

极端微生物专栏

嗜碱微生物

马延和

(中国科学院微生物研究所 北京 100080)

最适生长在 pH8.0 以上,通常在 9~10 之间的微生物,称之为嗜碱菌 (*alkaliphiles*),而能在高 pH 条件下生长,但最适值并不在碱性 pH 范围的微生物,称为耐碱菌 (*alkalitolerant*),在嗜碱菌中,有些菌在 pH 中性或以下不能生长,称为专性嗜碱菌 (*obligate alkaliphiles*),而有些菌在 pH 中性或以下可以生长,称为兼性嗜碱菌 (*facultive alkaliphiles*)。嗜碱菌的价值已被广泛认识,它不仅在工业应用上具有特殊的优势和特点,还可作为研究生命原理的模式系统,如膜交换机制、蛋白质结构与功能等,并将加强我们对生物多样性的认识。

自从 Mitechli 的化学渗透理论形成以来,嗜碱菌始终令生理学家困惑。一般认为,细胞内外 H^+ ($\Delta\mu_H$) 的电化学梯度,为 ATP 合成、物质运输和其它诸如鞭毛运动等需能过程提供能量。而嗜碱菌具有一个反转的 ΔpH ,它应有某些方式来补偿降低了的 $\Delta\mu_H$,或者有非 $\Delta\mu_H$ 依赖的能量产生机制。这确实对已被广泛接受的化学渗透理论提出了挑战。另外, pH 会影响代谢的氧化还原反应和离子状态,会影响代谢物和离子的活性,影响蛋白质、核酸、碳水化合物等细胞组份的生物学和化学活性。而嗜碱菌却要求在碱性条件下生长,必然有其特殊的生理机制、遗传背景及其分子基础。

生物多样性 自从 1928 年 Downic A. W 发现第一个嗜碱菌 *Streptococcus faecalis* 以来,大量不同类型的嗜碱菌已经从土壤、碱湖、碱性泉甚至海洋中分离到,包括有细菌、真菌和古菌。许多菌经过了表型(数值)分类、化学分类或系统发育学分析,其中 G⁻ 菌的大部分属于 *Proteobacteria* 的 *gamma* suboivision, 与 *Halomonas* 相近的可能有新属存在,另外有些与 *Pseudomonas* 相近,还有一些菌具有独特地位。G⁻ 菌更复杂,大部分尚没有充分的研究,通过 16srRNA 基因进行的系统发育学

分析,揭示了嗜碱菌具有丰富的生物多样性,其分类学工作尚待进一步发展。

由于大部分碱湖伴有高盐,许多嗜碱菌同时也是嗜盐菌,如 *Natronococcus* 和 *Natronobacterium* 等。除了嗜盐嗜碱菌外,嗜碱菌中也有其它极端菌如嗜冷、嗜热等。

嗜碱菌的生理 为了保证生物大分子的活性和代谢活动的正常进行,细菌细胞质的 pH 不能很高,当细胞呼吸时排出 H^+ , 细胞质变碱,为了维持 pH 平衡,需要 H^+ 重新跨膜进入细胞,这由反向运输系统排出阳离子将 H^+ 交换到胞内来完成。嗜碱菌可以在 pH10~11 最适生长,但胞内也要维持 pH7~9 以下, Na 离子 - 质子反向运输是嗜碱菌细胞质酸化基本的原因,为了使其发挥作用,需要胞内有足够 Na^+ , Na^+ 的跨膜循环是必要的。相关嗜碱菌 Na^+ / H^+ 反向运输的基因已经从嗜碱菌 *Bacillus C-125* 中得到了克隆。

化学渗透理论的能量产生原则是通过细胞呼吸排出 H^+ , 产生化学电位 ($\Delta\mu_H$), 嗜碱菌的 ATP 合成动力不是局域性的 H^+ 浓度梯度,而是不可思议的 Na^+ 梯度。但是,嗜碱菌的 ATP 合成酶还是 H^+ 偶联的,而不是 Na^+ 偶联,只是它不随 pH 而变化, Na^+ 在嗜碱菌的生理学上充当着中心的角色,除了平衡胞内外 pH, 帮助能量产生外, Na^+ 对物质运输的功能也是重要部分,这样的运输在真核生物中是常见的,但对需 H^+ 的细菌来说又是很少见的。

生物技术应用 嗜碱菌的碱性酶已经得到广泛应用,如蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等。嗜碱菌的碱性酶不仅具有直接应用在高 pH 下稳定的特点,其结构与功能的研究对于中性酶的改造也有重要意义。随着嗜碱菌资源的开发及嗜碱机制的阐明,嗜碱菌及其极端酶将在生物技术发展中发挥更大的作用。