

海洋细菌在微食物环中的作用*

THE ROLES OF MARINE BACTERIA IN MICROBIAL FOOD LOOP

肖 天

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

关键词 海洋细菌,微食物环

20 多年前科学家就认识到海洋细菌在海洋食物网中的作用,主要是消耗有机碳。1974 年, Pomeroy 提出了微型食物网的概念,并认为微型食物网在海洋生态系中是非常重要的,同时,根据各方面的数据指出,微小的异养生物能消耗大量溶解的和颗粒的有机物。他的这些观点和假设到 1977 年 Hobbie 将落射荧光显微镜技术应用于海洋细菌的计数后,得到了广泛的认同。因为荧光技术的应用使人们发现海洋中存在着大量的细菌。随后在 1979, 1980, 1982 年, Hagstrum, Fulman 和 Azam 相继发现异养细菌生产力也相当大,相当于初级生产力的 10% ~ 30%。如果海洋细菌的生长效率是 50% 的估计是正确的,那么异养细菌的生产就要消耗大约相当 20% ~ 60% 初级生产力的有机碳。Williams 在 1981 年根据细菌生物量和生产力也得到了同样的结果;他还认为初级生产力的生产过程,将使 60% 的初级生产力变成可溶性有机碳 PDOC,而这部分有机碳最终将被细菌吸收利用。Azam 等科学家在 1983 年又提出了微食物环,即相当数量的有机

物是通过原核生物和非常小的真核生物の利用,并转化成自身的颗粒有机物被微型的草食性捕食者,捕食后者再被大的浮游动物捕食进入主食物链。而上述过程被称之为微食物环。这一概念的提出,使海洋生物学家对海洋细菌的生物量和生产过程更加关注。一些国际海洋研究项目如全球海洋生物系统动力学研究 (GLOBEC), 全球海洋通量联合研究 (JGOFS) 和海陆相互作用研究 (LOICZ) 等,都把海洋细菌的研究作为主要内容之一。

近几年来随着对海洋细菌研究的增多,积累了大量的数据,特别是细菌生物量和生产力时空分布研究的结果,验证了 Williams 1981 年和 Azam 1983 年的假设和推论。海洋细菌生物量和生产力的最新研究表明

* 国家重点基础研究专项经费资助项目 (G19990437); 国家自然科学基金重大项目 49790010 号;中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4010 号。

收稿日期:2000-03-06;修回日期:2000-04-06

海洋细菌在微食物环中的作用更加重要。Fuhrman 1992 年应用一系列新的研究方法和手段发现异养细菌生产力平均相当于初级生产力的 20%，而有的海域超过 30%。同时他还认为随着一些新方法新技术的应用，海洋细菌的重要性将会被更好地认识。

对海洋细菌细胞个体的重量测定研究发现，海洋细菌细胞的转化因子比在实验室培养的较大细菌细胞大 3 倍以上。通常海洋细菌的转化系数是 $300 \sim 500 \text{ fg}/\mu\text{m}^3$ ，而海洋细菌的个体大约在 $0.036 \sim 0.073 \mu\text{m}^3$ 之间，每个细菌细胞大约含有 20 fg 和 15 fg 。这些研究更加认识到海洋细菌生物量如此之大，生产力如此之高，那么它在微食物环中的能流和物流过程如何？我们可以从图 1 中得到一些答案。海洋细菌在微食物环中受到温度和可溶性有机碳的支持，同时又受到微型浮游动物和病毒的控制。最近的研究发现海洋细菌生产力可相当于 10%~80% 的初级生产力，而海洋细菌的生长效率考虑呼吸的消耗大约只有 15%~25%^[3]，这比以前的 50% 低。即同一海域同样的细菌生产就需要更多的可溶性有机物，而初级生产力产生的可溶性有机碳往往满足不了细菌生产力的需要。因此大量的外源有机物，将是支持细菌生产力高生产的重要资源。一些海洋生物学家据此认为某些海域是异养的。但原绿球藻 (*Prochlorococcus*) 的发现使这一争论更加复杂化。无论如何，外源可溶性有机物 (DOM) 是细菌生产重要的能源是毫无疑问的。

另外海洋水温与海洋细菌生物量和生产力正相关这一研究结果已在不同海域已被多次证实，在此不再论述。

海洋细菌生产力的控制因子之一，是海洋微型浮游动物，从图 1 中可见有约 19% 的细菌生产力被微型浮游动物消耗，这主要是异养鞭毛虫。研究发现 $200 \mu\text{m}$ 以下的草食性浮游动物对海洋细菌都有捕食作用，这其中包括异养鞭毛虫 ($2 \sim 20 \mu\text{m}$)，纤毛虫 ($20 \sim 200 \mu\text{m}$) 和一些动物的幼体。这个过程不仅仅是按颗粒大小而排列的直线传递，而是一个多渠道的能流、物流过程，因此引发了一些科学家关于微食物环和微食物网的争论。作者的研究也发现不同海域不同季节海洋细菌的主要能流和物流过程不同，如渤海春末海洋蓝细菌主要被小型浮游动物 (纤毛虫) 捕食，捕食压力约 30%。在汇泉湾春季和秋季也有相同的结果^[2]。但在东海夏季近岸海域海洋蓝细菌主要被微型浮游动物捕食，捕食压力约 20%，而在东海冲绳海

槽海域和台湾东部以及浙闽沿岸深水区 (500 m 以下) 夏季海洋蓝细菌可能是被海洋病毒消耗。国外的研究也有类似的结果，但根据生物量推算微型浮游动物 (异养鞭毛虫) 是海洋细菌的主要捕食者。也可以说，微食物环是主流，而微食物网中有支流。但不同时间不同海域，主流与支流可能相互替换或取代，也可能是相互补充，从而增加海洋细菌生产力的效率。这也更显示出微食物环的高效和重要。

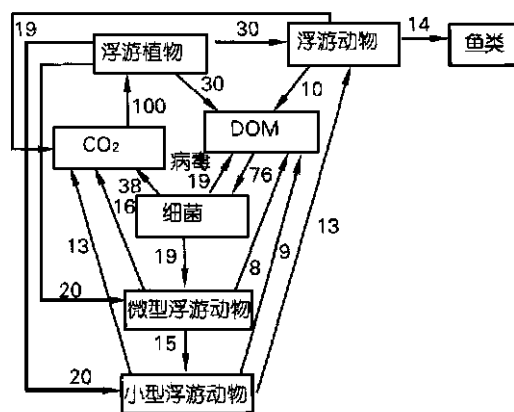


图 1 海洋食物网的碳通量模型示海洋细菌在海洋生态系统中的作用 (引自 Fed Fuhrman, 1992)

海洋病毒是海洋细菌生产力另一重要控制因子，从图 1 中也可以看到大约 19% 的细菌生产力被病毒消耗。1991 年 Haldal 等认为病毒裂解致死占异养细菌死亡率的 60%，1992 年 Fuhrman 等研究表明，3.2% 的异养细菌体内含有成熟的噬菌体。这正是海洋环境中原生动物对细菌的摄食压力不足以解释异养细菌死亡率的原因之一。Cochlan 1992 年在几个不同海域做了病毒的垂直分布的研究，发现细菌丰度与病毒丰度有很好的相关性，这种相关性达到 67%。Weinbauer, M.G. 1995 年对多种微生物动力学参数进行多元回归分析的结果表明，病毒对细菌丰度的裂解调控作用可能远远超过异养鞭毛虫的摄食调控作用^[4]。假如这一结果正确，那么细菌的大量裂解，必然导致对原生动物营养贡献的减少，降低了海洋细菌在食物环中向上一营养级能量的输送。同时又有大量的细菌细胞内含物进入可溶性有机碳库中，重新加入到微食物环中的物质循环中。这样裂解与摄食的双重压力，暗示着细菌对营养物 (DOM) 的利用转化效率远远高于我们原先的估计，也就是说细菌生产需要消耗更多

的有机物。因此科学家们认为,微食物环中的物质转化和能量流动过程在细菌泵、病毒泵的作用下更加剧烈^[1]。

综上所述,作者认为在今后的研究中首先要加强海洋细菌的研究工作,使它象初级生产力研究那样普遍,因为它与初级生产力在海洋生态系统中同样重要。另外还要加强异养鞭毛虫的研究工作,它是海洋细菌的主要捕食者,它决定着海洋细菌向上一级营养的能量传递效率。其次是海洋病毒的研究,如果把病毒的生态作用整合到微食物环中的碳流中,并对病毒在微食物环中的生态作用进行更为精确有效的量化研究,将准确评估微食物环在生态系统中的作用。最后是海洋中可溶性有机物的研究,它虽然不是海洋生物学家研究的内容,但却是他们十分关注的问题。

这将解释海洋细菌能消耗多少可溶性有机物?初级生产力能提供多少?外源有机物能提供多少?即微食物环的源头问题。这将对微食物环在海洋生态系统中,特别是在主食物链或食物网中占有多少份额以及重要性,给出一个明确回答,也将阐明微食物环在生源要素的生物地球化学循环中的作用。🌅

主要参考文献

- 1 王 斐等。海洋科学,1998,4:41~43
- 2 肖 天等。海洋科学,1999,5:48~50
- 3 Del, Giorgio, P. A. . *Nature*, 1997, 385:148~151

(本文编辑:刘珊珊)