

你在迷人的地下通讯世界会使用哪种语言？

Cristiana Ariotti¹, Elena Giuliano¹, Paolina Garbeva² and Gianpiero Vigani^{1,2*}

¹ Plant Physiology Unit, Department of Life Sciences and Systems Biology, University of Turin, Turin, Italy

² Department of Microbial Ecology, Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Wageningen, Netherlands

小审稿人



**SHASHI
PREETHAM**
龄: 13 岁

如果你是土壤中的微生物，你会对你的邻居们说些什么呢？在地下通讯世界需要使用分子作为语言，说英语、法语或意大利语对你没有任何好处！土壤中的微生物（如细菌和真菌）及其他生物（如动物或植物）彼此之间通过产生不同种类的分子进行交流。许多生物将这些分子作为化学语言。这些分子可以是挥发性分子，就像气体一样，可以很容易地通过土壤中的小气孔传播，其传播距离可以很远，就像远距离通信；这些分子也可以是可溶的，可以溶解在水中，使相互靠近的生物之间可以进行交流。收到这种通讯的生物可以以不同的方式（如通过更快地生长或生产其他分子）作出反应。在这篇文章中，我们将探索令人兴奋和神秘的地下化学通讯世界，以及它在微生物和植物相互作用中的作用。

土壤中的生命

生态系统

在特定区域内与非生物物质相互作用的一组不同的生物（植物、动物和微生物）。

根际

植物和微生物通过分子相互交流的根部周围的土壤。

化学交流

两个或多个不同的生物（植物、动物和微生物）之间通过分子进行的交流。

可溶性物质

可溶解于水的物质，如盐和糖。

挥发性物质

一种容易变成气体并在空气中扩散的物质，如花香。

VOCS

由不同的生物体（如植物和微生物）产生的挥发性有机化合物，可进行远距离交流。

土壤是地球上最迷人和复杂的**生态系统**之一，它不仅是地球上植物生长的地方，也是一个生活着许多生物的壮观且隐蔽的世界。土壤由不规则的岩石块、小气孔和有机物（死去的植物和动物）组成，是微生物、昆虫和植物生活的绝佳场所。你能相信土壤里充满了生命吗？根据土壤的特点（岩石大小、食物种类、水分含量等），不同的生物体可以生活在其中。这些不同的生物构建了一个特定的群落，一群独特的不同的生物共同生活的地方。

你知道土壤微生物是什么吗？它们是附着在土壤颗粒或其他生物上生活的非常微小的生物。有一些真菌，其形状类似于非常细的根，因此它们可以与邻居接触并交换信息；还有细菌，这是一种由单细胞组成的生物，通常只有使用显微镜才能看到。如果这些微生物生活在**根际**（植物根部周围的土壤），就被称为根际微生物，它们可以生活在根表面或根内部[1]。在根际，你可以找到帮助植物生存和生长的有益微生物，或者攻击植物并使其生病的有害微生物。

土壤微生物和植物是如何交流的？

土壤微生物相互之间能进行交流，也能与其他生物（如植物和动物）进行交流。许多科学家已经对微生物和植物之间的交流进行了研究。这种交流是建立在使用分子作为语言的基础上的，被称为**化学交流**。你可以把一个分子想象成一群相互连接的小球（原子）。这些原子是重要的化学碎片，像碳（C）、氢（H）、氧（O）和氮（N），它们连接在一起（像拼图一样）形成水（ H_2O ）或二氧化碳（ CO_2 ）等分子。原子的特定组合创造了具有不同性质的分子。

土壤微生物可以产生许多类型的分子，可以分为两大类：**可溶性**分子和**挥发性**分子。可溶性分子溶于水（就像茶中的方糖），通过水在土壤中进行运输，用于和生长在微生物附近的植物进行交流。挥发性分子，也称为挥发性有机化合物（**VOCS**），这些挥发性化合物是气体，很容易通过土壤的气孔进行传播，可用于远距离交流（**图1**）。植物的根部可以闻到这些气体，就像你的鼻子可以闻到花香或新鲜出炉的面包[1]。化学交流不是只从微生物到植物单向发生，而是双向的——植物也可以产生信号分子传递给微生物。

图 1

根际植物-微生物的相互作用。图片显示了3种类型的相互作用：

(A) 在可溶性分子的帮助下，植物与生活在根部表面或附近的微生物之间的相互作用；

(B) 在挥发性分子的帮助下，植物与生活在远离根部的微生物之间的相互作用；

(C) 植物与生活在根部内部的微生物（直接接触根细胞）的相互作用。这些相互作用发生在由岩石、气孔和有机物组成的土壤中。

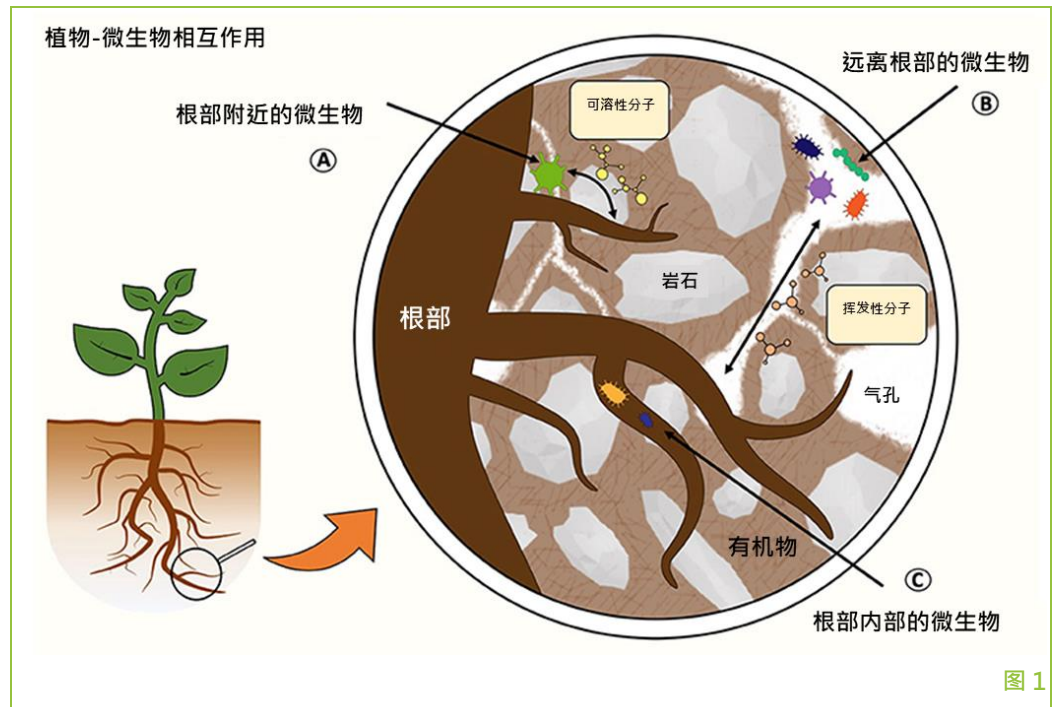


图 1

通信分子有什么作用？

下面是一些例子，说明当微生物和植物开始相互交流时会发生什么。

1、植物和微生物相互帮助获取食物

许多土壤微生物使植物更容易获得必要的营养，从而帮助植物生长。例如，根瘤菌可以将空气中的氮气 (N_2) 转化为氨 (NH_3)，这种转化被称为固氮作用，发生在土壤中。固氮作用对植物非常重要，因为它们需要氮来生长，但它们只能从土壤中吸收 NH_3 形态的氮。通过将 N_2 转化为 NH_3 ，根瘤菌能够帮助植物生长，使它们变得更强壮！

更有趣的是，根瘤菌可以与特定的植物（如大豆和豌豆）对话。这种对话是如何进行的呢？首先，植物向根际释放异黄酮分子，这种分子可以吸引根瘤菌；这些细菌“听到”植物的“对话”，并向它走去；在走向植物的过程中，根瘤菌开始产生结瘤因子，这些分子告诉植物在根部创造一个使根瘤菌能够在其间生活的空间，这个空间称为根瘤。作为对植物栖息地和食物（糖）的交换，根瘤菌给植物提供大量的 NH_3 （图 2）。对植物和根瘤菌来说，共同生活是一种优势，因为这两种生物都比它们单独生活时能够获得更多的食物，因此它们可以更好地生长[2]。

图 2

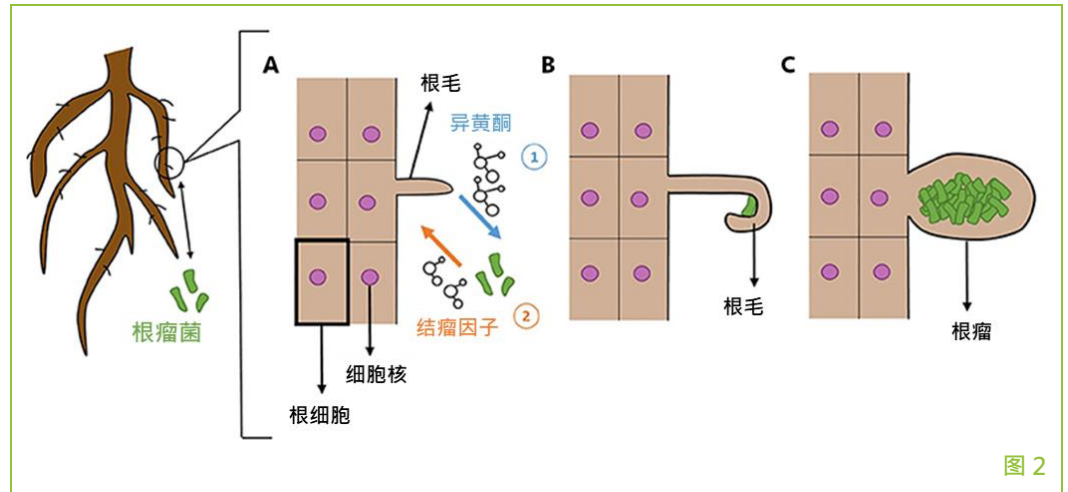
植物-根瘤菌相互作用对根系结构的影响。

(A) 正常的根系结构和化学交流的开始。首先植物产生异黄酮

(1)，然后根瘤菌通过产生结瘤因子(2)

进行反应。(B) 根瘤菌向根部移动，粘在根毛上，然后根毛改变形状使细菌能进入根部。

(C) 根瘤的形成，这是细菌繁殖、糖和氮被交易的空间。



2、微生物可以帮助植物免受病原体和害虫的侵害

生物因素是环境中的生物部分，如植物、动物和微生物(图3)。生物性胁迫是生物体感受到的压力，比如植物被生物因素(如被称为病原体的有害微生物或被称为害虫的有害昆虫)破坏。有益微生物可以通过两种方式帮助植物对抗病原体和害虫：第一种方法是微生物可以把病原体或害虫赶走或杀死。例如，一些有益微生物产生的VOCs可以阻止病原体的生长或害虫对植物的攻击。第二种方法是告诉植物通过增加其防御能力来做好战斗准备。你的妈妈可能也会在冬天告诉你多吃一些橙子，因为橙子含有维生素C，它能够提高你的免疫防御能力，保护你免受疾病的伤害。微生物和植物的机制也是一样的，比如荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*)产生的分子可以使植物更好地抵御病原体的攻击[3]。

3、微生物可以帮助植物在艰苦地区生存

非生物因素是环境中的非生物部分，包括阳光、温度和水(图3)。非生物胁迫是指这种因素对生物体的负面影响。例如低含量可用水和高含量盐等都是对植物有害的非生物胁迫。有益微生物可以帮助植物在生活条件恶劣的艰苦地区生存。例如，绿针假单胞菌O6(*Pseudomonas chlororaphis* O6)可以使一些植物在水分不足的情况下存活下来[4]；枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)通过减少进入植物根部的盐分，帮助植物在含盐量高的土壤中生存[5]。

生物因素

环境中的生物成分，如植物、动物和微生物。

非生物因素

环境中的非生物成分，如岩石、阳光和水。

图 3

在环境中相互作用的重要的生物因素和非生物因素。它们可以影响植物的生长以及植物和土壤微生物之间的化学交流。

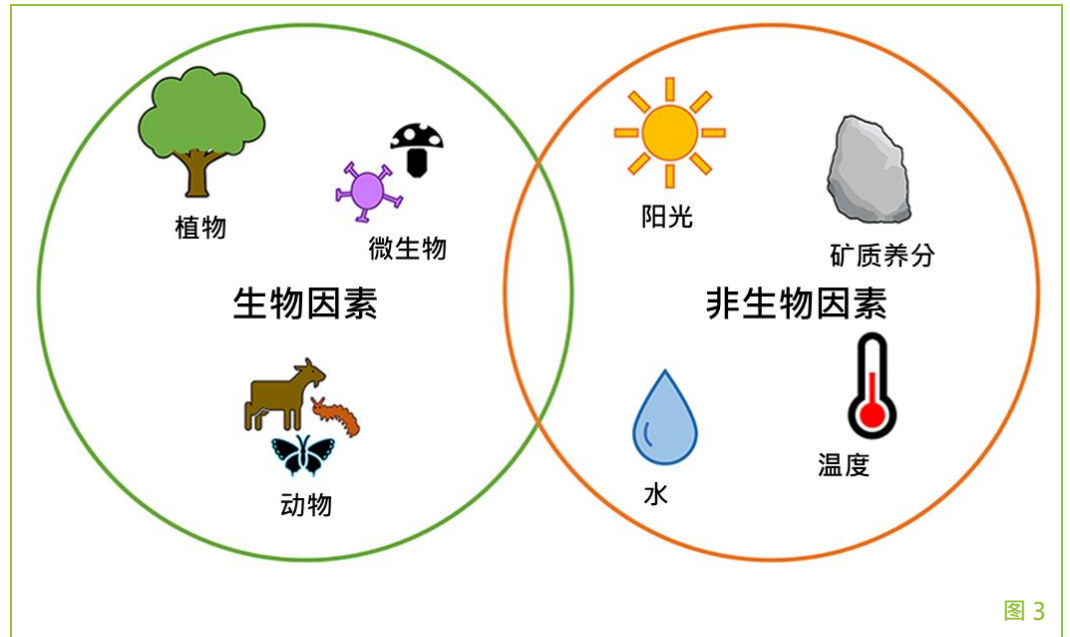


图 3

为什么了解化学交流很重要？

微生物和其他生物之间的化学交流在数百万年前就开始进化了。4.5亿年前，植物开始从海上迁徙到陆地上生活。科学家们认为，土壤真菌是最早帮助植物实现在陆地上生存的生物。真菌帮助植物利用重要的营养物质，使植物能够存活[6]。因此数百万年来，土壤生物之间的化学交流对植物的健康和生长一直很重要。在这篇文章中，我们解释了植物-微生物的相互作用如何为植物提供更多的食物，或帮助植物对抗病原体或在艰苦地区生存。不幸的是，这些相互作用正处于危险之中！在农业中大量使用抗生素、杀虫剂和化肥会改变土壤，同时也会改变土壤群落，导致一些土壤生物死亡，另一些土壤生物生长。微生物群落的变化（比如作为病原体的微生物的生长）可能会对植物产生可怕的影响！

人类人口仍在增长，由于人们需要食物来生存，所以必须找到新的方法来增加植物生长和食物产量[2]。微生物越来越多地被用作促进植物生长和粮食生产的天然助手。研究微生物与植物之间的交流对于了解哪些微生物可以帮助植物生长是必要的，我们必须密切关注并选择正确的微生物！例如，你可能认为使用镰刀菌 (*Fusarium culmorum*) 是一个好方法，因为它有助于某些植物在含盐量高的艰苦地区生长；但是镰刀菌是一种对玉米有害的病原菌！出于这些原因，研究人员希望尽可能多地了解化学交流，以增加我们对土壤生态系统的认识，了解生物如何在这些生态系统中相互作用，并帮助我们利用植物与微生物的相互作用在保护土壤生态系统的同时增加植物的生长以获得食物。

参考文献

- [1] van Dam, N. M., Weinhold, A., and Garbeva, P. 2016. Calling in the dark: the role of volatiles for communication in the rhizosphere. *ISME J.* 12:1252–62. doi: 10.1007/978-3-319-33498-1_8
- [2] Tomer, S., Suyal, D. C., and Goel, R. 2016. “Biofertilizers: a timely approach for sustainable agriculture,” in *Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*, eds D. Choudhary, A. Varma, and N. Tuteja (Singapore: Springer). p. 375–95. doi: 10.1007/978-981-10-2854-0_17
- [3] Van Wees, S. C. M., Van der Ent, S., and Pieterse, C. M. J. 2008. Plant immune responses triggered by beneficial microbes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11:443–8. doi: 10.1016/j.pbi.2008.05.005
- [4] Garbeva, P., and Weissskopf, L. 2020. Airborne medicine: bacterial volatiles and their influence on plant health. *New Phytol.* 226:32–43. doi: 10.1111/nph.16282
- [5] Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., and López-Bucio, J. 2009. The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signal. Behav.* 4:701–12. doi: 10.4161/psb.4.8.9047
- [6] Field, K. J., Pressel, S., Duckett, J. G., Rimington, W. R., and Bidartondo, M. I. 2015. Symbiotic options for the conquest of land. *Trends Ecol. Evol.* 30:477–86. doi: 10.1016/j.tree.2015.05.007

编辑: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

引用: Ariotti C, Giuliano E, Garbeva P and Vigani G (2020) The Fascinating World of Belowground Communication. *Front. Young Minds* 8:547590. doi: 10.3389/frym.2020.547590

利益冲突: 作者声明，该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或金融关系的情况下进行的。

版权所有 ©2022 Ariotti, Giuliano, Garbeva and Vigani. 这是一篇根据知识共享署名许可 (CCBY) 条款分发的开放获取文章。根据公认的学术惯例，允许在其他论坛上使用、分发或复制，前提是原作者和版权所有人得到认可，并引用本期刊上的原始出版物。不允许使用、分发或复制不符合这些条款的内容

小审稿人



SHASHI PREETHAM, AGE: 13

我的名字叫Shashi，今年13岁，就读8年级。我喜欢足球和篮球。我最喜欢的科目是数学和计算机，我是一个名为火箭联盟的游戏的四次吉尼斯世界纪录保持者。

作者



CRISTIANA ARIOTTI

我最近刚从都灵大学毕业并获得环境生物学学位，现在是都灵大学的博士生，研究在缺铁条件下生长的植物和土壤微生物之间的交流。我空闲时间喜欢爬山（我住在阿尔卑斯山附近！）和在合唱团唱歌。



ELENA GIULIANO

我最近从都灵大学环境生物学专业毕业，后面想申请植物学博士学位。我对植物与微生物的相互作用以及对受生物和非生物胁迫的植物保护感兴趣。我喜欢与来自不同文化背景的人分享知识和想法，在业余时间也喜欢阅读和拍照。



PAOLINA GARBEVA

我是瓦赫宁根NIOO微生物生态学部的组长，目前的研究重点是了解微生物化学相互作用和交流的基本机制。



GIANPIERO VIGANI

我是都灵大学（意大利）的研究员，研究重点是了解植物如何从土壤中吸收养分和水，以及植物与微生物在地下的相互作用是如何发生的。

*gianpiero.vigani@unito.it

翻译

唐仲辉 · 硕士研究生

中国科学院城市环境研究所

廖紫君 · 硕士研究生

中国科学院城市环境研究所

校稿

孙新 · 研究员

中国科学院城市环境研究所