



土壤动物对落叶回收的奇特作用

*François-Xavier Joly * and Jens-Arne Subke*

Biological and Environmental Sciences, University of Stirling, Stirling, United Kingdom

小审稿人



JUAN DIEGO

年龄：15岁

微生物

肉眼看不见的微小的生物，如细菌或真菌。

当植物的叶子死亡时，它们会落下并堆积在土壤上，然后进行分解。分解对于回收养分并将其返还给土壤至关重要。分解过程主要由肉眼不可见的微生物完成，慢慢地使落叶腐烂。大型生物（如千足虫和蜗牛）也取食落叶，但它们不能很好地消化这些叶子，大部分落叶作为粪便返回土壤，由微生物进一步分解。这种将落叶转化为粪便的做法是否会影响回收过程？通过收集许多以落叶为食的土壤动物的粪便，发现它们比完整的落叶分解得更快。这表明土壤动物不是通过消化落叶，而是通过将其转化为粪便来帮助落叶分解。

光合作用

植物通过叶片从阳光中获取能量，将二氧化碳和水转化为糖的过程。

分解

将复杂的植物或动物物质分解成更简单的形式，产生二氧化碳和营养物质的过程。

酶

能够将大而复杂的分子分解成小而简单的分子的蛋白质。

为什么要研究落叶？

植物是地球上所有生命的基础。多亏了它们的叶子，植物才可以利用太阳的能量从空气中捕获二氧化碳，并将其转化为糖类；这个过程被称为**光合作用**，对地球上的生命来说是绝对必要的。糖类被用来供应于更多的植物部分（叶、茎、根）使之生长，而这些植物部分可以被许多不同的生物吃掉。但是植物的叶子只能存活几个月到几年，当植物落叶时，落叶会积聚在土壤上，**分解**过程便开始了。这个分解过程与光合作用一样关键，因为它使叶子所含的碳以二氧化碳的形式回到大气中，可以被其他植物再次利用；而且落叶中的营养物质也回到土壤中，可供植物再次利用，形成新的叶片。正是由于光合作用和分解之间的这种脆弱的平衡，生命的循环才得以继续。

微生物分解落叶

分解是如何发生的？这一关键过程主要是由土壤**微生物**进行的。微生物由真菌（与形成蘑菇的生物相同）和细菌组成。微生物非常小，肉眼几乎看不见，但它们在土壤中却极其丰富，仅仅一克土壤就可以包含**100亿**个微生物。这些微生物以落叶为食，通过向周围土壤释放许多不同的**酶**来消化树叶。这些酶就像剪刀一样，把大片的落叶切成微小的碎片。微生物可以消化这些叶子碎片以获得能量并生长，然后将碳以二氧化碳的形式释放回大气中，使得生命的循环可以继续。

微生物分解不同类型落叶的速度是不同的。有些植物（如松树或山毛榉）形成的叶子结实，厚实且营养不良；这些叶子的光合作用不是很好，但它们即使在困难的条件下也能生存；因此，当死亡时，这些落叶分解得很慢，因为它们提供的营养物质很少，供微生物生长的表面也很少。而有些植物（如白蜡树或三叶草）形成的叶子要薄得多，并且有更多的营养物质；这些叶子对伤害的抵抗力较弱，但在光合作用方面更好；当这些更薄、更有营养的叶子死亡时，它们为微生物提供了更多的营养和更大的表面积，因此它们分解得更快。

图 1

(A-C)取食落叶并将其转化为粪便的土壤动物的例子。(D)食叶动物可以取食的落叶的例子。(E)食叶动物的粪便的例子。(F)食叶动物的粪便是由许多微小的叶子颗粒组成的。



图 1

动物帮助微生物进行分解

微生物并不是唯一分解落叶的土壤生物，许多较大的土壤生物（如千足虫、蚯蚓、木虱和蜗牛）也以落叶为食（图1A-C）。在某些类型的森林，甚至在沙漠中，每年落下的枯叶大多都被这些动物吃掉了[1-4]。然而，这些动物吃的所有树叶中，只有一小部分真正被动物消化和利用，大部分以**粪便**的形式返回到土壤中（图1E）。这说明在这些动物丰富的生态系统中，细菌和真菌的主要有机物来源不是落叶，而是粪便。不管吃的是哪种类型的落叶，这些粪便总是比落叶小得多，因为它们是由数以万计的小叶片组成的（图1F）。这种从大的、完整的落叶转变为微小碎片的过程，为微生物的生长和分解提供了更大的表面积。

但将落叶转化为粪便的重要性还没有得到很好的理解。粪便是否比完整的落叶更容易被微生物分解？如果是的话，这种影响是否对厚实、结实的叶子比对已经很容易被微生物降解的薄叶更重要？是否所有以落叶为食的动物都能帮助微生物分解落叶？在这项研究中，我们旨在为这些问题提供答案[5]。

粪便工厂：在实验室研究分解过程

为了研究将落叶转化为粪便的重要性，我们需要从各种以不同种类的落叶为食的土壤动物身上找到并收集数以万计的新鲜粪便。这在野外是一项不可能完成的任务，因为粪便非常小，而且无法确定产生粪便的动物种类或动物吃的落叶类型。因此，我们发明了一种新的、特殊类型的实

粪便（FEE-SEEZ）

未被动物消化的食物残渣。在美国英语中写成“feces”。

验：粪便工厂。我们首先在苏格兰低地的各个森林和草地收集了六个物种的数千只土壤动物，包括三个千足虫物种，两个木虱物种和一个蜗牛物种；还收集了六个已知以不同速度分解的树种的枯叶：橡树、山毛榉、榛树、枫树、马栗树和椴树（图2）。

我们把所有的样品带回实验室，用塑料盒把每种动物和每种类型的落叶配对起来，总共有36种叶子和动物的组合。然后让动物进食，并在一个月內每周两次收集它们的粪便。这些粪便非常多样化：它们的颜色取决于所吃的落叶类型，形状取决于动物的类型（图2）。

在收集粪便之后，我们测量了这些粪便的分解速度，并与完整落叶的分解速度相比。我们想在世界各地的其他研究人员可以重复的条件下进行测量，以验证我们的结果或将我们的发现与使用不同动物或树叶物种的研究进行比较。为了做到这一点，我们在实验室里创建了小型的人工土壤系统：在小罐子里装上当地田地里的土壤，并将少量的粪便或落叶放在这些土壤上面，用一个细网与土壤表面隔开。这张网方便我们取回剩余的粪便或落叶，并允许土壤中的微生物在其中移动和分解粪便或落叶。我们把罐子放在一个黑暗、温暖、潮湿的房间里，为期六个月；并且每周都向罐子里加水，以保持土壤水分最适宜微生物生长。六个月后取回剩余的粪便和落叶，将其晒干，称重，并将样品的质量与它们的起始质量进行比较，以了解这六个月里有多少叶子和粪便被微生物分解了。

图 2

从六种不同的土壤动物身上收集的粪便，这些动物以六种不同类型的落叶为食。粪便是按比例绘制的，但落叶和动物不是按比例绘制的。由图可知，粪便的颜色取决于所吃的落叶类型，动物吃山毛榉树叶时粪便颜色较浅，吃椴树叶时粪便颜色较深。而粪便的形状取决于动物类型，千足虫的粪便是椭圆形的，木虱的粪便是长方形的，蜗牛的粪便是圆柱形的。（图片来源：改编自[5]）

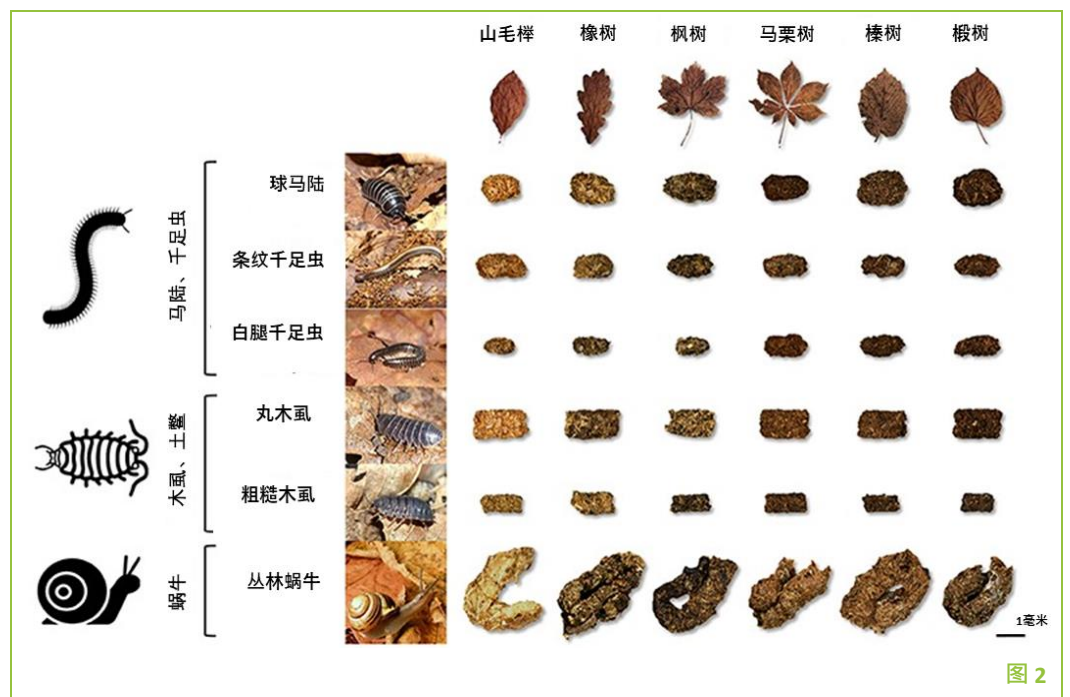


图 2

图 3

通过将落叶转化为粪便，土壤动物会影响落叶分解的速度。平均而言，土壤动物粪便比完整落叶的分解速度快 38%。这种影响取决于落叶的类型，当动物吃了容易被微生物分解的落叶（显示为浅黄色），它们的粪便分解速度并不比完整落叶快很多，但是当它们吃了微生物难以分解的落叶时（显示为深棕色），粪便中产生的叶子碎片比完整落叶分解得更快。

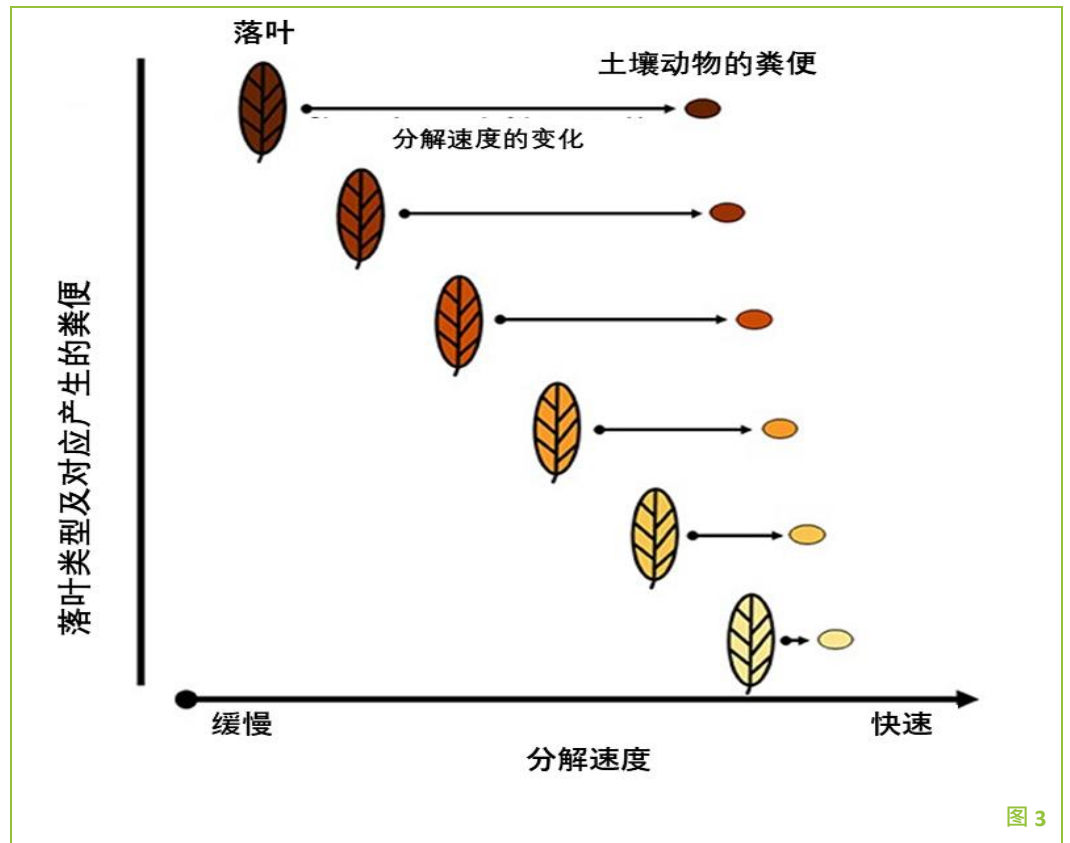


图 3

我们发现了什么？

我们的实验有两个非常有趣的发现：首先，我们研究的所有动物物种，其粪便的分解速度平均比落叶快 38%（图 3）。即使蜗牛、千足虫和木虱是非常不同的物种，但这些结果非常一致。我们认为，粪便分解得更快是因为动物将大块的落叶转变成了成千上万的小块，这更容易让微生物生长和分解。第二个重要发现是，对于不同类型的落叶来说，分解速度的提高是不一样的。当动物吃了容易被微生物分解的落叶时，其粪便的分解速度并不比落叶本身快很多；然而当动物吃了微生物难以分解的落叶时，它们的粪便分解的速度比落叶本身快得多。正因为如此，一旦叶子被动物吃掉并转化为粪便，各种类型落叶之间分解速度的巨大差异就几乎消失了。

土壤动物对生命循环的贡献

通过将落叶转化为粪便，土壤动物加速了微生物进行的分解。这就是为什么我们没有看到落叶堆积在土壤上面，特别是堆积在具有分解缓慢的叶子的植物下面的土壤的原因。更重要的是，通过将落叶转化为粪便，土壤动物帮助叶子中的碳以二氧化碳的形式回到大气中，并帮助营养物

质回到土壤中，供植物再次利用。因此，土壤动物有助于保持光合作用和分解之间的平衡，以维持植物甚至地球上所有生命的生存。

原创文章

Joly F-X, Coq S, Coulis M, David J-F, Hättenschwiler S, Mueller CW, Prater I, Subke J-A. Detritivore conversion of litter into faeces accelerates organic matter turnover. *Commun Biol* (2020) 3:660.

对该领域的贡献

本文以更广泛和更年轻的读者能够接受的方式介绍了最近发表的一篇文章的研究成果，用于“青年思想前沿”土壤生物多样性研究课题。这篇文章强调了土壤动物在植物凋落物回收方面未被充分研究，并特别讨论了土壤动物如何通过将落叶转化为粪便来影响凋落物分解。

参考文献

1. Sagi, N., Grünzweig, J. M., and Hawlena, D. 2019. Burrowing detritivores regulate nutrient cycling in a desert ecosystem. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 286:20191647. doi: 10.1098/rspb.2019.1647
2. David, J. F., and Gillon, D. 2002. Annual feeding rate of the millipede *Glomeris marginata* on holm oak (*Quercus ilex*) leaf litter under Mediterranean conditions. *Pedobiologia.* 46:42–52. doi: 10.1078/0031-4056-00112
3. Coulis, M., Hättenschwiler, S., Coq, S., and David, J. F. 2016. Leaf litter consumption by macroarthropods and burial of their faeces enhance decomposition in a mediterranean ecosystem. *Ecosystems.* 19:1104–15. doi: 10.1007/s10021-016-9990-1
4. Cárcamo, H. A., Abe, T. A., Prescott, C. E., Holl, F. B., and Chanway, C. P. 2000. Influence of millipedes on litter decomposition, N mineralization, and microbial communities in a coastal forest in British Columbia, Canada. *Can. J. For. Res.* 30:817–26. doi: 10.1139/x00-014
5. Joly, F.-X., Coq, S., Coulis, M., David, J.-F., Hättenschwiler, S., Mueller, C. W., et al. 2020. Detritivore conversion of litter into faeces accelerates organic matter turnover. *Commun. Biol.* 3:660. doi: 10.1038/s42003-020-01392-4

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

科学导师: Maria Claudia Segovia-Salcedo

引用: Joly F-X and Subke J-A (2022) The Bizarre Role of Soil Animals in the Decomposition of Dead Leaves. *Front. Young Minds* 10:638736. doi: 10.3389/frym.2022.638736

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 Joly and Subke. 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



JUAN DIEGO, 年龄: 15岁

他来自厄瓜多尔，但在美国长大。他有很多爱好。他最喜欢的打发时间是玩电子游戏，因为它让他可以和他的朋友们一起玩，现在他因为疫情而被关在家里。他喜欢动物和自然。这就是为什么作为学校项目的一部分，他目前正在编写一本关于厄瓜多尔濒危物种的小贴纸书。

小审稿人 (CHINESE VERSION)

刘沛桓 (福建省厦门市滨水学校)

Peihuan Liu, age: 9, Binshui School, Xiamen, China

作者



FRANÇOIS-XAVIER JOLY

François-Xavier Joly是一位法国土壤生态学家，在奥地利维也纳大学工作。他的研究重点是了解土壤生物如何促进死亡植物的腐烂，以及这一过程如何因全球变化（如生物多样性丧失和气候变化）而改变。

JENS-ARNE SUBKE

Jens-Arne Subke是斯特林大学的生态系统生态学家，他对植物、土壤和环境的相互作用感兴趣。他试图回答有关植物从大气中获取的碳如何在土壤中稳定下来，以减少大气中的二氧化碳浓度的问题



翻译 TRANSLATORS

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 (REVIEW)

孙新，研究员

中国科学院城市环境研究所