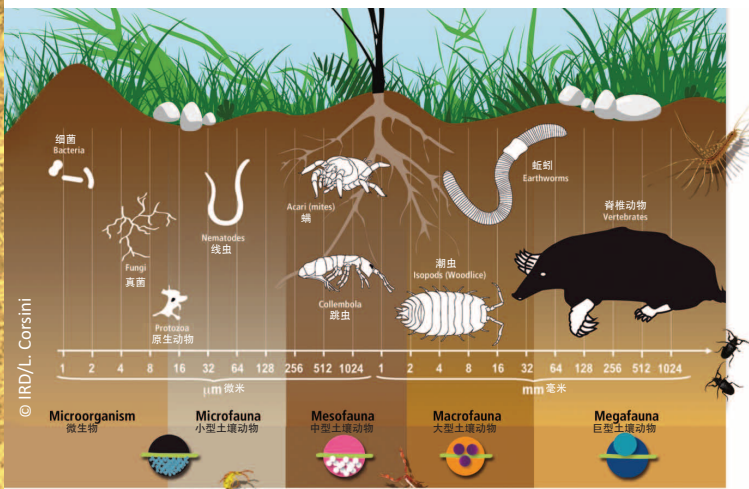


我们每天在土地上面行走、奔跑、戏耍，却很少留意脚下土壤中庇护着的那个小小世界。要知道，在少如一咖啡匙量的土壤里面，就可能藏有成千上万个物种和不计其数的生命。在地球上已知的动、植物里，超过四分之一的物种都与土壤息息相关——它们或在土中生存，或在土中度过生命中的绝大部分时光。我们对它们的了解十分有限，因为它们当中绝大多数个头很小，小到我们无法用肉眼看到，加上它们生活在阴暗且不透光的环境里，观察起来更为困难。即便对于研究它们的专家来说，仍有相当大比例的土壤生物至今有待描述、尚未命名，甚至在我们花园的土壤里面，就有不少未知的物种呢！

总体来说，科学家们是按照土壤生物的大小对它们进行分类的：最小的是土壤微生物（图最左端），如细菌、真菌等；紧接着依次是小型土壤动物（如线虫）、中型土壤动物（如跳虫、螨）以及大型土壤动物（如潮虫、蚯蚓）；最后，体型最为庞大的是巨型土壤动物（图最右端），以鼯鼠等脊椎动物为代表。



3- 大型土壤动物家族

该家族内的生物肉眼可见，它们大小不一：有的长几厘米，而某些蚯蚓长度甚至超过一米。除了蚯蚓和一些昆虫的幼虫，该家族还包括一些无脊椎动物，如鼠妇（潮虫）、马陆、蚂蚁、白蚁等，我们在土壤表面就可以见到它们。

4- 巨型土壤动物家族

该家族内的生物个头很大，但在土壤中数量不多。要想看到它们需要一点耐心和运气。它们都是善于挖土的脊椎动物，如鼯鼠、旱獭、河狸、穴兔、獾等。

5- 土壤家族

土壤由多种组分组成，包括固体颗粒（包括砂粒、粉粒、黏粒、有机质等）、空气和水。土壤类型的多样性与土壤中颗粒组分的多样性、气候以及土地利用方式（如农耕用地、林地等）有关，也与土壤中的生物多样性关系密切。

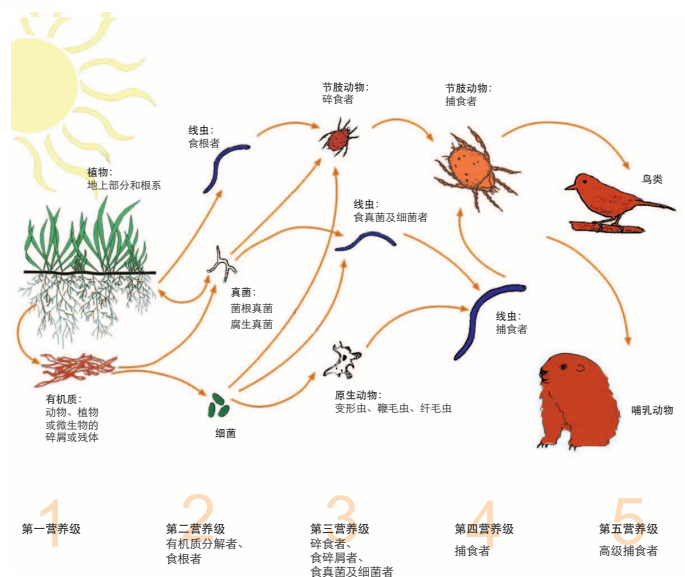
6- 植物家族

植物在土壤中通常以两种形式存在：一为枝叶脱落后在土壤表面形成的枯落物，二为根系。根系末端的根毛具有吸收功能。根系往往跟真菌或细菌联系密切，并形成菌根或根瘤。另一种植物——藻类也能和真菌结合在一起，形成地衣。

7- 科学家族

诸如查尔斯·达尔文、彼得·伊拉斯谟·穆勒、赛尔曼·瓦克斯曼等科学家凭借土钻、柏氏漏斗、显微镜等简易工具，改观了我们对土壤生物的认知。今天的科学家还可以运用来自生物信息学等学科的尖端技术，通过对土壤中DNA（脱氧核糖核酸）的研究来了解土壤生物多样性。

土壤食物网



藏于土中的生命7家族

1- 小型土壤动物及微生物家族

该家族成员在土壤生物中个头最小、数量最多，往往需要借助显微镜才能被看到。该家族中有诸如细菌、原生动物（如纤毛虫、变形虫）等单细胞生物，也有诸如真菌、轮虫、线虫等多细胞生物。

2- 中型土壤动物家族

该家族成员个头依然很小（小于2毫米），用肉眼很难看清，可用放大镜观察。在该家族中，我们可以找到很多奇形怪状的无脊椎动物，如水熊虫、线虫、螨等，以及诸如跳虫、双尾虫、原尾虫等小型节肢动物。

藏于土中的生命

土壤环境晦暗无光，且纷杂多变。那里的微生物，以及大、中、小型土壤动物彼此之间总在相遇、相食、相系、相离。

这些生物或以有机质为食，或捕食那些以有机质为食的生物，从而形成了土壤食物网或更简单的土壤食物链。诸如细菌、真菌等微生物是取食有机质的主力军，同时自身又是原生动物（如纤毛虫或变形虫）、轮虫、线虫或跳虫们的食物。而后者这些动物又是水熊虫、螨、原尾虫等更大型的土壤动物们的猎物。这一系列的取食活动，使植物残体得以分割、破碎、降解、转化，并在真菌、细菌、原生动物、昆虫幼虫、蚯蚓、马陆、线蚓、双尾虫等生物的作用下与土壤中的矿物质颗粒混合在一起。

这张土壤食物网由植物残体维系着，对植物的生长至关重要。没错，所有这些生物都通过对有机质的摄取获得能量，并同时产出残屑和养料。养料中的营养物质通过根系及其表面具有吸收功能的根毛被植物体吸收利用，对于植物来说，它们不可或缺。要知道我们的化肥中所含的也正是这些营养物质，如氮、磷、钾等。因此可以说，是土壤生物回收了表层土壤中的有机质，并为植物生长提供了必需的矿物质养料。倘若没有它们，植物的枯枝落叶残体恐将在土表堆出好几米高，植物将因此无法继续生长！

土壤生物之间并非仅仅相互捕食。其中有些生物可通过一种名叫“共生”的关系帮助植物获取养分。这种关系往往存系于两种生物之间，双方在一般情况下均为受益者。地衣是藻类和真菌的共生体：藻类负责提供糖分，有时也提供从空气中固定的氮素；而真菌负责提供保护、水分和养分。在土壤中，一些植物根系与真菌或细菌之间存在共生关系，并分别形成菌根或根瘤。菌根上的菌丝可增大根系的覆盖范围，以便更好地摄取土壤中的水分和养分；根瘤中的细菌可将空气中的氮固定下来为己所有，并将一部分氮传输给根系。而植物也会投桃报李，向真菌或细菌提供它们生长发育所需的糖分。绝大多数植物都有菌根，而根瘤在豆科植物（如四季豆、豌豆、蚕豆、黄豆等）中最为常见。

土壤生物也在土壤形成及其结构塑造的过程中扮演着关键角色。地衣可直接附着在岩石上，不仅参与土壤漫长的形成过程，还帮助其它动植物扎根落脚。随后，这些生物的活动也将积极促进土壤结构的塑造。土壤并非是一层紧实、均质的材料：它具有“空心”的部分——孔洞与廊道，使得空气和水在里面流通；它也具有“实心”的部分——那些大小不一的土块或土壤团聚体。土壤中绝大多数空隙和团聚体均因土壤生物而形成（如蚯蚓、昆虫幼虫、白蚁、蚂蚁的廊道和粪便），并可被真菌的菌丝、细菌的粘液等加固、粘合。这些“空心”和“实心”的布局，即土壤的结构，对植物根系在土壤中的伸展、贯穿至关重要，并决定着土壤中空气和水的贮存总量以及可被根系吸收的有效贮存量。

土壤生物的生命活动保障了土壤的功能，尤其是在促进植物生长以及提高透过土壤的水和空气的质量等方面。像其它生态环境一样，土壤也十分脆弱。土壤的退化将直接威胁到土壤生物多样性的维持。退化后的土壤，如有机质匮乏或遭受侵蚀的土壤，尽管可以被修复，但费力耗时。如今，城市化、土壤侵蚀、土壤污染是威胁土壤的主要元凶。土地利用方式的变更，如森林砍伐或耕地开垦等，也可导致土壤生物多样性的减少，因为在这些突如其来的变化中，土壤生物基本来不及迁徙或适应新的环境。我们了解土壤，认知它的功能和它庇护的生物有利于我们保护土壤，并进而获得它源源不断的馈赠，如木材、食物等等。

本款游戏中的多张照片来自欧盟委员会联合研究中心（JRC）编辑的《欧洲土壤生物多样性图集》。

在原法国环境与能源控制署(ADEME)科普工作的有力推动下，原法国生态、可持续发展和能源部（MEDDE）土壤资源的环境功能及管理（Gessol）项目资助了众多关于土壤及土壤可持续管理的科研工作。

法国土壤研究协会（AFES）是一家由从事土壤方面工作的专业人士及科研人员组成的学术性组织。

法国发展研究所（IRD）是一家法国科研机构，以促进发展中国家在社会、经济、文化方面的发展为目标。

游戏作者：Eric Blanchart(IRD)、Tiphaine Chevallier(IRD)、Jurgis Sapijanskas(MEDDE)、Camille Guellier(ADEME)、Antonio Bispo(ADEME)、Dominique Arrouays(AFES)

绘图：Béatrice Saurel

本款游戏项目资助方：原法国生态、可持续发展和能源部、原法国环境与能源控制署、法国土壤研究协会

鸣谢：Myriam Bès、Patrice Bueso、Martial Bernoux、Claire Chenu、Dominique Chirpaz、Sascha Desbourdes、Christian Feller、Claudy Jolivet、Linda Maurin、Murièle Millot、Nicole Moronval、Jean-Marc Moronval、Roland Poss、Diane Roque、Muriel Tapiou、Sylvie Truillet

译者：椿楸

校译：赵卉瑜、柯梦琦

*该游戏制作于2010年，一些机构的名称发生了变化，原法国环境与能源控制署现更名为法国生态转型署，原法国生态、可持续发展和能源部现更名为法国生态转型部。

中文第1版，2021年9月

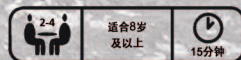
7 家族



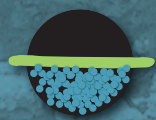
游戏规则

游戏目的是尽可能多地收集不同的家族，数目多者获胜。

一位玩家洗牌后，发给每位玩家七张牌，剩余的牌用于揭牌。游戏从发牌者左侧的玩家开始，该玩家向任意一位玩家索要一张某个家族的牌，而该牌所在的家族必须是他本人手牌中已经有的。例如，他可以说：“我想要大型土壤动物家族的蚯蚓。”提示：每个家族六个成员的名字可在牌的上方找到。如果对方玩家恰好有那张牌，他就必须将牌交给索要玩家，而索要玩家得到该牌之后，将获得再玩一次的机会；如果对方玩家没有那张牌，索要玩家可以从余牌中揭一张牌。如果他揭到的牌恰好是之前索要的那张牌，他可以说“中了”，然后可从头开始再玩一次；否则，将轮到换下一位玩家继续游戏。当玩家集满一个家族时，须将该家族的牌全部摊开，并继续游戏。最终的获胜者为收集家族数目最多的玩家。



藏于
土中
的生命



小型土壤动物
&微生物



中型土壤动物



大型土壤动物



巨型土壤动物



土壤



植物



科学

大型土壤动物家族



大型土壤动物家族 甲虫幼虫



甲虫幼虫
潮虫
蚯蚓
蚂蚁
马陆
白蚁



© Parc national de la Vanoise - Balais Christian

甲虫幼虫生活在土壤中，啃食植物根系。
实际大小：4 厘米

大型土壤动物家族 潮虫



甲虫幼虫
潮虫
蚯蚓
蚂蚁
马陆
白蚁



© JRC - S. Taiti

潮虫生活在暗处、枯落物中，以土壤表面的枯叶为食。
实际大小：1.5 厘米

大型土壤动物家族 蚯蚓



甲虫幼虫
潮虫
蚯蚓
蚂蚁
马陆
白蚁



© JRC - P. Schmidt

蚯蚓每年可疏松、改良大量土壤，从而改善土壤肥力和结构。
实际大小：5 - 30 厘米

大型土壤动物家族 蚂蚁



甲虫幼虫
潮虫
蚯蚓
蚂蚁
马陆
白蚁



© JRC - A. Mori & D. Grasso

蚂蚁是杂食性动物，几乎什么都吃，如昆虫、植物碎屑等。
实际大小：0.8 - 2 厘米

大型土壤动物家族 马陆



甲虫幼虫
潮虫
蚯蚓
蚂蚁
马陆
白蚁



© E. Blanchard

马陆俗称千足虫，是重要的食碎屑者，食用土壤表面的植物残余，并将其切成碎片。
实际大小：8 厘米

大型土壤动物家族 白蚁



甲虫幼虫
潮虫
蚯蚓
蚂蚁
马陆
白蚁

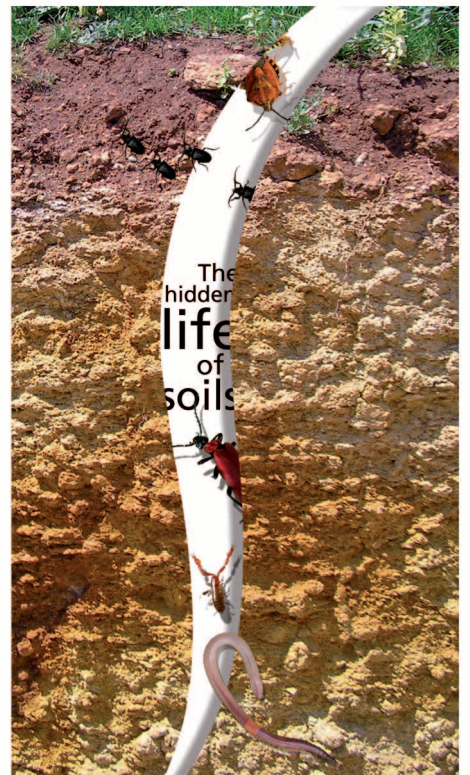
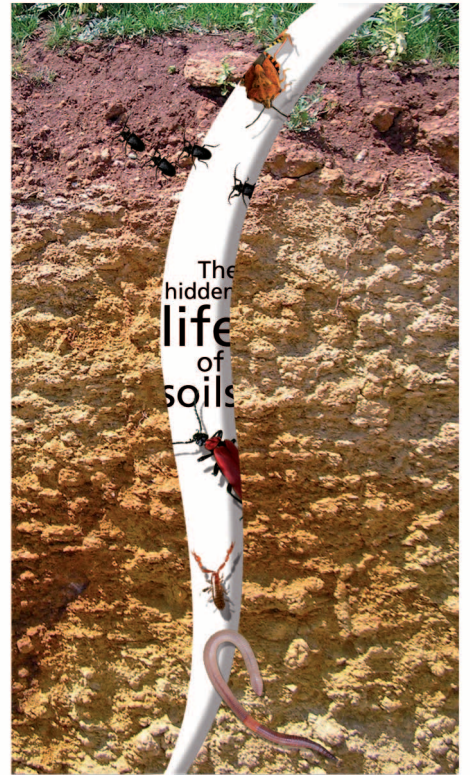


© JRC - E. Chiappini

白蚁以木头、草、真菌和有机质为食，生活在白蚁巢中。
实际大小：0.5 - 1 厘米

藏于
土中
的生命





巨型土壤动物家族



巨型土壤动物家族

穴兔

穴兔
河狸
獾
鼯鼠
旱獭
蟾蜍



© J.M. Ducos

穴兔白天躲在洞穴里，傍晚和夜间才出来觅食，食用植物茎叶。

实际大小：40 厘米

巨型土壤动物家族

河狸

穴兔
河狸
獾
鼯鼠
旱獭
蟾蜍



© Ile du Beurre

河狸善于挖洞筑堤，喜食树皮、叶子、果实等。

实际大小：1 米

巨型土壤动物家族

獾

穴兔
河狸
獾
鼯鼠
旱獭
蟾蜍



© J. Blanc

獾是杂食性动物，昆虫、啮齿动物、蘑菇、蚯蚓等均是它的食物。

实际大小：70 厘米

巨型土壤动物家族

鼯鼠

穴兔
河狸
獾
鼯鼠
旱獭
蟾蜍



© JRC - A. Jones

鼯鼠独居在它自己挖的地道中，那里有它最爱的食物——蚯蚓！

实际大小：15 厘米

巨型土壤动物家族

旱獭

穴兔
河狸
獾
鼯鼠
旱獭
蟾蜍



© Parc National de la Vanoise
- C. Gotti

旱獭一年要在地下睡上六个月，夏季极其贪吃，主要食用植物，从茎到花统统都吃。

实际大小：50 厘米

巨型土壤动物家族

蟾蜍

穴兔
河狸
獾
鼯鼠
旱獭
蟾蜍



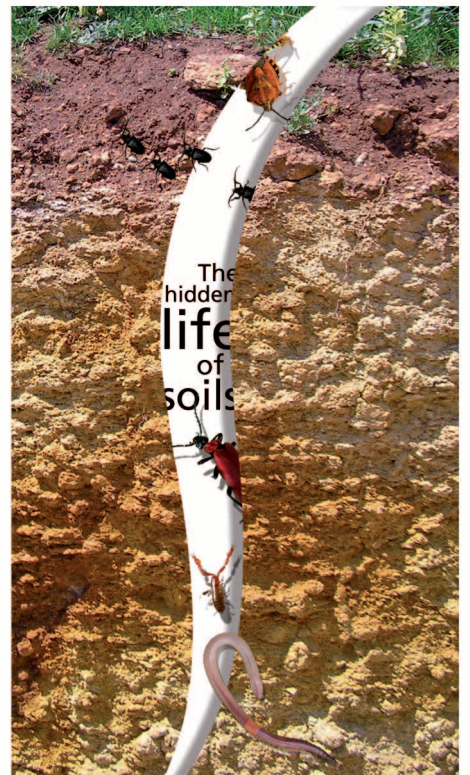
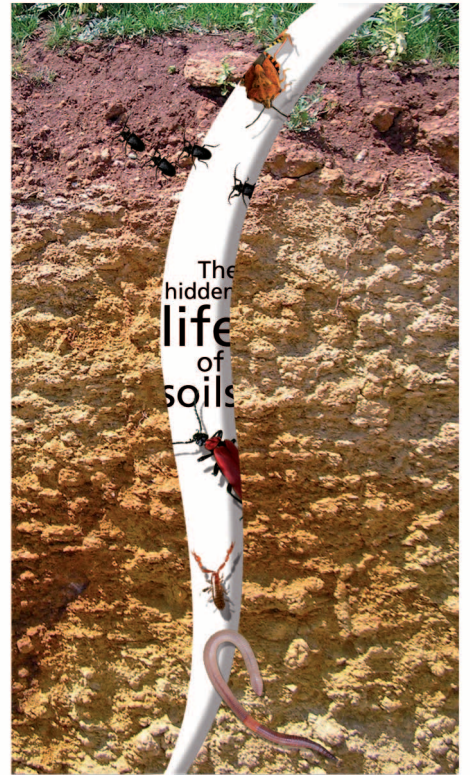
© C. Jolivet

蟾蜍以昆虫为食，主要在夜间活动，白天藏于它在土表挖的洞穴里。

实际大小：5-10 厘米

藏于
土中
的生命





中型土壤动物家族



中型土壤动物家族

水熊虫

水熊虫
线蚓
原尾虫
跳虫
螨
双尾虫



© JRC - Eye of science

水熊虫是缓步动物的俗称，以轮虫、线虫、原生动物等为食。

实际大小：0.5 毫米

中型土壤动物家族

线蚓

水熊虫
线蚓
原尾虫
跳虫
螨
双尾虫



© JRC - H.C. Fründ

线蚓（图片左侧）是蚯蚓（图片右侧）的远亲，以枯叶为食。

实际大小：直径0.2 毫米

中型土壤动物家族

原尾虫

水熊虫
线蚓
原尾虫
跳虫
螨
双尾虫



© JRC - D. Walter

原尾虫有六只脚，但没有翅膀、眼睛及触角，以微生物为食。

实际大小：1 毫米

中型土壤动物家族

跳虫

水熊虫
线蚓
原尾虫
跳虫
螨
双尾虫



© JRC - C. Menta

跳虫主要生活在枯落物中，以真菌和细菌为食。

实际大小：0.5 毫米

中型土壤动物家族

螨

水熊虫
线蚓
原尾虫
跳虫
螨
双尾虫



© JRC - D. Walter

螨是蜘蛛的远亲，一般食用植物碎屑，但也可以食肉。

实际大小：0.5 毫米

中型土壤动物家族

双尾虫

水熊虫
线蚓
原尾虫
跳虫
螨
双尾虫



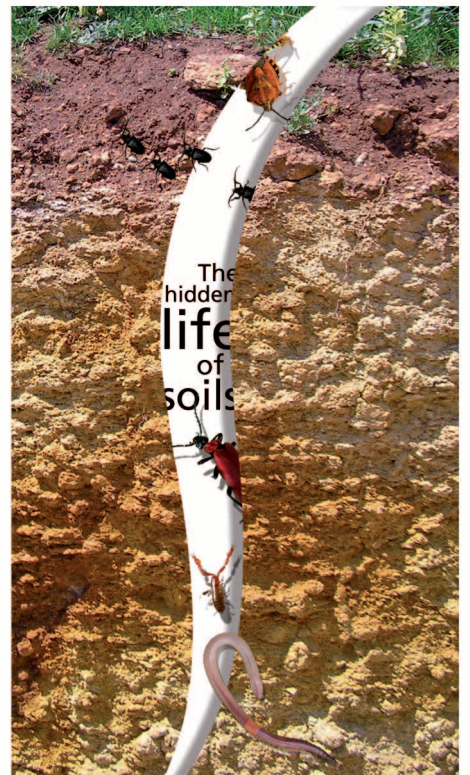
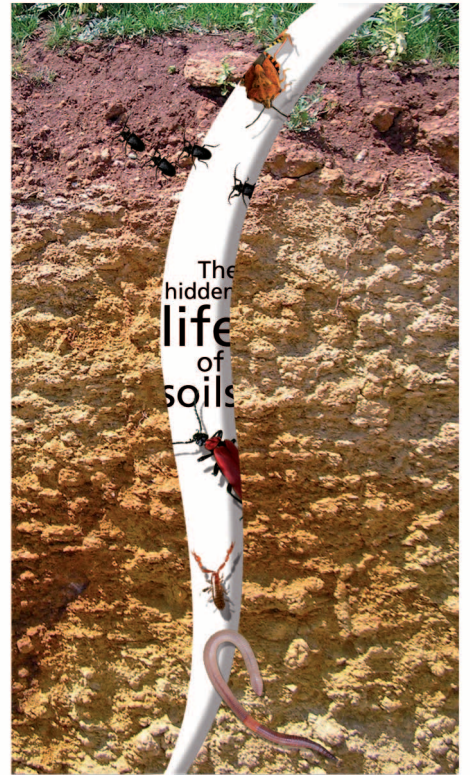
© JRC - D. Walter

双尾虫是捕食性动物，通过其尾铗来捕食螨和跳虫。

实际大小：2 毫米

藏于
土中
的生命





科学家族



科学家族 柏氏漏斗



柏氏漏斗
查尔斯·达尔文
赛尔曼·瓦克斯曼
彼得·穆勒
显微镜
土钻



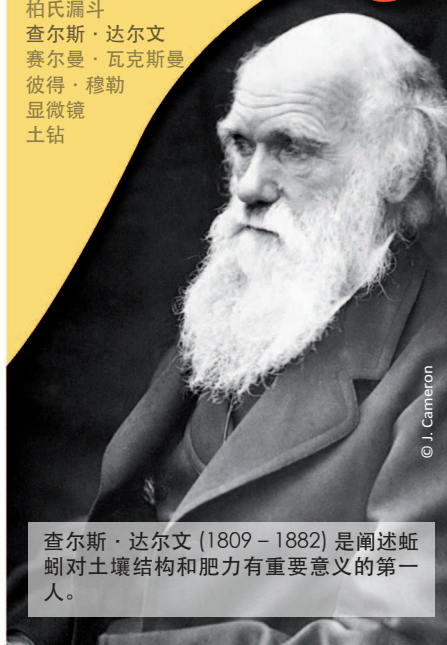
© E. Blanchart

柏氏漏斗可以将中型土壤动物从土壤中分离出来，以便于我们更好地观察和研究这些小于2毫米的生物。

科学家族 查尔斯·达尔文



柏氏漏斗
查尔斯·达尔文
赛尔曼·瓦克斯曼
彼得·穆勒
显微镜
土钻



© J. Cameron

查尔斯·达尔文 (1809 - 1882) 是阐述蚯蚓对土壤结构和肥力有重要意义的第一人。

科学家族 赛尔曼·瓦克斯曼



柏氏漏斗
查尔斯·达尔文
赛尔曼·瓦克斯曼
彼得·穆勒
显微镜
土钻



© R. Higgins - NYWTS

赛尔曼·瓦克斯曼 (1888 - 1973) 通过研究土壤微生物发现了一系列可以用来治疗疾病的抗生素。

科学家族 彼得·穆勒



柏氏漏斗
查尔斯·达尔文
赛尔曼·瓦克斯曼
彼得·穆勒
显微镜
土钻



© M. Christensen

彼得·伊拉斯谟·穆勒 (1840 - 1926) 发现了土壤生物参与了土壤的形成。

科学家族 显微镜



柏氏漏斗
查尔斯·达尔文
赛尔曼·瓦克斯曼
彼得·穆勒
显微镜
土钻



© T. Chevallier

光学显微镜通过放大作用使我们能够观察那些大小在 0.001 - 1 毫米之间的微小生物。

科学家族 土钻



柏氏漏斗
查尔斯·达尔文
赛尔曼·瓦克斯曼
彼得·穆勒
显微镜
土钻

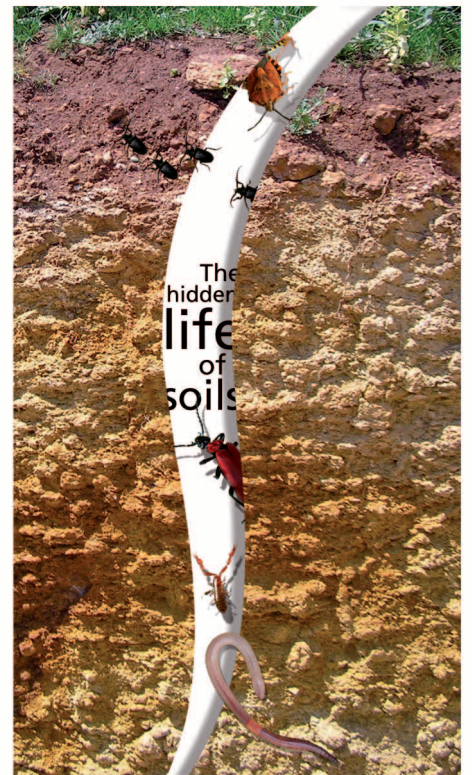
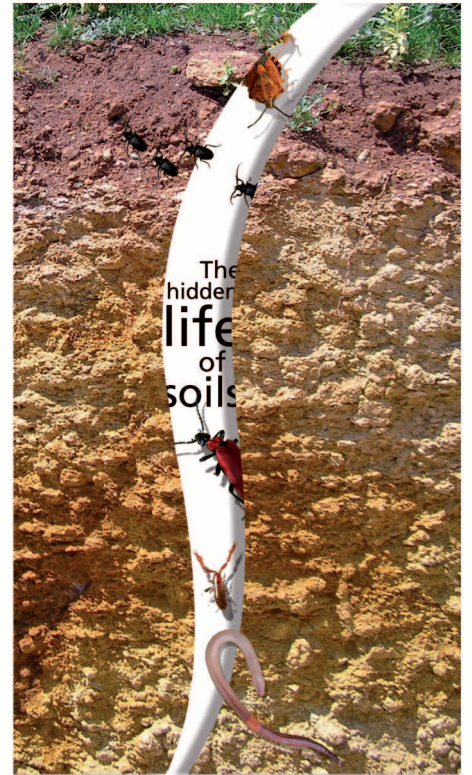


© Eijkkamp

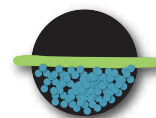
土钻可以用来取出不同深度的土壤样品。使用土钻时只需要向下按住手柄转动钻头即可。

藏于
土中的
生命





小型土壤动物&微生物家族

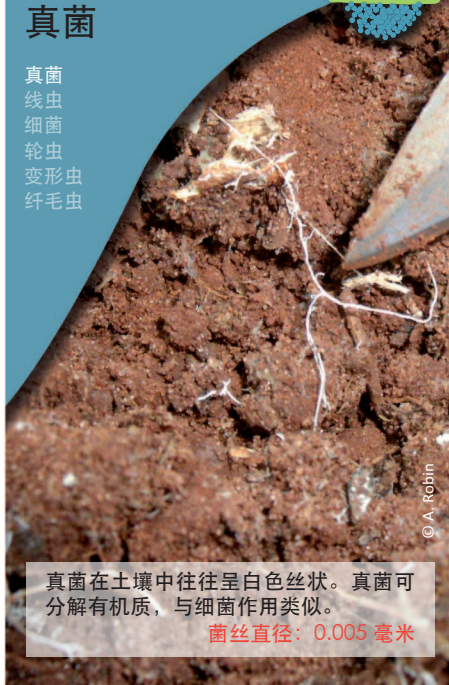


小型土壤动物

& 微生物家族

真菌

真菌
线虫
细菌
轮虫
变形虫
纤毛虫



真菌在土壤中往往呈白色丝状。真菌可分解有机质，与细菌作用类似。

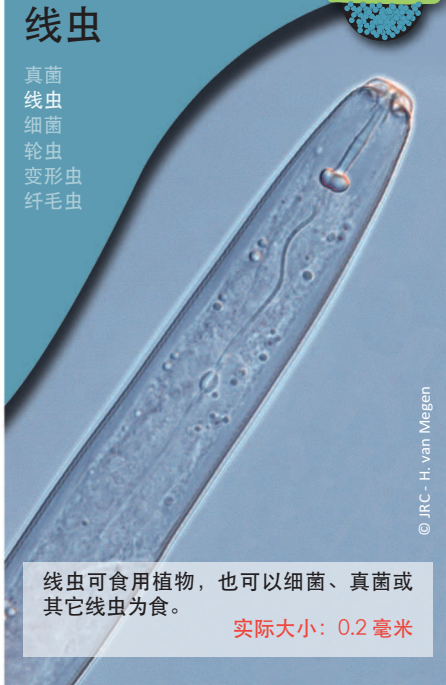
菌丝直径：0.005 毫米

小型土壤动物

& 微生物家族

线虫

真菌
线虫
细菌
轮虫
变形虫
纤毛虫



线虫可食用植物，也可以细菌、真菌或其它线虫为食。

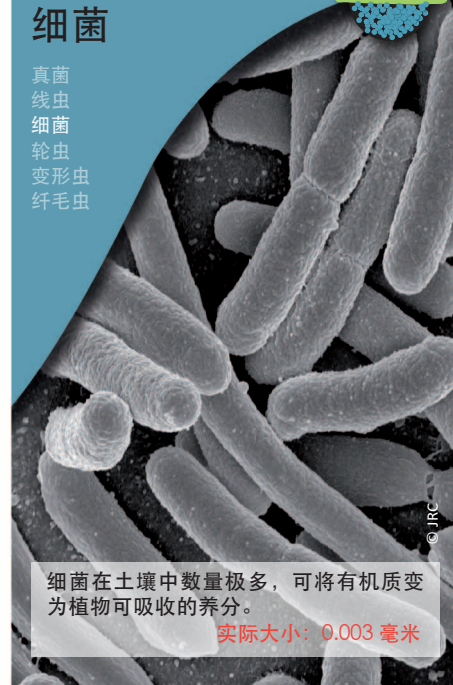
实际大小：0.2 毫米

小型土壤动物

& 微生物家族

细菌

真菌
线虫
细菌
轮虫
变形虫
纤毛虫



细菌在土壤中数量极多，可将有机质变为植物可吸收的营养。

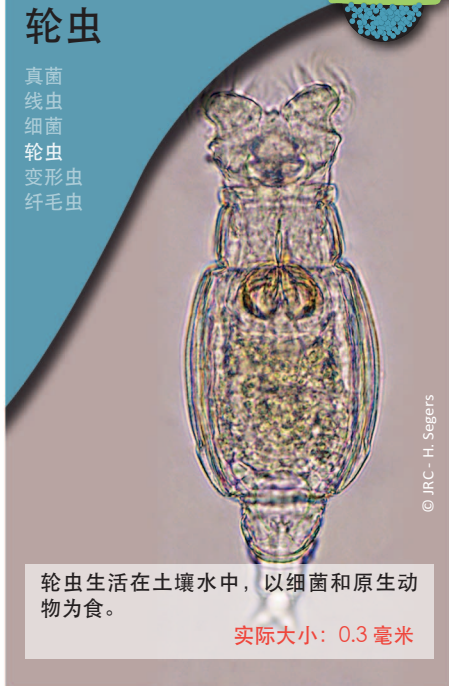
实际大小：0.003 毫米

小型土壤动物

& 微生物家族

轮虫

真菌
线虫
细菌
轮虫
变形虫
纤毛虫



轮虫生活在土壤水中，以细菌和原生动物为食。

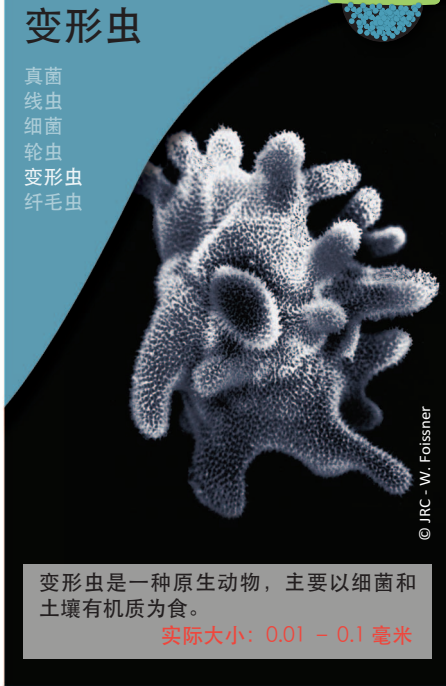
实际大小：0.3 毫米

小型土壤动物

& 微生物家族

变形虫

真菌
线虫
细菌
轮虫
变形虫
纤毛虫



变形虫是一种原生动物，主要以细菌和土壤有机质为食。

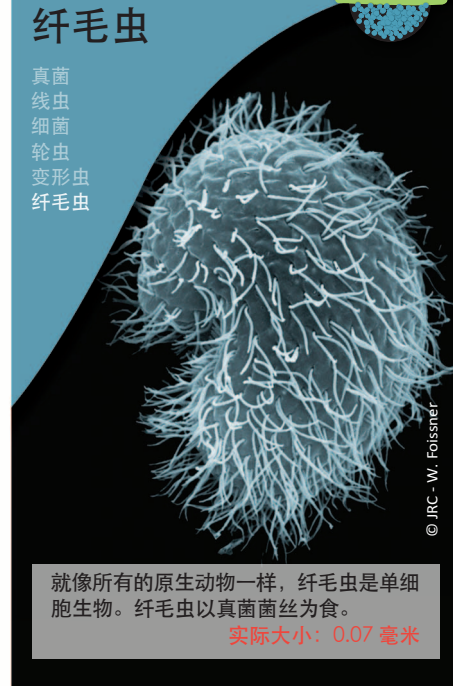
实际大小：0.01 - 0.1 毫米

小型土壤动物

& 微生物家族

纤毛虫

真菌
线虫
细菌
轮虫
变形虫
纤毛虫

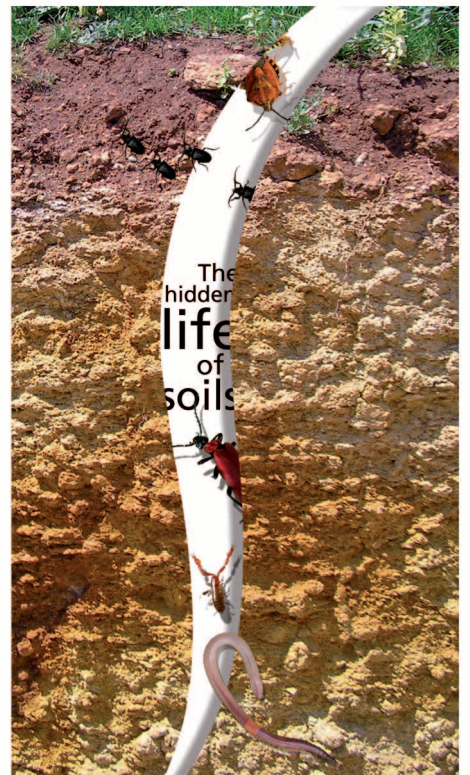
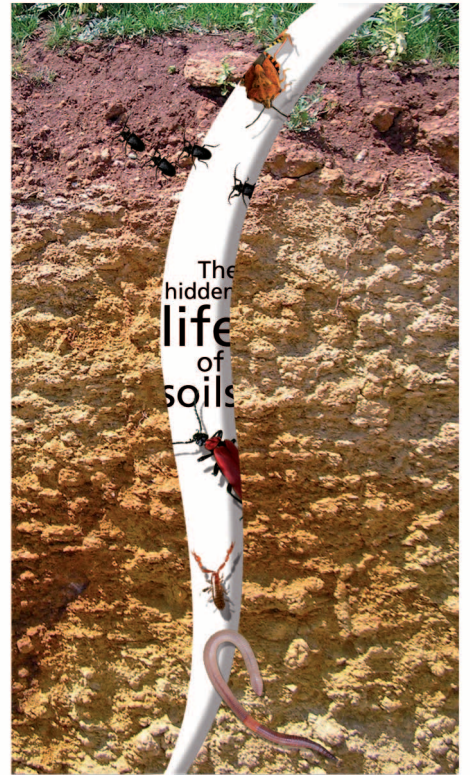


就像所有的原生动物一样，纤毛虫是单细胞生物。纤毛虫以真菌菌丝为食。

实际大小：0.07 毫米

藏于
土中
的生命





土壤家族



土壤家族 有机质

有机质
砂粒
粉粒
黏粒
空气
水



有机质包含着活体生物和处于不同程度分解状态、融合在土壤中的死亡有机体。

土壤家族 砂粒

有机质
砂粒
粉粒
黏粒
空气
水

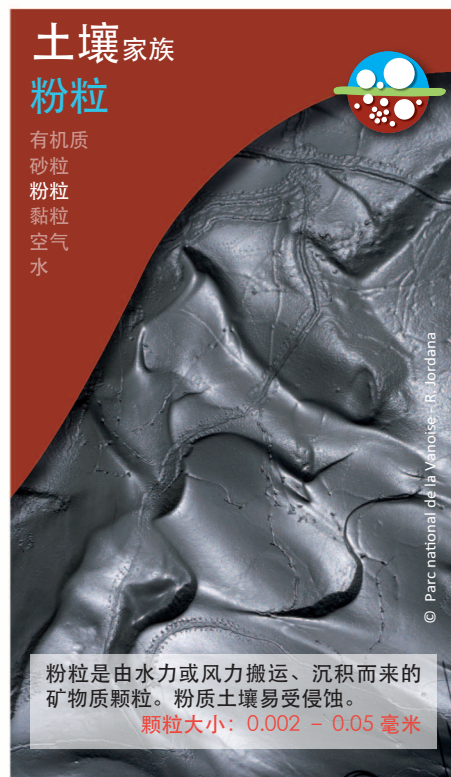


砂粒是由岩石风化而产生的矿物质颗粒。砂质土壤保水性差。

颗粒大小：0.05 - 2 毫米

土壤家族 粉粒

有机质
砂粒
粉粒
黏粒
空气
水

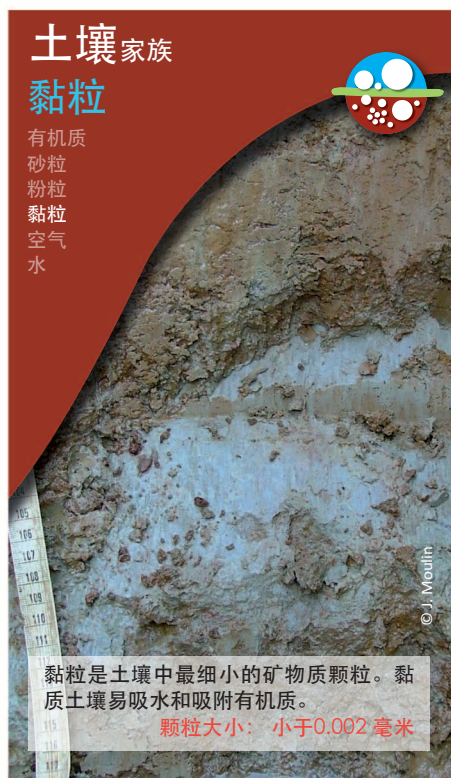


粉粒是由水力或风力搬运、沉积而来的矿物质颗粒。粉质土壤易受侵蚀。

颗粒大小：0.002 - 0.05 毫米

土壤家族 黏粒

有机质
砂粒
粉粒
黏粒
空气
水



黏粒是土壤中最细小的矿物质颗粒。黏质土壤易吸水 and 吸附有机质。

颗粒大小：小于0.002 毫米

土壤家族 空气

有机质
砂粒
粉粒
黏粒
空气
水



空气为土壤生物带来呼吸作用所需的氧气 (O_2)。这些生物吸入氧气，呼出二氧化碳 (CO_2)。

土壤家族 水

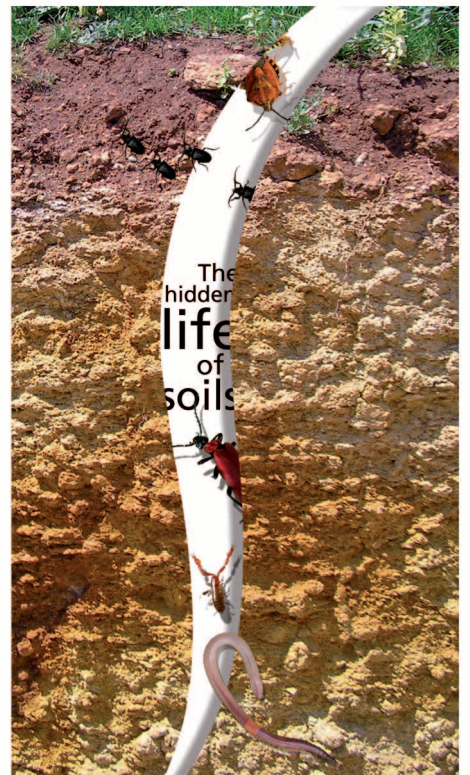
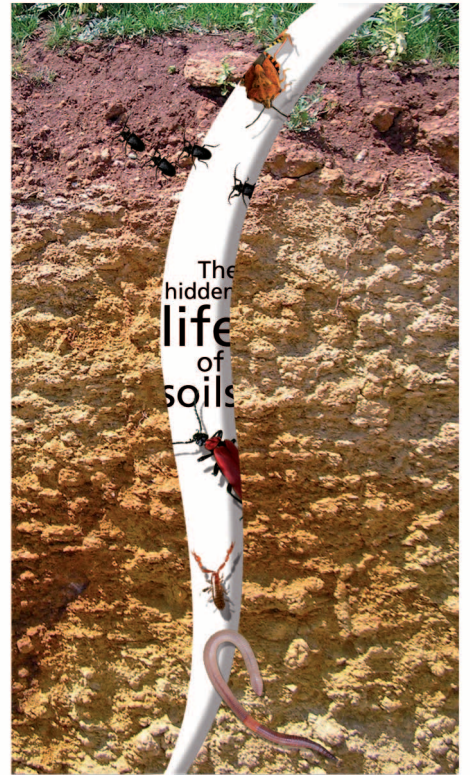
有机质
砂粒
粉粒
黏粒
空气
水



水是土壤的生命之源。微生物及小型土壤动物可以浮在土壤水上，从而在土中移动、迁徙。

藏于
土中
的生命





植物家族



植物家族 根系

根系
根毛
菌根
根瘤
地衣
枯落物



根系起到支撑植株、吸收水分和养分的作用。

© O. Barfleur

植物家族 根毛

根系
根毛
菌根
根瘤
地衣
枯落物



长在根系末端的根毛扩大了植物对土壤水分和养分的吸收范围。

实际大小：1 - 5 毫米

© C. Plassard

植物家族 菌根

根系
根毛
菌根
根瘤
地衣
枯落物

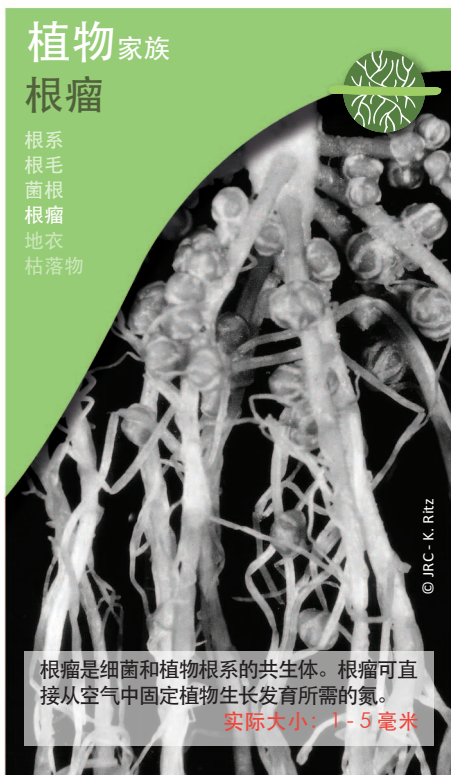


菌根是真菌（图中白色部分）和植物根系的共生体。真菌和根系之间相互依存，互惠互利。

© C. Plassard

植物家族 根瘤

根系
根毛
菌根
根瘤
地衣
枯落物



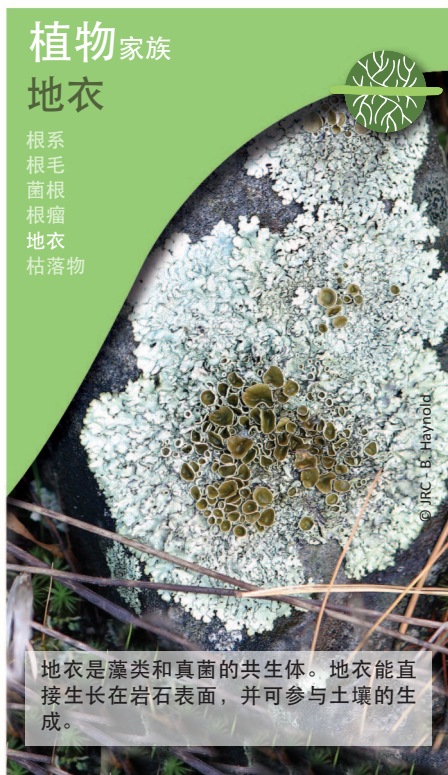
根瘤是细菌和植物根系的共生体。根瘤可直接从空气中固定植物生长发育所需的氮。

实际大小：1 - 5 毫米

© JRC - K. Ritz

植物家族 地衣

根系
根毛
菌根
根瘤
地衣
枯落物



地衣是藻类和真菌的共生体。地衣能直接生长在岩石表面，并可参与土壤的生成。

© JRC - B. Haynold

植物家族 枯落物

根系
根毛
菌根
根瘤
地衣
枯落物



枯落物指的就是土壤表面的枯枝落叶。枯落物中的动物可将这些植物残体分割、切成小片。

© JRC - A. San Miguel

藏于
土中
的生命



