

固氮酶

February 2002 Molecule of the Month by David Goodsell

译者：刘圆（农科院茶叶所）
赵胜（农科院油料所）

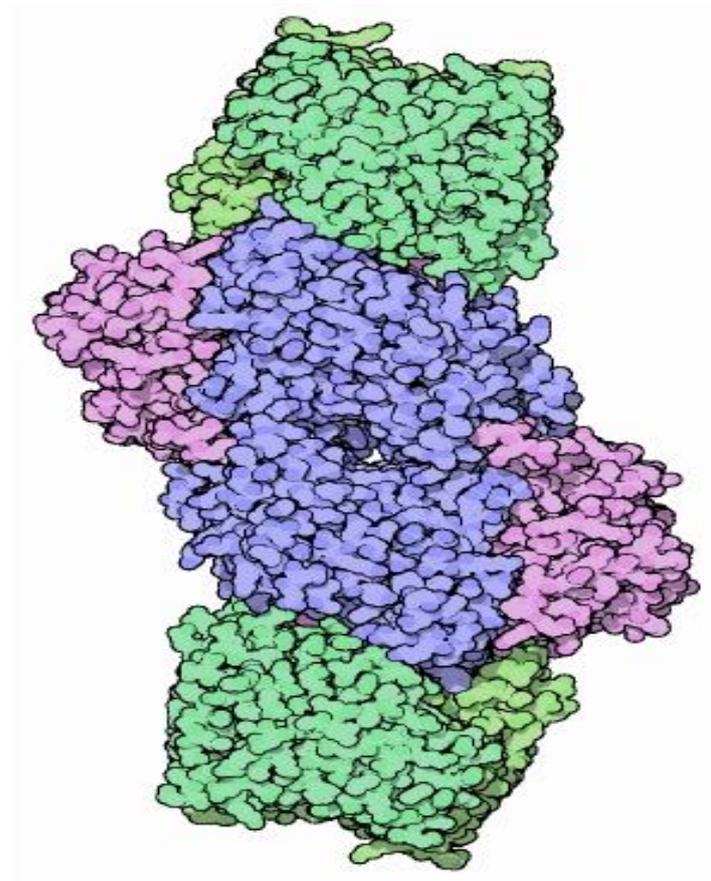
关键词：固氮作用；氧化还原酶；钼铁固氮酶复合体；氨；氮

引言

氮是所有生物形成蛋白质和核酸所必需的。氮气在地球大气中所占比重最多，其中超过75%的分子由它构成。然而，氮气非常稳定，不容易被分解为单个氮原子。以氨或硝酸盐形式存在的可利用氮非常稀缺。通常土壤中可利用氮的含量会限制植物生长。闪电和来自太阳的紫外线可以生成少量的可利用氮。大量氮以工业肥料形式供给植物。但是大部分可利用氮由细菌通过固氮酶的作用生成。

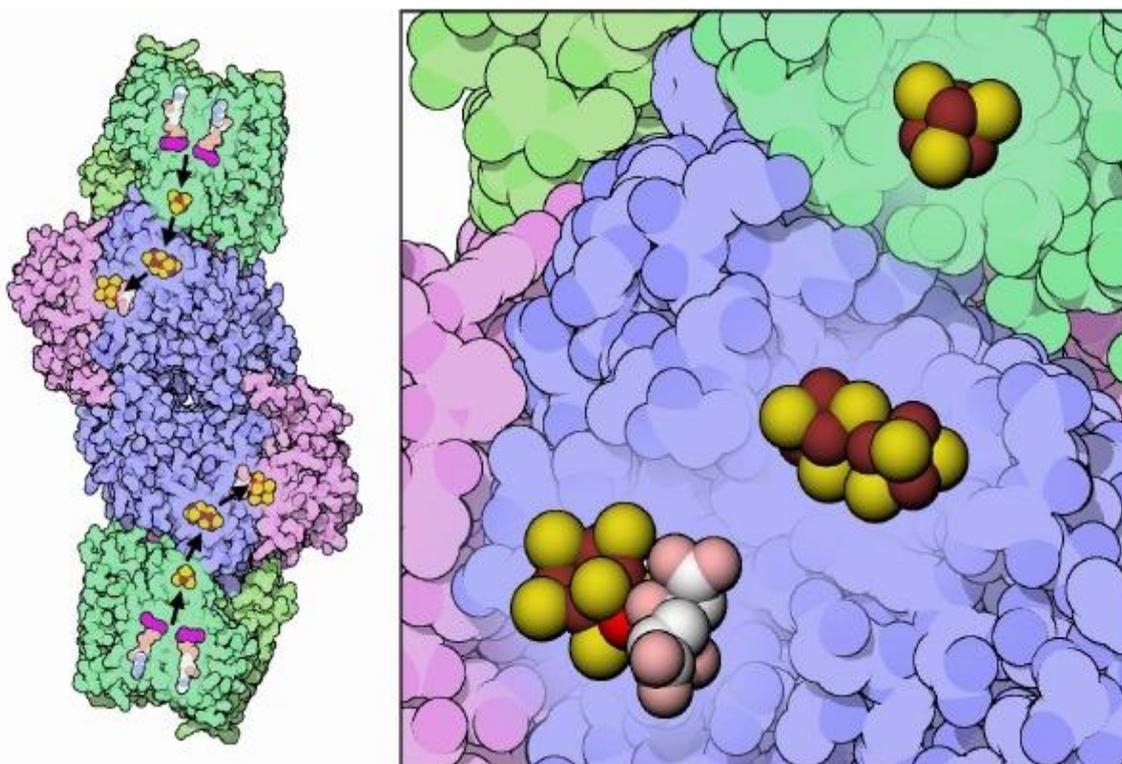
固氮过程

固氮菌能将氮气转化成氨，此反应过程容易和其他原料相结合形成蛋白质和核酸。因为氮气相当稳定，所以此过程需要极端条件。在工业化生成氨过程中需要高温、300 个大气压及各种催化剂。在固氮菌中，固氮酶催化此反应需要消耗大量的 ATP，以及需要一些金属离子包括特殊的钼离子来促进此反应进行。



耗能反应

固氮酶是由两部分组成的，详情可点击 [1n2c](#)。图中蓝色和紫色钼铁蛋白包含促成反应的所有结构，但是需要稳定的电子来源。反应中一个氮分子分解成两个氨分子需要 6 个电子。图中绿色的铁蛋白利用ATP水解释放的能量将这些电子传递到钼铁蛋白。在标准反应中，转运一个电子需要消耗 2 分子 ATP。固氮酶将 H^+ 转化成氢气（这也许是氮裂解反应中必须的一步或者是简单的副反应），因此在反应中需要消耗更多的 ATP。此反应虽然消耗大量的能量，但处在无法获得有效氮的环境中还是有价值的。幸运的是固氮菌遍地都是，通常发现它们和植物共生。例如豆科植物中，固氮菌常存在于根部的根瘤中。植物为它们提供住所和一些必需的养分，小心翼翼的保护着它们的客人，相应的固氮菌为植物提供稳定的氮源。



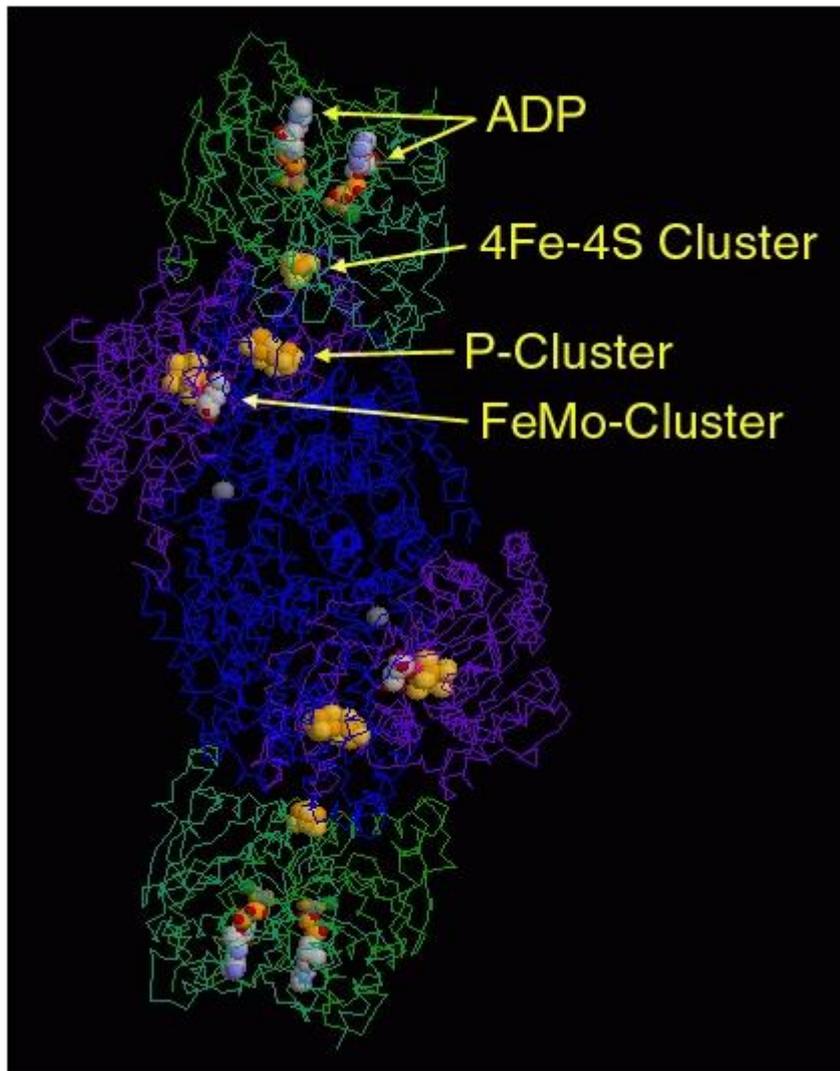
氮分裂砧

固氮酶的中心是一个特殊的由铁、硫和钼离子构成的反应簇，它促成了固氮反应。一系列的辅酶因子向此 MoFe 簇提供电子。正如左边图中显示的电子来自一对 ATP 分子，向内流向铁硫簇，然后到达 P 簇，最后到达 MoFe 簇。右侧的局部放大图显示了这三个反应簇。MoFe 簇位于底部，亮红色的是钼离子。由白色的碳原子和粉色的氧原子表示的高柠檬酸分子有助于保持特殊金属离子的稳定性。P 簇在中间，Fe 蛋白的 Fe-S 簇处在顶部。尽管 [1n2c](#) 中国氮酶完美的分子结构提供了详尽的认知，但氮气真实的结合位点仍然是一个充满争议热门话题。

结构探究

这些金属簇是固氮酶的中心修饰，而且对于任何想了解固氮酶结构来讲都是主要的看点。PDB 提供的 [1n2c](#) 是个不错的开始，它包括 MoFe 蛋白（中心蓝色和紫色的部分）和两侧的 Fe 蛋白二聚体（绿色部分）。用空间立体方式展示比较容易展示这些金属离子，而且表明 Fe-S 簇，P 簇，MoFe 簇位于一条直线上。在此结构图中 ATP 结合位点

用一种 ATP 类似物氟化铝离子表示。在这些分子中每两个分子尾部相连，与 Fe 蛋白结合形成一种稳定但不活跃的复合体，特别是将 Fe蛋白粘接到 FeMo 蛋白上，如此它的结构就出来了。



参考文献

Douglas C. Rees and James B. Howard (2000) "Nitrogenase: Standing at the Crossroads." *Current Opinion in Chemical Biology* 4, 559-566。

Jongsun Kim and Douglas C. Rees (1994) "Nitrogenase and Biological Nitrogen Fixation" *Biochemistry* 33, 389-397.

