
科学家破译豆科植物与根瘤菌的共生之谜

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37687.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学家破译豆科植物与根瘤菌的共生之谜。

在自然界中，豆科植物的根部与根瘤菌通过共生形成的根瘤器官，堪称一座“高效的天然氮肥工厂”。在这一共生关系中，植物为根瘤菌提供碳源，根瘤菌负责将空气中的氮气转化为植物可利用形式的氮肥。

但是，豆科植物根系所处环境复杂，存在多种根瘤菌和其他细菌。植物如何精准识别并只允许“相匹配”的根瘤菌进入根部结瘤之谜，尚未完全破解。

此前研究发现，豆科植物根系会分泌一种叫作“类黄酮类化合物”的化学信号，它如同一把特制的“信号钥匙”。而根瘤菌细胞内一个名为NodD的转录因子，其功能像一把“分子锁”，能够识别与之匹配的“信号钥匙”，从而启动共生程序。这一信号识别与激活过程被普遍认为是决定共生特异性的关键环节。然而，根瘤菌的“分子锁”NodD如何特异性识别类黄酮类化合物这把“化学信号钥匙”，一直是该领域备受关注且尚未完全阐明的科学问题。

近日，中国科学院分子植物科学卓越创新中心团队，成功解析了豌豆根瘤菌NodD蛋白与类黄酮类化合物（橙皮素）结合的高分辨复合物晶体结构，阐明了NodD识别类黄酮类化合物的机制，并揭示NodD中决定信号识别特异性的关键结构元件。

研究发现，豌豆根瘤菌NodD蛋白的配体结合结构域，通过两个蛋白口袋识别橙皮素——一个位于NodD蛋白的单体中，另一个位于NodD蛋白的二聚界面上，这种结合构象在NodD所属的转录调控因子家族中属首次发现。

分析表明，NodD的三个关键结构元件，形成识别配体的“结合口袋”，能适配橙皮素等黄酮分子，却不能适配像异黄酮和紫檀烷等其他类别的类黄酮类化合物。这从结构角度解析了根瘤菌NodD能够特异性地被类黄酮类分子所结合激活的机制。

研究进一步比较苜蓿根瘤菌NodD与豌豆根瘤菌NodD发现，尽管二者整体相似度高达80%，但他们对类黄酮类化合物的响应“偏好”不同。豌豆根瘤菌NodD主要响应黄烷酮/黄酮，而苜蓿根瘤菌主要响应查尔酮。研究通过区域交换实验和点突变实验锁定了位于关键结构元件上的几个关键氨基酸，正是这些区域的氨基酸残基决定了根瘤菌对不同类黄酮的响应特异性。

科研人员通过将苜蓿根瘤菌NodD中的三个关键激活域“移植”到豌豆根瘤菌NodD上，成功构建出一个“嵌合体”NodD蛋白。改造后的豌豆根瘤菌NodD也能响应苜蓿根部分泌的类黄酮信

号，并展现出与野生型苜蓿根瘤菌相似的结瘤固氮能力。这证明，正是这三个关键激活域，决定了豆科植物与根瘤菌之间的特异性识别。

豆科植物与根瘤菌之间为什么需要这种特异性？研究认为，这种精确识别源于数百万年在重叠栖息地中的协同进化。为了确保成功建立共生关系，每种豆科植物都需要准确识别更适合自己的根瘤菌菌株。

为此，它们演化出一套“双重锁钥”机制：一方面，根瘤菌识别植物发出的独特信号；另一方面，植物又能识别根瘤菌反馈的特异性信号。这种机制防止了多种豆科植物相邻生长时发生配对混淆。

这项成果不仅解答了豆科植物与根瘤菌如何通过类黄酮与NodD实现信号特异识别这一科学问题，更开辟了人工设计高效固氮体系的新路径。

未来通过精准改造NodD蛋白，不仅能定制适应特定作物的高效固氮菌株，实现“一对一”靶向固氮，更能为推动水稻、玉米等非豆科作物建立类似共生关系、减少农业对化肥的依赖打下理论基础。

相关研究成果发表在《科学》（Science）上。

豌豆根瘤菌NodD蛋白与橙皮素复合物的结构示意图

嵌合体NodD能够互补苜蓿根瘤菌NodD突变体，恢复其在苜蓿上的固氮结瘤能力

研究团队单位：分子植物科学卓越创新中心

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发