

盐湖生物学研究进展

——第二届“盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成学术研讨会”综述

孔凡晶^{1,2,3)} 郑绵平^{1,2,3)}

- 1) 中国地质科学院盐湖与热水资源研究与发展中心, 北京 100037;
- 2) 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037;
- 3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

摘要 盐湖生物学是研究盐湖水体及其沿岸环境中生命现象和生命过程规律的科学。为进一步促进我国盐湖生物学研究,第二届“盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成学术研讨会”于2007年9月在京召开。会议主要取得如下成果:(1)在“大盐湖产业”体系基础上,提出了“盐体系”研究模式,初步归纳了盐体系研究与生物学交叉的几个主题,为开展盐湖生物学研究提供了理论指导。(2)盐湖生物提供基因资源和新生物技术:极端嗜盐古菌蕴藏着丰富的可开发资源,是真核生物遗传过程研究得天独厚的原核模型。(3)对盐湖生物在油气生成中的作用有了新的认识,89%的已探明的原油和80%的天然气出于含盐盆地;盐湖相可以发育为优质烃源岩,已发现盐湖相烃源岩形成的大规模油气资源。

关键词 盐湖生物学, 嗜盐菌, 螺旋藻, 盐藻, 蒸发盐盆地, 油气资源, 烃源岩

Research Progress in Saline Lake Biology: A Review of the 2nd Conference of “Saline Lake Biology and Its Relationship with Petroleum Generation”

KONG Fanjing^{1,2,3)} ZHENG Mianping^{1,2,3)}

- 1) R & D Center for Saline Lake and Thermal Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;
- 2) Key Lab of Saline Lake Resources and Environments, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037;
- 3) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract Saline lake biology studies biological phenomena and life process regularity in saline lake water bodies and coastal environments and mainly includes biology taxonomy, geo-ecology, molecular biology, bioengineering of saline lake organisms and bio-resources application. With the purpose of further promoting saline lake biology research in China, the 2nd Conference of the Saline Lake Biology and Its Relationship with Petroleum Generation was held in September 2007 in Beijing. The main achievements of the Conference were as follows: (1) On the basis of “the large saline lake industry”, “Saline System” was proposed. Several subjects in the saline system were put forward: the investigation of bio-resources distribution and their composition in such aspects as the species and quantity; the stress resistant mechanism of halophilic organisms and their metabolic products as well as its application; the space and time evolution of the saline system and the life origin; the saline system and petroleum, and the solid minerals as well as biological mineralization. These research topics provide the theoretical basis for the development of saline lake biology research in future. (2) The halophiles in the saline lake provide gene resources and new biological technology: The halo-bacteria contain rich resources with widespread application prospects, such as “purple membrane” —biological nanometer-materials, bio-degrading plastic PHA, special fats, and other biological activity materials. The halocline has large medical market requirement. Halo-bacteria, an impor-

本文为国家自然科学基金项目(编号:40772065, 49833010)和地质大调查项目(编号:1212010633809)资助成果。

责任编辑:魏乐军;收稿日期:2007-10-10;改回日期:2007-11-09。

第一作者简介:孔凡晶,男,1966年出生,博士,研究员,主要从事盐湖、热水等极端环境生物资源及基因工程研究。通讯地址:100037,北京市西城区百万庄大街26号;电话:010-68999550;E-mail:kongfj@cags.net.cn。

tant group of Archean, have a special heredity mechanism. Its basic genetics process analysis will be helpful to life evolution understanding as well as to grasping the complex biological phenomena of higher living things. The halo-bacteria will serve as a really advantageous prokaryotic model for the eukaryotic biological heredity process. (3) The saline lake biology has made an important contribution to the study of petroleum generation: There are 115 petroleum- and gas-bearing basins in the world, with 66 of them being evaporation salt basins. 89% verified crude petroleum and 80% natural gas were delivered from evaporation salt basins. For a long time, the role of saline lake halophilic organism for the petroleum generation was underestimated or neglected. It was believed in the past that the saline lake hydrocarbon source rock couldnt act as effective hydrocarbon source rock. In recent years, however, through the study of the saline lake hydrocarbon source rock in eastern China and the Qaidam Basin, the viewpoint that the saline lake sediment may turn into high quality source rock has gradually been accepted. Large-size petroleum gas fields generated from the saline lake source rock were found in prognostic areas.

Key words saline lake biology, halo-bacteria, *Spirulina* algae, *Dunaliella*, evaporation salt basin, petroleum resources, source rock

盐湖是湖泊的极端类型,即含盐量较高的咸化水体;它是多因素、多物源和极端环境下综合作用的产物,是一种综合性的矿产资源和生物资源。我国是一个多盐湖的国家,大约有一千余个盐湖,盐湖面积约 4.1 万 km²,主要分布于我国西部和东北部(郑绵平,2001;郑喜玉等,2002)。对盐湖资源的研究,以往侧重于地质和矿产方面,随着科学技术的发展,对盐生物学的研究越来越引起人们的重视(孔凡晶等,2002)。盐湖生物学是研究盐湖水体及其沿岸环境中生命现象和生命过程规律的科学,主要包括盐湖生物的分类学、地质生态学、分子生物学、生物工程学以及资源学等研究领域。目前已发现的盐湖生物不仅有大量的微生物、藻类,而且有一些高等动植物如火烈鸟、罗非鱼,碱蓬、海蓬子、盐角草等耐盐植物。在盐湖的盐水域,主要以嗜盐细菌、盐藻、盐卤虫及西藏拟蚤等为主,具有重要的科学及经济价值。环盐湖的草地,则以各种耐盐、抗旱植物为主,是盐湖、沙漠地区野生动物的生息地和牛羊的重要牧场(郑绵平,1995)。

为进一步促进我国盐湖生物学研究,由中国地质科学院盐湖与热水资源研究与发展中心、中国科学院微生物研究所微生物资源前期开发国家重点实验室承办的第二届“盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成学术研讨会”于 2007 年 9 月在京召开(图 1)。来自植物学、动物学、微生物学、地学、生物工程学、油气勘探等领域 30 余名专家学者及孙鸿烈、裴荣富、肖序常、赵文津、郑绵平等五位院士参加了这次研讨会。这次研讨会分盐湖农业与生态学、嗜盐生物、有机质与成油气形成机制、耐盐植物资源与分子生物学、嗜盐菌、甲烷菌及地质微生物等专题。刘双江、向华、黄力和东秀珠等报告了盐湖嗜盐古菌、甲

烷菌及极端环境地质微生物研究利用的最新进展,展示了盐湖微生物丰富的资源多样性和广阔的应用前景。张水昌、张英等报告了盐湖生物对油气生成的贡献及盐湖条件下生物气生成和富集条件;胡鸿钧、孔凡晶、贾沁贤等报告了我国内陆盐湖杜氏藻、内蒙古盐湖菌藻及青海尕斯库勒湖卤虫资源与环境变化研究进展;张洪霞、张耕耘及郑易之等报告了获得抗盐植物的多种转基因策略及抗逆蛋白研究进展。这些报告向与会专家学者展示了我国丰富的盐湖藻类及卤虫资源,利用分子生物学手段进行抗逆相关基因研究、培育抗逆植物新品种,从而有效利用和改良我国盐碱地等胁迫土壤的可能措施和前景。

本文结合专家的报告及研究现状,将盐湖生物学相关领域的最新研究进展综述如下。

1 盐湖农业与盐湖生态学研究进展

郑绵平首创了“盐湖学”学科基本理论框架,将盐湖矿业、盐湖农业和盐湖旅游业作为 3 个立足点,提出了具有重要现实和战略意义的“大盐湖产业”体系(郑绵平,1991;Zheng Mianping,2001;郑绵平,1995;郑绵平,2002)。以此为基础,郑绵平又提出了“盐体系”研究模式,在本次研讨会上,他作了“盐体系极端环境生物研究若干问题探讨”的报告,初步归纳了盐体系研究与生物学交叉的几个主题:(1)摸清我国盐境生物资源分布、种属、数量;(2)盐生物嗜盐、耐盐机制、功能、代谢产物及其应用;(3)盐体系的时空演化与生命起源;(4)盐体系与油气、固体矿产生物成矿作用。为开展盐湖生物学研究提供理论指导。

对盐湖盐藻、螺旋藻、卤虫、卤蝇、极端嗜盐菌和盐生植物的调查,摸清我国盐湖生物可用资源“家



图1 代表合影

Fig. 1 Participants of the Conference



图2 在运城盐湖岸边采集耐盐植物标本

Fig. 2 Collecting plant samples on the coast of the Yuncheng Salt Lake

底”仍然是当前发展盐湖农业的基础问题。早在八十年代初,我国科学工作首次在西藏扎布耶盐湖发现大量的杜氏藻,并进行了生物学特性、人工培养等研究,发现具有 β -胡萝卜素产率高,易培养和耐低温等特点,是杜氏藻的一种新类型(郑绵平等,1985;郑绵平等,1989)。 β -胡萝卜素是由盐藻(*Dunaliella salina*)和巴氏盐藻(*Dunaliella bardawil*)积

累的主要类胡萝卜素类型,是一种价值很高的化工产品,作为天然食品色素具有大量的需求;作为维生素A的前体,是化妆品添加剂,而且是有益健康的食物(孔凡晶等,2007a)。胡鸿钧等从内蒙古,青海,新疆和山西等省区盐湖采集分离杜氏藻(*Dunaliella*)标本研究结果表明,不同省区盐湖产的杜氏藻具有明显的遗传多样性。不同省区盐湖的杜氏藻对水温,光强、pH值和盐度的适应性也有差异(胡鸿钧等,2007)。1996年,在内蒙古盐碱湖中发现4株螺旋藻,这是我国发现螺旋藻的第一次报道,并在巴彦淖尔碱湖畔建成半封闭跑道式养殖池,以当地的钝顶螺旋藻为藻种,利用湖水养殖螺旋藻获得了成功(乔辰等,1996)。胡鸿钧等从我国内陆盐湖中分离、培育出2株钝顶螺旋藻新品系(Sp(NS)2001和Sp(NS)2002),具有一些国外品系所不具备的特性和品质。其中二十二碳六烯酸(DHA)在螺旋藻中的发现在国内外还是第一次。这2株新品系经中试和生产应用表明,是适合于工厂化生产的高产优质藻种(胡鸿钧等,2002)。

以盐湖为基地进行盐藻和螺旋藻等经济藻类的生产具有许多优势,以鄂尔多斯沙区盐碱湖生产螺旋藻为例。该区盐碱湖星罗棋布,为大规模螺旋藻绿色产业奠定了坚实的资源基础,对我们这个人多地少的国家来说有着重要意义。而且由于不会

造成环境污染,使开发盐湖资源与生态环境保护协调统一(乔辰等,1996)。目前,我国螺旋藻产量为2500吨,内蒙古为66吨。

盐湖微生物存在于中高盐环境中,主要有嗜盐菌、耐盐菌、嗜碱菌、耐碱菌、嗜盐嗜碱菌等类型,是极端环境微生物领域的重要组成部分。我国盐湖水化学类型多样,地理位置独特,孕育了丰富的盐湖微生物资源。自80年代初期迄今,已从我国不同的盐湖中分离报道的新种50多个。近年来,从我国新疆和内蒙古盐湖中分离到的十余个新种:*Natronorubrum aibiense* sp. nov., *Halorubrum lipolyticum* sp. nov., *Halorubrum aidingense* sp. nov., *Haloterrigena longa* sp. nov., *Haloterrigena limicola* sp. nov., *Natronorubrum sulfidifaciens* sp. nov., *Halorubrum litoreum* sp. nov., *Halobacterium jilantaiense* sp. nov., *Haloarcula amylolytica* sp. nov., *Halorubrum xinjiangense* sp. nov., *Halorubrum alkaliphilum* sp. nov. (Cui H L et al., 2006a; Cui H L et al., 2006b; Cui H L et al., 2006c; Cui H L et al., 2007; Yang Y et al., 2006; Yang Y et al., 2007; Feng J et al., 2004; Feng J et al., 2005);从内蒙古碱湖中分离到了代谢类型多样的盐湖微生物(Kong F J et al., 2005;孔凡晶等,2007b)。这些盐湖微生物的分离培养,为进行分子生物学和生物工程研究提供了重要的材料。

2 盐湖生物提供基因资源和新生物技术

分布于盐湖、盐田、太阳池等高盐环境中的极端嗜盐古菌作为古菌的重要类群和具有特殊遗传机制的生命的第三种形式,其基本遗传学过程的解析,将有助于人们对生命本质及生命进化的理解,以及对高等生物复杂生命现象本质规律的把握。例如,古菌DNA复制、基因转录及蛋白翻译加工的机器都类似于真核生物,是真核生物遗传过程研究得天独厚的原核模型,因此嗜盐古菌的遗传机制的研究本身就具有极其重要的科学意义。此外,生命依赖于水,而可溶性盐的存在,则影响着所有的生物学过程,因此研究嗜盐古菌的盐适应机制对于理解生命过程的基本特征同样具有重要的意义(向华,2007)。

还需要强调的是,极端嗜盐古菌中蕴藏着丰富的可开发资源,如具有广泛应用前景的生物纳米材料“紫膜”和生物可降解塑料PHA、具有医用前景的特殊脂类及其它生物活性物质如嗜盐菌素等。极端

嗜盐古菌遗传与代谢机制的研究及其遗传操作系统的建立,是该类极端微生物资源利用的理论基础和技术核心。已初步建立了系统研究极端嗜盐古菌遗传机制、重要功能物质代谢途径的研究体系,初步搭建了极端嗜盐古菌研究和利用的遗传操作平台(向华,2007)。在此基础上,深入研究极端嗜盐古菌遗传过程及其分子机制,如DNA复制机制、基因转录调控机制及蛋白合成加工机制等(Sun C et al., 2006; Zhou L et al., 2007; Pei H et al., 2007),同时系统研究极端嗜盐古菌重要功能物质如具工农业应用前景的生物可降解塑料PHA(Han J et al., 2007)、具医用前景的嗜盐菌素等的分子特性及合成途径(Li Y et al., 2003; Sun C, 2005),并进一步完善极端嗜盐古菌开发利用的平台体系。

3 盐湖生物对油气生成有重要贡献

世界含油气盆地115个,其中66个具蒸发盐盆地,89%的已探明的原油和80%的天然气产于含盐盆地(唐祥华,1990)。但是,长期以来,盐湖生物在油气形成中的作用被低估或被忽略,认为盐湖相烃源岩不能构成有效烃源岩。有以下几方面的原因,首先人们认为咸化湖泊的有机质输入将大量减少、难以形成优质烃源岩;其次是因为这类烃源岩存在严重的非均质性,以至常规方法难以正确评价其生烃潜力。高盐环境可以具有高的有机质产率,虽然生物种属随着环境的恶化而减少,但生物的数量并不减少,在显微镜下可以看到大量的藻类富集成层。可见在盐度很高的卤水中,生命照样繁盛。随着湖水的不断蒸发和补充,盐类浓集的同时,生物所需的营养物质如氮、磷等也相应得到富集,营养物质的增加将促进浮游生物的繁殖。另外高盐环境可限制寄生生物的生长,有利于形成藻类的勃发,而藻类的勃发,可以造成较高的生产力(刘传联等,2001),促使优质烃源岩的形成。因此盐湖相烃源岩有机质的主要来源是水生生物(朱光有等,2004a;朱光有等,2004b)。近年来,通过对我国东部和柴达木盆地盐湖相烃源岩的精细研究,提出的盐湖相可以发育优质烃源岩的观点已逐渐被油田接受,并在预测的地区找到了来自于盐湖相烃源岩形成的大规模油气资源(朱光有等,2007)。

世界含油气盆地中的大部分盆地同时也是含盐盆地,探讨柴达木盆地第四系盐湖条件下生物气生成和富集条件,具有一定的理论意义和实际应用价

值。研究表明,柴达木盆地有良好的烃源条件,是形成大规模生物气聚集的物质基础(张英等,2007): (1)第四系生物气源岩有机质类型较好,不同种类的有机质厌氧降解的难易程度有较大差别,主要由有机质组成分子量的大小、微生物的可利用性等因素决定。(2)第四系地层中细菌活动特征明显,在第四系烃源岩中,矿物沥青基质主要由微生物分解浮游藻类形成,含有丰富的类脂物质,特征为发黄绿色至黄色荧光。(3)可溶有机质在烃源岩中含量较高生物气的碳源主要为烃源岩中的有机质。正确评价生物气源岩的有机质丰度,对生物气源岩的判定和评价具有重要意义。过去的实验方法可能过低估计了第四系生物气源岩的有机质丰度。岩石中的可溶有机质在生物气形成中可能发挥了重要作用,该区烃源岩中大量存在的可溶有机质是形成大型生物气田的重要资源保障。

盐湖中的微生物、微型及大型动植物为基础研究和生物技术提供了独特的机遇,具有广阔的发展前景。与我国丰富的盐湖生物资源相比,对盐湖生物研究的重视和投入程度还远远不够,需要进一步加大投入和科研力度,加强学科之间的交流与合作。这次研讨会的召开对集成全国相关领域研究力量,加强盐湖生物学研究及多学科之间的协同与合作,具有重要的推动作用。

会后,代表们对运城盐湖进行了实地考察(图2)。代表们还参观了位于运城盐湖边的中国地质科学院盐湖中心盐湖与健康研究所,体验了盐水漂浮和黑泥养生。

参考文献

胡鸿钧,李夜光,殷春涛,等.2002. 含脂黄金的螺旋藻新品系的选育及其对产业发展的意义. 中国科学院院刊,2:112~114.

胡鸿钧,罗立明,孙晓梅.2007. 中国盐湖的杜氏藻(*Dunaliella*)的遗传多样性及其生态生理特性,第二届盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成研讨会摘要

孔凡晶,郑绵平,贾沁贤,等.2002. 我国盐湖生物学研究的回顾与展望. 矿床地质,21(Supp.):18~19.

孔凡晶,郑绵平.2007a. 盐湖杜氏藻研究的回顾与展望,盐业与化工,36(5):27~33.

孔凡晶.2007b. 内蒙古锡盟碱湖菌、藻的分离培养及特性研究,第二届盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成研讨会摘要.

刘传联,徐金鲤,汪品先. 藻类勃发——湖相油源岩形成的一种重要机制. 地质论评,2001,(02):207~210.

乔辰,李博生,曾昭琪.1996. 鄂尔多斯沙区碱湖与螺旋藻资源. 干旱区资源与环境,15(4):86~91.

唐祥华.1990. 世界含盐盆地中的油气资源. 中国地质,7:27~28.

向华.2007. 极端嗜盐古菌遗传机制及生物工程利用,第二届盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成研讨会摘要.

张英,严启团.2007. 盐湖条件下生物气生成与富集条件—以柴达木盆地三湖地区为例. 第二届盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成研讨会摘要.

郑绵平,刘文高,向军.1985. 西藏扎布耶盐湖嗜盐菌、藻的发现和地质生态学综述. 地质学报,(2):162~171.

郑绵平,向军,魏新俊,等.1989. 青藏高原盐湖. 北京:北京科学技术出版社.

郑绵平.1995. 论“盐湖农业”. 地球学报,(4):404~418.

郑绵平.1999. 论盐湖学. 地球学报,20(4):395~401.

郑绵平.2001. 论中国盐湖. 矿床地质,20(2):181~189.

郑绵平.2002. 盐湖学与大盐湖产业. 青海国土经略,(增刊,总第3期):8~11.

郑喜玉,张明刚,徐昶,李秉孝.2002. 中国盐湖志. 北京:科学出版社.

朱光有,金强,戴金星,等.2004b. 东营凹陷沙四中亚段盐湖相烃源岩研究. 高校地质学报,2:257~266.

朱光有,金强,张水昌,等.2004a. 东营凹陷沙河街组湖相烃源岩的组合特征. 地质学报,(03):416~427

朱光有,赵文智,张水昌,等.2007. 盐湖相优质烃源岩的形成与油气的分布规律,第二届盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成研讨会摘要.

Reference

Cui H L, Tohty D, Zhou P J & Liu S J. 2006a. *Haloterrigena longa* sp. nov. and *Haloterrigena limicola* sp. nov., two extremely halophilic archaea isolated from a salt lake. *Int J Syst Evol Microbiol* 56: 1837~1840.

Cui H L, Tohty D, Zhou P J, et al. 2006b. *Halorubrum lipolyticum* sp. nov. and *Halorubrum aidingense* sp. nov., isolated from two salt lakes in Xin-Jiang, China. *Int J Syst Evol Microbiol* 56: 1631~1634.

Cui H L, Lin Z Y., Dong Y, et al. 2007. *Halorubrum litoreum* sp. nov., an extremely halophilic archaeon from a solar saltern. *Int J Syst Evol Microbiol*, 57: 2204~2206.

Cui H L, Tohty D, Feng J, et al. 2006c. *Natronorubrum aibiense* sp. nov., an extremely halophilic archaeon isolated from Aibi salt lake in Xin-Jiang, China, and emended description of the genus *Natronorubrum*. *Int J Syst Evol Microbiol*, 56: 1515~1517.

Feng J, Zhou P J and Liu S J. 2004. *Halorubrum xinjiangense* sp. nov., a novel halophile isolated from saline lakes in China. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54: 1789~1791.

Feng J, Zhou P J, Zhou YG, et al. 2005. *Halorubrum alkaphilum* sp. nov., a novel haloalkaliphile isolated from a soda lake in Xinjiang, China. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55: 149~152.

Han J, Lu Q, Zhou L, et al. 2007. Molecular characterization of the *phaEC_{Hm}* genes required for biosynthesis of poly(3-hydroxybutyrate) in the extremely halophilic archaeon *Haloarcula marismortui*, *Applied and Environmental Microbiology*, 73: 6058~6065.

Hu H J, Li Y G, Yin C T, et al. 2002. Selection of *Spirulina* New Strains Containing DHA and It's Significance on *Spirulina* Industry. *Proceeding of Chinese Academy of Sciences*, 2:112~114 (in Chi-

- nese with English abstract).
- Hu H J, Luo L M, Sun X M. 2007. Genetic diversity, ecological and physiological characteristics of *Dunaliella* isolated from Chinese inland saline lakes. 2nd conference of saline lake biology and its relationship with petroleum generation Abstract (in Chinese).
- Kong F J, Wei Y Y, Jia Q X, et al. 2005. Isolation and Characterization of alkaliphiles from soda lakes in Xilinaoter, Inner Mongolia Autonomous Region of China. the 9th International conference on salt lakes Abstract.
- Kong F J, Zheng M P, Jia Q X and Liu J Y. 2002. Retrospect and prospect of study on saline lake biology in China. *Mineral Deposits*, 21 (Supp.): 18 ~ 19. (in Chinese).
- Kong F J, Zheng M P. 2007a. Retrospect and prospect of study on *Dunaliella* in salt lakes. *Journal of salt and Chemical industry*, 36(5) : 27 ~ 33 (in Chinese with English abstract).
- Kong F J. 2007b. Culture, and characteristics of the bacteria and algae from soda lakes in Xilinaoter, Inner Mongolia Autonomous Region of China. The 2nd conference of saline lake biology and its relationship with petroleum generation Abstract (in Chinese).
- Li Y, Xiang H, Liu J, Zhou M and Tan H. 2003. Purification and biological characterization of halocin C8, a novel peptide antibiotic from *Halobacterium* strain AS7092. *Extremophiles* 7(5) : 401 ~ 7.
- Liu C L, Xu J L, Wang P X. 2001. Algal blooms: the primary mechanism in the formation of lacustrine petroleum source rocks. *Geological Review*, 47(2) : 207 ~ 210 (in Chinese with English abstract).
- Qiao C, Li B S and Zeng Z Q. 1996. Alkaline Lakes and *Spirulina* (Arthrospira) Resources in Sandy Land of Erdos. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 15(4) : 86 ~ 91 (in Chinese with English abstract).
- Sun C, Li Y, Mei S, et al. 2005. A single gene directs both production and immunity of halocin C8 in a haloarchaeal strain AS7092. *Molecular Microbiology*, 57 (2) : 537 ~ 549.
- Sun C, Zhou M, Li Y and Xiang H. 2006. Molecular Characterization of the Minimal Replicon and the Unidirectional Theta Replication of pSCM201 in Extremely Halophilic Archaea. *Journal of Bacteriology*. 188(23) : 8136 ~ 8144.
- Tang X H. 1990. The petroleum resources in salinlake basin. *Chinese Geology*, 7: 27 ~ 28 (in Chinese).
- Xiang H. 2007. Genetic mechanism and biotechnological application of halobacteria. The 2nd conference of saline lake biology and its relationship with petroleum generation Abstract (in Chinese).
- Yang Y, Cui H L, Zhou P J, et al. 2006. *Halobacterium jilantaiense* sp. nov., a halophilic archaeon isolated from a saline lake in Inner Mongolia, China. *Int J Syst Evol Microbiol*, 56, 2353 ~ 2355.
- Yang Y, Cui H L, Zhou P J, et al. 2007. *Haloarcula amylytica* sp. nov., an extremely halophilic archaeon isolated from Aibi salt lake in Xin-Jiang, China. *Int J Syst Evol Microbiol* 57: 103 ~ 106.
- Zhang Y, Yan Q T. 2007. Conditions of biogenic gas formation and collection in saline lake-For example of the Sanhu District, Qaidam Basin. The 2nd conference of saline lake biology and its relationship with petroleum generation Abstract (in Chinese).
- Zheng M P. 2001. On salinology. *Hydrobiologia*, 466: 339 ~ 347.
- Zheng M P, Liu W G, and Xiang J. 1985. The discovery of halophilic algae and halobacterial at Zabuye salt lake Tibet and Preliminary study on the Geoecology. *Acta Geologica Sinica*, (2) : 162 ~ 171 (in Chinese with English abstract).
- Zheng M P, Tang J, Liu J Y and Zhang F S. 1993. Chinese saline lakes. *Hydrobiologia*. 267: 23 ~ 36.
- Zheng M P, Xiang J, Wei X J, et al. 1989. Salt lakes on the Qinhai ~ Xizang (Tibet) Plateau. Beijing: Beijing Scientific and Technological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Zheng M P. 2001. On Chinese salt lakes. *mineral deposits*, 20(2) : 181 ~ 189.
- Zheng M P. 2002. Salinology and large salt lake industry. Strategy for Land Managing in Qinhai, Supp. 3: 8 ~ 11.
- Zheng M P. 1995. On salt lake agriculture. *Acta Geoscientia Sinica*, (4) : 404 ~ 418 (in Chinese with English abstract).
- Zheng M P. 1999. Initial Discussion of Salinology. *ACTA GEOSCIENTIA SINICA*, 20 (4) : 395 ~ 401 (in Chinese with English abstract).
- Zheng X Y, Zhang M G, Xu C and Li B X. 2002. Salt lakes in China. Beijing: Scientific Publishing House (in Chinese).
- Zhou L G, Zhou M X, Sun C M, et al. 2007. Genetic analysis of a novel plasmid pZMX101 from *Halorubrum saccharovororum*; determination of the minimal replicon and comparison with the related haloarchaeal plasmid pSCM201. *FEMS Microbiology Letters*, 270: 104 ~ 108 Pei H et al. 2007. *Nucleic Acid research* 35: 3087 ~ 3099.
- Zhu G Y, Jin Q, Dai J X, et al. 2004a. Combination Characteristics of Lake Face Source Rock in the Shahejie Formation, Dongying Depression. *Acta Geologica Sinica*, 3: 416 ~ 427 (in Chinese with English abstract).
- Zhu G Y, Jin Q, Dai J X, et al. 2004b. Investigation on the Salt Lake Source Rocks for Middle Shasi Column of Dongying Depression. *Geological Journal of China Universities*, 2 : 257 ~ 266. (in Chinese with English abstract).
- Zhu G Y, Zhao W Z, Zhang S C, Jin Q. 2007. Distribution principle of Generation of saline lake face resources rock and petroleum. The 2nd conference of saline lake biology and its relationship with petroleum generation Abstract (in Chinese).