

## 远古盐中的细菌生命

最初发表于《创造杂志》第 16 卷第 2 期（2002 年 8 月）：110-113 页。

在许多沉积物中都发现了活细菌和被称为孢子的细菌休眠阶段，这些沉积物的年代据报道可达数亿年。由于也很难排除它们是后来进入沉积物（外来来源）或它们是样品污染物的可能性，因此很难证明这些古老的细菌是在沉积过程中形成的（原地来源）。

最近，研究人员从美国新墨西哥州晚二叠世萨拉多蒸发岩的水包裹体中分离出了具有活性的孢子，这些孢子已被证实为原地来源。该蒸发岩的年代测定结果为 2.5 亿年前。然而，目前的细菌生命衰变速率（即活性孢子数量随时间减少的速率）并不支持 2.5 亿年前的年龄。相反，这些衰变速率表明，二叠纪萨拉多盐层的年龄小于 3.5 万年。

基于细菌衰变速率的年龄估算充其量只能是定性或半定量的。然而，通过估算萨拉多蒸发岩的平均温度，并确定在水包裹体典型条件下枯草芽孢杆菌的衰变速率，或许可以改进萨拉多蒸发岩的年龄估算。

## 现代细菌

细菌几乎遍布地球的每个角落，许多种类的细菌能够在极端条件下生存甚至繁衍，例如温度超过 110° C 的

高压水、零下 10° C 以下的冰层、pH 值低至 2 的酸性环境和 pH 值高达 13 的碱性环境，以及缺氧环境。它们几乎以所有物质为食，包括大洋中部温泉周围可利用的无机营养物质。即使没有任何营养，它们也能以孢子的形式长期存活。

近一个世纪以来，沉积物中活细菌的存在一直是研究的主题。其来源是否为本地细菌、营养物质能否长期存在以及采样和处理过程中是否受到污染等问题，至今仍存在争议。20 世纪 70 年代，人们在放射性碳测年结果为 7000 年或更久远的湖泊沉积物中发现了嗜热细菌的活孢子。由于这些沉积物的温度从未超过 35° C（该特定类型嗜热细菌萌发所需的最低温度），因此可以排除沉积物后期受到该细菌污染的可能性。另一个著名的例子是从一具经放射性碳测年结果为 11000 年的西伯利亚乳齿象的肠道中分离出细菌。这些研究以及其他研究表明，假设不存在显著的代谢活动，近期沉积物中本地细菌的最大寿命约为 10000 放射性碳年。<sup>1</sup>

## 远古细菌

*偏远油井中存在细菌已得到证实，但这些细菌的来源仍未得到解答。*

关于前更新世显生宙沉积物中捕获的细菌的年龄，一直存在争议。有报道称，在地球表面以下深处以及多种类型的沉积物中都发现了细菌，包括煤层、油层和蒸发岩，其年龄据报道可达 6.5 亿年。由于难以排除外来来源或采样和处理过程中的污染，因此原地来源的证据通常不被接受。<sup>1, 2, 3</sup> 例如，已证实偏远油井中存在细菌，但这些细菌的来源仍未可知。它们可能是在石油形成过程中被捕获的，也可能是随含水层活动迁移而来，或者可能是经过数千万年甚至数亿年的迁移而来。<sup>4</sup>

最近，研究人员从一块据称已有 2500 万至 3000 万年历史的琥珀中分离出了活的球形芽孢杆菌孢子。

<sup>5</sup> 样本的精心挑选和彻底的防污染措施使这一发现具有说服力。<sup>2</sup>

最近，研究人员从新墨西哥州二叠纪萨拉多蒸发岩的盐样品中的原地水包裹体中分离出了古代细菌，据报道其年龄为 2.5 亿年。<sup>2, 6</sup> 基于 16S 核糖体 DNA 比对，这些古代细菌与死海芽孢杆菌

(*Bacillus marismortui*, 以死海命名) 和泛酸芽孢杆菌 (*Virgobacillus pantothenicus*) 表现出显著的相似性。与泛酸芽孢杆菌的差异很小，同源性的 97.1% (尽管 Vreeland 等人指出相似性为 97.5%)。在 1560 个碱基对中，有 45 个碱基对不同，相当于每年每个碱

基对发生  $1 \times 10^{-10}$  次替换。这种替换率虽然很小，但或许可以接受。

<sup>7</sup> 然而，与死海芽孢杆菌 99% 的同源性则更为显著。如果这些古老的细菌确实是马里莫尔特氏菌 (*B. marismortui*) 的近亲（这一点尚未确定），那么它们之间的差异为何如此之小？自由生活的马里莫尔特氏菌据称经历了 2.5 亿年的突变，因此与它们分离的同类相比，预期差异会更大<sup>2,6</sup>，尽管萌发过程中高效的 DNA 修复机制或许可以部分解释这种相似性<sup>8</sup>。

在这方面，分离细菌的最终寿命是一个关键参数，下文将对此进行更详细的讨论。<sup>9</sup>

## 细菌存活

理论上，只要营养充足，细菌就能无限期地存活。它们进行无性繁殖，即一个细胞分裂成两个细胞，母细胞和子细胞（实际上无法区分）都能恢复活力，只要营养充足且毒素分泌量低，细菌群体就能持续存活。在缺乏营养的情况下，细菌的寿命会受到限制，但无法确定它们的预期寿命。然而，随着营养水平的降低和毒素分泌量的增加，存活的细菌数量会随着时间的推移而逐渐减少。孢子的衰变率通常用十进制衰减时间  $D(10)$  表示，即在给定温度下，细菌群体中存活细菌数量减少到 10% 所需的时间。该衰减率与其他指数

衰减过程（例如一级化学反应或放射性衰变）的衰减率相当。

细菌在真空干燥条件下通常可以保存约一年，在液氮温度（ $-196^{\circ}\text{C}$ ）下可以保存数年。

<sup>10</sup> 如果能够维持基础代谢活性，它们可以存活更长时间。在西伯利亚永久冻土层中发现了细菌培养物，该冻土层的平均温度约为 $-10^{\circ}\text{C}$ 。据估计，该永久冻土层的形成时间在一千年到一百万年之间。有人提出，尽管温度很低，但这些细菌必定保持着活性，否则它们不可能存活这么久。

<sup>11</sup> 近期在南极洲表层冰雪中发现的细菌也支持低温活性这一观点，这些细菌在 $-12^{\circ}\text{C}$ 至 $-17^{\circ}\text{C}$ 的温度下确实具有代谢活性。<sup>12</sup>

值得注意的是，南极研究人员发现了脱硫球菌属

*(Deinococcus)* 的成员。该属细菌因其能够耐受电离辐射（包括 X 射线和放射性物质）而在食品加工行业中早已为人所知。<sup>13</sup> 这非常了不起，因为自然环境中并不存在如此高强度的辐射，而且这种能力究竟有何优势也尚不清楚。答案可能是，在南极雪原中，*脱硫球菌属*细菌会受到强烈的紫外线照射，从而发生电离。<sup>12</sup>这个例子再次表明，某些细菌拥有在极端条件下生存的惊人能力。

大多数细菌在高温、辐射（包括紫外线照射）、酸性或碱性环境、氧化剂（包括氧气）、某些无机化合物、机械应力和潮湿条件下难以生存。<sup>10</sup>然而，如果蒸发岩中的水包裹体存在上述许多条件，即使有水存在，这些条件也可能有利于细菌生存。虽然盐对大多数细菌有害，但有些细菌，例如海洋枯萎病菌（*B. marismortui*），可以在盐度低于 25% (w/v) 的条件下以孢子形式存活甚至繁殖。

总之，只要代谢活动能够进行，一些细菌就能在严酷的环境中生存。在缺乏营养的情况下，活跃细菌的寿命可能只有几年或几十年，但在其他条件都最佳的情况下，如果代谢活动停止，细菌存活数千年已属不易。那么，被困在盐中水包裹体中的细菌能否存活超过 2.5 亿年呢？

## 孢子的存活

某些细菌，包括芽孢杆菌属，在缺乏营养或处于胁迫条件下可以形成孢子。孢子是细菌处于休眠状态的不活跃阶段，能够帮助细菌度过一段艰难的时期。孢子包括囊肿、外孢子和粘孢子，其中粘孢子的稳定性低于本文讨论的芽孢杆菌内生孢子<sup>10</sup>。细菌向孢子的转变是一个复杂的过程，最终形成一个由稳定的、高度压缩的 DNA 和酶组成的细胞核，并被一层不透水的角蛋白样外皮包裹。孢子中几乎不含水，

但含有大量的保守复合物——二吡啶甲酸钙，用于保持酶的失活状态并稳定核酸。此外，DNA 还受到一组独特的 DNA 结合蛋白（称为 $\alpha / \beta$  型 SASP）的保护<sup>13</sup>。大多数细菌无法在 80° C 下加热 10 分钟（巴氏杀菌法）后存活，但少数孢子可以，有些甚至能在沸水中存活数小时。

Temperature (°C)	20	105	120	130	140	150	160
<i>Bacillus cereus</i>		12.1	4.2	2.6	1.3	1	0.7
<i>Bacillus coagulans</i>	<math>1.6 \times 10^9</math>						
<i>Bacillus circulans</i>	<math>1.6 \times 10^9</math>						
<i>Bacillus licheniformis</i>	$1.6 \times 10^9$						
<i>Bacillus subtilis</i>	$1.6 \times 10^9$	27.8	4.5	3.1	2.1	1.1	0.5
<i>Bacillus stearothermophilus</i>		285.7	38.6	8.8	3.9	2.4	1.4

表 1. 几种细菌孢子的寿命衰减常数，以秒为单位表示，D(10) 表示。

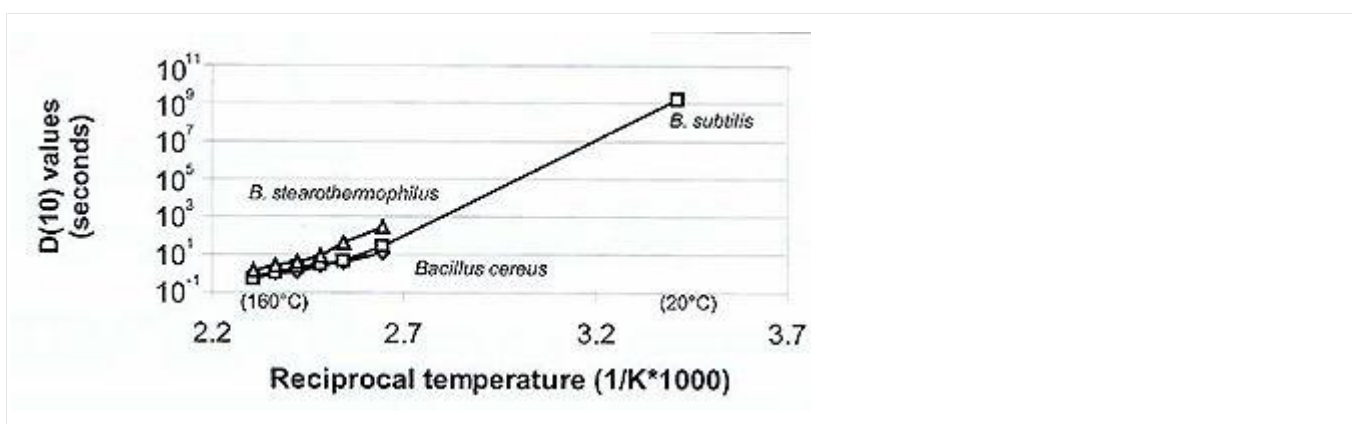


图 1. 细菌生命衰减的阿伦尼乌斯图。

孢子能存活多久？对植物根系土壤残留物在植物标本馆干燥条件下保存的研究为我们提供了一些线索。200-300 年后，枯草芽孢杆菌 (*B. subtilis*) 和地衣芽孢杆菌 (*B. licheniformis*) 的部分孢子仍然具有活性。此外，在 50-100 年的样本中还检测到了凝结芽孢杆菌 (*B. coagulans*) 和环状芽孢杆菌 (*B.*

*circulans* )。这相当于枯草芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌的  $D(10)$  值为 50 年，这意味着 1000 公斤土壤中最初数量庞大的细菌，经过 1000 年后，可能只有极少数的孢子仍然具有活性。

已报道了不同温度下的  $D(10)$  值，包括灭菌条件(表 1)。嗜热芽孢杆菌 (*B. stearothermophilus*) 的灭菌稳定性非常出色，可能并不代表大多数其他芽孢杆菌属物种。遗憾的是，目前尚无盐中含水包覆物条件下 马里莫尔特芽孢杆菌 (*B. marismortui* ) 的数据。马里莫尔特芽孢杆菌无法在实验室灭菌措施下存活 <sup>6</sup>，但这一特性无法转化为  $D(10)$  值。图 1 是表 1 中  $D(10)$  数据的对数坐标图，横坐标为温度的倒数（阿伦尼乌斯图），展示了  $D(10)$  值随温度变化的趋势。

## 萨拉多蒸发岩的“细菌年龄”

当盐浓度超过 25% (w/v) 时，枯萎病芽孢杆菌 (*Bacillus marismortui*) 会形成孢子。在饱和盐度条件下，无论营养物质多么充足，孢子都不会“苏醒”。萨拉多矿床中活孢子的数量随时间推移持续下降，从最初每毫升可能含有 1 亿个细菌 <sup>2</sup> 到如今仅在 66 个包裹体中的 3 个包裹体中发现少量活孢子，迄今为止已评估的总体积为 0.365 毫升（66 个包裹体的总体积）。<sup>6</sup> 假设

0.365 毫升液体中至少含有三个活孢子，这意味着已经经历了七个衰亡期。取  $D(10)$  为 50 年，则萨拉多蒸发岩的“细菌年龄”为 350 年。进一步佐证该蒸发岩年代较年轻的证据是，前面提到的古代细菌的 16S 核糖体 DNA 与 *B. marismortui* 或 *V. pantothenticus* 的相似性。

与萨拉多蒸发岩报告的 2.5 亿年相比，差距几乎达到了六个数量级！要达到 2.5 亿年的总年龄，所需的  $D(10)$  时间竟然高达 3500 万年，而不是仅仅 50 年，这简直匪夷所思。反之，假设蒸发岩的年龄为 2.5 亿年，而灭绝时间为 50 年，则意味着原始细菌经历了 500 万次灭绝。在经历了 500 万次灭绝之后，不可能再找到任何存活的生物体。

萨拉多矿床的年龄为 350 年，这虽然在历史时间范围内，但显然并不现实。其中存在诸多不确定因素，必须加以考虑。

- 少量可存活的孢子（最少三个）几乎没有任何统计学意义，导致年龄范围很广，年龄较大的孢子比年龄较小的孢子更有可能。
- 
-

在水包裹体代表条件下，*B. marismortui* 的 D(10) 值尚不清楚，需要单独确定。

不同物种的灭绝时间可能相差一个数量级（表 1）。温度变化 25° C 对灭绝时间的影响是两个数量级（图 1）。

蒸发岩的平均温度长期保持在 0° C 或以下的可能性极小。

平均温度高于 20° C 可能更现实，并导致 D(10) 时间更短和年龄更低。

因此，计算出的 350 年的“细菌年龄”具有极大的不确定性，其变化幅度可能高达两到三个数量级，且年龄越大的可能性越大。由此得出的估计范围为 200 至 35,000 年，分别对应于 20° C 下 4 个 50 年的对数周期，或 0° C 下 7 个对数周期和 5000 年的 D(10)。虽然很难想象 35 万年的时间跨度，但即使是这个估计值也与萨拉多蒸发岩中报告的 2.5 亿年的年龄相差两个数量级以上。如果蒸发岩中发现 6.5 亿年历史的细菌的说法得到证实，这一差距可能还会更大。

令人惊讶的是，萨拉多蒸发岩中存在可存活的本土细菌孢子，但这并未对其地质年龄提出质疑。帕克斯认为细菌几乎是永生的，而不是质疑其地质时间尺度。甚至连细菌在陨石中的存活以及地球生命起源于细菌

孢子的星际运输（“泛生论”）也正在被考虑。

<sup>2</sup> 近期，林达尔以 DNA 不可能存活超过 10 万年为由，否定了这些细菌的高龄，并指出所发现的细菌是现存的常见细菌。<sup>14</sup>

## 结论

二叠纪萨拉多蒸发岩中水包裹体中存在活细菌孢子，结合细菌的衰变速率，与该蒸发岩所报道的 2.5 亿年前的年龄不符。

本文对二叠纪萨拉多蒸发岩的“细菌年龄”进行了半定量估计，假设文献中提供的衰变速率能够代表包裹体条件，则该年龄可能在 350 至 35,000 年的范围内。

随着时间的推移，蒸发岩的平均温度估计值以及在广泛的温度范围内对 *马里莫尔特芽孢杆菌* 的灭杀时间的测量值是改进“细菌年龄法”估计的关键参数。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，

今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住的地方，寻找一间合适的教会，与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问，或在信仰上需要帮助，欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听，也愿意与你一同前行。