

盐水枝角类的生物学 及海水培养利用



赵文 何志辉 殷守仁 著

**Biology and Technology of
Culture and Utilization in Marine
Water for Cladocera in Inland
Saline Waters**



科学出版社

www.sciencep.com

盐水枝角类的生物学 及海水培养利用

赵 文 何志辉 殷守仁 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是论述蒙古裸腹溞、西藏拟溞等盐水枝角类的生物学、生态学及海水培养利用技术的专著。首先概述了盐水枝角类的类群和生态分布,其次分别介绍了在海水中广泛应用的蒙古裸腹溞和正在驯化培养的西藏拟溞的生物学、生态学和培养利用技术,再次介绍了其他一些枝角类的海水盐度适应性及驯化培养的潜力。此外,还在不同章节中穿插总结评述了盐水枝角类研究的新思路和进一步应用前景。

本书可供水产学、生物学、生态学、环境科学等相关领域的研究人员、养殖业者和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

盐水枝角类的生物学及海水培养利用/赵文,何志辉,殷守仁著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-020277-2

I. 盐… II. ①赵…②何…③殷… III. ①枝角目-海洋生物学 ②枝角目-海水养殖 IV. Q959.223

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 034180 号

责任编辑:莫结胜 沈晓晶/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

天 时 彩 色 印 刷 有 限 公 司 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 4 月 第 一 版 开本:B5(787×1092)

2008 年 4 月 第一次印刷 印张:14 1/4 插页:1

印数:1—1 000 字数:283 500

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

当前在海水鱼、虾、蟹类苗种的培育中, 卤虫休眠卵来源日益不足且价格昂贵, 为了增添一种新的活饵料, 国内外都在开展工作, 通常以海产桡足类和海水枝角类作为研究对象。但由于海洋浮游动物发育期较长, 繁殖力和生态适应性远低于内陆水域的种类, 种群密度也有限, 所以效果不理想。国外研究较成功的日本虎斑猛水蚤 (*Tigriopus japonicus*) 虽然在小容积试验中曾达到较高的密度, 但在 200m^3 大容积培养的种群密度只达到 $2000\sim 3000$ 个/L, 平均单产仅 $5\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。日本学者对来自沿岸混盐水域的缺刺秀体溞 (*Diaphanosoma aspinosum*) 进行增殖生态和培养试验, 表明该溞只能在盐度 15 以内的稀释海水中大量培养, 尚未见产量指标和应用报道。Achuthankutty 等 (2000)、Shrivastava 等 (1999)、Milagros 等 (2001)、Pornthep 等 (2003) 对苏拉威西秀体溞 (*D. celebensis*) 做实验生态研究后得出, 这种溞有望成为新的活饵料培养对象, 但距离实际应用尚远, 并且有的作者 (Segawa *et al.* 1990; Shrivastava *et al.* 1999) 认为苏拉威西秀体溞和缺刺秀体溞是同物异名。国内曾有双齿许水蚤 (*Schmarcheria cubia*) 和海洋枝角类的研试报道, 但均未实践与应用。为了探讨利用淡水枝角类作为海水鱼虾类活饵料的可行性, 国内作者 (何志辉等 1986, 1996; 杨弘诣等 1997; 王丹丽等 2000; 徐善良等 1998; 赵文等 2006) 曾研究直额裸腹溞、大型溞、多刺裸腹溞、蚤状溞、近亲裸腹溞等对海水盐度的适应能力, 研究结果均表明耐盐上限很难超过 15。

鉴于内陆盐水在蒸发浓缩过程中盐度和其他非生物环境都有缓慢而周期性的大幅度变化, 对盐水生物起到了自然驯化的作用, 内陆盐水动物具有广生态位和高繁殖力的特点, 极有希望作为理想的海水养殖活饵料, 如褶皱臂尾轮虫、卤虫等早已广泛应用于海水鱼、虾类育苗工作中。为此, 从 20 世纪 90 年代开始, 我们以寻找新的饵料动物 (特别是枝角类) 为主要目的, 进行了三北地区和西藏等内陆盐水生物资源的调查和利用, 从中筛选出蒙古裸腹溞和西藏拟溞并驯养于海水中。经大量的试验研究, 蒙古裸腹溞已成为海水鱼、虾类育苗的新的活饵料, 在国内已广泛地推广应用。

所有的研试工作绝大多数有文章发表, 本书为上述工作的全面总结, 旨在推动蒙古裸腹溞和西藏拟溞等盐水枝角类在海水养殖生产中发挥更大的作用。

最后, 感谢王岩、王巧晗、霍元子、徐立蒲、徐宪仲等同志对本书部分内容所提供的资料; 也感谢谭淑荣、魏杰、王珊、张焕、谢玺、程芳晋等同志在绘图、修图、拍照和打字等方面给予的帮助。

目 录

前言

第一章 内陆盐水的生态特点及枝角类分布	1
一、内陆盐水生态系统及其生物资源	1
二、内陆盐水枝角类的分布	6
第二章 蒙古裸腹溞的生物学和海水培养利用	12
第一节 形态、分类和分布	12
一、蒙古裸腹溞的形态和分类	14
二、分布与生态	19
第二节 对非生物环境的适应能力	21
一、温度	21
二、盐度	22
三、碱度和 pH	25
四、氨	26
五、溶氧	28
六、重金属、石油及其他化学药物	28
第三节 发育、生长、生殖及环境因子的影响	30
一、蒙古裸腹溞胚胎发育	31
二、蒙古裸腹溞胚后发育	35
三、蒙古裸腹溞的生长	37
四、蒙古裸腹溞的孤雌生殖	40
五、蒙古裸腹溞的两性生殖	49
六、小结和评述	59
第四节 摄食	63
一、蒙古裸腹溞摄食强度的初步研究	64
二、温度和体长对蒙古裸腹溞摄食强度的影响	66
三、盐度和体长对蒙古裸腹溞摄食强度的影响	68
四、光照条件对蒙古裸腹溞摄食强度的影响	69
五、食物密度对蒙古裸腹溞摄食强度的影响	71
六、食物保证度与摄食强度	72
七、蒙古裸腹溞的摄食节律	73
八、小结和评述	73

第五节 呼吸和代谢	77
一、温度对蒙古裸腹蚤耗氧率的影响	77
二、盐度对蒙古裸腹蚤耗氧率的影响	78
三、食物条件对蒙古裸腹蚤耗氧率的影响	79
四、小结和评述	80
第六节 生物能量学	82
一、温度和盐度对蒙古裸腹蚤能量收支的影响	83
二、蒙古裸腹蚤能量效率与其他枝角类的比较	91
第七节 蒙古裸腹蚤的大量培养试验	92
一、海水中大量培养蒙古裸腹蚤的试验	94
二、蒙古裸腹蚤生产性培养	100
三、模拟工厂化培养蒙古裸腹蚤中培养技术和产量指标的研究	104
四、在蒙古裸腹蚤培养中用甲醛控制轮虫的研究	111
五、小结和评述	118
第八节 蒙古裸腹蚤的营养成分和投喂试验	120
一、蒙古裸腹蚤营养成分的分析与评价	120
二、蒙古裸腹蚤无机营养素组成分析与评价 (王家骧 1990)	124
三、不同喂养条件下蒙古裸腹蚤脂肪酸组成比较	125
四、作为活饵料投喂海产鱼类试验	129
五、喂养海洋浮游动物试验	135
六、小结和评述	137
第九节 蒙古裸腹蚤作为海水养殖中新的活饵料的前景和发展方向	139
第三章 西藏拟蚤的生物学及海水驯化培养研究	141
第一节 分布和研究概况	141
一、拟蚤属种类在全球的分布	141
二、两种拟蚤的研究现状	141
三、拟蚤属同其他种 (属) 及拟蚤属内遗传距离的研究	144
四、拟蚤属实验种群生态学的研究现状	145
五、对西藏拟蚤研究的目的意义	146
第二节 西藏拟蚤的形态构造	147
一、外部形态	147
二、内部结构	152
第三节 西藏拟蚤的生态分布和种群动态	155
一、生态分布	155
二、典型湖泊西藏拟蚤的种群动态及生产量	156
第四节 西藏拟蚤的实验种群生态学	158

一、西藏拟蚤的胚胎发育	158
二、西藏拟蚤的胚后发育	160
三、西藏拟蚤的生长	161
四、西藏拟蚤的染色体	164
五、西藏拟蚤的耗氧率	165
六、西藏拟蚤排氨率	167
七、摄食	169
八、影响因素	171
第五节 西藏拟蚤的营养价值、大量培养和投喂实验	176
一、西藏拟蚤营养价值	176
二、西藏拟蚤海水中大量培养和种群增长潜力	179
三、西藏拟蚤投喂红鳍东方鲀的实验	180
四、红鳍东方鲀摄食西藏拟蚤后脂肪酸组成的比较	181
五、西藏拟蚤种群密度和单产的分析	182
六、西藏拟蚤的饵料效果	183
七、西藏拟蚤的应用前景	184
第四章 其他枝角类对海水盐度的生态适应性及其遗传多样性	185
第一节 直额裸腹蚤	185
一、形态特征	185
二、生态分布	185
三、盐度耐性	186
第二节 多刺裸腹蚤	187
一、形态特征	187
二、生态分布	188
三、盐度耐性	188
第三节 近亲裸腹蚤	190
一、形态特征	190
二、生态分布	191
三、盐度耐性	191
第四节 大型蚤	192
一、形态特征	192
二、生态分布	193
三、盐度耐性及应用前景	193
第五节 蚤状蚤	194
一、形态特征	194
二、生态分布	195

三、盐度耐性	195
第六节 平突船卵蚤	196
一、形态特征	196
二、生态分布	197
三、盐度耐性	197
第七节 老年低额蚤	197
一、形态特征	197
二、生态分布	199
三、盐度耐性	199
第八节 苏拉威西秀体蚤	199
一、盐度对苏拉威西秀体蚤种群增长能力的影响	200
二、苏拉威西秀体蚤对饵料的选择性	200
三、苏拉威西秀体蚤的饵料价值	200
第九节 裸腹蚤 <i>Moina</i> 遗传多样性的研究	201
一、裸腹蚤染色体核型研究	201
二、裸腹蚤遗传多样性的同工酶分析	203
三、裸腹蚤遗传多样性的 RAPD 分析	203
主要参考文献	205

Contents

Preface

Chapter 1 The Ecological Features and Cladocerans Distributions in Inland

Saline Waters 1

1. Ecological system and biological resources in inland saline waters 1
2. The distributions of cladocerans in inland saline waters 6

Chapter 2 The Biological and Culture Use of *Moina mongolica* in Marine Water

..... 12

1. Morphology, taxonomy and distribution 12
 - 1.1 Morphology and taxonomy of *Moina mongolica* 14
 - 1.2 Distribution and ecology 19
2. Adapt capability to abiotic environment 21
 - 2.1 Temperature 21
 - 2.2 Salinity 22
 - 2.3 Alkalinity and pH 25
 - 2.4 Ammonia 26
 - 2.5 Dissolve oxygen 28
 - 2.6 Heavy metals, petroleum and chemical druggery 28
3. Developments, growth, reproduction and effects of environment factors
..... 30
 - 3.1 Embryonic development of *M. mongolica* 31
 - 3.2 Post-embryonic development of *M. mongolica* 35
 - 3.3 The growth of *M. mongolica* 37
 - 3.4 Parthenogenesis of *M. mongolica* 40
 - 3.5 Gamogenesis of *M. mongolica* 49
 - 3.6 Summary and reviews 59
4. Ingestion 63
 - 4.1 The preliminary study on the feeding capacity of *M. mongolica* 64
 - 4.2 The effects of water temperature and body length on the ingestion capacity
of *M. mongolica* 66
 - 4.3 The effects of salinity and body length on the ingestion capacity of
M. mongolica 68

4. 4	The effects of light condition on the ingestion capacity of <i>M. mongolica</i>	69
4. 5	The effects of food density on the ingestion capacity of <i>M. mongolica</i>	71
4. 6	Food guarantee and ingestion capacity	72
4. 7	Feeding rhythm of <i>M. mongolica</i>	73
4. 8	Summary and reviews	73
5.	Respiration and metabolism	77
5. 1	The effects of temperature on oxygen consumption rate of <i>M. mongolica</i>	77
5. 2	The effects of salinity on oxygen consumption rate of <i>M. mongolica</i>	78
5. 3	The effects of food on oxygen consumption rate of <i>M. mongolica</i>	79
5. 4	Summary and reviews	80
6.	Bioenergetics	82
6. 1	The effects of temperature and salinity on energy budget of <i>M. mongolica</i>	83
6. 2	The comparisons of energy efficiency of <i>M. mongolica</i> to other species of cladocerans	91
7.	The experiments of mass culture of <i>M. mongolica</i>	92
7. 1	Mass culture experiments of <i>M. mongolica</i> in marine water	94
7. 2	The producible culture of <i>M. mongolica</i>	100
7. 3	Study on culture technique and production indicators in simulate industrial culture of <i>M. mongolica</i>	104
7. 4	Study on control rotifer by formaldehyde in culturing of <i>M. mongolica</i>	111
7. 5	Summary and reviews	118
8.	Nutrition composition of <i>M. mongolica</i> and feeding experiments	120
8. 1	Nutrition composition of <i>M. mongolica</i>	120
8. 2	Analysis and reviews of inorganic nutrition composition of <i>M. mongolica</i> ...	124
8. 3	Comparison of fatty acids composition of <i>M. mongolica</i> cultured in different feeding conditions	125
8. 4	The experiments of marine fishes culture feed on <i>M. mongolica</i> use as live prey	129
8. 5	The experiments of zooplankton feed on <i>M. mongolica</i>	135
8. 6	Summary and reviews	137
9.	The prospect and development of <i>Moina mongolica</i> used as a new live food for mariculture	139

Chapter 3	The Study on Biological and Domestication Culture of <i>Daphniopsis tibetana</i> in Marine Water	141
------------------	---	------------

1. Distribution and research situation	141
1.1 The distribution of species of genus <i>Daphnopsis</i> all over the world	141
1.2 The research situation of two species of <i>Daphnopsis</i>	141
1.3 The study of genetic distance of genus <i>Daphnopsis</i> and other species (genus)	144
1.4 The research situation about experimental population of <i>Daphnopsis</i> genus	145
1.5 Research aim and significance on <i>D. tibetana</i>	146
2. Morphology of <i>D. tibetana</i>	147
2.1 External configuration	147
2.2 Internal conformation	152
3. The ecological distribution and population dynamics	155
3.1 Ecological distribution	155
3.2 The population dynamics and production of <i>D. tibetana</i> in type lake	156
4. The experimental population ecology of <i>D. tibetana</i>	158
4.1 Embryonic development of <i>D. tibetana</i>	158
4.2 Post-embryonic development of <i>D. tibetana</i>	160
4.3 The growth of <i>D. tibetana</i>	161
4.4 Chromosome of <i>D. tibetana</i>	164
4.5 Oxygen consumption rate of <i>D. tibetana</i>	165
4.6 Ammonia excretion rate of <i>D. tibetana</i>	167
4.7 Feeding	169
4.8 Influencing factors	171
5. Nutrition value, mass culture and feeding experiments of <i>D. tibetana</i>	176
5.1 Nutrition value of <i>D. tibetana</i>	176
5.2 Mass culture and population growth rate of <i>D. tibetana</i> in marine water	179
5.3 Experiment of <i>Fugu rubripes</i> fed on <i>D. tibetana</i>	180
5.4 The fatty acid composition of <i>Fugu rubripes</i> fed on <i>D. tibetana</i>	181
5.5 Analysis population density and production of <i>D. tibetana</i>	182
5.6 The food effects of <i>D. tibetana</i>	183
5.7 The application foreground of <i>D. tibetana</i>	184
Chapter 4 The Ecological Adaption to Salinity of Marine Water and Genetic Diversity in Other Cladocerans	185
1. <i>Moina rectirostris</i>	185
1.1 Morphology feature	185

1.2	Ecological distribution	185
1.3	Salinity tolerance	186
2.	<i>Moina macrocopa</i>	187
2.1	Morphology feature	187
2.2	Ecological distribution	188
2.3	Salinity tolerance	188
3.	<i>Moina affinis</i>	190
3.1	Morphology feature	190
3.2	Ecological distribution	191
3.3	Salinity tolerance	191
4.	<i>Daphnia magna</i>	192
4.1	Morphology feature	192
4.2	Ecological distribution	193
4.3	Salinity tolerance and application foreground	193
5.	<i>Daphnia pulex</i>	194
5.1	Morphology feature	194
5.2	Ecological distribution	195
5.3	Salinity tolerance	195
6.	<i>Scapholeberis mucronata</i>	196
6.1	Morphology feature	196
6.2	Ecological distribution	197
6.3	Salinity tolerance	197
7.	<i>Simocephalus vetulus</i>	197
7.1	Morphology feature	197
7.2	Ecological distribution	199
7.3	Salinity tolerance	199
8.	<i>Diaphanosoma celebensis</i>	199
8.1	The effects of salinity on the population growth rate of <i>D. celebensis</i>	200
8.2	The food selection of <i>D. celebensis</i>	200
8.3	The food value of <i>D. celebensis</i>	200
9.	The study of genetic diversity of genus <i>Moina</i>	201
9.1	The study of karyotype of <i>Moina</i>	201
9.2	Electrophoretic analysis of the zymogrames of genetic diversity in <i>Moina</i>	203
9.3	RAPD analysis of the genetic diversity in <i>Moina</i>	203
	References	205

第一章 内陆盐水的生态特点及枝角类分布

一、内陆盐水生态系统及其生物资源

关于淡水与盐水（咸水）的界限目前尚有不同的观点（Hammer 1986；何志辉和赵文 2002）。根据国际湖沼学会 1958 年议定的方案，天然水体按盐度（单位：g/L）可分为淡水（ <0.5 ）、混盐水（ $0.5\sim30$ ）、真盐水（ $30\sim40$ ）和超盐水（ ≥ 40 ），混盐水又可分为寡盐水（ $0.5\sim5$ ）、中盐水（ $5\sim18$ ）和多盐水（ $18\sim30$ ），淡水盐度上限为 0.5。而后 Löffler（1962）和 Beadle（1969）从生物区系的特点出发，提出淡水含盐上限为 1 的观点。Williams（1964）则认为含盐量为 3 的水可使人感到咸味，应作为盐水的起点，并提出盐度 $0.5\sim3.0$ 的水体为亚盐水。我国水文部门通常将天然水按矿化度分为淡水（ <1 ）、咸水（ $1\sim35$ ）和盐水（ >35 ）。考虑到我国北方水库含盐量时有超过 0.5 的情况发生以及已有的分界沿用情况，我们暂以盐度 1 作为盐水的起点，但将淡水以外的水体都称为盐水。

内陆盐水（inland saline water）或称非海源盐水（athalassic saline water）是指与海洋没有联系的内陆盐水，包括大小不等的盐湖和盐沼。这类水体主要分布在半干旱半湿润地区的内流流域，由于这些地区蒸发量大于降水量，因而水受蒸发浓缩而盐碱化。过分干旱地区降水太少，不易形成明显的地表径流，即使有集水盆地也无水可积。有些地区由于水流或风能从周围岩石土壤带入大量盐分，也能促进盐湖（盐沼）的形成。

世界盐湖绝大多数分布在北纬 30° 到 55° 和北纬 3° 到南纬 42° 之间，海拔 1500m 以下，有些可在 3500~5000m 出现，但也有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，少数有超过 100m 的；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，有许多只是暂时性的。

我国湖泊有一半以上属于盐水湖，主要集中在内流湖区，从青藏高原沿新疆、宁夏到内蒙古高原以及东北和西北地区都有分布。面积大于 500km^2 的 28 个大湖中，有 14 个属盐湖。

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

（1）青藏高原盐湖区（I）平均海拔 4000m 以上，为中国地貌最高的“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，总面积约 $22\,000\text{km}^2$ ，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。

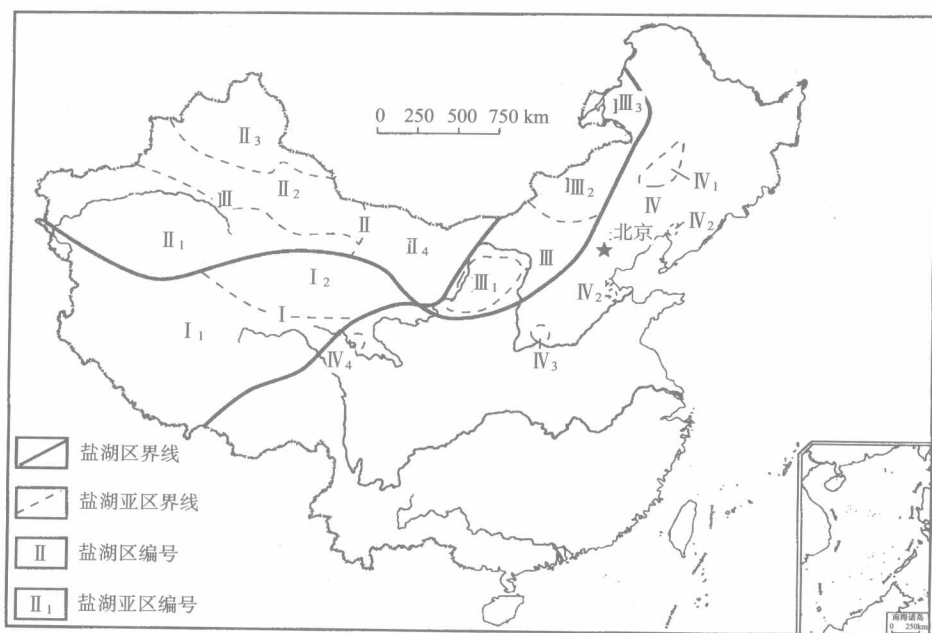


图 1-1 中国第四纪盐湖分区略图 (郑绵平 2001)

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

I. 青藏高原盐湖区; I₁. 西藏盐湖区; I₂. 昆祁盐湖区; II. 西北盐湖区; II₁. 塔里木盐湖区; II₂. 天山盐湖区; II₃. 准噶尔盐湖区; II₄. 阿拉善盐湖区; III. 东北盐湖区; III₁. 内蒙古东部盐湖区; III₂. 鄂尔多斯盐湖区; III₃. 呼伦贝尔盐湖区; IV. 东部分散盐湖区; IV₁. 通辽嫩江盐湖区; IV₂. 滨海地下卤水湖亚区; IV₃. 运城盐湖区; IV₄. 黄河源局部盐湖区

(2) 西北盐湖区 (II) 是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, 部分盐湖已成沙下湖, 包括 II₁ 塔里木盐湖区、II₂ 天山盐湖区、II₃ 准噶尔盐湖区和 II₄ 阿拉善盐湖区西区。

(3) 东北盐湖区 (III) 包括 III₁ 内蒙古东部盐湖区 (海拔 1000~2000m)、III₂ 鄂尔多斯盐湖区 (海拔 1000~1500m) 和 III₃ 呼伦贝尔盐湖区 (海拔 200~500m)。本区属中温带亚干旱至干旱区, 已知盐湖 309 个。

(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 滨海地下卤水湖亚区, 沿渤海湾北岸下辽河流域及南岸莱州湾海岸带分布, 属地下卤水湖, 盐类组成与海水盐类相近。

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。

内陆盐水的含盐量可达 300mg/L 以上, 按主要离子成分可划分为不同化学类型。国内常用阿列金分类法, 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、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。

受蒸发、降水等气候因素的影响, 盐湖的水位、面积和水化学性状有明显的年间变化和季节变化。在大而深的永久性盐湖, 生境变化较小, 而在浅湖和湖沼, 这些变化却极其剧烈。有些浅湖季节性干涸可变成陆地, 随着水位或水深度的变化, 盐度也有急变。如晋南地区的硝池, 原面积约 1500hm², 水深 3m 以上, 由于多年干旱, 面积缩小到不足 100hm², 水深 1~2m, 1982 年 6 月盐度达到 48g/L, 9 月一场大雨后, 水深回升到 3m, 面积又恢复到 1000hm² 以上, 盐度降到 10.3g/L (何志辉等 1993)。

盐湖的透明度差别很大, 大而深的湖如青海湖可达 5~10m, 而浅湖仅几厘米。浅水湖水温几乎随气温而变化, 深水湖水深超过 10m 即可存在分层, 有些湖泊甚至存在永久性的水化学跃层, 即所谓半循环型盐湖。此种湖的上层和下层水温长期不交流, 上层为混合对流层, 下层为滞水层。

盐湖 pH 变动于 3~11 之间, 通常为 7.5~9.5, 与盐度没有规律性联系, 但盐度过高 pH 反而下降。COD (chemical oxygen demand, 化学耗氧量) 一般较高, 与盐度呈正相关。盐湖中氮的浓度与淡水湖相近; 磷的含量有时很高, 如达里湖达到 1.84~3.36mg/L, 但在盐度很高的湖沼中磷浓度有时会因沉淀而下降; 铁、锰含量常较淡水湖低; 硼、溴等浓度有时很高。

内陆盐水生物区系由三类群组成:

1) 淡水种

有些耐盐的淡水生物常进入盐水, 种类多但数量一般不大, 通常出现于盐度 20 以下的水体中。

2) 盐种

也常在淡水出现, 但更喜盐水的一类生物, 分布盐幅常在 10~60, 在盐水中种数少于前一类, 但个体数量可能很多。有许多是广泛分布的种类, 如小三毛金藻 (*Prymnesium parvum*)、褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*)、角突臂尾轮虫 (*B. angularis*)、环顶巨腕轮虫 (*Hexarthra fennica*)、蒙古裸腹蚤 (*Moina mongolica*)、西藏拟蚤 (*Daphniopsis tibetana*)、绿剑水蚤 (*Cyclops*

viridis)、盐生摇蚊幼虫 (*Chironomus salinarius*) 等。

3) 真盐种

一般仅见于高盐度水体, 种数更少, 但常常达到很大数量, 如盐藻 (*Dunaliella*)、卤虫 (*Artemia*)、水蝇幼虫等。

盐水生物区系的多样性随盐度的升高而减少, 但其影响程度在不同的盐度区间是不同的: 盐度在 5 以下, 影响不显著; 5~10 间生物区系变化明显; 10~20 间淡水种和总种数急降; 20~50 间区系变化较小; >50 以后多样性急降。

现已查明, 内陆盐水除盐度外, 碱度和 pH、主要离子间的不平衡以及某些离子的毒性也是限制生物入栖和生存的主要化学因素。例如, 内蒙古东部的达里湖 (盐度 5.6, 碳酸钠型) 和宁夏地区的前进湖 (盐度 5.2, 氯化钠型) 两湖盐度相近, 均在大多数淡水生物耐盐上限以内。从表 1-1 可见达里湖的总碱度和 pH 较前进湖高得多, Ca^{2+} 只有前进湖的 1/10。因而在生物群落结构上, 达里湖浮游生物和底栖动物种数都较贫乏, 优势种多为特殊的盐碱种, 鱼类只有鲫、瓦氏雅罗鱼等 5 种, 引入鲤、鲢、鳙、草鱼等均未成功。前进湖生物区系就丰富得多, 浮游生物和底栖动物及其优势种主要由淡水习见种类组成, 鱼类有 16 种, 包括鲤、鲫、鲢、鳙、草鱼等。

又如面积达 4456km² 的青海湖 (盐度 12.5), 据连续 4 年的采样调查, 共见到浮游植物 53 个属, 浮游动物 26 个种, 鱼类仅有 2 种裸鲤和 4 种条鳅; 而面积仅 17km², 盐度 (10~15) 与青海湖相近的硝池, 浮游植物有 42 个属, 浮游动物有 62 个种, 鱼类出现鲤、鲫、鲢、鳙、餐条 (*Hemiculter leucisculus*) 等习见淡水鱼种群。导致区系差别的原因也是青海湖的总碱度远高于硝池 (表 1-1)。

内陆盐水中很少有水草, 一般盐度超过 20 时已无水草出现, 因此初级生产力以浮游植物为主。低盐湖和中盐湖浮游植物生产力极高, 例如, Mariut 湖高达 48Cg/(m² · d), Redrock 湖达 58.16Cg/(m² · d)。但高盐度湖中浮游植物生产力很低, 有时仅 0.279~0.475Cg/(m² · d)。对于盐度超过 50 以后初级生产力急降的原因有几种观点: ①过高的盐度会抑制藻类的光合作用; ②高盐度下养分与主要离子结合, 难以被藻类利用; ③高盐度浮游植物种类贫乏, 降低生产力。

浮游植物现存量通常与生产力相关, 组成上以蓝藻为优势, 特别是螺旋藻 (*Spirulina*)、节球藻 (*Nodularia*) 和鱼腥藻 (*Anabaena*) 属等为最常见的优势种。有时硅藻中的角毛藻 (*Chaetoceros*) 占优势, 当盐度超过 100 时绿藻中的盐藻 (*Dunaliellaviridis*) 可成为唯一的种类。在 10 以下的低盐水中, 小三毛金藻有时占优势并引起鱼类的大量死亡。

盐水浮游动物也是由原生动物、轮虫、鳃足类和桡足类组成, 有时介形类也起重要作用。盐度 3~10 时主要为淡水种; 10~50 时盐水种增多并逐渐在数量上占优势, 特别是褶皱臂尾轮虫、角突臂尾轮虫、环顶巨腕轮虫、卤虫、拟蚤、蒙古裸腹蚤、草绿刺剑水蚤为常见的优势种; 50 以上几乎都是卤虫占优势; 200

以上一般卤虫成为唯一的优势种群。

表 1-1 4 个盐水湖的主要化学指标 (何志辉 2000)
Tab. 1-1 Major chemistry indicator in four saline lakes

水化学 指标	达里湖		前进湖		青海湖		硝池	
	mmol/L	%	mmol/L	%	mmol/L	%	mmol/L	%
Cl ⁻	33.4	19.9	38.4	22.9	148.8	34.8	98.2	22.1
1/2SO ₄ ²⁻	5.32	3.2	29.9	17.83	42.4	9.9	117.7	26.5
HCO ₃ ⁻	26.4	15.7	11.1	6.62	8.61	2.02	3.12	0.7
1/2CO ₃ ²⁻	18.1	10.8	4.43	2.64	14.0	3.28	2.65	0.6
1/2Ca ²⁺	0.14	0.1	1.46	0.87	0.49	0.11	10.3	2.3
1/2Mg ²⁺	0.96	0.5	17.2	10.26	57.57	15.8	44.7	10.1
Na ⁺ +K ⁺	83.7	49.8	65.2	38.86	145.5	34.1	166.7	37.6
Alk	44.5		15.55		22.61		5.77	
pH	9.3~9.5		8.9~9.2		9.1~9.4		8~9.5	
M/D	37.9		3.49		2.14		3.49	
1/2Mg ²⁺ 1/2Ca ²⁺	6.73		11.78		137.9		4.31	

内陆盐水底栖动物主要由介形类、划蝽、水蝇及其幼虫、摇蚊幼虫、伊蚊幼虫等组成,有时也有颤蚓出现,大多数情况下以摇蚊幼虫占优势。

虽然大多数淡水生物耐盐上限为 15~20,但有些适应于高盐水体的种群极为耐盐,如淡水习见的浮游植物颗粒直链藻 (*Melosira granulata*)、飞燕角藻 (*Ceratium hirundinella*)、铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 曾在加拿大盐湖盐度 150~180 之间出现 (Hammer 1986)。我国宁夏和晋南地区矩形龟甲轮虫 (*Keratella quadrata*) 出现的盐度上限达 47.1,疣毛轮虫 (*Synchaeta*) 达 34.6,英勇剑水蚤 (*Cyclops strennus*) 达 79.2 (何志辉等 1989)。大型溞在西班牙和阿尔及利亚盐湖出现的最高盐度分别为 42 和 40。因此,有些淡水生物甚至可以在超盐水体出现。

内陆盐水的生物区系不仅含有很多淡水种类,而且盐水生物和真盐生物按其亲缘关系也和淡水种关系密切,和海洋或海源半咸水种较少联系。如高盐常见的介形类主要属于淡水产的腺介虫科 (Cypridae); 轮虫、水生昆虫等都是淡水起源; 还有少数种类,如某些等足类和螺类也是从陆地或半陆地移入的。淡水动物体表的不透性较海洋动物高,这是它们较易入栖盐水水体的一个原因。此外,淡水动物多具休眠卵之类的保护性结构,不仅有利于扩大分布,也能保证本身在极端盐度和干旱情况下得以存活。

Macan (1963) 总结美洲、非洲和亚洲含不同离子组成和比例的盐水湖材料后指出内陆盐水动物区系的相似性和许多种类的广泛世界性分布。但各大洲也有