐湖和内陆盐湖两类。

4) 按工业开采价值划分

按工业开采价值可分为钾湖、硼湖、锂湖、石盐湖、碱湖、钾镁湖等。

第四节 盐湖的分布

盐湖是湖泊发展到末期的产物。在人类生活的地球上，除南极洲以外，各大洲都有现代盐湖分布，主要集中于南、北半球的干旱带中，南半球干旱带包括南非和南美，北半球干旱带包括亚洲、北美和北非。世界盐湖主要呈带状分布在南、北两个半球上。位于南纬 $18^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 之间的盐湖称为南半球盐湖带，著名的盐湖有澳大利亚的穆克里奥托盐湖和来佛罗盐湖、秘鲁的萨林那斯盐湖、阿根廷的蒂里拉里盐湖和玻利维亚的乌尤尼盐湖；位于北纬 $12^{\circ}\sim 63^{\circ}$ 之间的盐湖称为北半球盐湖带，著名的盐湖有北非的乍得湖、西亚的死海、伊朗的乌米尔湖、中国的艾比湖和美国的犹他州大盐湖。尚有少数盐湖分布在非洲赤道附近，构成赤道盐湖区，即在东非裂谷带的乌干达、肯尼亚和坦桑尼亚境内。世界盐湖绝大多数分布于北纬 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 和北纬 $3^{\circ}\sim$ 南纬 42° ，一般位于海拔 1500m 以下，有些可在海拔 3500~5000m 出现，少数位于海平面以下。世界盐湖总容积仅稍低于淡水湖，多数盐湖平均深度小于 10m，少数超过 100m；面积一般不超过 1000km^2 ，个别达到 $17\,000\text{km}^2$ 。绝大多数盐水属于小而浅的盐沼，有许多是暂时性的。

我国的盐湖大致分布于北纬 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间，呈蘑菇状由东向西分布，位于世界著名的北半球盐湖带的亚、非、欧大陆盐湖区的最东缘，称之为中国盐湖区（图 1-1）。我国盐湖几乎完全集中在广大的内流湖区，从青藏高原起，沿新疆、宁夏、内蒙古高原及东北部分地区，星罗棋布地分布着数以千计的盐湖，尤其在青海省的柴达木盆地和西藏北部，盐湖更是聚集成群，被誉为“盐湖之家”。据统计，中国湖泊总面积约有一半是盐湖，主要集中在内蒙古（378 个）、西藏（201 个）、青海（148 个）和新疆（100 个），山西、河北、宁夏、吉林、甘肃等地区也有一部分盐湖。中国 28 个大型湖泊中就有 14 个属于盐湖。

我国盐湖区的基本气候特征是多风少雨、蒸发量大、云量少和太阳辐射强。

郑绵平（2001）将中国盐湖划分为 4 个盐湖区和 13 个亚区（图 1-2）。

（1）青藏高原盐湖区（I），平均海拔 4000m 以上，为中国地貌上最高的“一级台阶”。本区湖泊总面积在 $50\,900\text{km}^2$ 以上（包括干盐湖），其中各类盐湖约 334 个，总面

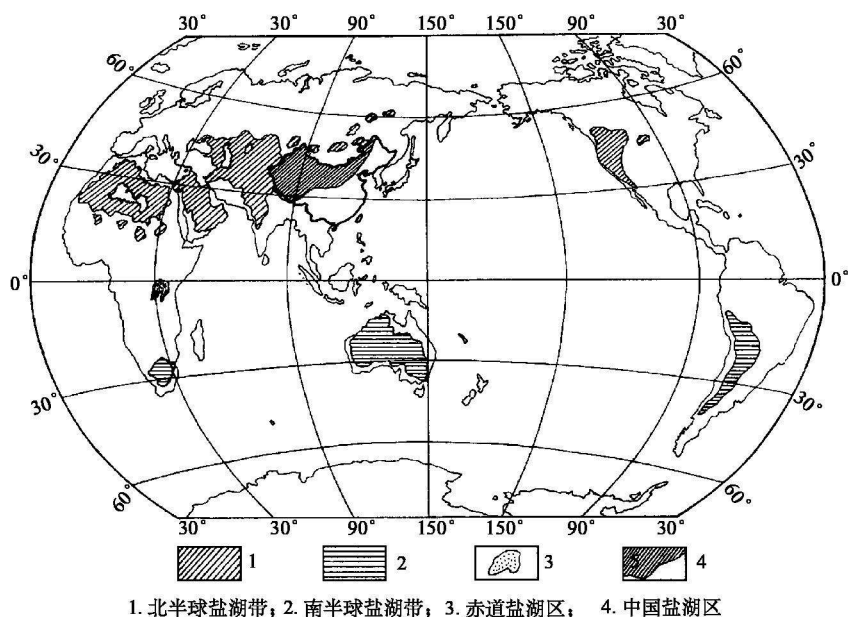


图 1-1 中国盐湖区在世界盐湖带中的位置 (张彭熹, 2000)

Fig. 1-1 The position of Chinese saline lakes zone in the world saline lakes zone

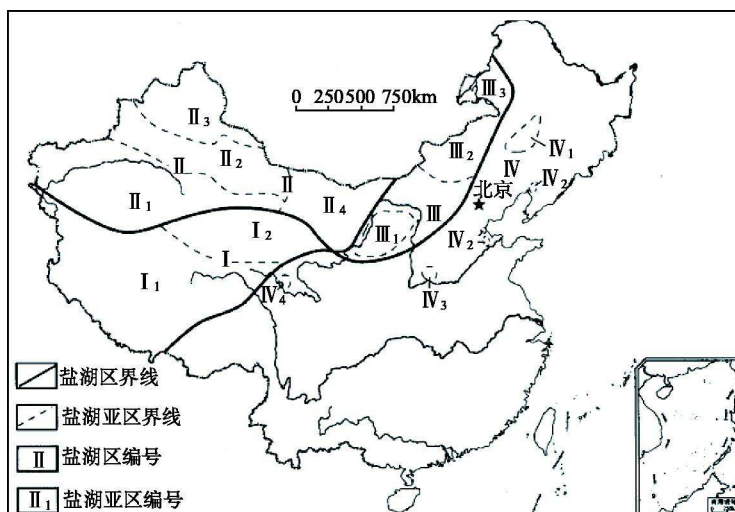


图 1-2 中国第四纪盐湖分区略图

Fig. 1-2 Sketch map showing Quaternary saline lake regions in China

积约 22 000km²，占湖泊总面积将近一半，包括 I₁ 西藏盐湖和 I₂ 昆祁盐湖两亚区。

(2) 西北盐湖区 (II)，位于青藏高原盐湖区以北的“第二台阶”，海拔 500～2000m，个别盐湖盆地降到-154m。全区已知盐湖 251 个。本区属中温-暖温带干旱、亚干旱和极干旱区，部分盐湖已成咸沙下湖。包括 II₁ 塔里木盐湖亚区、II₂ 天山盐湖

亚区和Ⅱ₃准噶尔盐湖亚区。

(3) 东北盐湖区(Ⅲ), 包括鄂尔多斯高原(海拔 1000~1500m)、内蒙古高原(海拔 1000~2000m)和呼伦贝尔盆地(海拔 200~500m)。本区属于中温带亚干旱至干旱区, 已知盐湖 309 个。包括Ⅲ₁内蒙古东部盐湖亚区、Ⅲ₂鄂尔多斯盐湖亚区和Ⅲ₃呼伦贝尔盐湖亚区。

(4) 东部分散盐湖区(Ⅳ), 位于中国东部温带、半干旱半潮湿区至西南的高原亚寒带区, 全区有盐湖 64 个, 主要分布于下列 4 个亚区。

Ⅳ₁ 通辽嫩江盐湖亚区, 属中温带亚干旱区, 位于西辽河与嫩江西大水系之间的局部内流水系区, 东低洼区形成大量矿化度较低的小湖, 计有盐碱池沼 52 个。

Ⅳ₂ 滨海地下卤水亚区, 沿渤海湾北岸下辽河流域及南岸濒莱州湾海岸带分布, 属地下卤水湖, 盐类组成与海水相近。

Ⅳ₃ 运城盐湖亚区, 属暖温带亚湿润区, 位于黄河东部条山前局部闭流盆地, 是东部盐湖区最南端的盐湖带。

Ⅳ₄ 黄河源局部盐湖亚区, 属高原亚寒带亚干旱草原区, 是由积水洼蒸发浓缩形成的小型盐湖带。

第二章 盐湖的非生物环境

盐湖的非生物环境是盐湖生态系统的重要组成部分，是影响盐湖生物群落及其动态的非生物因子，包括盐湖的土壤、气候和地形因子，即物理性状和化学性状。

第一节 调研概述

由于盐湖具有丰富的矿产资源和生物资源，到目前为止，有很多国内外学者对我国的盐湖进行了深入的调查研究，包括盐湖的地质、成因及水环境特征、矿产资源和生物资源等。尤其是对盐湖矿产资源开发的研究起步较早，中国对盐湖盐类的利用大约可追溯到 4000 年前，当时人们通过引卤晒盐来获得生活所需的食盐（郑绵平，2001）。

目前，我国盐湖的非生物环境调查已积累了大量资料（郑绵平等，1989；郑喜玉等，2002；何志辉等，1984；任慕莲等，1996；赵文，2009），但是，从生态系统生态学角度分析的资料还不是很系统。据郑绵平等（1989）的资料，1879 年，俄国学者就对青海湖进行了调查，取水样分析表明湖水的矿化度较高；1899～1908 年，Sven Hedin 对西藏地区的盐湖进行了调查，测得了大批盐湖面积、海拔高度、水深和盐度的数据；1931～1935 年，Norin 对西藏的盐湖进行了调查，并发现了硼镁酸盐；在清朝曾对纳木卡错盐湖进行了测量；1937 年，我国地理学家徐近之对纳木卡错盐湖进行了调查并做了详细报道；1938 年，我国地质学家孙建初曾对青海湖进行了地质调查，并对其成因做了论述；1944 年，我国盐学家袁见齐对青海茶卡盐湖做了地质和成因研究；中华人民共和国成立以后（20 世纪 50 年代起），我国的地质、化工、石油等部门及中国科学院对我国西部的盐湖进行了科考和勘察，获得了盐湖矿产第一手宝贵的资料；1952 年，中国科学院对班戈湖进行了勘查，用浅井圈定了该湖表层硼砂沉积区；1955～1956 年，地质部对柴达木盆地进行了调查，发现察尔汗是个巨大的盐库；1956 年，化工部对大柴旦、马海等地区进行了调查，提出大柴旦湖含硼较高；我国学者于 1956 年对青海湖做了环湖调查，报道了青海湖水化特征；1957 年，中国科学院对柴达木盐湖进行了调查，对该湖的地质和化学进行了综合考察，在寻找钾、硼的基础上，还发现了柱硼镁石、钠硼解石和光卤石；1958 年，地质部对班戈湖进行调查并发现含水碳酸镁，并对其成因进行了初步探讨；1959～1961 年，藏北地质队和西藏综合考察队盐湖分队对西藏北部和西部 47 个盐湖进行了考察，对盐湖矿产进行了初步的评价。到 1965 年，我国已经对近百个西藏地区的盐湖进行了调查，并鉴定出 10 个国内尚未见过的盐矿物。1974 年，我国又组织了联合调查组对内蒙古的岱海和黄旗海水水质进行了调查研究。总之，自 20 世纪 70 年代以来，相关部门先后组织了很多的科考队对我国境内盐湖的矿产、地质及水环境特征进行了大规模的调查研究。从盐湖生物生态学和渔业利用角度，大连水产学院做了一系列的工作。例如，何志辉等在数十年间对山西盐池、硝池、北门滩等数十个盐湖的水化学进行了调查；1975～1976 年又对达里湖水化学进行了研究；

1981 年，对半咸水湖乌素海水化学进行了较为全面的调查；1990 年以来，赵文等对吉林白城地区、山西运城、河北张家口等几十个盐湖做了调查并对其非生物环境进行了详细的研究；1994 年，何志辉等对达里湖水化学做了再次调查；同时，黑龙江水产研究所对新疆、青海、内蒙古三省（自治区）多个盐湖的水化学进行了综合调研。此外，还有其他一些学者对盐湖生态系统非生物环境做了一些调查。

第二节 盐湖的物理性状

盐湖的物理性状包括水温、透明度、光照、水色、水位、水深、面积、容积、波浪和水流等。盐湖受地质、蒸发、降水等气候因素的影响，其物理和化学性状都有明显的年变化和季节变化。

一、水 温

水温是指某一时刻实测得到的水体温度，单位一般用摄氏度（℃）表示。水温是水域生态系统中的一项重要的非生物因子。水温直接影响着各种水生生物的生长、发育和繁殖，影响水体的生产力和水中微生物活动的强度，从而影响水中各种物质分解、转化的速率。就我国盐湖而言，盐度较高的大多数盐湖水较浅，水温日变化、年变化较大，水温一般不出现温跃层。特别是一些浅盐湖的水温几乎随气温的变化而变化，如西藏班戈Ⅲ湖，2001~2002 年调查表明，水温变动为-2~16.7℃；气温-10.5~17.3℃（赵文，未发表，图 2-1）；1981 年 6 月和 9 月，乌梁素海（水深 0.7~2.5m）表层和底层水温基本相同，没有垂直分布（何志辉等，1984）。大而深的盐湖水温相对较为稳定，但是水温也随着季节的变化而变化，如新疆的赛里木湖，在冬季和初春气温较低的时候，水温也较低，而到了春末水温开始升高，夏季达到高峰，并于秋季随着气温的降低水温大幅度降低（图 2-2）（中国科学院新疆资源开发综合考察队，1989）。

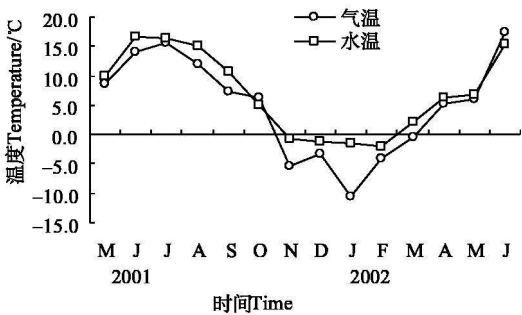


图 2-1 西藏班戈Ⅲ湖水温和气温的变化

Fig. 2-1 Dynamics of water and air temperature in Lake Bange III in Tibet, China

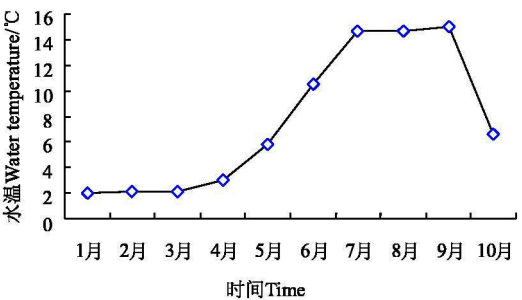


图 2-2 新疆赛里木湖水温周年变化（中国科学院新疆资源开发综合考察队，1989）

Fig. 2-2 Annual dynamics of water temperature in Sailimu Lake in Xinjiang

深水湖水温的垂直分布存在成层现象，有些湖泊甚至存在永久性的水化学跃层（图 2-3）。据 Hammer（1986）的资料，美国内华达帕拉米德湖（Lake Paramid）1933 年 7

月末表面水温 23.7℃，水深 10~15m 处存在温跃层，水深 93m 处水温仅为 4.9℃，Gallat 和 McConnell (1981) 报道该湖 6 月至秋季期间一直存在温跃层，在冬春之交季节出现混合，1977 年 8 月表层水温 23.1℃，而深水层水温被在 16~20m 之间形成的温跃层隔开，仅为 6℃ (图 2-3A)。

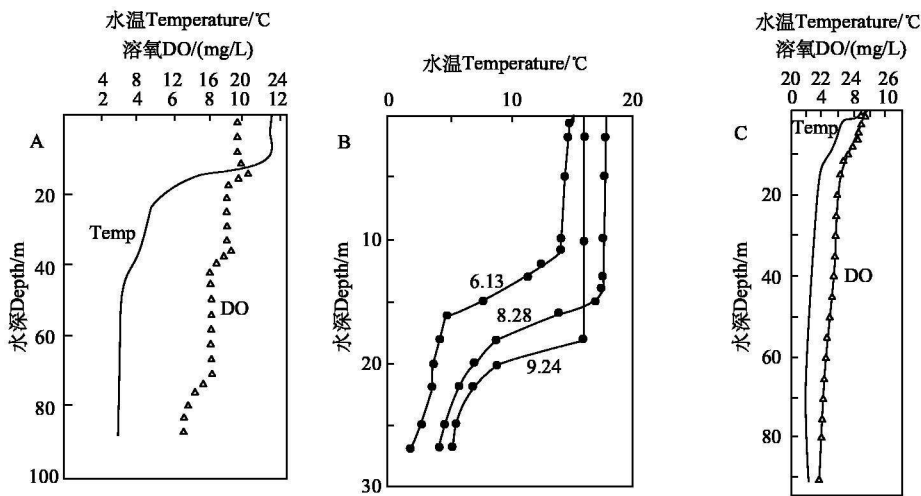


图 2-3 深水盐湖水温的热分层和垂直分布 (Hammer, 1986)

Fig. 2-3 Thermal stratification and vertical profiles of water temperature in deep saline lakes

A. 美国内华达州帕拉米德湖 (Lake Paramid); B. 加拿大萨斯喀切温的莱德波里湖 (Lake Redberry);
C. 埃塞俄比亚的莎拉湖 (Lake Shala)

盐湖水温变化较大，高者达到 80℃，冬季为-30℃，年变幅可达 100℃以上。一般而言，盐湖水温的变化取决于当地的气候条件。我国的大部分盐湖处在干旱半干旱的大陆性高原干燥气候环境中，气温的日变化和年变化较大。例如，西藏地区的气候条件，年最高气温可达 32.4℃，最低气温仅为-36.8℃，年较差在 20℃左右；新疆盐湖区的气候条件，年最高气温达到 47.6℃，最低气温为-52℃，气温的年较差为 30~40℃，日较差为 8~30℃。

冰点是指水体结冰时的温度 (单位为℃)。湖水冰点随盐度的增大而降低，最大密度时的温度也随之降低。一般淡水水体的冰点为 0℃，最大密度时的水温为 3.98℃。因而淡水湖冰下有一低温水层存在，为越冬的生命提供生活条件。盐湖的冰点低，均在 0℃以下，如盐度为 24.9g/L 的盐湖，其水体的冰点为-1.35℃，而盐度为 35g/L 的盐湖其水体的冰点为-1.9℃。盐湖结冰时间较淡水湖延迟，据 Hammer (1986) 的资料，加拿大小玛尼托湖 (Lake Little Manitou)、玛尼托湖 (Lake Manito) 和莱德波里湖 (Lake Redberry) 盐度分别为 120g/L、20g/L 和 15.6g/L，其冰点分别为-4.1℃、-1.1℃和-0.3℃；玛尼托湖和莱德波里湖最大密度时的水温分别是-0.3℃和 0.8℃；盐度 338g/L 的东胡安池塘 (Don Juan Pond) 的冰点为 (-48±1)℃；盐度 346.8g/L 的盐湖冰点为-57℃。如果盐湖冰点为其最大密度 (盐度 24.7g/L 左右) 温度时，则冰冻到底，动物难以生存。

二、透 明 度

水体的透明度一般采用 Secchi 盘测定，单位用 m 或 cm 表示。水体透明度通常受水中浮游生物、腐质、微生物、黏土颗粒等悬浮性物质及溶解性物质含量的影响，因此，透明度的大小常是反映水体营养水平或污染程度的指标，它能影响到水中植物光合作用所需的光照强度，一般情况下，较低的透明度标志着水体具有较高的生产力。我国的盐湖的透明度差异很大，一般大而深的盐湖透明度较高，可达 5~10m，如新疆赛里木湖水深 106m，透明度可达 13m；而浅盐湖透明度仅为几厘米到十几厘米，如艾比湖。

另外，由于受到水中浮游生物、悬浮物含量、盐湖所在地区的气候条件（如风力大小）和盐湖水深等多方面因素的综合影响，不同盐湖水体的透明度差异较大，其季节变化也较明显。例如，乌梁素海 1981 年 6 月水体透明度为 30~56cm，而同年 9 月测得透明度为 28~95cm；又如新疆的艾比湖，由于其所处地理位置特殊，气候条件恶劣，年度季节性风多，加之湖水较浅，造成水体悬浮物沉降速率低，年内很长时间透明度较低，春季大风天多，其透明度为 10~17cm；夏季少风，透明度较高，为 20~130cm；秋季水温降低，有很多矿物质析出并携带部分悬浮物沉降，故水体透明度增大，深水区的透明度可达 160cm。青海的尕斯库勒湖，水深为 8~13m，最深可达 15m，所处位置在低洼带，受风力影响较小，故常年透明度较高，一般在 3m 以上，最高可达 5.5m（图 2-4）。

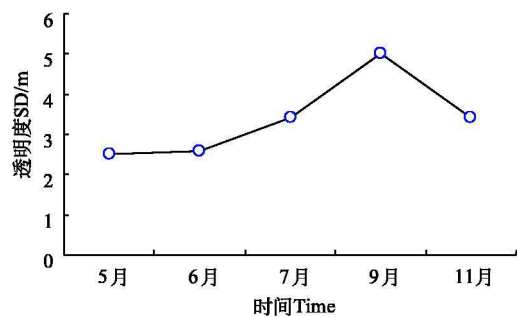


图 2-4 尕斯库勒湖透明度的季节变化
(任慕莲等, 1996)

Fig. 2-4 The seasonal dynamics of transparent depth in Gahai Lake

三、光 照

光是生命极为重要的生态因子之一。对水域生态而言，光照影响浮游植物的光合作用，从而影响水体的生产力。光照影响着水生生物的生命过程，如生长、发育、繁殖、摄食等方面。光照一般包括光照强度、光周期、光谱组成、年日照时数、太阳辐射总量等方面。水体光照的特点是射到水面的太阳光一部分被水面反射（5%~10%），一部分透入水层中，透入水层中光又被水体强烈地吸收和散射，被吸收和散射的光能随水深而迅速减弱，通常用每米水层吸收的光能和射入的光能的比值作为光的吸收系数。水分子对不同的光线吸收系数是不同的，最先吸收的是红外线、紫外线和长波长的红色光线，最后吸收的是短波长的青色和蓝色光线，至于散射情况恰恰相反，被水分子最强烈散射的光是蓝光，散射最弱的是红光。因此，在不同的水层中光的组成也不同，在表层以红光为主，越往深层蓝光越占主要地位。这也是我们远眺盐湖蓝如翡翠的原因之所在。就中国盐湖而言，绝大部分盐湖所在地区的光照较为强烈，日照时数多，太阳辐射总量大，这也是有利于盐湖形成的主要原因。例如，藏北盐湖地区，年平均日照时数达到

3000~3400h，太阳辐射总量达 794. 2kJ/(cm² · a)；青海的柴达木盆地太阳辐射剧烈，全年的日照时数可达 3100~3554h；新疆地区的年日照时数为 2700~3200h，太阳辐射总量可达 1. 28×10⁶~5. 86×10⁶ kJ/(cm² · a)。另外，同一地区的不同时间内，日照时数和辐射量也是不同的，一般夏季较高，冬季相对较低，如新疆的阿勒泰地区(图 2-5)。

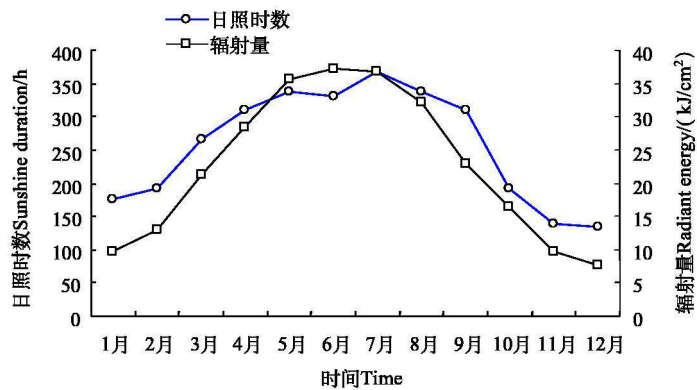


图 2-5 新疆的阿勒泰地区日照时数和辐射量的周年变化
Fig. 2-5 Annual dynamics of sunshine duration and solar radiant energy in Aletai District, Xinjiang

四、水 色

水体的水色一般受水中浮游植物种类组成、盐湖矿物质组成及含量和盐湖所在区域自然气候的影响，特别是水层对光的选择散射和悬浮物颜色决定着水色，通常大而深的水体由于表面蓝光大量散射而呈现蓝色。盐湖的水色差异巨大，不同盐湖的水色不同，即使同一个盐湖在不同的时间内水色也会发生变化。相反，水色也会影响光的传播和水体的透明度，从而影响水生生物的生理过程。

国外很多学者对盐湖的水色进行了研究。例如，Ashton 和 Schoeman (1983) 记录了 Pretoria 盐田的水色是从嫩黄绿色到朱红色不断变化着；Melack (1978) 描述 Katwe 湖水呈紫色，Mahega 湖为橙色；Werowarp 湖从高生产力的夏秋季到冬季，水色由亮绿色变为黄褐色；Bonython (1955) 曾描述埃里湖 (Lake Eyre) 的水“是一处激动人心的天外之景”、“天蓝色的湖水中闪烁着点点松石绿”；Hammer 在 1979 年 11 月间观察到埃里湖湖水呈现一种独特的红色，认为可能是湖中大量盐藻作用的结果 (Hammer, 1986)。

有拟溞分布的盐湖有时湖水呈现黑色条带状，如西藏阿里地区的常木错；有卤虫大量繁生的盐湖水色有时因卤虫集中而呈红色，如西藏的聂尔错。内蒙古的巴音淖盐湖，1993 年 5 月其水色为灰色，而合同查干淖和查干淖在相同时间的水色为无色透明和绿色 (任慕莲等, 1996)。

五、水位、水深与面积

由于水位和面积受到集水区面积大小、降水量与蒸发量等因素的影响，所以水位的

多变是湖泊、水库主要特征之一。随着水位的变化，水体的面积和深度也随之改变。对于任何一个湖泊来说，水位、水深和面积都是影响水域生态系统的重要参数。例如，浅水湖的透明度就较深水湖低，影响水中光的传播，而且水温随气温的变化相对较明显，会对水体盐度、溶解度、离子浓度等方面的水体化学性状产生影响，从而对水中的水生生物产生直接影响。相比之下，水体面积大、水深的湖泊，其水生生态系统相对较为稳定，某些环境因子与浅水湖存在明显的区别。

由于受蒸发浓缩、气候和人为等影响，盐湖水位多存在着明显的年际变化和季节变化。例如，青海湖水位由 1959 年 3196.55m 急剧下降到 1992 年的 3193.69m，34 年内水位下降了 2.86m，平均每年下降 8.7cm（图 2-6）；每年湖水位最高出现于 9 月，最低水位出现于 12 月，一年内 6~9 月为净蓄水期，10~12 月为净耗水期（图 2-7）。

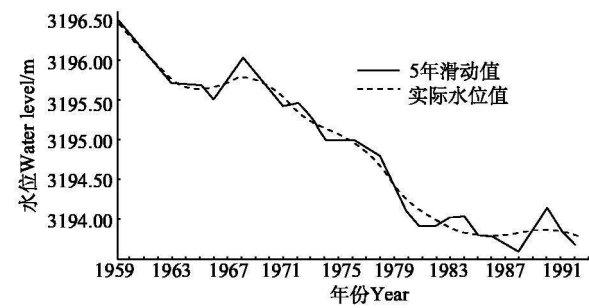


图 2-6 青海湖 1959~1992 年间的水位变化
(周陆生和汪青春, 1996)
Fig. 2-6 Water level change of Qinghai Lake during 1959~1992

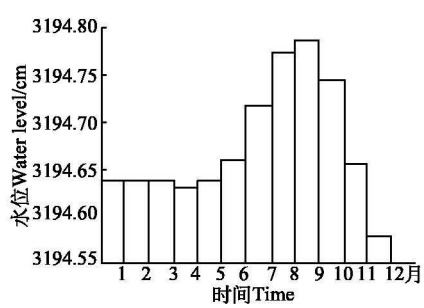


图 2-7 青海湖多年月平均水位
(周陆生和汪青春, 1996)
Fig. 2-7 Monthly mean water level of Qinghai Lake

湖泊的水深和面积往往成为划分湖泊大小的参数。据 Hammer（1986）的资料，Issyk Kul 盐湖的平均水深为 320m，前苏联 Karakul 盐湖的平均水深为 210m，死海水深为 144.7m；我国赛里木湖最大水深为 106m，是新疆最深的盐湖。我国西藏地区有盐湖 500 多个，其中面积大于 1km² 的盐湖有 234 个，占西藏盐湖总量的 46.8%，面积为 8150.18km²，占西藏盐湖总面积的 99%，西藏地区小盐湖居多，是小盐湖的分布区（郑喜玉等，2002）。青海省境内面积大于 1km² 的湖泊有 382 个，其中盐湖有 163 个，占湖泊总数的 42.67%。新疆地区面积大于 1km² 的盐湖有 167 个，其中赛里木湖面积为 464km²，水深为 86m，是新疆最深、最大的盐湖。呼伦湖面积为 2000km²，水深 10m 以上，是内蒙古地区最大的盐湖。内蒙古地区盐湖数量较多，但是超过 100km² 的盐湖很少，可以看出该区是小型盐湖分布区。

水体的深度和面积决定了水体的容积。对于不同的湖泊，容积大小的差别很大，小而浅的湖泊蓄水量可能不足几十立方米，而大湖的蓄水量则以万吨计算。水体的容积大小会对水中的生物类型造成影响，如体长达到 30m 以上的巨鲸和长达 300m 的巨藻仅出现于大洋中；反之，在小水体中的有机体多以小型种类居多，也就是“宽水养大鱼”的道理。原因是水体的容积大小对水生生物的影响是间接的，可能会通过不同的生态因子起作用，除了食物、溶氧、代谢产物浓度以外，还可能有其他原因。

第三节 盐湖的化学性状

盐湖的化学性状包括盐度、离子组成、溶解气体、碱度、硬度、pH、微量元素、营养盐类、有机质等。

一、盐 度

通常将 1000g 水中溶解盐类的克数称为盐度。淡水中用离子总量、含盐量或矿化度 (g/L 或 mg/L) 等来表示。盐度是盐湖的一个最重要的非生物因子,海水盐度一般指当海水中的溴和碘被相当量的氯所取代、碳酸盐全部变为氧化物、有机物完全氧化时,海水中所含全部固体物质的质量与海水质量之比。一般用‰为单位,现为无量纲。

Hutchinson (1957) 指出,内陆水域的盐度 (salinity) 可以定义为水中现存的所有离子组分的浓度 (即离子总量),在一定意义上,这是本书所用的盐度的术语。一般盐度是用水中 8 种主要离子 (Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-}) 含量之和代替。对于其他一些湖泊如硼含量高的 Borax 湖和溴含量高的死海,可以考虑把其他离子含量加到盐度中去。盐度通常用每升多少克 (即 g/L) 表示;若盐度高,可用每升多少克或每千克多少克表示。如果盐度用 g/kg 表示,那么总溶解固体必须依相同温度下水样的密度划分 (Steinhorn, 1980)。Langbein (1961) 用公式 $\text{mg/L (总溶解固体)} = \text{ppm (ppm 表示 mg/kg 水)}$ 概述了两者的关系。

矿化度,即总溶解固体 (total dissolved solids, TDS),是水中溶解物质的总量,在特定温度下 (一般为 105℃) 把水蒸干后称重测得。最近该术语一度被总过滤截留物 (A. P. H. A, 1971) 取代,但是这两个术语是同义的。水中溶解物质无疑不都是无机物,且无机组分是忽略了有机碳组分后通过高温加热残留物测得的。然而,一些无机组分也可以由这一过程扩散掉,如 HCO_3^- 。结果用与盐度相同的单位表示。

测定湖水无机物含量的第三种方法是测定其特异的电导率 (electrical conductance or conductivity)。这一参数依赖于水传导电流的能力,而水中电流取决于水中现存的离子总量。该技术并没测定任何元素或非离子化现存的化合物基团 (沉降的、胶体的颗粒的)。此外,绝对值最终取决于测定电导率时的温度,温度通常为 18℃、20℃和 25℃,这依赖于所使用的设备。

在数值上,电导率值低于总过滤截留物或盐度。在野外测定电导率非常容易,特别是用温度补偿电导率测定仪,在实验室内温度可以控制。电导率与盐度本身的相关参数非常有用,25℃时电导率转换为盐度的经验系数在 0.55 和 0.9 之间,该系数依赖于测定水的离子组成、水温 and 盐度。Hem (1959) 指出当盐度超过 50 时电导率不能用于总溶解固体的测定。Williams (1981b) 研究得出二者关系为 $\text{TDS (mg/L)} = [(3.4 K_{18} / 106) + 0.666] K_{18}$, 式中, K_{18} 是在 18℃时测得的电导率 ($\mu\text{S/cm}$), 认为电导率可用于澳大利亚盐度大于 50g/L 的平衡盐湖。Hammer (1978) 研究 60 个加拿大盐湖 (盐度 2.23~342.8g/L), 总结了电导率、TDS 和盐度关系,所有的相关系数均极显著, TDS 与盐度相关系数最高,为 $r=0.998$, 电导率与盐度为 $r=0.852$, 电导率与 TDS 为 $r=0.864$ 。以上说明,电导率是可以用于大多数盐湖盐度测定的。

对“矿化度”概念的解释有多种,按照国家环保总局的解释,“矿化度是水中所含无机矿物成分的总量”。矿化度和盐度都是反映水体含盐量的重要的水质指标,它与水的许多其他性质如化学成分的含量、密度、相对密度、导电性、对光的折射、对声波的传播等都有关系,其也影响天然水的生态学性质和水的可利用价值。盐湖的盐度和矿化度具有时空变化大的特点,如分布在半干旱半湿润地区内陆流域内的盐湖。由于蒸发量大于降水量,盐湖水因蒸发浓缩而盐碱化。在大而深的永久性盐湖中,生境变化较小;而在浅湖和盐沼,这些变化极为剧烈,有些浅盐湖季节性的干涸可变成陆地。随着水位和深度的变化,盐度也有急变。例如,西藏地区的盐湖矿化度一般为 50~350g/L,最高可达 365g/L;青海盐湖的矿化度平均为 212.1g/L,最高可达 555.07g/L;新疆地区的盐湖矿化度平均为 269.85g/L,可见不同地区盐湖的矿化度差别很大。

同一个盐湖在不同的时期内盐度和矿化度也会发生较大的变化,如新疆的阿拉尕斯盐湖,在 1992 年进行了两次样品测定,5 月 7 日的盐度仅为 66.9g/L,而 8 月 6 日测得的盐度高达 292.3g/L,增加了 3.4 倍;巴里坤湖 1992 年 4 月盐度为 73.4~88.5g/L,同年的 9 月盐度增高到 186.4~315.1g/L。达里湖盐度以秋季最低 (5.47g/L),冬季最高 (5.90g/L),这说明盐湖盐度随时间变化也较大,如内蒙古的黄旗海,其盐度的时间变化如图 2-8 所示。Bayly 和 Williams (1966) 指出柯朗杂麦特湖 (Lake Corangamite) 盐度与降水一般呈负相关 (图 2-9)。

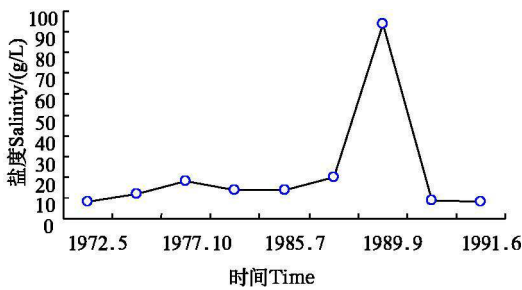


图 2-8 黄旗海盐度的年间变化

Fig. 2-8 Dynamics of salinity in Huangqihai Lake

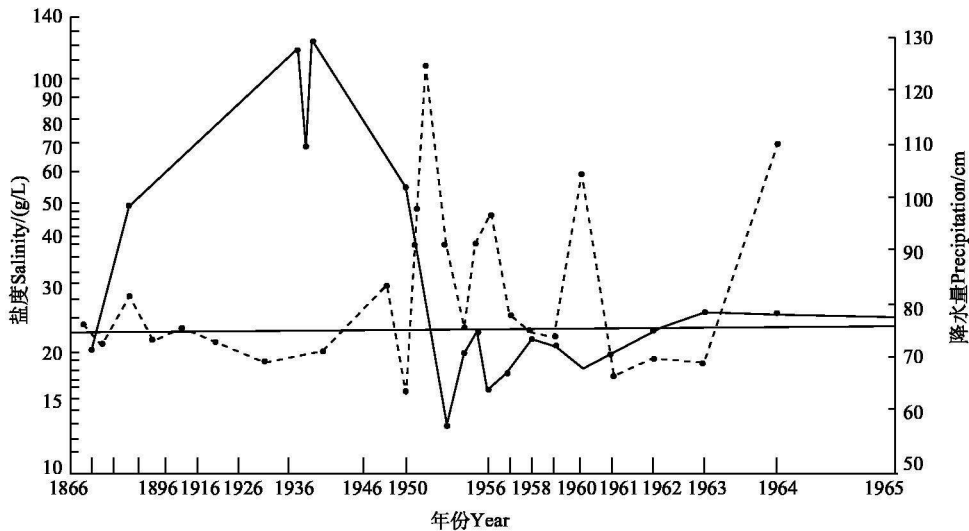


图 2-9 柯朗杂麦特湖盐度的长期变动与降水量关系 (Bayly and Williams, 1966)

Fig. 2-9 Variation in salinity (solid line) and precipitation (broken line) in Lake Corangamite over the long-term (1875~1970)

我国学者按照盐湖盐度年变化规律将其归纳为 5 种类型：剧烈变化型、低起伏型、平稳型、直增型、波动型（任慕莲等，1996）。①剧烈变化型：湖水盐度的周年变化非常剧烈，最高盐度与最低盐度相差一倍以上，如巴里坤盐湖和阿拉尕克盐池（图 2-10A、B）；②低起伏型：湖水盐度的周年变化较平稳，最高盐度与最低盐度相差一倍或一倍以下，如新疆的艾比湖（图 2-10C）、青海的尕斯库勒湖（图 2-10D）、内蒙古的桑根达莱淖盐湖（图 2-10E）等；③平稳型：盐度周年内基本平稳，变化规律不明显，如新疆的托勒库勒盐湖（图 2-10F）；④直增型：地处干旱地区的盐湖多为此型，盐度随时间呈现增长趋势，如青海的小柴旦盐湖（图 2-10G）；⑤波动型：一些浅水盐湖受年降水量影响较大，年份间盐度波动较大，枯水年份盐度波动大，丰水年份盐度较平稳，如绿盐池（图 2-10H）。

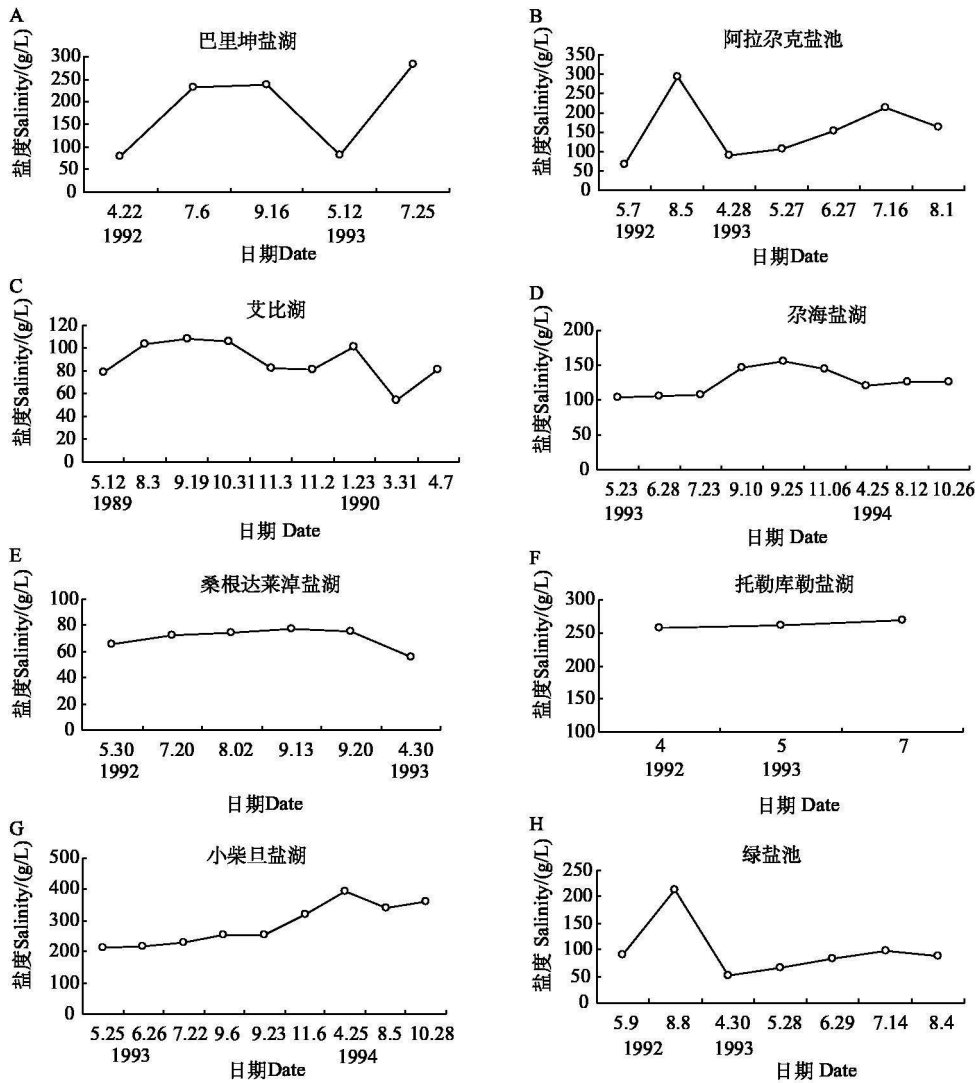


图 2-10 盐湖周年变化的类型（数据引自任慕莲等，1996）

Fig. 2-10 Dynamic types of salinity in Chinese saline lakes

二、离子组成

离子组成是指水中所含的所有离子的种类及其含量，水体中各种离子含量之和又称为离子总量，常用 mg/L、mmol/L 或 g/kg、mmol/kg 等单位表示。离子总量也是反映水体含盐量多少的重要参数之一。对于大多数淡水来说，构成水体离子的主要种类有 8 种：阴离子为 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 4 种；阳离子为 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 4 种。而相对于盐湖水体来说，除了上述 8 种离子占主要地位以外，还含有其他特殊元素的离子，如 Li、B、Rb、Cs 等，从而使不同盐湖的水化类型和沉积矿物组合呈现各自的特征。

西藏盐湖卤水次要成分中 B、Li、Rb、Cs 含量较高，沉积矿物分为碳酸盐类、硫酸盐类、硼酸盐和氯化物四大类共 40 种矿物，其中碳酸盐类 16 种，硫酸盐类 12 种，硼酸盐类 8 种，氯化物类 4 种；青海湖卤水次要成分含 Li、B、U 等 50 多种微量元素，沉积矿物共 42 种，其中碳酸盐类 6 种，硼酸盐类 13 种，硫酸盐类 16 种，氯化物类 7 种；新疆盐湖中主要有碳酸盐类、硫酸盐类、硼酸盐、硝酸盐和氯化物五大类共 38 种矿物；内蒙古盐湖有碳酸盐类、硫酸盐类和氯化物三大类共 23 种，其中碳酸盐类 11 种，硫酸盐类 10 种、氯化物类 2 种。盐湖离子组成的总体特征为离子组成随盐度高低而变化，碳酸盐是低盐湖的优势阴离子，随盐度的升高 Cl^- 逐渐占优势。例如，新疆盐度较高的艾比湖，水中的阴离子主要以 Cl^- 为主，但 SO_4^{2-} 也占很大比例，阳离子主要以 K^+ 、 Na^+ 占绝对量，离子量顺序为 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+}$ 。阿拉尕克盐湖水中的阳离子以 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 占绝对优势，其顺序为 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ；阴离子则以 SO_4^{2-} 占多数；离子量的顺序为 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} (\text{Cl}^-) > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ，并且各离子的含量随盐度的变化发生明显的变化（图 2-11）。

天然水又可按主要离子成分来划分，国内常用阿列金分类法。内陆盐湖也不例外，根据优势阴离子划分为碳酸盐、硫酸盐和氯化物三个类型，再根据每一型中优势阳离子划分为钙、镁和钠三个组。鉴于各类型中常出现优势离子混杂的过渡性情况，Hammer（1986）提出按含量超过阴离子总量 25% 的两种阴离子再分为 8 个亚型，如碳酸盐-氯化物型、氯化物-硫酸盐型等；同理可按一种或两种阳离子进一步划分，如 NaClSO_4 、 MgNaSO_4Cl 等。这样，盐湖可划分为如下亚型（表 2-1）。

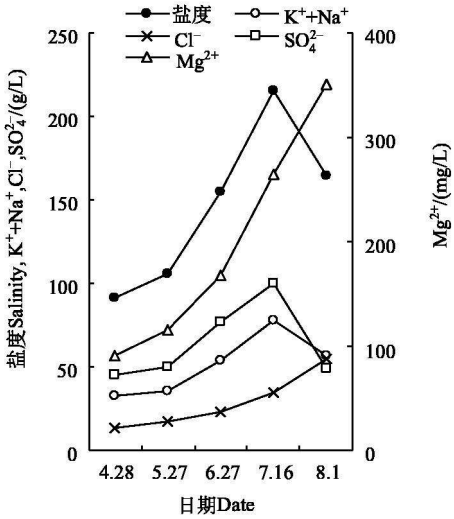


图 2-11 阿拉尕克盐池离子含量与盐度的关系（数据引自任慕莲等，1996）

Fig. 2-11 The relationship between ion concentration and salinity in Alagake Lake

表 2-1 代表性盐湖的化学类型

Table 2-1 Chemical subtypes of saline waters in representative inland saline lakes

水型	国外*	国内**
NaCO ₃ Cl	Natron (埃及); Aranguadi (埃塞俄比亚); Magadi (肯尼亚); Chilwa (马拉维); Barnes, Salt (加拿大); Mono, Owens, Soap, Summer (美国)	龙泉泡 (吉林); 其香错 (西藏)
NaClCO ₃	Zgum (埃及); Katwe (乌干达), Blaauwater 1, Banagher 3 (南非); Red Rock Tatn, Werowrap (澳大利亚); Alert, Big Soga, Borax, Harney, Pyramid, Walker (美国)	库伦淖, 对口淖 (河北); 鲁马江冬错, 巴拉错, 昆仲错, 高洪湖 (西藏)
NaCO ₃ SO ₄	12 Mile, Fife, Handhills (加拿大)	达则错 (西藏)
NaMgClCO ₃	Fryxell (南极)	
NaCO ₃ SO ₄ Cl	Yoan (乍得)	
NaCO ₃ ClSO ₄	Big Soda (美国)	
NaClSO ₄ CO ₃		浩勒包淖 (内蒙古)
NaSO ₄ CO ₃	Big Muddy, Dowling, Fleeing Horse, Miquelon (加拿大)	
NaClSO ₄	Merdjadja (阿尔及利亚); Ihotry (马达加斯加); Aquada de Azaguata, De la Isla, La SALada (阿根廷); Forest (澳大利亚); Panggong (印度); Ssrat (罗马尼亚); Salton (美国); Tagar (前苏联)	青海湖 (青海); 卡易错, 泥潭湖, 班戈湖 (西藏); 艾比湖 (新疆)
NaMgCl		尕斯库勒湖, 柯柯盐湖, 茶卡盐湖 (青海); 高盐湖 (内蒙古)
NaMgClSO ₄	Issyk-Kul, Marfovka (前苏联)	五百顷淖, 小盐淖 (河北); 硝池 (山西)
NaMgSO ₄ Cl	Bonney (阿根廷); Deadmoose (加拿大); Balkhash (前苏联)	硝池 (山西); 托索诺尔 (内蒙古)
NaSO ₄ Cl	Bios neuf (海地); Kar (印度); Burdur (土耳其); East Stump (美国), Biljo (前苏联)	热邦错, 聂尔错 (西藏)
MgNaSO ₄ Cl	Little Manitou, Waldsea (加拿大)	盐池 (山西)
MgNaClSO ₄	Schunett (前苏联)	盐池 (山西); 艾比湖 (新疆)
NaCl		尕海, 大柴旦湖 (青海); 拉果错, 喀湖错, 常木错, 毕络错 (西藏)
MgNaCl		可可西里湖, 察尔汗干盐湖 (青海)
MgNaCO ₃ SO ₄		昂拉错 (西藏)
MgNaCO ₃ Cl		班公错, 阿永布错, 阿鲁错 (西藏)

* 括号内为国家; ** 括号内为省 (自治区)。

三、溶 解 氧

溶解氧（亦称溶氧）指某一时刻溶解于水中氧气的含量，常以 mg/L 为单位表示。溶氧是水生生物重要的水化学因素，它是鱼类和其他水生生物维持生命活动和代谢所必需的条件，渔业水质要求溶氧的含量维持在 4mg/L 以上。一般水中的溶氧主要来源于空气的溶解、植物的光合作用和补水；消耗于水生生物呼吸、微生物耗氧、底质耗氧和逸出等。水中溶氧的含量一般受温度、盐度和气体分压力的影响。水中的溶氧一般随温度的升高而降低；当温度和压力一定的时候，溶氧随水体盐度的增加而降低；当温度和盐度一定的时候，溶氧随自身分压的增加而增加。对于我国的盐湖来讲，其水体中的溶氧要比淡水中的溶氧稍低，原因是我国大部分盐湖位于高纬度地区，氧分压较低，而且盐湖的盐度较大。另外，盐湖的溶氧日变化和季节变化较为明显，对于水深较大的盐湖，由于温跃层的存在，使水体溶氧的垂直分布也较为复杂。日变化产生的原因主要是光合作用的结果，白天有光合作用，晚上光合作用停止，一般溶氧最高值出现在下午日落前的某一时刻，最低值出现在日出前某一时刻。

1989 年调查新疆艾比湖时发现，在春、秋季节盐度和水温较低的时候，水中溶氧较高；夏季水温较高、盐度较高的时候，溶氧较低。由于其水深在 2m 左右，溶氧的垂直分布没有较大的变化（表 2-2）。

表 2-2 新疆艾比湖溶氧的时空变化（任慕莲等，1996）
Table 2-2 Spatial and temporal change of dissolved oxygen in Aibi Lake in Xinjiang

时间	水温	水深/m	溶氧/(mg/L)		
			上层	中层	底层
1989. 5. 7	13	2. 00	6. 69	6. 73	6. 81
1989. 7. 27	27	1. 80	5. 40	5. 21	5. 16
1989. 9. 9	28	1. 80	5. 05	5. 17	4. 99

四、碱 度

碱度反映的是水结合质子的能力，亦即水与强酸中和能力的一个量，是水中能结合质子的物质如 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 OH^- 、 H_4BO_4^- 等共同形成的碱度，通常以 mmol/L、mg/L 或德国度（°Hc）为单位表示，一般采用酸滴定法测定。天然水碱度主要来自流域岩石、土壤中碳酸盐的溶解。一些盐湖碱度很高，如松嫩平原的大布苏碱湖，卤水碱度高达 17mol/L。

水体碱度受水中光合作用和呼吸作用的影响，当光合作用超过呼吸作用时，作为光合作用碳源的 CO_2 不断地被吸收利用， CO_3^{2-} 含量增加，进而有 CaCO_3 沉淀生成，结果碱度、硬度下降，pH 上升；相反，当呼吸作用速率超过光合作用速率时，不断有 CO_2 产生，结果碱度、硬度上升，pH 降低。当水中 Ca^{2+} 含量不足时，不会产生大量 CaCO_3 沉淀，碱度变化较小。

从渔业角度出发，碱度与渔业生产密切相关，较高的碱度常是水体丰产的标志。据有关报告指出，碱度大于 1.0mmol/L 时，绝大部分水体的生产力高；而碱度小于 0.2mmol/L 时则生产力较低。国外学者 Rutt 指出：总碱度小于 0.1mmol/L 时水体生