

青藏高原盐湖嗜盐微生物资源及应用前景

孔凡晶,王现洁

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

摘要 青藏高原盐湖极端的自然地理条件孕育了一类独特的嗜盐微生物。阐述了青藏高原盐湖嗜盐微生物的主要类群及其对盐胁迫的适应机制,分析了青藏高原盐湖嗜盐微生物的特点、研究进展,以及盐湖嗜盐微生物资源的应用前景。青藏高原盐湖极端环境嗜盐微生物的研究具有重要的理论意义和应用价值,为探索生命的本质与起源,开发新型的食物、药品以及新材料、新技术,提供了宝贵的独特生物资源。

关键词 青藏高原;盐湖;嗜盐微生物资源

极端环境是相对于一般生物适宜生存的环境而言,是指环境中的一种或几种物理化学因素超出了人类和大多数生物适宜栖息的极限值,而一些嗜盐微生物却能在其中生存繁衍。青藏高原被称为地球“第三极”,分布着众多的高原盐湖、冰川冻土、高温热泉等高盐、极寒、高热、高强度辐射等极端环境。在这些环境中生长着一类独特的嗜盐、嗜冷及高温微生物^[1]。例如,扎布耶盐湖的盐度能达到饱和盐浓度,但仍然有盐藻、嗜盐古菌、嗜盐细菌等微生物生长;喜马拉雅山脉,覆盖着茫茫冰雪,常年不化,在这种极端寒冷的条件下,在冰川冻土里,分离到了雪藻、真菌、细菌等;由于空气稀薄、海拔高度高,紫外辐射强度大,青藏高原还存在一类高抗辐射的微生物。这些微生物的适应能力超乎人们的想象,是一类独特的生物资源。本文结合青藏高原盐湖的环境特点,阐述嗜盐微生物资源的研究进展及应用前景。

1 嗜盐微生物类群及适应机制

1.1 嗜盐微生物的主要类群

在盐湖等盐碱环境中,有一类微生物,在生长过程中需要较高盐度条件,称为嗜盐微生物。根据生长过程中对盐的依赖程度,将微生物分为非嗜盐微生物、轻度嗜盐微生物、中度嗜盐微生物、轻度极端嗜盐微生物、极端嗜盐微生物、耐盐微生物、盐普适微生物7个类型,每种类型的生长盐度范围和

最佳生长需要盐度如表1所示^[2]。极端嗜盐微生物是指能在2.0~5.2 mol/L(15%~30%)盐浓度下生长的微生物,中度嗜盐微生物生长的最佳盐浓度是0.5~2.5 mol/L(3%~15%)。轻度嗜盐微生物生长的最佳盐浓度为0.2~0.5 mol/L(1%~3%),这个盐浓度相当于海水的盐度(3%),因此海洋微生物以轻度嗜盐微生物为主。嗜盐微生物的种类有古菌、细菌、真菌、藻类以及病毒和噬菌体,如图1所示。大多数的嗜盐微生物为嗜盐古菌,有盐杆菌科1科,27个属104种,代表属为盐杆菌属(*Halobacterium*)和盐球菌属(*Halococcus*)。在一些盐湖里,含有大量的盐杆菌,因这类微生物含有菌红素(C₅₀类胡萝卜素)而使盐湖成为粉红色,成为一道靓丽的风景。

表1 嗜盐微生物分类^[2]

Table 1 Classification of halophilic microorganisms

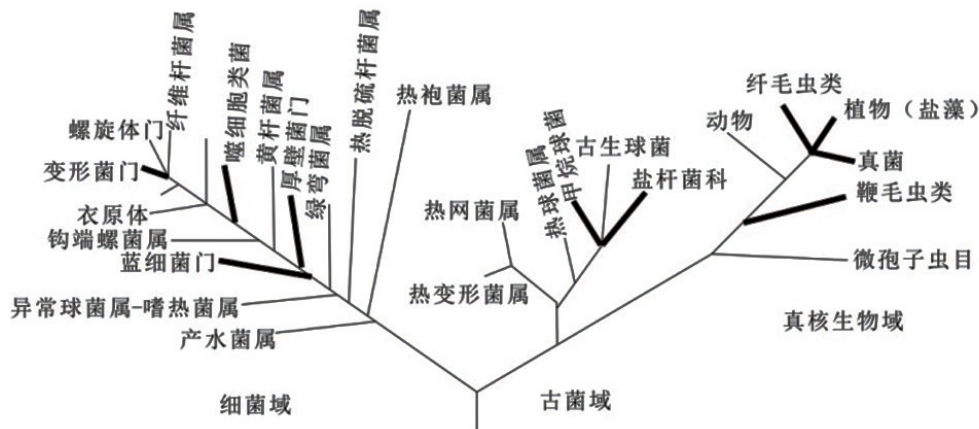
种类	盐浓度范围/ (mol·L ⁻¹)	最适盐浓度范围/ (mol·L ⁻¹)
非嗜盐微生物	0~1.0	<0.2
轻度嗜盐微生物	0.2~2.0	0.2~0.5
中度嗜盐微生物	0.4~3.5	0.5~2.5
轻度极端嗜盐微生物	1.4~4.0	2.0~3.0
极端嗜盐微生物	2.0~5.2	>3.0
耐盐微生物	0~>1.0	<0.2
盐普适微生物	0~>3.0	0.2~0.5

收稿日期:2017-02-10;修回日期:2017-04-15

基金项目:国家自然科学基金项目(40772065);中国地质调查局地质调查项目(DD20160025,12120115027801)

作者简介:孔凡晶,研究员,研究方向为盐湖生物学,电子信箱:kongjie69@hotmail.com

引用格式:孔凡晶,王现洁.青藏高原盐湖嗜盐微生物资源及应用前景[J].科技导报,2017,35(12):27-31;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.12.003



粗线为嗜盐微生物所在类群,主要有古菌域、细菌域、真核生物域
古菌域:盐杆菌科、甲烷球菌;细菌域:蓝细菌门、厚壁菌门、噬细胞类菌、变形菌门;真核生物域:鞭毛虫类、纤毛虫类、真菌、植物(盐藻)

图1 嗜盐微生物在三域系统树中的分布^[3]

Fig. 1 Halophilic microorganisms in the three domain phylogenetic tree

1.2 嗜盐微生物对盐胁迫的适应机制

在盐碱环境中,不同的生物类群由于对盐的需求不同,一般随着盐度升高,嗜盐细菌的多样性会降低,而嗜盐古菌的多样性会增加。对盐胁迫的危害,嗜盐微生物会采取不同适应机制应对。一般采取的策略有:相容溶质渗透调节、细胞质吸盐、排Na⁺吸K⁺等^[4]。

1) 有机质溶质渗透调节机制。嗜盐微生物能产生或积累一类低分子量的物质,称为相容溶质。相容渗透物质主要有甘油、依克多因、糖类、糖多元醇衍生物、甘氨酸、甜菜碱、四氢嘧啶、 α -氨基酸(脯氨酸和谷氨酸)。在藻类、酵母和真菌中,甘油是特别重要的物质,而在原核生物中,依克多因、甘氨酸甜菜碱和四氢嘧啶则是最丰富的渗透物。生物膜和细胞内蛋白质分子表面的水化层对稳定生物大分子的结构非常重要,相容溶质具有稳定大分子表面结合水,从而稳定大分子的结构。

2) 吸盐机制。在细胞质中积累高浓度K⁺和Cl⁻使细胞内外保持离子平衡。嗜盐的古菌盐杆菌科、极端嗜盐的红色厌氧拟杆菌门和厌氧发酵的盐厌氧菌目采取这一策略。研究发现,在饱和NaCl中生长的盐杆菌科嗜盐菌,细胞内KCl浓度约为4.5 mol/L, K⁺通过特殊通道进入细胞内,同时与Na⁺协同转运Cl⁻通道蛋白-盐细菌视紫红质,将Cl⁻运入胞内。

3) 排Na⁺吸K⁺机制。嗜盐微生物利用1个耗能载体,利用Na⁺泵尽可能将细胞内的Na⁺排出胞外,形成跨膜的Na⁺离子浓度梯度,例如在原核生物中有Na⁺/H⁺逆向运输蛋白。大多数嗜盐细菌在渗透胁迫时,通过2个阶段进行响应,在第1阶段吸收K⁺并合成谷氨酸以保持电中性,在第2阶段谷氨酸钾与另一化合物如硒氨酸发生交换。在高盐环境下,积累大

量的K⁺,使细胞内的K⁺浓度达到很高,来维持细胞内外渗透压保持平衡,保证细胞正常的生长和繁殖。

2 嗜盐微生物研究进展

青藏高原盐湖星罗棋布,水化学类型多样,像镶嵌在世界屋脊上的璀璨的明珠。盐湖中除了蕴含着丰富的矿产资源外,还分布着丰富的嗜盐生物资源。近年来,现代分子生物学技术飞速发展,在盐湖生物资源研究方面取得了重要的进展。利用依赖于培养和免培养技术方法,对扎布耶、当雄错、阿翁错、纳木错、茶卡、尕斯库勒湖、察尔汗、大浪滩等盐湖及咸水湖微生物多样性进行了研究,初步了解了这些盐湖的微生物主要类别,如表2所示^[5-17]。

青藏高原嗜盐微生物类群中部分与已知类群在分类上相近,而一些类群形成了独立的未知种群。例如,扎布耶盐湖主要分布着属于 γ -变形菌纲、 α -变形菌纲、 δ -变形菌纲、拟杆菌门、厚壁菌门和疣微菌门的23个嗜盐细菌属的嗜盐菌,占57.14%,其他在进化树上形成了独立的未知分支^[14]。对阿翁错沉积样品的分子生物学分析,获得了6个类群的细菌,包括 γ -变形菌(*Gamma proteobacteria*)、放线菌(*Actinobacteria*)、厚壁菌门(*Firmicutes*)、拟杆菌门(*Bacteroidetes*)、栖热菌门(*Deinococcus-thermus*)、蓝细菌(*Cyanobacteria*)。值得注意的是,多数序列都与已确定的海洋沉积物、地下水、温泉、盐湖等缺氧极端环境中的细菌克隆相类似。Xiong等^[13]研究青藏高原上17个盐湖的沉积物发现,优势种群(丰度>5%)主要分布在拟杆菌、厚壁菌、 α -变形菌、 β -变形菌、 γ -变形菌和放线菌中,这些菌种占2010年夏季调查的61%,其中拟杆菌和厚壁菌是最主要的类群,其次是变形菌。

表2 青藏高原盐湖微生物类群
Table 2 Microbial community of saline lake in Tibet Plateau

盐湖名称	样品类型	微生物丰度	种群分类单元数/ OTUs	微生物类别	参考文献
纳木错	水样	$1.5 \times 10^5 \sim 12.3 \times 10^5$	355	细菌	Liu et al ^[5] , 2013
	水样	15.13×10^4	23~44	古菌	Hu et al ^[6] , 2010
青海湖	水样	—	92	古菌	Jiang et al ^[7] , 2009
	水样	—	50	细菌	Jiang et al ^[8] , 2010
	水样	$10^5 \sim 10^6$	265	古菌	Jiang et al ^[9] , 2009
	水样	$10^6 \sim 10^7$	215	氨氧化细菌	Jiang et al ^[9] , 2009
	水样	$1.89 \times 10^5 \sim 5.47 \times 10^5$	102	光合异养细菌	Jiang et al ^[10] , 2009
尕斯库勒湖	水样	—	66	细菌	Jiang et al ^[8] , 2010
	水样	—	94	古菌	Jiang et al ^[7] , 2009
小柴旦	水样	—	56	细菌	Jiang et al ^[8] , 2010
	水样	—	95	古菌	Jiang et al ^[7] , 2009
茶卡盐湖	水样	—	24	古菌	Jiang et al ^[7] , 2009
	沉积物	$2 \times 10^8 \sim 8 \times 10^8$	33	细菌	Jiang et al ^[11] , 2007
阿翁错	水样	$1.0 \times 10^5 \sim 8.1 \times 10^6$	339	细菌	Wang et al ^[12] , 2011
	沉积物	$4.8 \times 10^{10} \sim 2.6 \times 10^8$	18	细菌	Xiong ^[13] , 2014
察尔汗盐湖	水样	—	88	古菌	Jiang et al ^[7] , 2009
扎布耶盐湖	沉积物	—	23	细菌	张现辉等 ^[14] , 2010
	沉积物	—	60	古菌	范华鹏等 ^[15] , 2003
	水样	—	3	藻、细菌	郑绵平等 ^[16] , 1985
大浪滩	沉积物	—	127	细菌	孔凡晶等 ^[17] , 2010

盐度对微生物种群丰度的影响,与大型生物的趋势有所不同,在盐湖中,随着盐度的增加,微生物物种丰度有增加的趋势,如图2所示。

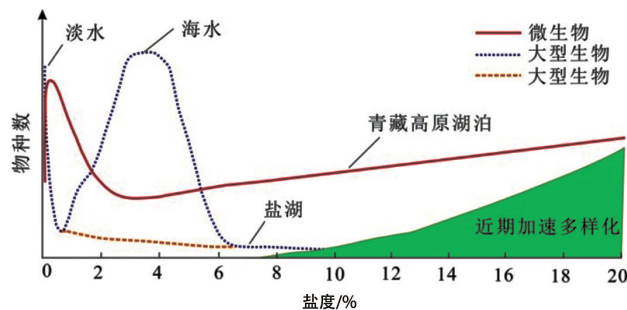


图2 青藏高原微生物物种丰度随盐度增加的变化趋势与大型生物的对比如^[12]

Fig. 2 Differences in richness patterns between prokaryotes in Tibet Plateau and macro-organisms along salinity gradients

3 嗜盐微生物资源应用前景

青藏高原嗜盐微生物,由于研究程度比较低,有许多新类型还没有被认识,具有重要的理论和应用价值。在理论研究方面,有关嗜盐菌的嗜盐机理的研究,包括细胞膜、细胞壁

结构性成分和功能性成分的稳定性、反应动力学、酶系的性质、代谢途径及信息传递、蛋白质核酸成分及构象等方面,为人们认识生命起源、生命本质提供了得天独厚的研究材料;在应用方面,嗜盐微生物能在高盐度下生长,具有容易培养、对无菌培养条件要求不高等特点,具有的独特的结构物质、产生极端酶、积累相容性溶质,在工业、医药、环境、食品及材料等领域具有广阔的应用前景。根据以往的研究,嗜盐微生物的应用领域主要在以下几个方面。

3.1 嗜盐菌的细菌紫质红质

嗜盐菌(*Halobacterium salinarium*)产生红紫色菌体,这种菌体的细胞膜上,有紫膜膜片组织,约占全膜的50%,由25%的脂类和75%的蛋白质组成。现已发现4种不同功能的特殊的色素蛋白-视黄醛蛋白,即细胞视紫红质(Bacteriorhodopsin, BR)、氯视紫红质(Halorhodopsin, HR)、感光视紫红质I(Sensoryrhodopsin I, SR I)及感光视紫红质II(Sensoryrhodopsin II, SR II)。对盐生盐杆菌的BR研究最透彻,由3个BR分子构成的三聚体可在细胞膜上形成1个刚性的二维六边形的稳定特征结构,即紫膜。紫膜中含有的菌视紫素或称视紫红质,是由菌视蛋白与类胡萝卜素类的色素以1:1结合组成的极端嗜盐菌的质子泵“紫膜”蛋白,分子量26.5 kD,是1条含有248个氨基酸的多肽单链。紫膜由于在吸收1个光子并泵出1个质子的过程中,伴随着一系列中间态的出现而

产生电场变化,因此是1个简单而精巧的光能转换器。BR分子的独特优点在于:容易分离,价格比较低;质子泵比较稳定,在光照下、氧气中以及值域很宽的酸碱度(pH值0~11)和温度(-196~70℃)等条件下都极端稳定;可制备成干膜,并可结合在一些聚合物中;光子效应高,可利用其光循环或电荷转移特性构建光学或电子学器件;存在长寿命的中间体。嗜盐菌的细菌紫质红质有望用于光学信息处理与光储存、生物芯片与生物计算机、全息照相与存储、仿视觉功能人工视网膜、图像传感器和运动传感器等高科技产业领域^[18]。

3.2 生物可降解塑料

生物可降解塑料“聚羟基脂肪酸酯(PHA)”是多种细菌和某些嗜盐古菌在非平衡的营养条件下产生的一类胞内聚合物,它们具有生物可降解性及组织相容性等特色,是日常生活中可作为传统塑料的替代品,以解决“白色污染”等环境问题。其中,聚羟基丁酸酯(PHB)和聚羟基丁酸戊酯(PHBV)是2种最为常见的PHA类型,但PHBV比PHB具有更好的材料性能。与细菌不同,多数极端嗜盐古菌在不添加PHV相关前体的培养条件下,能够利用廉价非相关碳源合成PHBV,而绝大多数细菌没有这一能力。因此,通过进一步遗传、代谢和发酵工程优化,嗜盐古菌有望成为生产PHBV最价廉物美的细胞工厂。地中海富盐菌(*Haloferax mediterranei*)积累PHB的量能达到细胞干重的60%,利用廉价的淀粉作为唯一碳源可产生6 g/L的量。PHB回收也比较简单,因为将极端嗜盐菌转入低盐浓度溶液会使细胞破裂,从而将PHB释放出来。另一优势是,嗜盐菌可以在开放的盐池里很容易进行培养,且污染风险小^[19-20]。

3.3 化妆品

依克多因(Ectoine, 1, 4, 5, 6-四氢-2-甲基-4-嘧啶羧酸)是一类具有亲水性和两性离子特征的有机小分子,可视作为氨基酸的环化衍生物或部分氢化的嘧啶衍生物,广泛存在于嗜盐或耐盐菌胞内。在嗜盐菌细胞受到盐胁迫时,在细胞中大量积聚,可抵抗高渗透压的冲击,作为生物大分子与整个细胞的稳定剂以及压力保护剂,有助于细胞抵抗冷冻、高温高压、高盐干旱、酸碱辐射等各种逆境因素的影响。依克多因对皮肤有很好的保湿及修复保护作用,是化妆品中重要的生物制剂,并且只有通过生物技术方法获得。目前,已建立了用极端嗜盐菌(*Halomonas elongata*)生产依克多因的生物技术生产流程,称为“细菌产奶”^[19]。

3.4 药品

嗜盐微生物在长期的进化过程中,形成了独特的生物活性物质合成或代谢途径,新的调控机制以及与这些生理生化相关的新的基因,能够产生普通生物没有的生物活性物质,是许多新抗生素和结构新颖的活性化合物的来源。利用嗜盐古菌产生的1种84 kD蛋白质,可以用于测定癌症患者血清中的原癌基因*myx*的产物所产生的抗体,其效果比用大肠杆菌基因工程菌中产生的人MYX蛋白有更高的阳性率,效果更好。嗜盐古菌具有敏感模式,可用于细胞抑制药物靶位,

而盐杆菌GRB-1携带有1种质粒,可用于筛选新型的抗肿瘤药物。从弱嗜盐芽孢杆菌PHM-PHD-090发酵液中分离出1种新的异香豆素PM-94128,对肿瘤细胞P388、A549、HT-29、MEL-28表现出极强的细胞毒活性。嗜盐链霉菌可代谢产生1种结构新颖的水溶性生物碱,具有抗肿瘤活性及抑制蚊虫活性^[1]。

3.5 食品及饲料

盐藻是世界范围内高盐环境的主要初级生产者,是最耐盐的真核生物,能在饱和的盐溶液中生长。杜氏藻盐藻富含胡萝卜素及高蛋白,可以直接作为食品。早在20世纪80年代初,郑绵平等就在西藏扎布耶盐湖发现杜氏盐藻大量繁殖,研究表明是1种比较耐寒的新的杜氏盐藻新类型。目前,在世界范围内,建立了大量的盐藻培养的生产工厂或基地,生产杜氏藻的厂家及公司主要有10余家,产品主要有干藻粉及植物油浓缩物。采用的技术有所不同,从泻湖的粗放培养,到可控制条件的高细胞密度的集约化培养。其中1种诱导大量类胡萝卜素积累的生物技术是降低营养水平,减少生长率。细胞中大量的类胡萝卜素的产生,可能是由于营养的限制和高强度的光照。盐藻目前市场需求大,而供应少,存在较大的供应缺口。

3.6 农作物抗盐性改良

极端微生物基因资源具有提高农作物抗逆性的巨大潜力。中国地理环境复杂多样,高寒、干旱和高盐碱地区面积广大,限制了农业生产。极端微生物具有能够耐低温、耐高盐碱、耐干旱等极端环境的特殊功能基因,例如嗜盐、碱菌能够在5%以上的盐浓度至饱和盐度的环境中生活,因此极端微生物是设计耐盐碱、耐干旱的农作物品质和改造传统工业微生物的重要基因资源。

3.7 污水处理

环境污染已成为社会可持续发展的严重障碍。嗜盐菌具有相当广泛的代谢多样性,可以分解高盐环境中的饱和烃类和芳香族碳氢化合物等有机污染,对工业废水的处理极具应用价值。从盐水中分离的富盐菌属(*Haloferax*)菌株,能够降解各种芳烃化合物如苯丙酸盐。中度嗜盐的异单胞菌属(*Alteromonas*)菌种能够降解有机磷化合物,包括神经气体。属于 α -蛋白水解细菌的反硝化嗜盐菌,可以在脱氮条件下,产生三甲胺脱氢酶,在厌氧和有氧条件下降解三甲胺。三甲胺是1种发出恶臭的污染物,能够抑制大分子的生物合成和导致动物胚胎畸形,常见于鱼类生产工业排出的废液中。还有另外一些中度嗜盐菌表现出降解苯酚的能力,能够降解99%的苯酚,以及一些耐受重金属污染物的嗜盐菌,用于处理重金属污染盐水^[19,21]。

4 结论

青藏高原独特的自然地理条件,孕育了独特的嗜盐微生物资源,这类微生物在科学研究及应用领域都具有重要的价值。目前,盐藻、螺旋藻作为色素和食品已实现产业化生产,

极端嗜盐菌(*Halomonas elongata*)生产依克多因的技术已投入应用。虽然,嗜盐微生物在细菌紫质红质、生物可降解塑料、抗肿瘤药品、污水处理等领域具有广阔的应用前景,但仍处于试验研究阶段,需要投入更多的科技力量,加强该领域的研究及开发利用。

参考文献(References)

- [1] 刘光琇. 极端环境微生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
Liu Guangxiu. Extreme environmental microbiology[M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [2] Kushner D J. Growth and nutrition of halophilic bacteria[J]. The Biology of Halophilic Bacteria, 1993(1): 87-103.
- [3] Grant W D, Gemmell R T, McGenity T J. Halophiles[M]//Horikoshi K, Grant W D. Extremophiles: Microbial Life in Extreme Environments. New York: Wiley, 1998: 93-132.
- [4] Oren A. Bioenergetic aspects of halophilism[J]. Microbiol Mol Biol Rev, 1999, 63: 334-348.
- [5] Liu Y Q, Yao T D, Jiao N Z, et al. Seasonal dynamics of the bacterial community in Lake Namco, the largest Tibetan lake[J]. Geomicrobiology Journal, 2013, 30(1): 17-28.
- [6] Hu A Y, Yao T D, Jiao N Z, et al. Community structures of ammonia-oxidising archaea and bacteria in high-altitude lakes on the Tibetan Plateau[J]. Freshwater Biology, 2010, 55(11): 2375-2390.
- [7] Jiang H C, Dong H L, Deng S C, et al. Response of arehaeal community structure to environmental changes in lakes on the Tibetan Plateau, northwestern China [J]. Geomicrobiology Journal, 2009, 26(4): 289-297.
- [8] Jiang H C, Deng S C, Huang Q Y, et al. Response of aerobic anoxygenic phototrophic bacterial diversity to environment conditions in saline lakes and Daotang River on the Tibetan Plateau, NW China[J]. Geomicrobiology Journal, 2010, 27(5): 400-408.
- [9] Jiang H C, Dong H L, Yu B S, et al. Diversity and abundance of ammonia-oxidizing arehaea and bacteria in Qinghai lake, northwestern China [J]. Geomicrobiology Journal, 2009b, 26(3): 199-211.
- [10] Jiang H C, Dong H L, Yu B S, et al. Abundance and diversity of aerobic anoxygenic phototrophic bacteria in saline lakes on the Tibetan Plateau[J]. Ferns Microbiology Ecology, 2009c, 67(2): 268-278.
- [11] Jiang H C, Dong H L, Yu B S, et al. Microbial response to salinity change in Lake Chaka, a hypersaline lake on Tibetan Plateau[J]. Environmental Microbiology, 2007, 9(10): 2603-2621.
- [12] Wang J J, Yang D M, Zhang Y, et al. Do patterns of bacterial diversity along salinity gradients differ from those observed for macroorganisms? [J]. Plos One, 2011, 6(11): e27597.
- [13] Xiong J B, Liu Y Q, Lin X G, et al. Geographic distance and pH drive bacterial distribution in alkaline lake sediments across Tibetan Plateau [J]. Environmental Microbiology, 2012, 14(9): 2457-2466.
- [14] 张现辉, 孔凡晶. 西藏扎布耶盐湖细菌多样性的免培养技术分析[J]. 微生物学报, 2010, 50(3): 334-341.
Zhang Xianhui, Kong Fanjing. Bacterial diversity in zabuye salt lake of Tibet by culture-independent approaches[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2010, 50(3): 334-341.
- [15] 范华鹏, 薛燕芬, 曾艳, 等. 西藏扎布耶茶卡盐碱湖古菌多样性的非培养技术分析[J]. 微生物学报, 2003, 43(4): 401-408.
Fan Huapeng, Xue Yanfen, Zeng Yan, et al. Archaeal diversity of Zabuye lake in Tibet analyzed by culture-independent approach[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2003, 43(4): 401-408.
- [16] 郑绵平, 刘文高, 向军. 西藏扎布耶盐湖嗜盐菌、藻的发现和地质生态学综述[J]. 地质学报, 1985(2): 162-171.
Zheng Mianping, Liu Wengao, Xian Jun. The discovery of halophilic algae and halobacteria at Zabuye salt lake Tibet and preliminary study on the geocology[J]. Acta Geologica Sinica, 1985(2): 162-171.
- [17] 孔凡晶, 马妮娜, Alian Wang Jan Amend. 大浪滩盐湖蒸发盐嗜盐菌培养鉴定及其天体生物学意义[J]. 地质学报, 2010, 84(11): 1661-1667.
Kong Fanjing, Ma Nina, Alian Wang Jan Amend. Isolation and identification of halophiles from evaporates in Dalantan salt lake [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(11): 1661-1667.
- [18] Margesin R, Schinner F. Potential of halotolerant and halophilic microorganisms for biotechnology[J]. Extremophiles, 2001(5): 73-83.
- [19] Ventosa A, Nieto J J. Biotechnological applications and potentialities of halophilic microorganisms[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 1995, 11(1): 85-94.
- [20] Eisenberg H, Mevarech M, Zaccari G. Biochemical, Structural, and Molecular Genetic Aspects of Halophilism[J]. Advances in Protein Chemistry, 1992, 43(6): 1-62.
- [21] Galinski E A, Tindall B J. Biotechnological prospects for halophiles and halotolerant microorganisms[M]//Herbert R H, Sharp R J. Molecular Biology and Biotechnology of Extremophiles. Glasgow: Blackie, 1992: 76-114.

Halophilic microorganisms in salt lakes on Tibet Plateau and their potential application

KONG Fanjing, WANG Xianjie

MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China

Abstract The halophilic microorganisms, living in salt lakes distributed over the Tibet Plateau, “The third polar of the Earth”, are unique bio-resources. The main species groups of the halophilic microorganisms and their response mechanism to the saline stress are reviewed in this paper, as well as the advances of studies of the halophilic microorganisms in the Tibet Plateau and the potential applications of these kinds of bioresources. The halophilic microorganisms are novel and unique bioresource in understanding the life origin and the nature of life, as well as in exploring the new type of food, medicine, materials and the biotechnology.

Keywords Tibet Plateau; salt lakes; halophilic microorganism resources

(责任编辑 韩星明)