

嗜酸菌及其应用

李 雅 琴

(中国科学院微生物研究所 北京 100080)

关键词 嗜酸菌, 极端环境, 应用

分类号 Q939

自然界大多数环境的 pH 值为 5~9, 它适合多数微生物生长。嗜酸菌是一种能在低 pH 条件下生长和繁殖的极端环境微生物^[1-3], 通常在 pH2~5 生长很好, pH5.5 以上生长不好。有些嗜酸菌在中性 pH 条件下根本不生长, 如氧化硫硫杆菌 (*Thiobacillus thiooxidans*), 酸热硫化叶菌 (*Sulfolobus acidocaldarius*), 酸热芽孢杆菌 (*Bacillus acidocaldarius*) 等, 最佳生长 pH 是 2.0~3.0, 这些都是专性嗜酸菌。一些真菌也能在 pH5.0 或更低条件下生长, 实际上是耐酸菌。

1 嗜酸菌生态分布及其对环境适应机制

嗜酸菌生长在酸性环境, 这主要与硫或硫化物的存在和氧化有关^[4,5]。硫矿和金属硫化矿酸性矿水、煤矿排水、含硫的酸性土壤以及其它人为酸性环境等, 生存着中温嗜酸菌, 如硫杆菌和钩端螺菌 (*Leptospirillum*) 等。地热区酸性热泉和硫质喷气孔以及海底热液口, 生存着嗜热嗜酸菌, 如硫化叶菌、嗜酸两面菌 (*Acidianus*) 和金属球菌 (*Metallosphaera*) 等, 这些都是嗜热古菌。从发热的废煤堆和热泉分离的热原体 (*Thermoplasma*) 也是嗜热古菌。在这些化能自养菌生存的酸性环境里, 常常伴有异养菌, 例如, 污染氧化亚铁硫杆菌 (*Thiobacillus ferrooxidans*) 的是嗜酸菌 (*Acidiphillum*), 热泉中的异养菌是芽孢杆菌。在热的酸性环境里还生存着中度嗜热菌。

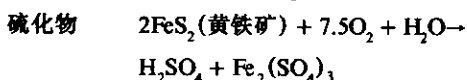
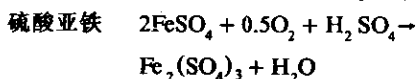
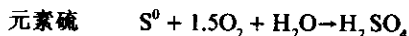
嗜酸菌必须生长在酸性环境, 特别是专性嗜酸菌, 在中性条件下细胞质膜会溶解, 细胞也即溶解, 这表明只有高浓度 H^+ 才能使细胞质膜维持稳定。许多研究已经证实, 尽管嗜酸菌的生长介质是酸性, 而细胞内 pH 则近于中性, 细胞的酶和代谢过程通常与中性细菌一样。近年来, 磁共振技术的应用也证实这点。有关嗜酸菌细胞内维持中性、适应外部酸性环境机制的解释主

要有三种^[1-3,6,7]。其一, “泵说”, 就是米切尔 (Mitchell) 化学渗透说, 认为膜内质子通过呼吸链“泵”到膜外, 膜运载蛋白与 H^+ 结合, 利用质子动力将结合的基质运送到细胞内, 从而使膜内保持一定 H^+ 浓度; 其二, 屏蔽说 (barrier), 认为细胞质膜是两种环境的渗透屏蔽物, 使外部 H^+ 或 OH^- 都不能进入细胞内; 其三, 道南 (Donnan) 平衡说, 认为细胞质膜存在高分子电解质, 产生的大离子不能透过膜。所构成的道南电位使小离子向膜两侧扩散达到平衡, 则膜外过量的 H^+ 不能进入膜内, 致使膜内维持中性状态。实际上研究发现, 即使终止呼吸系统和能量代谢, 细胞内仍保持着中性, 此时泵说和平衡说并不能解释细胞内呈中性的原因, 而用细胞质膜对 H^+ 的不通透性才能说明问题。

2 嗜酸菌分类及其主要特征

根据嗜酸菌对营养的要求, 分成化能自养菌和化能异养菌, 即无机化能营养菌和有机化能营养菌, 这些菌的主要特征如表^[3-5]。

化能自养嗜酸菌又分为专性自养菌、兼性自养菌和混合营养菌, 目前报道了 7 个属 15 个种。这些自养的嗜酸菌多数都好氧, 在酸性环境里通过氧化 Fe^{2+} 、元素硫以及其它无机硫化物获得能量, 以空气中 CO_2 为唯一碳源合成细胞成分, 产生硫酸和硫酸盐。主要氧化反应如下:



1997-04-25 收稿

嗜酸菌分类及主要特征

菌 名	能 源					G+C mol%	pH (范围)	TC (最佳)
	S ⁰	硫化物	硫氧化物	Fe ²⁺	有机物			
* <i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	—	+	—	+	—	51-56	1.5-4.0	25-30
* <i>Thiobacillus albertis</i>	+	—	—	—	—	61.5	2.0-4.0	25-30
* <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	+	+	—	+	—	55-65	1.3-4.5	30-35
* <i>Thiobacillus prosperus</i>	—	+	—	—	—	61-64	1.0-4.0	30-35
* <i>Thiobacillus thiooxidans</i>	+	—	+	—	—	51-53	0.5-5.5	25-30
* <i>Thiobacillus acidophilus</i>	+	—	+	—	+	61-64	1.5-5.5	25-30
* <i>Thiobacillus cuprinus</i>	+	+	—	—	+	66-69	3.0-4.0	30-36
* <i>Sulfidobacillus thermosulfidooxidans</i>	+	+	—	+	+	46-49	1.9-2.4	50
* <i>Sulfobacillus thermosulfidooxidans</i>	+	+	—	+	+	37	1.1-5.0	50
* <i>Acidianus infernus</i> (古菌)	+	—	—	—	—	31	1.0-5.5	88
* <i>Acidianus brierleyi</i> (古菌)	+	—	—	—	+	31	1.0-6.0	70
* <i>Metallosphaera sedula</i> (古菌)	+	+	—	—	+	45	1.0-4.5	75
* <i>Sulfolobus acidocaldarius</i> (古菌)	+	+	+	—	+		1.0-6.0	80
* <i>Sulfolobus shibatae</i> (古菌)	+	—	—	—	+	35	3.0	81
* <i>Sulfolobus solfataricus</i> (古菌)	+	+	—	—	+	36	3.0-5.5	87
** <i>Thermoplasma acidophilum</i> (古菌)	+	—	—	—	+	46	0.5-4.0	59
** <i>Thermoplasma volcanicum</i> (古菌)	+	—	—	—	+	38	1.0-4.0	60
** <i>Acidiphilium angustum</i>	—	—	—	—	+	67	2.5(-5.9)	31-41
** <i>Acidiphilium cryptum</i>	—	—	—	—	+	66-70	2.5-5.9	31-41
** <i>Acidiphilium facilis</i>	—	—	—	—	+	65	2.5(-5.9)	31-41
** <i>Acidiphilium organovorum</i>	—	—	—	—	+	64	2.0-5.9	31-41
** <i>Acidiphilium rubrum</i>	—	—	—	—	+	63	2.5(-5.9)	31-41
** <i>Acidothermus cellulolyticus</i>	—	—	—	—	+		3.5-7.0	50-60
** <i>Acidomonas methanolica</i>	—	—	—	—	+		2.0-5.5	30-37
** <i>Bacillus acidocaldarius</i>	—	—	—	—	+	62	2.0-6.0	60-65

注: * 自养菌 ** 异养菌

可见,嗜酸菌在受益于酸性环境的同时又催化产酸过程,是酸性水形成的主要因素,在硫及其它元素地球化学循环中起着重要作用。

目前报道的化能异养嗜酸菌共有 5 个属 10 个种,其生命活动所需能源和碳源主要来自有机物,生长代谢过程并不产硫酸。由于这些异养菌常与自养菌伴生,所需要的有机物主要来自自养菌代谢产物或死亡细胞分解产物。

在这些嗜酸菌中,有 4 个属 8 个种是近廿年从地热区等高温环境分离的嗜热古菌(Archaea),最高生长温度可达 90℃ 以上。除此之外,还有类似硫杆菌的中度嗜热嗜酸菌,最适生长温度 45℃~50℃,是混合营养型细菌,其名称还有待进一步研究确定。

3 嗜酸菌的应用

对嗜酸菌应用研究较多的是无机化能自养菌,这些嗜酸菌氧化 Fe²⁺、元素硫以及硫化物矿物的生理特性,被用在冶金、环保和农业等领域。

用细菌从矿石中提取金属称作细菌浸出或生物湿法冶金。自从四十年代末首次从酸性矿水中分离到硫杆菌以来,细菌浸出在冶金工业上获得成功应用主要是三种金属的回收:铜、铀和金^[1,2,8-11]。细菌法生产的铜占世界产量的 15%,美国用生物方法生产铜最多,1991 年报道占该国铜产量 25% 以上。加拿大用生物方法回收铀现在占该国铀产量 12%~13%。1986 年,南非建成世界上第一个生物氧化提金厂。1989 年,美国曾设计并投产世界上最大的微生物氧化提金厂。澳大利亚和巴西等国在九十年代也相继建成生物氧化提金厂。同时,锰、锌、钴、镍等金

属的细菌浸出研究有的已进入扩大试验阶段。Gorham 跨国公司预计,到2000年用生物方法生产金属年产值在世界将达900亿美元。近十几年来,由于环境污染的日益严重和由此产生的环境保护政策,使生物方法洁净煤技术的研究受到关注。主要是用嗜酸硫杆菌脱除煤中无机硫,欧共体已投产建成煤日处理量1.2吨的生物脱硫试验厂^[12]。后来的研究表明,嗜热嗜酸菌(如硫化叶菌)既能脱除煤中无机硫也能脱除有机硫。嗜酸硫杆菌还可以用来处理含硫废气、改良土壤等^[13],生物技术回收金属和煤炭脱硫较常规方法的优越性在于设备简单、操作方便、投资少、能消除或减少环境污染等。

嗜热嗜酸菌是耐热酶的重要来源,已分离出乙醇脱氢酶、葡萄糖脱氢酶、苹果酸脱氢酶、柠檬酸合成酶、 β -半乳糖苷酶等^[14,15]。这些酶的共同特点是高水平热稳定性和抗变性,使工业生产过程能在高温下进行,一方面能提高反应速度,另一方面能减少微生物污染,并且还可以省去冷却设备。目前,这些耐热酶的应用还处于研究阶段,然而高温酶的使用将开辟新的酶工业领域。

无机化能自养嗜酸菌生长缓慢,细胞得率低,既限制了实际应用,也使进一步研究其生理生化特性更加困难。因此,需要用分子生物学技术改良菌种。南非 Rawlings 等人曾用遗传工程手段获得氧化亚铁硫杆菌抗砷菌株,用于金精矿的浸出可提高金的回收率^[16]。这一成功不仅丰富了自养菌遗传学研究内容,而且使基因工程改造菌株在矿冶工业上应用成为可能。

4 结语

嗜酸菌是极端环境微生物的重要类群之一,在生产上所获得的应用以及在新的酶工业领域的可能应用,展现了它的潜在应用前景。嗜热嗜酸菌是古菌的重要成员,被认为是地球上最古老的生命形式^[3]。可见,嗜酸菌不但在地球的物质循环中起着重要作用,而且为探索生命起源和生物演化提供重要材料和线索。因此,对嗜酸菌的研究还具有重要的科学意义。

参 考 文 献

- [1] Edwards C, Microbiology of Extreme Environments, New York: McGraw-Hill publishing company, 1990, 33~54.
- [2] Herbert R A and Sharp R J, Molecular Biology and Biotechnology of Extremophiles, New York: Blackie Glasgow and London Published in the USA by Chapman and Hill, 1992, 115~142.
- [3] Brock T D, Madigan M T, Martinko J M et al., Biology of Microorganisms, seventh edition, New Jersey 07632: Prentice Hall, Englewood cliffs, 1994.
- [4] Holt J G, Krieg N R, Sneath P H A et al., Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, ninth edition, Baltimore: A Waverly company, 1994.
- [5] Staley J T, Bryant M P, Pfening N et al., Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, vol. 3, Baltimore, Hong Kong, Sydney, Williams & Wilkins, 1989.
- [6] Krulwich T A and Guffanti A A, Advances in Microbial Physiology, 1983, 24:173~186.
- [7] 李季伦,张伟国,杨启瑞等,微生物生理学,北京:北京农业大学出版社,1993.
- [8] MWaba CC: XVIII International Mineral Processing Congress, Sydney, 1993. 23~28.
- [9] Zeikus J G and Johnson E A, Mixed Culture in Biotechnology, New York: McGraw-Hill Book Co., 1991, 373~427.
- [10] Lindatron E B, Gunneriusson E and Tuovinen O H, Critical Reviews in Biotechnology, 1992, 12:133~155.
- [11] Hsu C H, Harrison R G. Hydrometallurgy, 1995, 37(2):169~180.
- [12] Rossi G. Fuel, 1993, 72(12):1581~1592.
- [13] 郑士民,庄国强,吴志红. 微生物学报, 1993, 33(3): 192~198.
- [14] Coolber, T, Daniel R M and Morgan H W. Advance in Biochemical Engineering Biotechnology, 1992, 45: 57~98.
- [15] Danson M J, Hough D W and Lunt G G, The Archaeobacteria: Biochemistry and Biotechnology, London and Chapel Hill: Portland Press, 1992:171~180.
- [16] Rawlings D E and Kusano T, Microbiological Reviews, Mar., 1994, 58(1):39~55.

[1] Edwards C, Microbiology of Extreme Environments,