

西藏盐湖生物与生态资源及其开发利用

贾沁贤¹,刘喜方¹,王洪平^{1,2},刘沙沙^{1,3},罗玉虎^{1,4},陈立婧⁵,郑绵平¹

1. 中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部盐湖资源与环境重点实验室,北京 100037
2. 南京市国土资源局,南京 210005
3. 北京师范大学水科学研究院,北京 100875
4. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083
5. 上海海洋大学水产与生命学院;省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室,上海 201306

摘要 以科研团队多年工作成果为基础,对藏北 209 个湖泊进行面积、盐度分类,结合藏北的生态特征和生态需求,阐述了可开展西藏盐湖卤虫生态修复的湖泊水域资源潜力,发展盐湖农业的优势与意义,以及盐湖水系生物资源开发的生态保护原则。阐述了西藏湖泊水域的浮游植物、浮游动物、大型水生植物的物种资源及其分布特征,以及硅藻、卤虫、盐藻、水木耳(念珠藻)、轮藻、细叶眼子菜的资源及其科学与经济价值。阐述了西藏盐湖生态修复的生态意义和藏北高原盐湖卤虫生态修复的经济重要性,并从产业发展角度分析西藏拟蚤、盐藻等的资源现状及其开发利用,提出以冷水鱼为特色产业的水域资源优势与发展前景。

关键词 西藏盐湖;生物资源;生态修复;盐湖农业;特色产业

盐湖是青藏高原的主要湖泊类型。据统计,在青藏高原面积 $\geq 1 \text{ km}^2$ 湖泊中,盐湖数量占 1/4,面积(8225.18 km^2)占到 30.46%^[1-2]。盐湖的生物资源和水系生态资源,不仅对维持青藏高原脆弱生态系统的稳定与平衡具有极为重要作用,而且是具有重要经济用途的高值资源。

为解开青藏盐湖未解之谜,中国科技工作者进行不懈努力。在 20 世纪 50—60 年代原青海地质局第一地质队、原西藏地质局藏北地质队等老一辈中国地质工作者在缺乏交通工具、设备简陋的条件下展开了西藏盐湖的水化学调查,其成果报告成为西藏盐湖最原始的研究记录资料。20 世纪 70—90 年代中国科学院等单位组织了藏北无人区综合科学考察,开展了系统盐湖调查,陆续出版了大量盐湖生物调查报告和盐湖专著^[3-6],成为中国青藏高原盐湖最早的系统性生物参考文献。

1999—2002 年中国地质科学院盐湖中心郑绵平、刘喜方等完成了西藏高原羌塘地区 130 个湖泊调查,其中包括 51 个湖泊的浮游动、植物定性定量分析,编制出《西藏羌塘地区湖泊水化学分带图》,将达到边界品位以上的各矿种编辑成册进而编制《西藏羌塘地区湖泊矿产、生物资源分布图》(1/1000000)和《青藏高原盐湖资源分布图》(1/2500000);并进行

卤虫、盐藻等研究报道^[7-8]。建立自 20 世纪 80 年代的西藏扎布耶盐湖野外长期观测实验站,获得了丰富的扎布耶盐湖气象与生态数据,在扎布耶锂开采工艺的研发中起到极为重要的作用。

2000 年以来,中国地质科学院开放实验室承担的地质调查项目总计完成了以藏北地区为主的 180 多个湖泊、110 多个盐泉、107 个冷泉、114 个温泉和 16 个雪山冰川融水河流的生物及生态资源调查,在此基础上完成了《西藏湖泊生物资源分布图》的编制,并依托 3 个西藏野外长期观测试验站对几个重点盐湖进行了多年连续生态监测与相关实验工作,为国家提供了 10 余份地质调查成果报告。本文在回顾前人盐湖及盐湖生物方面的开拓性工作的基础上,结合多年研究资料,分析西藏盐湖的生物与生态资源及其开发利用。

1 藏北生态特征及盐湖农业优势

1.1 藏北生态现状

西藏地理环境特征独特、生态环境十分脆弱,维护生态安全是谋求发展的先决条件。藏北(包含地理划分的藏西、藏北)面积为 93.9 万 km^2 ,约占西藏面积的 76.47%;属高原亚寒带、高原寒带气候类型,年平均气温 $< 0^\circ\text{C}$,最高月温 $< 10^\circ\text{C}$,

收稿日期:2017-02-10;修回日期:2017-04-19

基金项目:国家自然科学基金项目(40573056);中国地质调查局地质调查项目(DD20160330)

作者简介:贾沁贤,研究员,研究方向为盐湖生态学及盐湖生物资源利用与矿山污染环境生态,电子信箱:jia-qinxian@sohu.com

引用格式:贾沁贤,刘喜方,王洪平,等. 西藏盐湖生物与生态资源及其开发利用[J]. 科技导报, 2017, 35(12): 19-26; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.12.002

半年冰冻期,全年没有无霜期,高寒缺氧是其典型特征(那曲地区氧气密度的实测结果仅为北京地区的40%~43%)。

内流水系是藏北水系主要特征,以盐湖为末端湖泊的湖链结构是内流水系的共性。藏北是中国湖泊分布最密集地区,湖水总面积约2.38万km²,约占全国湖泊总面积的30%;其湖泊类型多样,淡水湖少,咸水湖多,盐湖丰富,面积1km²以上的各类盐湖大约有251个,总面积约8000km²。

水系分布对藏北生态系统有着至关重要的作用。从植被丰度看,藏北地区仅河谷和湖泊四周沼泽草甸草被茂密,高山植被稀少或无。从所承载的生命意义看,植被相对丰富的河谷和盐湖周边,不仅是畜牧的重要觅食场所,也是西藏各种珍贵野生动物经常成群结队出没之地。从藏北城镇布局看,基本位于主河道与湖泊的边缘或附近,生活和生产活动与其息息相关。因此,藏北湖泊水系是西藏动植物王国的生命线与东南亚“水塔”。

然而,藏北生态环境现状不容乐观。由于自然和人文方面的原因,植被环境恶化,草原荒漠化趋势明显,人为因素主导的沙漠化趋势正在加剧^[9]。严重超载放牧,导致草地斑秃化、草场退化日趋严重^[10],进一步加剧了降雨诱发的地质灾害的风险^[11]。近年来因捕食食物链的缺失导致草食性野生保护动物呈泛滥趋势,不仅对禁牧还草的成果造成破坏,草地斑秃化复发,而且还浸入湖岸冬季草场,并发生恶性群体死亡事件,对人畜健康产生威胁。依据沈渭寿等^[12]研究成果,藏北50%以上草地为不适合或不能放牧区。

藏北是西藏植被分布区生态最敏感地带,而该区域恰恰又是西藏金属矿富集区^[13],其矿体埋藏较浅,易于地面露天开采。20世纪90年代以来,矿山私营开采带来的环境问题日益突出,在破坏性开采与超载放牧的交互作用下进一步加剧了植被退化、生态破坏、水土流失与土地沙化风险^[14]。

1.2 盐湖农业优势

“盐湖农业”是以盐湖及其生态环境与日光、通过盐湖生物生产产品的一种新型农业^[15],是以发展盐湖生物资源为基础的产业形式。盐湖生物以湖泊水体为载体,其生态过程主要发生在水体内部,与外部的交换主要通过河流输入、大气交换和沉积输出。因此,在藏北,由于植被薄弱、生态环境脆弱,与传统畜牧业相比,发展盐湖农业具有生态安全优势。

盐度对高级捕食营养级的生存限制作用可以造成低营养级生物的密集发展,形成产业资源。如淡水湖的浮游植物—浮游动物(底栖动物)—滤食(杂食)鱼类—捕食鱼类的食物链结构,在盐湖中则可能只能达到浮游动物或仅为浮游植物环节。同时盐度大大限制了生物多样性,使群落结构简单化,甚至演化为少数或者单一绝对优势物种结构。这大大提高了盐湖生物质的资源化和可利用水平。

有研究表明,盐湖的初级生产力远高于淡水湖。例如Hopkinson等^[16]分析认为,盐湖初级生产力固定碳量为123g/(m²·a⁻¹),淡水湖为73g/(m²·a⁻¹),前者大约高出后者68.49%;并

且,淡水湖代谢产生的CO₂量要比咸水湖高出2.8倍以上^[17]。这表明盐湖生物产业资源具有更好的物质累积优势。

盐湖生物资源往往是一些价值很高的生物产品,如卤虫原料卵目前单价仍居高在3万元/t以上,天然盐藻粉及盐藻β-胡萝卜素0.7万元/kg以上。与传统产业相比,盐湖生物资源价值优势极为明显。

2 西藏盐湖水域资源基础与生态保护性利用

在20世纪50年代以前,依据水质特性对介于海水和淡水之间的盐湖划分及所用术语进行了大量研究,Hedgpeth^[18]曾对其历史进行了总结。

为了得到一个盐湖盐度界限清晰化的国际标准,以辨析内陆半咸水湖与海水半咸水概念的差别,1958年国际半咸水分类学会议以后出现了一个研究高潮,涌现大量研究成果,皆以生物适应性为理论依据。其中,Williams发表于1964、1978、1981、1986年的论据和观点对以后的国际研究影响最大,其核心是盐度>3g/L归类于盐湖范畴。目前,对于盐湖的盐度限定范围仍有不同的看法,但多数生物学者还是接受了Williams^[19]的划分标准,即盐度低于0.5g/L为淡水,在0.5~3.0g/L范围内为半盐湖水(subsaline lake),大于3g/L为广义盐湖^[20];广义盐湖再分为3类,低盐度盐湖(hyposaline lake)、中盐度盐湖(mesosaline lake)和高盐度盐湖(hypersaline lake)。Карпевич^[21]水生生物的引种驯化研究工作亦证实,3g/L是狭适性淡水生物的上限,8g/L是中适性淡水生物的上限,并进一步发现,水生生物对陆源性咸水(二价离子为主)的适应盐度高于海洋性咸水(一价离子为主)^[22]。当然,少数大型广适性淡水物种可以在海水盐度成长,但必须在淡水条件才能繁殖。

20世纪80年代以来,中国学者也提出了不同的“盐湖”的划分标准。于升松^[23]认为盐度在1g/L以下为淡水,介于1~35g/L为半咸水,35~50g/L为咸水,50g/L以上为盐湖水;而在《西藏盐湖》^[2]中列出的最低盐度湖泊仅为1.51g/L(玛尼错);中科院南京地理湖泊所的盐湖标准为>35g/L^[24]。中国很多地质工作者则认为盐度50g/L是盐湖盐度下限^[1-2,25],这种划分理由基于对盐湖矿产利用的考量,但应该指出的是,必须提供较为坚实的理论依据才能成为广泛认可的盐湖划分标准。

需要说明的是,盐湖的面积与数量不是一成不变的。由于全球气候变暖导致青藏高原冰川融化加速,进而导致湖泊水面扩张,许多相距较近的湖泊发生了融合。与文献资料相比,近20年来的湖泊数量与面积均发生了很大变化。如2002年调查时水体相对独立的多格错仁、多格错仁小湖、多格错仁南小湖、多格干盐湖4个湖泊,在2009年的调查发现已融合为多格错仁1个盐湖。

若按盐度与水域面积划分,目前藏北湖泊可以分为若干不同盐度-面积湖泊类群。依据国土资源部盐湖资源与环境

重点实验室近20年来的调查数据,藏北湖泊类群归总如表1所示。

湖泊水系是西藏生态敏感区的生物多样性最丰富区域。在面积50 km²以上的盐湖水域,其补给水源一般均包含一条以上的稳定流量的河流和数个涌水量较大的近岸泉水。由于地质演变、湖盆生态隔离效应和生物演化历史,在

较大的河流中形成了藏北特色的植物、鱼类和无脊椎动物区系,构成了藏北生物多样性的重要基础。这些水系生物多样性存在着重要的物种资源与基因资源,其价值往往是不能以直接经济利益衡量的,况且生物资源的利用价值是建立在其生态系统功能基础上的,因此盐湖生物资源开发首先要遵循生态保护原则。

表1 按盐度与水域面积划分的藏北湖泊数量与等级特点
Table 1 Lake group classification based on the salinity and water area in northern Tibet

面积/km ²	湖泊数量									合计	占总数比例/%
	<1 g·L ⁻¹	1~3 g·L ⁻¹	3~8 g·L ⁻¹	8~14 g·L ⁻¹	14~35 g·L ⁻¹	35~55 g·L ⁻¹	55~150 g·L ⁻¹	150~220 g·L ⁻¹	>220 g·L ⁻¹		
<1	0	3	5	3	3	0	1	0	1	16	7.66
1~10	10	3	9	4	6	2	8	3	8	53	25.36
10~50	7	9	5	5	14	3	12	7	8	70	33.49
50~100	6	3	5	2	2	3	8	4	9	42	20.10
100~200	3	0	1	0	4	0	1	0	2	11	5.26
200~400	3	2	0	0	0	1	0	0	0	6	2.87
400~600	4	0	0	0	0	0	0	0	2	6	2.87
600~1000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.48
>1000	1	1	0	1	1	0	0	0	0	4	1.91
合计	35	21	25	15	30	9	30	14	30	209	—
占总数比例/%	16.75	10.05	11.96	7.18	14.35	4.31	14.35	6.70	14.35	—	—

3 西藏盐湖生物资源基础与价值

3.1 生物资源基础

浮游植物是水生生态系统的物质循环与能量流动的始发点。在包括河流及周边盐泉、温泉、冷泉、淡水湖和盐湖等西藏水域中共检出479个属种浮游植物,其中硅藻263种,蓝藻79种,绿藻86种,裸藻36种,甲藻6种,黄藻3种,隐藻4种,金藻2种。依据在样品中的出现率进行分布幅度划分,可将出现率<1.00%的物种定义为偶见物种(accidental species),1.01%~10.00%的物种定义为有限分布物种或称之为寡分布物种(finite distribution species),>10.01%的物种定义为常态分布物种(normal distribution species),其中>30.01%的可定义为优势分布种(dominant distribution species)。这样,检出物种中67.22%的归类为偶见物种,29.23%的为有限分布物种,常态分布物种仅有17种(占3.55%),优势分布物种有4种。在17种青藏常态分布物种中,仅有6个物种被鉴定到种的水平,其余11个为未知种。在这6个已知种中,延长柄裸藻 *Colacium elongatum* 和谷皮菱形藻 *Nitzschia palea* 是在低海拔的平原地区较少分布的物种。西藏地区物种出现概率分布属性如表2所示。

水体中检出的111种原生动动物,没有发现高原特有物

种。引用上述划分标准,偶见物种87种(占78.38%),寡分布物种18个(占16.21%),常见物种仅有6种(占5.41%)。

检出后生浮游动物46种,其中,轮虫11种,枝角类6种,桡足类15种,介形类14种。引人关注的西藏浮游动物有2类:广泛分布并具有经济前景的西藏拟溞(*Daphniopsis tibetana*)和具有古环境还原指标意义的介形类。值得注意的是西藏爬星介(或称斯特瓦特)(*Herpetocypris stewarti* Daday),因其在冰川河流、海拔4500 m以上区域冷泉中出现率极高,而被认为是具有典型高寒极端环境特征的玻璃介(*Candona* sp.)则仅为偶见。椭圆真星介(*Eucypris elliptica* (Baird))和斜真星介(*Eucypris obliqua* (Brady))是典型广温种类,是藏北温泉体系2种主要介形类,在西藏河水、沼泽和小型湖泊介形类组合中也常出现;只是椭圆真星介在温泉的出现率高于斜真星介,并且不会出现在冷泉中,而后者可见于冷泉。喜盐异星介(*Heterocypris salinus* (Brady))广泛出现于盐湖淡化过程的湖沼边缘,*Limnocythere kunlunensis* 和 *Limnocythere inopinata* 在咸水湖底表常有分布。*Ilyocypris bradyi* 虽然分布较广,主要出现在水草丰富、缺失鱼类分布的河道。

在许多环境评价指标中,底栖动物是环境质量特征的标志载体。在藏北底栖动物有21大类,包括双翅目(Diptera)

表2 青藏高原水体浮游植物物种出现概率分析

Table 2 Probability analysis of the presence rate of phytoplankton species in Tibet Plateau samples

物种分布范围划分	样品中出现 概率/%	对应物种数量	对应物种
常态分布物种	10.01~11.00	2	单生卵囊藻 <i>Oocystis solitaria</i> 颤藻属 <i>Oscillatoria</i> sp.
	11.10~11.85	3	小环藻属 <i>Cyclotella</i> sp. 谷皮菱形藻 <i>Nitzschia palea</i> 两尖菱板藻线性变种 <i>H. amphioxys</i> var. <i>linearis</i>
	12.88	1	异极藻属 <i>Gomphonema</i> sp.
	14.44	1	囊裸藻属 <i>Trachelomonas</i> sp.
	15.01~16.00	2	普通等片藻 <i>Diatoma vulgare</i> 小席藻 <i>Phorimidium tenuis</i>
	16.31	1	延长柄裸藻 <i>Colacium elongatum</i>
	17.88	1	脆杆藻属 <i>Fragilaria</i> sp.
	19.86	1	针杆藻属 <i>Synedra</i> sp.
	22.17	1	桥弯藻属 <i>Cymbella</i> sp.
	优势分布物种	32.64	1
34.64		1	两尖菱板藻 <i>Hantzschia amphioxys</i>
37.40		1	菱形藻属 <i>Nitzschia</i> sp.
63.35		1	舟形藻属 <i>Navicula</i> sp.
偶见物种	0.30~1.00	322	
寡分布物种	1.01~2.00	69	
	2.01~3.00	20	
	3.01~4.00	19	
	4.01~5.00	13	
	5.01~6.00	4	
	6.01~7.00	6	
	7.01~8.00	4	
	8.01~9.00	3	
	9.01~10.00	2	

的水蝇科(Ephydriidae)、摇蚊科(Chironomidae)、蠓科(Ceratopogonidae)、蜉蝣目(Ephemeroptera)、蜻蜓目(Odonata)、毛翅目(Trichoptera)、半翅目(Hemiptera)的划蝽科(Corixidae)、鞘翅目(Coleoptera)的龙虱科(Dytiscidae)、豉甲科(Noteridae)、水甲科(Hygrobiiidae)等10类昆虫;涡虫纲的3种涡虫,软体动物中的3种螺和豆蚬(*Pisidium* sp.),甲壳纲端足目的1种钩虾(*Gammarus* sp.),无甲目的卤虫(*Artemia*)、丰年虫(*Chirocephalus* sp.),蛛形纲的水蜘蛛(*Araneae*)。

底栖动物不仅是维系西藏生态系统的重要组成部分,也为大量水禽类候鸟提供了食物来源,如丰富的卤蝇幼虫是海拔近5000 m的多格错仁的鸟类孵卵育雏的唯一食物。其中,若干物种是重要经济物种,如卤虫等;或重要科学价值物种,如可用于低温极端环境生物学研究的毛翅目等幼虫,其生存于水温1~3℃冰川河流(图1),再如1种仅在海拔4000 m以上的小水体中广泛分布的豆蚬(*Pisidium* sp.,图2),因其在

西藏沉积岩心样本中大量出现而具有古环境指标意义。

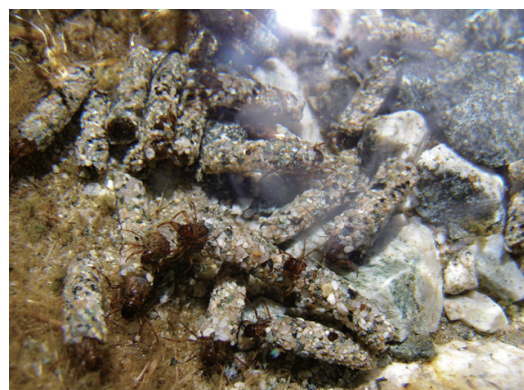


图1 隆格尔雪山冰川河流中的毛翅目幼虫

Fig. 1 Insect larvae of Trichoptera in Glacial River at Longgeer jokul in Tibet



图2 分布于3500 m以上的一种豆蚬
Fig. 2 A unknown bivalve species, *Pisidium* sp., distributed in altitude over 3500 m

大型水生植物常见类群包括3类:轮藻,兰藻,水生维管束植物。轮藻中的丽藻(*Nitella* sp.)、鸟巢藻(*Tolypella* sp.)、西藏鸟巢藻(*Tolypella Xizang*)、轮藻(*Chara* sp.)等主要分布在温泉、沼泽及微咸水湖泊-低盐度盐湖区域。蓝藻中的念珠藻(*Nostoc* sp.)多分布于4℃左右低温泉水处。水生维管束植物中的芦苇(*Phragmites communis*)、小叶蓼(*Polygonum minus*)、黑三棱(*Sparganium stoloniferun*)和节节草(*Equisetum ramosissimum*)分布广,湖泊河口区多见,但资源量有限;茵齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)多分布于河流;而未知种眼子菜(*Potamogeton* sp.)仅分布在若干湖泊,但资源量可观(见后文)。

基于分布盐度划分,西藏湖泊出现的代表性物种如表3所示。

表3 不同盐度盐湖的典型物种

Table 3 Typical species presented at different salinities

盐度/(g·L ⁻¹)	涡虫	土著鱼类	西藏拟蚤	卤虫	卤蝇	盐藻
<1	√	√				
1~3		√				
3~8		√	√		√	
8~14			√		√	
14~35			√		√	
35~55			√	√	√	
55~150				√	√	
150~220				√	√	√
>220				√		√

3.2 生物资源价值

硅藻土矿的指示意义:以夏季调查结果为依据,可以为现代湖泊周边寻找硅藻土矿提供线索。研究表明,硅藻生物量达到3.0 mg/L以上,并且占藻类总生物量比例80%以上,则湖泊可能存在硅藻土资源。在藏北,我们找到8个这样的湖泊。硅藻土矿是一种多用途矿物,在西藏盐湖周边地质条件不佳的环境中,硅藻土是改良蒸发池性能与富集效率的一种重要材料。

盐藻(*Dunaliella*)是极端盐湖中具有重要开发潜力的高

值浮游植物。调查表明,2013—2015年西藏扎布耶盐湖盐藻最高密度达到 $\times 10^8$ cell/L,生物量最高可达0.2 g/L,接近部分盐藻生产企业室内培养浓度的10倍。

藏北高海拔区的一种念珠藻(*Nostoc* sp.,简称水木耳)具有未来产业前景。念珠藻分布于低温泉水区,局部生物量可达4 kg/m²以上,如图3所示。品尝口感类似于天然木耳,味道鲜美,并且维生素B6、B12含量远高于后者,特别是硒(Se)的含量达到0.84 mg/kg干物质,面对众多硒需求人群,念珠藻是一个具有产业化前景的物种。



图3 西藏“水木耳”念珠藻
Fig.3 "Water agaric" *Nostoc* in Tibet

轮藻是一种不可忽略的多用途开发的大型藻。藏北轮藻广泛分布于几乎所有温泉、藏南广大地区和藏北温度相对较高的湖泊,且生物量很高,局部可以达到10 kg/m²以上。由于较强的异味,不能用作饲料,可作为潜在绿色肥料。轮藻的肥源潜力对高海拔高寒区有重要意义,轮藻十分易于分解和腐熟,而且氮磷钾的比例更接近作物需求,与低温下不易分解的牛羊粪一起沤制还可以加速后者的分解。在平原地区,历史上就有用轮藻堆制肥料的先例。还有研究表明,轮藻是一种优良的天然抗菌材料,其开发出的产品驱蚊具有抑菌效果,对枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌效果明显,效果可堪比化学合成趋避剂^[26-27]。

前面提及的未知种眼子菜(*Potamogeton* sp.),叶面狭长,形态类似于茵齿眼子菜,但茎叶柔韧、叶片较薄的,在高海拔高寒地区淡水及微咸水湖中具有分布广、生物量高的优势,多数情形下是唯一的大型水生植物,其在平原地区分布状况尚不清晰。依据其丰度,可以作为高海拔高寒地区淡水及微咸水湖中的维管束植物代表物种。在藏北的蹦则错,这种眼子菜最大生物量达到12 kg/m²(湿重);风浪夹带上岸的残枝败叶,在强烈阳光辐射下迅速脱水,在下风头沿岸形成一层层水草草垫,如图4所示。在藏南地区定吉县错姆折林错,数十平方公里的湖面布满了这种眼子菜,即使在水深达3~4 m的区域,该种植物也会生长到达水面,其最大生物量可达到17 kg/m²(湿重),平均在10 kg/m²左右。该种眼子菜的成分与用途尚无研究报道,但我们认为,对当地严重缺少植物资源的区域经济发展而言,是一项可能存在重要潜在经济价值的

资源,或者是一项生产绿肥的好原料。

卤虫是盐湖中的珍贵生物资源。在西藏,共发现有卤虫分布的盐湖大小34处,其中资源规模值得开发的盐湖有16处。卤虫是高盐水体中特有的生物物种,卤虫卵堪称盐湖软黄金。20世纪50—80年代,由于卤虫卵的几次歉收,导致全球水产业数遭萧条,南亚各世界水产大国的养殖场纷纷倒闭。即使今天,卤虫卵在水产养殖中所起到的作用也无法用饲料完全取代。



图4 西藏崩则错湖岸上由风浪夹带上岸的眼子菜形成的草垫
Fig. 4 *Potamogeton* mats formed by winds and waves on the Tibet Bengze Co shore

4 利用西藏盐湖生态优势发掘潜在资源

4.1 生态荒漠化盐湖中卤虫生态修复的生态与经济意义

2000年以后调查的藏北湖泊中,面积10 km²以上的卤虫可生长湖泊(盐度>45 g/L)共计27个,占到所调查湖泊总数的33.33%。其中有卤虫分布的16个(占所调查湖泊总数的19.75%,占具备卤虫生长环境条件湖泊总数59.26%)。没有卤虫的盐湖可称之为“空白盐湖”。

对于发展西藏卤虫产业而言,这些“空白盐湖”具有十分重要意义。因为从水域面积和体积比例上,它们占到这27个盐湖合计面积的70%以上,仅多格错仁面积就超过400 km²。其次,这些空白盐湖可以通过引进优良卤虫品种,获得经济性状更好的卤虫卵,成为牧民致富之路和西藏当地税收之源。第三,以硅藻为主的卤虫饵料组成可产出营养优质、应用价值较高的卤虫卵,对水产养殖业是一个福音。最后就是西藏盐湖分布区没有现代工农业污染,所以既不存在中国其他产地农药残留问题(中国卤虫卵出口的重要限制因素),也不存在美国大盐湖汞等重金属含量过高的问题。

那曲地区双湖县面积近142 km²的其香错,其卤虫资源不仅成为上千牧民的致富手段,而且成为该县最大的一项财政税源。确信近2000 km²的卤虫空白盐湖对分布于生态脆弱区牧民的生计与财税是一个不可小觑的潜在资源。

事实证明,向空白盐湖引进优质卤虫不仅具有潜在经济意义,而且具有重要生态意义和沉积学意义^[27]。2003年对尼玛县当雄错调查证明,该湖生物区系贫乏,缺少大型浮游动物,无卤虫存在,56 km²水面上只有不到30只鸥鸟活动。2004年向该湖引进了在中国盐湖品系中经济性状较为优秀的青海卤虫卵,2008—2009年已经形成稳定自然种群,2009—2011年进行了资源评价,卤虫卵稳定资源量达到100 t/年以上,可开发量14 t/年^[28],2013—2014年进一步调查核实^[29],评估可开发量达到40 t/年以上,潜在直接经济效益130万元以上;并且出现了以卤虫为食的黄鸭、绿头鸭及黑颈鹤等近10种鸟类,数量达到数千只。2014年对鸟类调查表明,全年停留的数量达到12000多只,并且候鸟迁徙路线亦发生偏转,以往该湖空域方圆数十公里未见候鸟迁徙经过,目前出现了数量可观的迁徙群体^[29]。

值得注意的是,利用卤虫进行盐湖生态修复,不仅要考虑卤虫品系的经济性状,也必须要注意卤虫品系的适应能力与引入环境的温热资源。原则上环境温热资源必须保证每年卤虫有2个以上的世代周期,卤虫资源才有开发价值^[30-31]。

4.2 发展盐湖特色生物产业的巨大经济前景

西藏丰富的盐湖是发展西藏特色生物产业的宝贵资源,不仅许多盐湖生物资源具有重要的直接经济价值,丰富的盐湖生态也为发展多样化生态产业与特种水产养殖业提供了重要物质条件。

在10~50 g/L的低盐度盐湖中,西藏拟溞极为丰富,依据调查结果推算,藏北西藏拟溞资源在×10⁶ t/年量级,是一项重要的渔业饵料资源,配予半漂浮式网箱养鱼,即可达到渔业利用目的。50~200 g/L的水体适合卤虫生长,但尚有近40.74%的盐湖没有卤虫分布,其水域面积近2000 km²,占卤虫可生存水面的52.45%。因此,在藏北50~200 g/L的水体中,利用卤虫开展生态修复是一项具有重要生态意义和巨大经济利益的工作。在个别>200 g/L极端盐度盐湖,存在极为丰富的低温盐藻资源,具备了直接开采价值的资源条件,是一项重要的盐湖潜在高价值资源,有适当的科技投入就会产生经济效益。

西藏盐湖有着丰富的冷水鱼类生态资源。在许多盐湖周边,均存在由涌水量可观的冷泉水构成的短程河流。由于盐湖的天然屏障功能,泉水缺少鱼类分布,这为发展高档冷水鱼类水产养殖提供了重要基础条件。盐湖中的卤虫依靠浮游植物生长,其虫体资源可以成为冷水鱼的一个重要蛋白源,而鱼类粪便及饵料碎屑可以直接为卤虫提供少量饵料,可以为浮游植物补充因卤虫产品输出而损失的营养盐。从生态角度看,这种养殖模式是一种良性互利循环,有利于严格管控养殖富营养化风险。

西藏冷水鱼养殖具有广阔的市场前景。水产养殖冷水鱼类包括鲑鳟类和鲟类,均是人们喜爱的平民化高档鱼类。从鲑鳟类冷水鱼的生态适应能力看,生长盐度范围很宽,上限可达40 g/L,繁殖盐度上限可达8 g/L,因此鲑鳟类是发展

盐湖水产养殖的理想首选。产自雪域高原的肉质鲜美的高档鱼类,无污染、无抗生素的养殖过程,加上富硒特色的西藏冷泉水环境,可以成为消费者心中受欢迎的理想绿色食品。

5 结论

任何资源的利用都离不开合理开发与资源保护。即使是生物类可再生资源,掠夺性开发也将导致资源迅速枯竭。因此,对于现有资源,首先要进行资源特性研究,在确定可开发度的基础上进行保护性开发;其次,要加快实用技术研究,奠定产业基础,使潜在经济价值变为实际经济价值,同时还要进行前瞻性研究,为产业升级奠定基础。

值得注意的是,无序发展只会给产业带来灾难。因此,做好盐湖生物产业科学布局,规划西藏盐湖产业未来,有序推进盐湖农业,要有政策保护、引导和管理。

西藏生物资源的开发与盐湖农业的发展,需要有科技投入和一批具有开拓精神的科技工作者的参与。因此,希望通过西藏地方的人才培养以及西藏地方科技队伍与全国相关科技工作者的一起努力,共同开创西藏盐湖生物产业的美好明天。

参考文献 (References)

- [1] 郑喜玉, 张明刚, 徐昶, 等. 中国盐湖志[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 415.
Zheng Xiyu, Zhang Minggang, Xu Cheng, et al. Saline Lake of China [M]. Beijing: Science Press, 2002: 415.
- [2] 郑喜玉. 西藏盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
Zheng Xiyu. Salt lakes in Tibet[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [3] 中科院青藏高原综合科学考察队. 西藏水生无脊椎动物[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
Qinghai-Tibet Plateau Comprehensive Scientific Expedition. Aquatic invertebrate in Tibet[M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [4] 中科院青藏高原综合科学考察队. 西藏藻类[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
Qinghai-Tibet Plateau Comprehensive Scientific Expedition. The algae in Tibet[M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [5] 郑绵平, 刘文高, 向军. 西藏扎布耶盐湖嗜盐菌、藻的发现和生态意义[J]. 地质学报, 1985, 59(2): 162-171.
Zheng Mianping, Liu Wengao, Xiang Jun. The discovery of halophilic algae and halobacteria at Zabuye salt lake Tibet and preliminary study on the geocology[J]. Acta Geologica Sinica, 1985, 59(2): 162-171.
- [6] 郑绵平, 向军, 魏新俊, 等. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1989: 430.
Zheng Mianping, Xiang Jun, Wei Xinjun, et al. Saline lakes of the Qinghai-Xizang(Tibet) Plateau[M]. Beijing: Science and Technology Publishing House, 1989: 430.
- [7] 刘俊英, 郑绵平, 罗健. 西藏拉果错卤虫: I. 生物学特征[J]. 湖泊科学, 1998, 10(2): 92-96.
Liu Junying, Zheng Mianping, Lou Jian. A study of *Artemia* in Lagkor Co, Tibet: I. biological feature[J]. Journal of Lake Sciences, 1998, 10(2): 92-96.
- [8] 刘俊英, 罗健, 郑绵平. 西藏拉果错卤虫: II. 营养成分[J]. 湖泊科学, 1999, 11(3): 283-288.
Liu Junying, Lou Jian, Zheng Mianping. A Study of *Artemia* in Lagkor Co, Tibet: II. Nutrient[J]. Journal of Lake Sciences, 1999, 11(3): 283-288.
- [9] 秦泗国, 钟国辉. 青藏高原当前生态环境问题的初步研究[J]. 西藏大学学报(自然科学版), 2008, 23(1): 3-6.
Qing Siguo, Zhong Guohui. A preliminary study on ecological environmental problems in Tibet[J]. Journal of Tibet University (Natural Science Edition), 2008, 23(1): 3-6.
- [10] 贾建称, 王根厚, 杨国东, 等. 藏北地区自然灾害及其防治——以巴青县-索县地区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(2): 84-87.
Jia Jiancheng, Wang Genghou, Yang Guodong, et al. Natural disaster and its prevention in the North Tibet: A case study of Baqing County-Suoxian County[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(2): 84-87.
- [11] 辛盛鹏. 西藏自治区农牧业调查研究[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2013: 359.
Xin Shengpeng. Investigation and research on agriculture and animal husbandry in Tibet Autonomous Region[M]. Beijing: Renmin University of China Press, 2013: 359.
- [12] 沈渭寿, 赵卫, 王小丹, 等. 西藏地区生态承载力与可持续发展研究[M]. 北京: 中国环境出版社, 2015: 217.
Shen Weishou, Zhao Wei, Wang Xiaodan, et al. Study on ecological carrying capacity and sustainable development in Tibet[M]. Beijing: China Environmental Press, 2015: 217.
- [13] 徐增让, 成升魁, 闵庆文, 等. 西藏生态脆弱区人为作用对生态退化的影响[J]. 干旱区地理, 2005, 28(6): 740-745.
Xu Zengrang, Cheng Shengkui, Min Qingwen, et al. Influence of human activity on ecological degradation in ecological fragility area-Tibet[J]. Arid Land Geography, 2005, 28(6): 740-745.
- [14] 张建平, 成民. 西藏自治区闭坑矿山地质环境问题及其治理对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(4): 135-140.
Zhang Jianping, Cheng Min. Geological environment problems and Countermeasures of mine closure in Tibet Autonomous Region[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 20(4): 135-140.
- [15] 郑绵平. 论盐湖农业[J]. 地球学报, 1995(4): 404-418.
Zheng Mianping. On Saline Lake Agriculture[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1995(4): 404-418.
- [16] Hopkinson C S, Day Jr J W. A model of the Barataria Bay salt marsh ecosystem[M]//Hal C A S, Day Jr J W. Ecosystem Modeling in Theory and Practice. New York: John Wiley and Sons, 1977: 235-265.
- [17] Day Jr J W, Butler T J, Conner W H. Productivity and export studies in a cypress swamp and lake system in Louisiana[M]//Wiley M L. Estuarine Processes: Vol 11. New York: Academic Press, 1977: 255-269.
- [18] Hedgpeth J W. An introduction to the zoogeography of the northwestern Gulf of Mexico with reference to the invertebrate fauna[J]. Publications of the Institute of Marine Science University Texas, 1953, 3: 107-224.
- [19] Williams W D. Inland salt lakes[J]. Hydrobiologia, 1981, 81: 1-14.
- [20] 郑绵平. 论盐湖学[J]. 地球学报, 1999, 20(4): 404-418.
Zheng Mianping. Initial discussion of salinology[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20(4): 404-418.
- [21] Каревич А Ф. Биологические основы акклиматизации ценных видов рыб в Азовском море.Труды[J]. ВНИРО, 1964, 55(2): 47-

- 69.
- [22] Карпевич А Ф. 水生生物移植驯化理论与实践[M]. 杜佳垠, 译. 北京: 科学出版社, 1986: 424.
Карпевич А Ф. Theory and practice of transplanted and domestication of aquatic organisms[M]. Du Jiayin, trans. Beijing: Science Press, 1980.
- [23] 于升松. 盐湖[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1980.
Yu Shengsun. Salt lakes[M]. Xining: Qinghai People's Publishing House, 1980.
- [24] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国湖泊概论[M]. 北京: 科学出版社, 1989, 232.
Nanjing Institute of Geography Limnology, CAS. Introduction of lakes in China[M]. Beijing: Science Press, 1989: 232.
- [25] 张彭熹. 柴达木盆地盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 81.
Zhang Pengxi. Salt lakes in Qaidam Basin[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [26] 韩晓静, 张猛, 谢树莲. 轮藻功能性香皂的驱蚊抑菌作用研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2010, 33(4): 601-604.
Han Xiaojing, Zhang Meng, Xie Shulian. Repellency against mosquito bites and bacteriostatic effect of soap with charophyte[J]. Journal of Shanxi University(Natural Science Edition), 2010, 33(4): 601-604.
- [27] Jia Q X, Elena A, Liu X F, et al. Intentional introduction of *Artemia sinica* (Anostraca) in the highaltitude Tibetan Lake Dangxiong Co: The new population and consequences for the environment and for humans [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015, 33(6): 1451-1460.
- [28] Liu S S, Liu X F, Jia Q X. Comparative study on carbon in surface layer of bottom sediments in different sites of the saline Lake Dagze Co, North-Tibet Plateau, China[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 2014, 88(Suppl 1): 149-150.
- [29] Jia Q X, Anufrieva E, Liu S S, et al. Results of an intentional introduction of *Artemia sinica* in the high-altitude Tibetan Lake Dangxiong Co: On a base of surveys in 2011 and 2013[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2014, 88(Suppl 1): 74-76.
- [30] Jia Q X, Xu N, Zhu J, et al. Laboratory studies on the influence of temperature on the reproductive potential of *Artemia sinica* Cai (crustacea: anostraca) from Yan Chi salt lake[J]. China. Journal of Freshwater Ecology, 2002, 17(3): 468-474.
- [31] Jia Q X, Wang H P, Kong F J, et al. Some ecological parameters of *Artemia parthenogenetica* Gahai and their use in resource exploitation[J]. Frontiers of Biology in China, 2009, 4(3): 1673-3509.

Bio-ecological resources of saline lakes in Tibet and their economic prospect

JIA Qinxian¹, LIU Xifang¹, WANG Hongping^{1,2}, LIU Shasha^{1,3}, LUO Yuhu^{1,4}, CHEN Lijing⁵, ZHENG Mianping¹

1. MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China
2. Nanjing Municipal Bureau of Land and Resources, Nanjing 210005, China
3. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China
4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China
5. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract In the paper, the concept of "saline Lake" and its studies are reviewed, focusing on the historical survey data of biological and ecological resources of Tibet Saline Lakes. Based on the survey data obtained by our research team during the last 20 years, the 209 lakes in the northern Tibet are classified into various salinity groups and various area groups. Based on both the northern Tibet ecological characteristics and the ecological demand for the regional economic development, the lake resource potential is analyzed with respect to the *Artemia* ecological restoration in Tibet saline lakes, as well as the advantages and the significance of developing the saline lake agriculture. Some principles of ecological protection and development of biological resources in the Saline Lake system are proposed. The species resources and the distribution characteristics of phytoplankton and zooplankton and macrophytes are discussed, focusing on the biological resources and their scientific values, including the diatom, the *Artemia*, the salt alga (*Dunaliella* sp.), the water agaric (*Nostoc* sp.), the stonewort(Charophyta) and the pondweed (*Potamogeton* sp.). From the successful experiences of the ecological restoration in the Tibet Dangqong Co saline lake, the significance and the economic importance of the saline lake ecological restoration are clearly seen. The resource situation and the prospect of development and utilization of *Daphniopsis tibetana* Sars and *Dunaliella* sp. in Tibet are discussed, and the cold-water fish aquaculture as the competitive industry is proposed; the sci-technological base and the government effective management are considered as the fundamental guarantee to develop the bioindustry of salt lakes in Tibet.

Keywords saline lakes in Tibet; bioresources; ecological restoration; saline lake agriculture; industry prospect

(责任编辑 韩星明)