



## 微生物与界面

王修垣

(中国科学院微生物研究所 北京 100080)

我们生活于地球上的大气中,通常把所看到的液体和固体物的外部称作表面。按照科学的定义,这是不严格的。较为严格的是,固体物的表面是在真空状态下,物体内部和真空之间的过渡区域,是物体最外面的几层原子和覆盖其上的一些外来原子和分子所组成的表面层。在几何学上,表面是具有二维面积的一块面积。由于是二维的,它就没有厚度和体积。

界面是指两个物体相态相接触的分界面,也可称为界面层。它占有一定的厚度和面积。其厚度通常很薄,只有零点几纳米到几纳米。它难独立存在,但依赖于两边的相态。没有两相,就没有界面。物质一般都具有气相、液相和固相三种状态。两种相态相接即形成界面,但由于气体分子运动,混合很快而组成一个气相,所以通常看不到气/气界面,只有气/固、气/液、液/固、液/液和固/固五种界面。

大多数天然生境的营养状况极差,甚至不能供给微生物生长,微生物却在其中生活着。这是由于界面的存在和作用。在这里,界面相当于富集潜在营养物的部位,对微生物的分布、生长、演替和效应发生着显著的影响。认识界面在微生物生态学中的意义可以为研究在自然状况下许多微生物过程提供稳固的基础。仔细观察不同菌种在不同生境中的特性能够了解它们在界面上的行为,从而为阐明和解决许多在实践上发生的微生物学问题提供广泛的可能性。

### 1 营养物富集在界面上

界面的生化特性不同于两相体系中任何一相内存在的特性。这些独特的界面力对于离子、大分子和胶体在界面附近的分布具有重要的影响。而大多数界面呈净的负电荷,因而吸引阳离子和各种大分子。

来源于雨水,大气散落物,地表径流或地下水的各种材料富集在空气-水的界面上,形成微薄层。气泡的形成成为营养物离子和大分子在此体系中的吸附、浓缩

和迁移到表面(通称,下同)提供了一种有效的方法,也可导致在表面上选择性地富集水柱中的细菌。这种现象被称作吸附气泡分离(adsorbable)过程。这种吸附和运输的选择性可能反映着水柱中混合菌群的亲水性和疏水性的程度不同。

固体物沉浸到天然水系中,导致大分子自发吸附到固体表面上成膜。用临界表面张力测定法测得,这类膜改变了表面的自由能,并对固-液界面附近细菌的行为发生明显的影响。部分亲水、部分亲油的聚合物以相同的速度吸附到不同的表面上,但构型不同。这影响到细菌在这种表面上粘附的性质。

### 2 微生物在界面上的分布

微生物在界面上的分布方式、机制及效应依微生物的种类的不同和界面的性质为转移。运动的细菌在营养不足的生境中通常呈现趋化性反应,沿着界面附近建立的营养梯度而分布。不运动的细菌则依靠另外的机制富集在界面上。细胞表面的疏水性是影响细菌在界面上行为的主要因子。已证明,若 $\gamma_{ow}$ 是油-水界面的表面张力, $\gamma_{bw}$ 是细菌-水界面的表面张力, $\gamma_{bo}$ 是细菌-油界面的表面张力,那么,当 $\gamma_{bw} > \gamma_{bo} + \gamma_{ow}$ 时,细菌即进入油相;当 $\gamma_{bo} > \gamma_{bw} + \gamma_{ow}$ 时,细菌即进入水相。屈挠杆菌(*Flexibacter*)CW7在空气-水、油-水和固体-水界面的垂直定位以及其在液相中呈玫瑰花形的排列,是由于细胞比较疏水的尖端倾向于离开液相而引起的。

只有在界面呈正电荷时,才会把带负电荷的细菌静电吸引到界面上。这取决于双电层的斥力和 van der Waal 引力的相互作用,产生的能量取决于电解质的价和浓度。一种不运动的无色杆菌(*Achromobacter* sp.)被吸引到玻璃表面上的数量随电解质浓度的减少而减少,直到达到了所有的细菌都脱离表面的那个浓度时为止。发生斥力的临界浓度,NaCl为 $5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ , $\text{MgSO}_4$ 为 $5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 。被吸引到表面

上的细菌吸附得并不牢固,而是与表面保持着很小的距离。此过程被称作可逆的吸附作用。细菌对固体表面的粘附作用可能是暂时的,也可能是永久的。滑行细菌吸附到固体表面上并在其上滑行就是一种暂时的吸附。永久的粘附可能具有专一性或非专一性。专一性粘附是指特定的细菌吸附到特殊的表面上,它一定包含着细菌表面和固体表面的互补的分子构型之间的相互作用。例如,在肠道致病的大肠杆菌 K88,外部的细菌 K88 抗原专一地与得自小猪小肠的粘质糖蛋白中的末端 $\beta$ -半乳糖残基起反应。发光细菌和鱼结合在一起也可能具有专一性。

非专一性的粘附发生在能够永久粘附到各种固体表面的细菌,是天然生境中的普通粘附方式。在细菌和固体表面之间的斥力障碍可以为细菌的生物学和物理学的特性的综合作用所克服。有些细菌对于界面上富集的营养物起反应是通过产生胞外酸性多糖或糖蛋白,它们形成聚合物桥把细菌固定到表面上。

### 3 微生物界面效应的实践意义

微生物在界面上的生命活动必然会导致需要进行控制或可以利用的结果。兹举几例如下。

船舶和舰艇浸在水中的板面结垢最初是由细菌定居引起的。微生物膜的形成构成一种重要的结垢方式,是藤壶和藻类大量结垢的前奏。船体结垢影响航速,还会发生腐蚀穿孔等问题。根据对界面上微生物行为的

认识,有可能拟定出更合理的克服微生物结垢的方法。例如,用氯霉素抑制蛋白质合成可以防止大多数海洋细菌利用固-液界面上富集的营养物合成吸附到固体表面上的架桥聚合物,为把适于抑制微生物生长的抑制剂掺到抗结垢的涂料中提供了理论基础。也有人根据固体表面最初的临界表面张力( $\gamma_0$ )值约为  $20 \sim 30 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$  时细菌粘附最少,提出控制基质表面的性质,把微生物结垢降至最小。

重金属在水系中通常和悬浮的颗粒结合着。而粘附在颗粒上的细菌具有高水平地富集固-液界面处浓缩的重金属的特性。这些金属可以被更高营养水平的有机体所吸收。所以,可以把细菌看作是生物富集金属链的起点。

微生物可有效地用于修复被石油污染的环境。烃类降解菌大量地富集在油-水界面上。而限制微生物降解石油的一个重要因子是可供微生物定居的界面面积。许多微生物可产生乳化剂促进增加可用的界面面积。而在大量漏油时常采用商品去垢剂加速油膜的分散。同系列非离子去垢剂的去垢亲水-亲脂平衡(HLB值)对不动杆菌(*Acinetobacter* sp.)的影响的测定结果表明,细菌生长和石油降解效率均随 HLB 值的降低而增加,最适的 HLB 值在 10 左右,此时形成有效的水包油型乳化液。当 HLB 值更低时形成油包水型乳化液,不利于细菌生长,石油降解速度也随之下降。