

论盐湖学*

郑绵平

摘要 根据当代盐湖科学研究发展的特点和社会的需求,笔者提出有必要建立符合盐湖资源科学的新研究体系,称之为“盐湖学(Salinology)”。它是研究盐湖体系的化学、物理和生物与其环境和资源的性质及特点,并推进其工程化的一门边缘应用基础科学。盐湖学的基本任务是用多学科的原理为指导,系统地研究与勘查盐湖,为人类与盐湖的协调及其科学管理和合理利用提供科学技术依据,为持续发展“盐湖农业”、盐湖矿业和旅游业服务。

关键词 盐湖 新研究体系 盐湖学

Initial Discussion of Salinology

Zheng Mianping

(R & D Center of Saline lake and Epithermal Deposits, CAGS; Open Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, CAGS, Beijing)

Abstract Saline lakes have a group of comprehensive natural resources, including a large diversity of mineral resources, salt-loving biological resources and tourism resources. These resources serve as field laboratories which can provide data for the study of global change and mineralization processes. In traditional classification, saline lake study was part of limnology that studied the physics, chemistry and biology of lakes (W. G. Moor, 1975). Limnology, however, focuses only on the physical, chemical and biological properties of lakes, but fails to include the resource engineering concept. In the field of geological sciences, saline lake geology does not include the study of biological resources and ecology. Hence, neither traditional limnology nor saline lake geology could comprehensively cover the meaning of research and development of saline lakes. To meet the needs of development of saline lake research and society's demands, it is necessary to set up a new research system that could be named “salinology”. Dealing with chemistry, physics, biology and their interaction with resources and environments, this new branch is a marginal and application disciplinary research and exploration of saline lakes, which provides data for rational management and exploitation of saline lakes and makes contributions to sustainable development of saline lake agriculture, saline lake mining and tourism business.

Key words saline lake new research system salinology

盐湖是湖泊中的一种重要类型,即含盐量较高的咸化水体。根据当前国际上在地

质、生物等多学科领域研究盐湖的新进展，笔者建议：将狭义盐湖的含盐度下限定为 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) > 3.5\%$ ，广义盐湖的下限定为 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) \geq 0.30\%$ 。盐湖是多因素、多物源和极端环境下的综合作用的产物，是一种综合性的无机盐和嗜盐生物资源〔1〕。

在盐湖中，不仅已大量开发利用石盐、碱、芒硝和钾、锂、镁、硼、溴、硝石、石膏和医用淤泥等基本化工、农业、轻工、冶金、建筑和医疗等重要原料，而且还赋存具有工业意义的氯化钙、钨、铯、铷、铀、锶、菱镁矿、沸石、锂蒙脱石及天然气等资源。还应特别着重指出，盐湖中还发育大量具有重要经济价值与科学意义的嗜盐藻、盐卤虫、螺旋藻、轮虫等特异生物资源。它们为人类获取蛋白质、天然食物色素、能源、多种工业、科学材料和净化环境、变盐湖为“良田”开拓了良好的前景。同时，盐湖又是重要的旅游资源和医疗淤泥资源。盐湖卤水的储热特点，已开始用于“太阳能盐水池”发电。

盐湖又是大自然信息库和天然实验室。因其处于多层圈接合部，还在不断地进行着成盐过程，所以成为将今论古、以古类今的敏感指示体，成为恢复古气候、古环境和地质构造事件及预测未来全球变化的重要研究对象，因而越来越引起学术界的重视。

1 盐湖科学技术发展的趋势

人类对盐湖的研究和开发，如从19世纪中期开始分析卡拉布加兹泻湖卤水（I. L. Usiglio, 1849）算起，盐湖研究作为地质学、化学的一部分，大致经历19世纪末期至20世纪初期（Van't-Hoff学派、H. C. K 学派）以物理化学分析为主导的研究阶段，20世纪中期至60年代暂称为物理化学-传统地质学与生物学、化工工艺学研究阶段，以及从70年代以来，发展到运用当代地质学（沉积学、地球化学）、生物学（生态学、分子生物学、生物工程学）、物理化学以及新的技术科学等多学科综合研究的新阶段〔1~32〕。在最后一阶段，盐湖的研究范围已超越了地质矿产和湖沼学的范围，资源综合研究和综合利用都取得了重大进展。下面对现代盐湖科学发展趋势作一简要分析（侧重于盐湖资源地质研究）。

1.1 加强盐湖资源综合开发，研究领域不断扩大

盐湖是一种综合性的宝贵的自然资源。随着人类对盐湖资源的普查、勘探和开发，促使盐湖的研究领域不断深入和扩展，在综合评价和综合利用实验研究等方面取得重大进展。当代视盐湖主要为普通盐、碱、硝（芒硝）等固体矿产资源的概念已经过时了。在盐湖中不但已大量开发利用盐、碱、硝及钾、镁、硼、溴、碘、硝石、石膏和医用淤泥等基本化工、农业、轻工业、冶金、建材业和医疗等重要原料，而且还赋有工业意义的钨、铯、铷、铀、锶、氯化钙、沸石、锂蒙脱石、水菱镁矿、建筑用粘土和砂砾以至天然气和铁矿石（澳大利亚Tyrrell湖）等。某些盐湖卤水中还发育大量嗜盐藻、嗜盐菌、盐卤虫等特异生物资源。此外，盐湖卤水的储热性能，已被用于“太阳能盐水池”发电，还相继利用干盐湖修建公路、铁路以至赛车场或飞机场等。

为节约篇幅，有关盐湖矿产及其应用请参阅参考文献〔1〕，现仅着重介绍下列几点：

(1) 盐湖卤水综合评价和综合利用取得重大进展 盐湖常为固液态共存的综合性矿产。从世界已知盐湖矿产资源分析，虽然普通盐类中的盐、碱、芒硝、硼酸盐、硝

石、石膏、水菱镁矿以及铀、沸石、锂蒙脱石等大部或全部为固态矿，但具有工业意义的钾、镁、锂、溴、碘、钨、铯、铷、锶、氯化钙等却以液态矿为主，同时也含有大量普通盐和硼酸盐等。目前对其综合调查评价和综合利用研究已取得重大进展和明显经济效益。国内外一些开发利用效益好的盐湖卤水，都是针对盐湖资源综合性特点，以市场效用为重要目标，实行多学科联合开展基础性综合研究；针对不同地区、不同盐湖资源的特点，因地制宜，研究不同的技术开发途径，进行合理开发和综合利用，实现高增资高增值。如美国大盐湖，就是针对该湖资源具有综合性特点，进行了长期综合性基础研究和开发应用研究。研究内容包括矿产和生物资源、相化学、水化学、气候学、生物学和工程技术研究，其中包括持续进行了140多年的长期气象、水文观察工作^[15]。迄今已建立了世界闻名的钾盐、镁金属、硫酸钠和石盐系列产品联合企业以及卤虫大产业，其年总产值约达10亿美元。又如智利Atacama盐湖，Cyprus-Foot公司和SQM公司先后约投入4000万美元作开发前期实验研究，实现了锂盐科技革新，终于后来居上，建立了当今世界规模最大、成本最低的锂盐厂，实现锂盐、钾盐、硼酸、硫酸钠联产，年总产值达10亿多美元。1997年以来，SQM以价格战策略，大幅度降低 Li_2CO_3 售价，挤垮了大批硬岩锂行业，世界传统的硬岩行业也面临被淘汰的厄运。

(2)含钾盐湖成为世界钾盐资源的重要来源 随着现代盐湖科技的发展，自70年代以来，第四纪含钾盐湖已成为世界钾盐资源的重要来源，而在一些国家含钾盐湖已成为主要的钾盐来源（约旦、以色列、中国等），且兼有综合提取其他盐类矿产和位于浅部较易开采等有利条件，因而取得明显经济效益。据初步统计，国内外较大含钾盐湖在25处以上，其中10处已经开采，其年开采量约达5 Mt，约占世界钾盐产量的15%。

(3)盐湖和盐田嗜盐生物的开发 自1913年始即有高盐环境存在微生物的报道（A. Ariari）^[25]。70年代始，相继发现嗜盐菌视紫膜具有把阳光转换为电能的简单功能^[26~28]。嗜盐杜氏藻富含 β -胡萝卜素等，以及盐卤虫富含蛋白质多种氨基酸等，适于作优质鱼虾饵料等，这才先后引起科学界和企业界的重视。为了大量生产盐藻以提取食品工业原料，澳大利亚、美国和以色列相继在70年代末至80年代初投入大量研究资金，进行藻种提纯培养和寻找 β -胡萝卜素或甘油大量形成最佳条件的研究，并建立中试厂。如澳大利亚的Westfarmers公司投入350万美元以上的研究经费（1984~1986年）。迄今，盐藻和盐卤虫的开发已成为一种新兴产业，在澳大利亚、美国、以色列、中国等国已达到人工培植嗜盐藻的工厂化实用阶段。盐藻中还含有甘油、蛋白质等多种具有经济意义的成分，天然 β -胡萝卜素广泛用作人造黄油和软饮料等。由于临床试验证明天然 β -胡萝卜素有防癌抗癌作用而具有重要应用前景。一些盐湖和滨海盐沼发育的盐卤虫和轮虫，由于用于优质鱼虾养殖业效果很好，因而在近期得到迅速发展。世界上大量不适于种植谷物的盐湖和滨海边缘盐沼、滩地，可用于养殖嗜盐生物，这对农业是一个重要的补充。

1.2 运用现代科学理论及多学科综合研究促进盐湖科学研究全面革新

盐湖是多矿种的动态矿床，又是多来源、多因素联合形成的地质体，所以盐湖盆地中保存着丰富的自然演化的信息，包括地球内部、大气圈、生物圈、水圈以至宇宙的去和现代的信息。随着现代科学的发展，人们越来越趋向于用多学科理论和技术方法来研究和解决盐湖的科学技术课题，从而大大地促进了盐湖科学研究的全面革新。例如，盐湖沉积越来越成为当今研究全球变化的重要对象，促使盐湖沉积学与第四纪地质学等学科的融合，从而推动和拓宽了盐湖和湖相古环境、古气候的研究领域

[8, 12, 15, 18, 19, 23, 32]。又如运用热力学理论, 采用计算机模拟技术, 定量地推演了卤水的形成和演化过程 [11, 20], 以Petcer溶液理论为基础, 模拟出各种成分的卤水在蒸发浓缩过程中的析盐规律。特别是盐湖生物、盐湖生态环境和盐湖生物地质地球化学的研究, 引起了各学科领域学者极大兴趣。自1979年以来的历次国际盐湖会议, 均提交了大量的盐湖生物学及其生态学、生物地球化学等方面的论文, 并相继出现了盐湖生态学(T.D.Brock, 1979)、高盐环境生态学(H. Sorser, 1980)、盐湖地质生态学(郑绵平等, 1983、1985、1989)及高盐环境生物地球化学(B. Tarov, 1989)、“盐湖农业”等新的研究方向 [5, 7, 10, 13, 14, 22, 23]。

最近, 盐湖生物资源研究领域的广度和深度都有明显扩展, 除有大批学者研究嗜盐藻菌、盐卤虫、轮虫和螺旋藻外, 对其他一些嗜盐的脊椎动物群及其盐湖生态体系的研究也相继取得了许多成果。1999年9月12日在美国死谷召开的第七届国际盐湖会议, 其议题包括盐湖微生物和原生动物群落的营养动力学作用, 栖息地的地球化学对动植物生物地理学的影响、盐湖中底栖和浮游生物的联系、模拟种群和生态过程与物理、地球化学过程、对极端环境的分子生物学适应性以及内陆盐湖的保护等。可以说, 盐湖生物资源及其相应学科(生物学、生态学、生物地球化学以至生物成矿学)的发展, 是70年代末以来国际盐湖科学研究的重要方向, 其发展方兴未艾, 已在酝酿中的新的边缘学科将出现。

2 盐湖学的研究体系

上述国内外盐湖资源研究和开发利用的发展趋势表明, 传统的盐湖资源研究理论和方法已不能适应社会生产发展对盐湖科学技术的需求。按传统学科划分, 盐湖研究属于湖泊学的一部分, 但湖泊学(Limnology)是研究湖泊的物理、化学和生物等性质和特点的科学 [33], 其侧重点在湖泊物化性质和生物资源, 缺乏矿产和资源工程化研究的概念, 而在地学领域, 盐湖地质从来不包括盐湖生物资源和生态学研究内容。因此, 按照传统的湖泊学和盐湖地质学的概念, 均不能全面概括盐湖客体的研究与开发的实质和全过程。根据当代盐湖科学研究发展的特点和社会的需求, 笔者提出有必要建立符合盐湖资源研究的新学科体系, 称之为“盐湖学(Salinology)”。它是研究盐湖体系的化学、物理和生物与其环境和资源的性质及特点, 并推进其工程化的一门边缘应用基础科学(图1)。

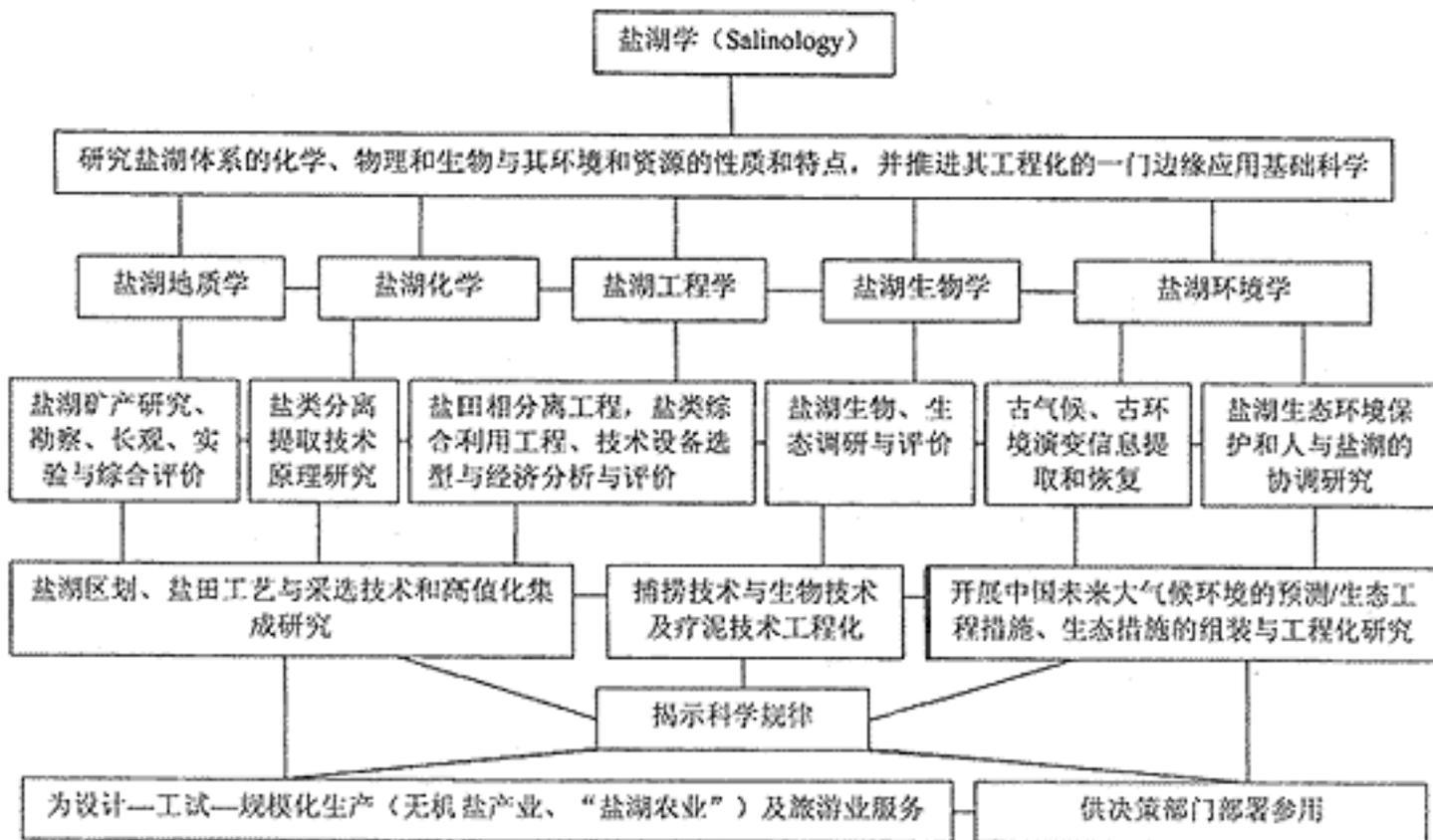


图1 盐湖学概念图解

Fig.1 Brief diagram of salinology

2.1 盐湖学的基本任务

盐湖学是根据人类长期从事古今盐湖研究、利用的丰富实践而推演出来的,特别是70年代末以来国内外对盐湖及其沉积体系的地质学、生物学、化学、物理学和工程学的多学科研究,对盐湖的性质和特点有了全方位认识,传统的盐湖地质矿床学和湖泊学研究范畴已不能全面反映和研究盐湖客体的全貌。因此为了适应科学与社会发展的需求,盐湖学的基本任务就是要运用多学科的原理为指导,进一步全面系统地研究其性质和特点与勘查盐湖,为人类与盐湖的协调及盐湖及其沉积体系的综合开发和合理利用提供科学技术依据,为发展“盐湖农业”、盐湖矿业和旅游业及与其持续发展服务。

盐湖学大体包括以下5个学科分支: 盐湖地质学(包括盐类矿床学、矿物学、地球化学、构造地质学、水文地质与工程地质学等); 盐湖生物学(包括盐湖生物分类学、生态学、地质生态学、分子生物学和生物工程学等); 盐湖化学(含盐溶液化学和结晶动力学、盐境有机化学、成盐元素无机化学等); 盐湖工程学(盐类化学工程、盐田工艺学与盐田工程、盐类选矿技术工程); 盐湖环境学(盐湖第四纪地质学、地貌学与水文学、气象学 and 环境保护学)。

2.2 主要研究内容

(1)盐湖沉积体系矿产资源的研究、勘查和评价 以矿床学、地球化学、岩石矿物学、第四纪地质学、水文地质与工程地质学和构造地质学等原理为指导,运用各种常规的和新的技术(包括地质填图、钻探工程、遥感技术、全球定位系统技术、计算机

技术和测试技术等) 进行调研、勘探与评价。

(2)盐湖生物资源生态调查研究和评价 以生物学、生态学、地质生态学原理为指导, 运用常规技术和高新技术相配合, 进行生物生态学调查研究和资源评价。

盐湖生态系统特征与生物资源研究: 物种组成、群落结构、生物生产力构成、食物链、能源模式、优势种群数量动态及环境动力学特征、盐湖生物资源合理开发和持续发展的管理对策。

盐湖地质生态学: 研究盐湖生物的地质地理条件、生物活动与地质环境的相互作用规律及沉积、成矿作用。

盐湖生物工程学: 着重研究盐湖生物资源的工程化原理、途径和可行性。

(3)盐湖化学研究 研究盐类进入溶剂或从溶液中结晶析出的过程及溶液组成、性质与结构的关系, 研究溶液热化学、热力学和相平衡热力学以及水盐体系的结晶动力学机制等问题; 研究18个成盐元素的储热和电化学能源的原理和应用, 研究成盐元素及其化合物的组成、性质和结构及其应用。

(4)盐湖资源综合利用的工程化研究 在上述3项调查与理论研究所取得的盐湖资源规律性认识的基础上, 发展以资源的高值化、综合开发为目标的工程技术配套组装研究。包括: 盐湖区开发区划、盐湖盐田工艺学、采选技术、生物捕捞和生物技术、疗泥及其应用等实验研究。

(5)盐湖全球变化与生态环境保护及其合理利用研究 以沉积学和第四纪地质学为指导, 通过盐湖沉积物高分辨率与地貌(砂、堤、阶地与古湖面)的代用指标研究, 提取过去全球变化信息, 阐明古气候变化和人与自然相互作用的湖泊响应; 开展盐湖区环境水文学、气候学研究, 在重点盐湖建立长期气象-水文和生物科学观测站, 取得系统的生态环境变化数值, 并与地理信息系统技术(GIS)相结合, 进行盐湖区动态变化监测。在此基础上, 开展盐湖生态环境保护措施的工程化研究。

综上所述, 现在盐湖研究无论在研究广度还是深度上都有很大发展。今天, 盐湖科学已逐步走向成熟, 完全有必要成为独立于矿床地质学与湖泊学等传统学科之外的新分支学科。因篇幅所限, 有关盐湖研究的其他相关对象, 如与古代盐湖沉积的关系等, 将另文讨论。

作者单位: (中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心; 中国地质科学院矿床地质研究所; 中国地质科学院盐湖资源与环境开放研究实验室, 北京)

作者单位:

- 1 郑绵平.全球盐湖地质研究与展望.国外矿床地质(国外盐湖地质专辑), 1989, (3、4): 1~34.
- 2 袁见齐.盐类矿床成因理论的新发展及其在矿床学上的地位.矿床地质, 1982, 1(1): 16~33.
- 3 郑绵平, 刘杰.当代盐湖研究与资源利用的若干进展.见: 当代地质科学技术进展.北京: 地质出版社, 1991, 24~32.
- 4 郑绵平, 高炳奇.中国盐湖资源的远景与发展战略.中国地质科学院矿床地质研究所刊, 1994, 3: 89~101.
- 5 郑绵平.论“盐湖农业”.地球学报, 1995, 4: 404.
- 6 郑绵平主编.第六届国际盐湖学术讨论会论文选集, 盐湖资源环境与全球变化.北

京：地质出版社，1996，1～20；145～157.

7 郑绵平.“盐湖农业”与发展战略.大自然探索，1999，18(67)：7～12.

8 郑绵平，赵元艺，刘俊英.第四纪盐湖沉积与古气候.第四纪研究，1998，(4)：297～307.

9 Matter A and Tucker M E.Modern and Ancient Lake Sediments. Blackwell Schentilic Publications, Oxford, London, 1978.

10 Kudhner D J.Microbial Life in Extreme Environments. Academic Press INC (London), 1978, 319～352.

11 Eugster P and Hardie A.Saline Lakes-Lakes chemistry geology physics (Chapter 8). Springer Verlag New York INC, 1978, 237～283.

12 Smith G I. Supsurface Stratigraphy and Geochemistry of Lake Quaternary Evaporite, Scarles Lake California, U. S. Geol. Survey Prof. 1043. 1979, 98～100.

13 Brock T D.Ecology of Saline Lakes. Strategics of Microbial Life in Extreme Environments, M. Shilo 1979, 29～47.

14 Mastui M.Halophilic Microorganisms Ecology. Physiology, Food Hygiene and Exploitation in Food Industry (Japanese), Medicinal Publishing House (Japan), 1979.

15 Gwynn J W.Great Salt Lake—a Scientific, Historical and Economic Overview. 《Utah Geological and Mineral Survey》, 1980, 1～400.

16 Borowitzka L J et al.The microflora-Adaptations to life in extremely saline lakes. Hydrobiologia, 1981, 81: 33～40.

17 Gaskin A J et al.Hydrology of Uranium Deposits in Calcretes of westralia, 1981, 311～316.

18 Bowler J M.Australian salt lakes. 《Hydrobiologia》, Netherlands, 1981, 82: 431～444.

19 Wright H R.Late-Quaternary Environments of United States. University of Minnesota Press, Minneapolis, 1983.

20 Lowenstein T K and Hardie L A. Criteria for the recognition of salt-pan evaporites. Sedimentology, 1985, 32: 627～644.

21 Theodore U Hammer.Saline Lake Ecosystems of the world. De W. Junk Publishers. 1986, Dordrecht/Boston.

22 Javor B.Hypersaline Environments. 《Microbiology and Biogeochemistry》, Springer_Verlag Berlin, 1989.

23 Batron E J & Surlyk F.(Editors_in_Chief), Palaeogcography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 1991, 84(1-4): 1～101.

24 The Abstract of 5th International Symposium on Inland Saline Lakes, March, 1991, 17～22.

25 Nissenbaum A, (Editor).Hypersaline brines evaporite environments (Developments in Sedimentology). 1980, 28: 23～29.

26 Dietor Walz. Reviews on bioenergetics. Biochemica of Biophysica Acta, 1979, 505: 279～353.

27 Stockenius W et al.Bacteriorhodopasin and preurple membrane of chalobacteria. Biochimica et Biophysica Acta, 1979, 505: 215～278.

28 Tan Hong and Tan Manqi.Analysis of the irreversible process of proton transport in the purple membrane of halobacterium balobium (in Chinese). Scientia Sinica, 1979, 11(4).

- 29 Gonenc I E, Ince B B O and Asikoglu O. Ecosystem modelling of coastal lagoons for sustainable management—A case study: küçükcekmece lagoon, Turkey. *International Journal of Salt Lake Research*, 1997, 6: 91 ~ 105.
- 30 Cinlla R A , Diaz M R, Taylor B F and Roberts M F. Organic osmolytes in aerobic bacteria from Mono lake, an alkaline, moderately hypersaline environment. *Applied and Environmental Microbiology*, 1997, 63(1): 220 ~ 226.
- 31 Oremland R S, Cloern J E and Sofer Z et al. Microbial and biogeochemical processes in Big Soda Lake, Nevada. In: Fleet A J, Kelets K and Talbot M R (Eds.) *Lacustrine petroleum source rocks*. Geological Society Special Publication, 1998, 40.
- 32 Wang Ruiliang and Zheng Mianping. Occurrence and environmental significance of long-chain alkenones in Tibetan Zabuye salt lake, S. W. China. *International Journal of Salt Lake Research*, 1998, 6: 281 ~ 302.
- 33 Moore W. *A Dictionary of Geography, Definitions and Explanations of Terms Used in Physical Geography*, 1975, Adam & Charles Black, London.
- 34 Ober J A, Lithium U S. Geological Survey. *Minerals Information*, 1997, 1 ~ 8; Internet 1998, 9.
- 35 U.S. Geological Survey. *Lithium, Mineral Commodity Summaries*, 1997, 98 ~ 99.
- 36 Harben P et al. *Lithium*. *Mining Engineering*, June, 1997, 30 ~ 34.
- 37 Harben P et al. *Chilean Lithium—from brines to batteries*, *Mining Magazine*, April, 1997, 226 ~ 233.
- 38 McCracken D et al. *Lithium, Metals & Minerals Annual Review-1997*, 73.
- 39 McCracken D et al. *Lithium, Minerals, Supplement to Mining Journal*, Aug. 7, 1998, 11.
- 40 Harken P and George Edwards. *Mineral lithium carbonate metamorphosis for lithium*. *Industrial Minerals*. February, 1997, 25 ~ 39.