



PROGRAMME

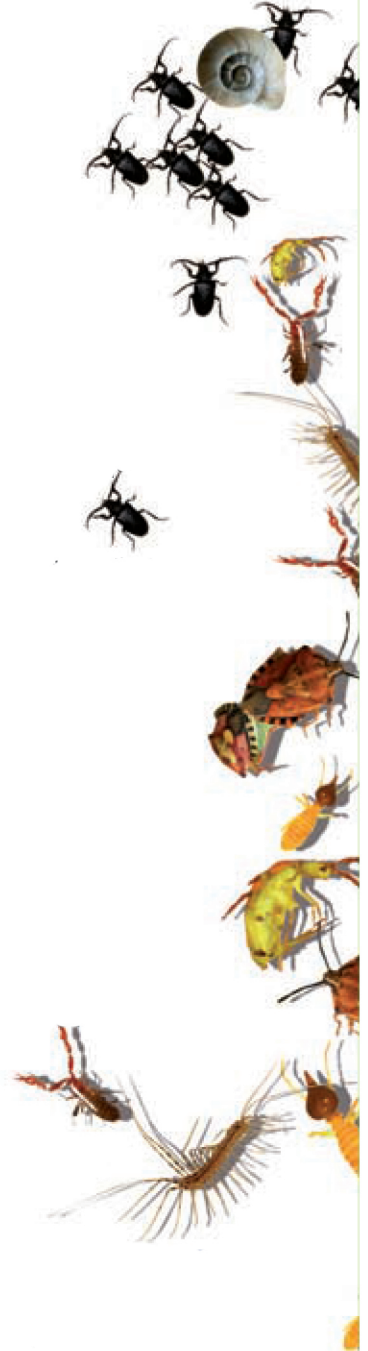


GESSOL  
Fonctions  
environnementales  
& gestion du  
patrimoine sol



# 藏于 土中 的生命

## 土壤知识配套学习手册



\*本材料于2010年国际生物多样性年的背景下撰写，  
并得到土壤资源的环境功能及管理（GESSOL）项目  
科学理事会的大力支持。



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*





# 目录

土壤是活的 - 4



土壤生物多样性 - 6



土壤生物多样性的功能 - 10



土壤生物多样性面临的威胁 - 14



土壤生物多样性的保护 - 16



观察花园里的土壤生物多样性！ - 18



从上到下：

甲虫 - 蚯蚓 - 马陆 - 蜗牛 - 蘑菇 - 跳虫

# 土壤是活的

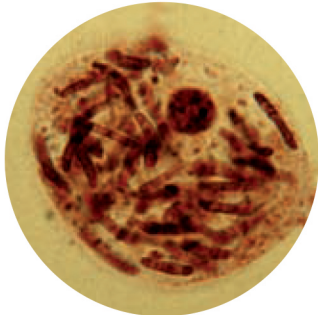
## 土壤中的生命保障了土壤的功能……

土壤除了为农业生产提供保障以外，还具有许多其它的生态服务功能，例如：滤水、蓄水、存留污染物等。土壤的肥沃、食品的健康、空气的清新、水质的洁净——这一切都与土壤本身以及孕育其中的生物的活动息息相关。在土壤中，即使每个生物在功能上各有所长，在影响土壤性质时各有千秋，但它们在整体上呈现的多样性以及它们之间错综复杂的关系，使土壤功能得以健全，并正常运转，也确保它们自身在面对气候变化和土地利用方式变化时具有一定的适应能力。

土壤是我们生存环境的基石，是孕育无数生命的摇篮。没错，土壤庇护着全球超过四分之一的已知生物。花园里一咖啡匙量的土壤中就可能含有成千上万个物种和不计其数的生命。正是这些生命体提供了众多不可或缺的生态服务功能，才保证了生态系统的运转和人类社会的发展。



© E. Micheli,  
Szent Univ, Hungary



吞下了真菌孢子的原生动物  
© L. Palka, MNHN



蚯蚓的卵  
© A. Bispo, ADEME

### .....却仍较少被认知

土壤生物多样性是人类对生物多样性认知最薄弱的环节之一，被视为与海洋底层、热带雨林树冠层并列的“第三个生物层”。

在地球历史上第六次物种大灭绝为我们敲响警钟之际<sup>1</sup>，可持续地经营资源与环境、保护生物多样性遗产已是刻不容缓！

### 土壤中有多少生命体？（生物量）

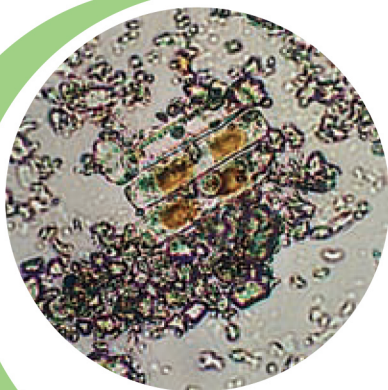
温带草原每平方米的土壤动物个体数量高达2.6亿，相当于每公顷至少1.5吨的重量（约等于50头羊的重量），每平方米的蚯蚓数量平均可达200条。



© I. Feix, ADEME

<sup>1</sup> - 欧盟委员会环境总署(European Commission - DG ENV), 2010年, 《土壤生物多样性: 功能、面临威胁和面向政策制定者的工具》(Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers)

# 土壤生物多样性



土壤藻类

© A. Bérard, Cemagref

土壤生物多样性囊括了生物生命周期中至少存在一个在土壤中处于活跃态阶段的所有生命体。它涵盖了那些生活在土壤、地表枯枝落叶、处于分解状态的枯倒木，以及排泄物中的生物。

## 各种大小的生物……

土壤生物一般可分为如下几类：

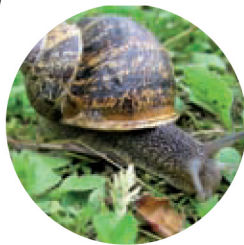
- 巨型土壤动物（如鼯鼠、蟾蜍、蛇等）；
- 大型土壤动物，用肉眼可以看到（如蚯蚓、白蚁、蚂蚁、昆虫的幼虫等）；
- 中型土壤动物，用放大镜可以看到（如螨、跳虫等）；
- 小型土壤动物及微生物，往往只能用显微镜才能看到（如原生动动物、线虫、细菌、真菌等）。

那些个头最小的生物往往数量最大、种类最多。地球上的细菌和真菌或超过两百万种，但它们之中仅有1%被鉴别了出来。相比之下，蚯蚓则算是生物量最大、种类被了解得最为透彻的物种了。





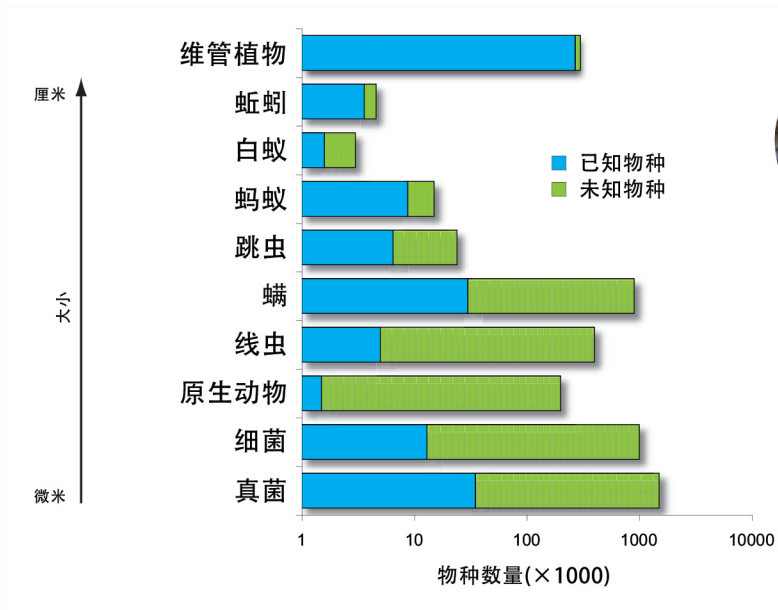
1



2

### ..... 栖息于多样的环境之中

土壤环境复杂多变，即使在一个很微小的距离范围内亦是如此。土壤中包含着大大小小的空隙空间，蕴藏着形形色色的食物养料。这样的环境能支持一个数目庞大的生物群在此“安家落户”，并有助于让物种之间形成繁杂多样的食物链。其中绝大多数生物都生活在距离土表2-3厘米的土中——那里有机质的含量往往最高，植物根系的数量往往也最多。



3



4

1- 林下灌木丛的蘑菇（真菌）© C. Milton, ADEME  
2- 蜗牛 © A. Bispo, ADEME  
3- 昆虫幼虫 © A. Bispo, ADEME  
4- 跳虫 © J. Cortet, INPL/ENSAIA



# 土壤生物多样性



## 研究土壤中的生命

我们对土壤生物多样性的研究涉及从基因到群落的各个方面，研究尺度也可小至土团，大到景观。

研究个头较大的动物时，我们可以收集或诱捕它们，并在实验室内对其进行识别和描述，例如我们可以估测它们在单位平方米土中的数量和重量。

然而，绝大多数土壤生物肉眼并不可见。所以，我们需要对土壤进行取样（取至100克），然后在实验室内借助相应仪器对其进行提取分离，并使用放大镜、显微镜等工具对其进行观测。

对于细菌、真菌等微生物，我们则可借助分子生物学的手段从土壤中将其DNA（脱氧核糖核酸）提取出来，并以此对土壤微生物群落的结构、物种数量、遗传的多样性进行描述，甚至鉴别出部分物种。

识别、估算、描述土壤生物多样性可以帮助我们制定出相应的指标，以评估土壤及其所在环境的质量。目前这些指标依然尚处研究阶段，它们可以通过实验室分析得到，并最终可由土地使用者本人通过亲身测量获取，并将在我们认知土壤的过程中扮演重要角色。



蚯蚓采集  
© A. Bispo, ADEME





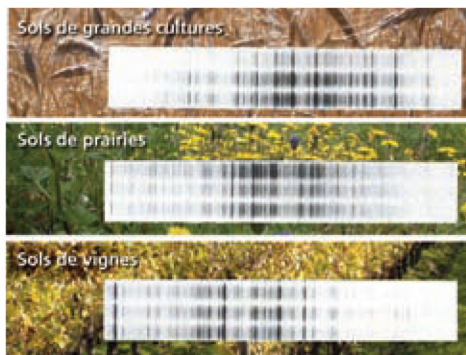
用显微镜进行观察  
© A. Bispo, ADEME

## 国土尺度的实验

为了更好地了解土壤生物多样性以及如何利用土壤生物指标监测土壤质量，近年来，多个科研实验在法国全国范围内得以开展。

为此，在GESSOL项目的支持下，首个法国全国土壤样品DNA提取的标准流程得以建立。

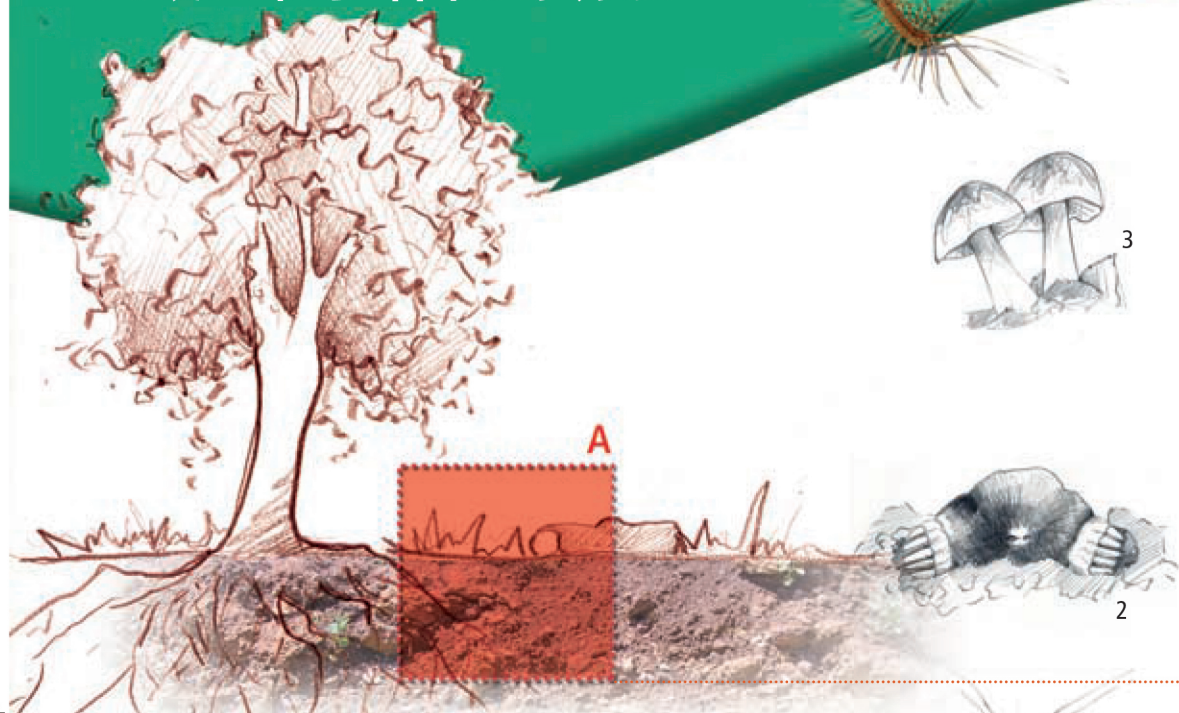
此外，法国环境与能源控制署当前正在主持一项全国范围内的科研项目，该项目的目标是制定一系列“土壤质量生物指标”，以便更好地监测土壤。



条带图 © L. Ranjart, INRA

反映细菌群落结构的条带图可以通过分析土壤DNA数据获得。基于B-ARISA分析——细菌自动核糖体间隔基因分析而得出的这些条带显示了土壤细菌群落结构在农作物田地、天然草地、葡萄种植园这三种不同的土地利用类型之间存在差异。为了评估不同土地利用类型对土壤微生物多样性的影响，法国在全国范围内开展了更加详尽的研究工作（ECOMIC-RMQS项目）。

# 土壤生物多样性的功能



土壤生物多样性保障了土壤和生态系统的功能。土壤生物可以按大小分类，但也可以按功能分类，并对应着不同的空间尺度。

**A - 机械工程师**（如蚯蚓、白蚁、蚂蚁等），它们在生态系统中可以改良土壤结构、为其它土壤生物营造栖息环境，并能调动有机质养料、水等资源的空间分配。

**B - 调控师**（如线虫、跳虫、螨等），它们可以调控土壤微生物种群的变化和活力。例如多样化的捕食者可以有效抑制一些对农作物有害的真菌、细菌的繁衍。

**C - 化学工程师**，它们主要由微生物（如细菌、真菌等）组成，它们保证了枯枝落叶等有机质的分解，并将后者转化为易被植物吸收利用的养分（如氮、磷等）。同时，它们也是烃类、农药等有机污染物的有效降解者。

在一个足球场大小的地面上（大于7000平方米），每年土壤生物可将高达25吨的枯枝落叶分解并输入到土壤中去。

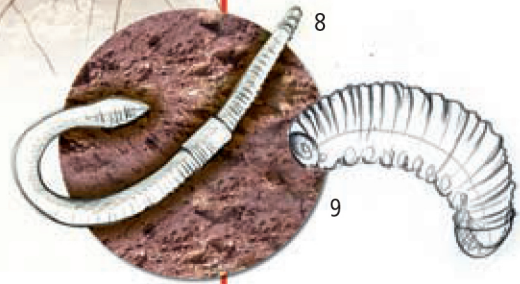


A



7

B

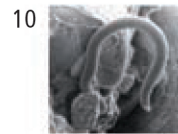
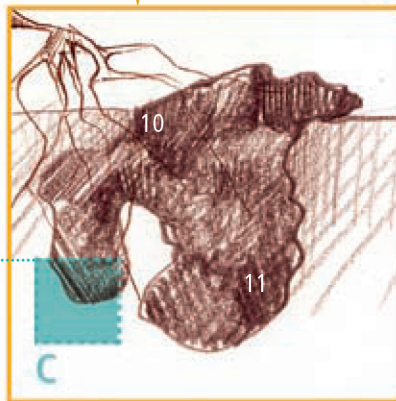


9

- 1 - 马陆
- 2 - 鼯鼠
- 3 - 真菌
- 4 - 甲虫
- 5 - 跳虫
- 6 - 蜗牛
- 7 - 螨
- 8 - 蚯蚓
- 9 - 昆虫的幼虫

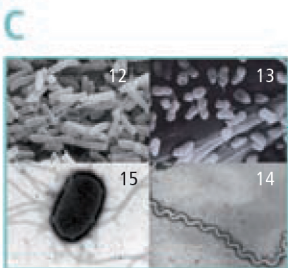
- 10 - 线虫 © Claire Chenu, INRA
- 11 - 拟蝎
- 12-13-15 - 土壤细菌
- © Karl Ritz, Cranfield Univ., UK
- 14 - 藻类
- © Karl Ritz, Cranfield Univ., UK

B



10

11



C

C

# 土壤生物多样性的功能

土壤生物为人类社会提供了重要的生态服务功能，并保障了人类所处环境的质量及其生产能力。

## 土壤肥力

土壤生物通过改善土壤结构、主导有机质分解、促进植物养分吸收，从而为植物的产量和质量提供了间接保障。



© I. Feix, ADEME

## 作物保护

丰富的土壤生物多样性可增大土壤病害拥有天敌的机率。因此，维持或提高土壤生物多样性有助于减少农药的使用。

## 调节水循环和防止水土流失

蚯蚓等“生态系统工程师”可通过增强地表土壤的渗透性而促进水的下渗。例如，在受到污染的土中，由于蚯蚓的消失，土壤渗水能力可丧失高达93%，水土流失现象加剧。

## 去除土壤和水体污染

土壤微生物可以固持和降解污染物。根据2000年的一项估算结果，土壤微生物作为一种传统污染去除方案的替代方案，可为欧洲土壤污染修复工程节约成本590至1090亿欧元<sup>1</sup>。

## 人体健康

土壤生物以其惊人的多样性构成了地球上最大的基因库、化学库，从而为医药的研制提供了可靠的保障。例如，放线菌素、链霉素这些常见抗生素都是从土壤真菌中分离出来的。如今，许多科学家通过研究多样的土壤生物，进而研制出未来的药品和新型的生物催化剂（例如用木质纤维素材料进行生物炼制）。



由水力侵蚀造成的土地退化  
© V. Souchère, INRA



© I. Feix, ADEME



© N. Bertrand, INRA

# 土壤生物多样性面临的威胁

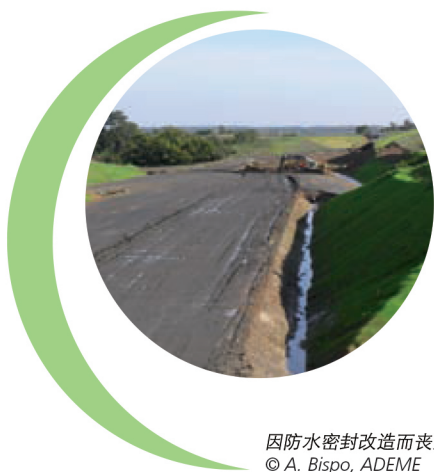


由人类土地利用活动（如城市化、使土地丧失渗水功能的防水密封改造、不合理的农林业经营管理等）及气候变化带来的日益增长的压力当前是，也将一直是造成土地退化的主要原因。

## 土壤生物多样性正在面临威胁……

土壤生物多样性正在面临着诸如土壤侵蚀、有机质含量减少、点源及面源污染、压实、酸化、使土地丧失渗水功能的防水密封改造，以及盐渍化等威胁。

土地利用方式变化（如城市化、森林砍伐、耕地开垦等）是导致土壤生物多样性减少的罪魁祸首，因为那些生物本来不及迁徙或适应新的环境。一般来说，天然草原土壤比高强度耕作的耕地土壤拥有更高的生物多样性。在城市里，土地的密封改造和绿地空间的隔阻将直接威胁到生物多样性的维系。

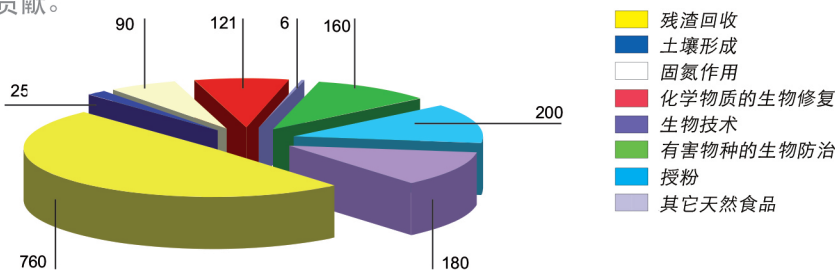


因防水密封改造而丧失了渗水功能的土壤  
© A. Bispo, ADEME

## .....尽管它们拥有重要的经济学价值

评估生物多样性的方法之一是赋予其经济学意义上的价值。

据估算，与生物多样性相关的全球经济效益值超过1万5千亿美元，其中相当大的一部分来自于土壤生物物的贡献。



根据 Pimentel et al. (1997)<sup>1</sup>与生物多样性相关的全球经济效益值的单位均为美元/年。

土壤生物多样性产生的价值往往不能被广大受益者所感知、察觉。给每个生态服务功能赋予一个具有经济学意义的价值，有助于我们认识到它们的重要性，并能将其考虑到生产、生活之中。为此，将土壤生物多样性的价值在全球和全国范围内作出评估，有利于我们制定相应的保护目标，也有助于我们将这些目标纳入到每个地区项目的成本预算中去。因此，有效考虑土壤生物多样性的生态服务功能价值将可以修正，甚至扭转不同土地利用方式或农业耕作方式之间划算性的权衡考量。



一个遭受污染的场所  
© F. Marot, ADEME

1- 皮芒泰尔等(Pimentel et al.), 1997年, 《生物多样性的经济和环境效益》(Economic and Environmental Benefits of Biodiversity), 生物科学 (BioScience) 47(1): 747-757

# 土壤生物多样性的保护



堆肥撒播

© L. Mignaux, MEEDDM

土地的空间规划和管理政策对土壤生物多样性及其生态服务功能有着至关重要的影响。尽管人类活动能为土壤及其生态服务功能带来重大影响，但这些影响并非都是负面或不可逆的。例如，一些农业生产者们会通过利用有助于提高土壤生物多样性的耕作方式来改善土壤质量。

## 几例有助于提高土壤生物多样性的耕作方式：

### 提高土壤有机质含量

能定期增加有机质的耕作方式有助于改善土壤结构、提高土壤蓄水保肥能力、防止土壤侵蚀和压实、维持土壤生物群落健康。

一些耕作方式，如作物秸秆还田、轮作中使用秸秆产量高的作物、撒播堆肥、少用或避免翻耕等，可提高土壤有机质含量。



森林中被压实的土壤  
© A. Bispo, ADEME



## 控制农业化学物质对土壤的污染

农药和化学肥料可以提高作物产量，但其中的活性物质或对土壤生物产生有害影响。此外，一些污染物的主动输入（如喷洒含铜的波尔多液）或非意愿输入（如化肥中的镉、净化站排出的底泥中的汞、动物粪肥中的锌等）可对土壤中的生物产生影响，或导致土壤生物多样性减少。

## 防止土壤压实

因机器设备反复碾压而导致的土壤压实——尤其在湿土条件下——会减少土壤中的空气和水分，并会压缩供植物根系和土壤生物生存、生长的空间。由于土壤被压实后修复几无可能，所以避免土壤压实最为关键（如使用低气压的轮胎、减少碾压次数等）。

## 最大程度地减少土壤侵蚀

裸露的土壤极易遭受水力和风力侵蚀，并易干燥和产生板结。植被覆盖或作物秸秆覆盖可起到保水、保肥、为土壤生物提供栖息地环境等作用，进而有效保护土壤。

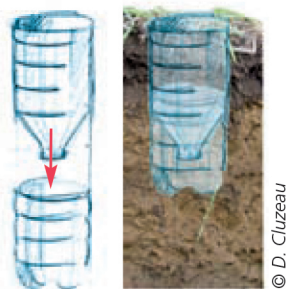


行间植草的葡萄种植园  
© I. Feix, ADEME

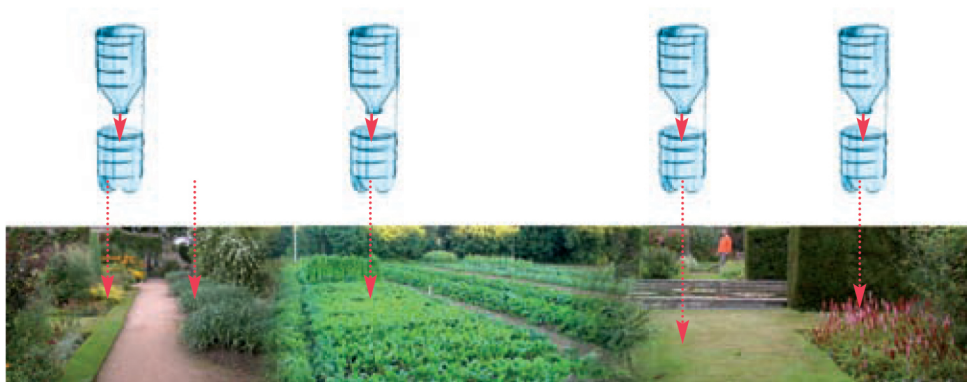
# 观察花园里的土壤生物多样性！

## 去花园里收集大型土壤动物们吧！

将一个塑料空瓶（无盖）剪成两半。把瓶口像漏斗一样倒放进底座中，用胶布将连接处的缝隙封住。倒入少量水和两滴洗洁精。将装置埋入土中，其上沿要与地表吻合、平齐。将装置静置一夜。第二天早上，看看里面都有什么！



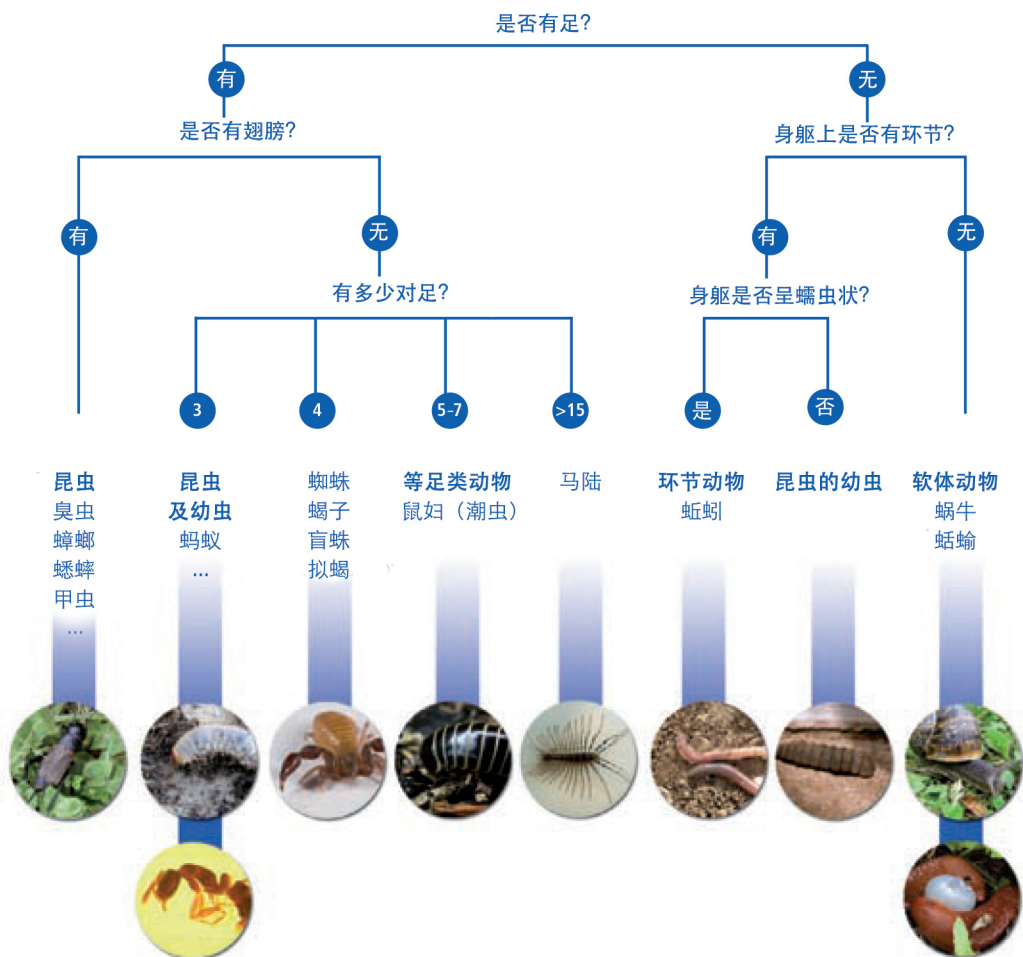
小技巧：将该装置放到花园中不同的地方，有助于了解土壤生物学的多样性。



© I. Feix, A. Bispo - ADEME

## 简易大型土壤动物鉴定流程图

灵感来源: Ruiz et al. (2008)<sup>1</sup>



1- 鲁伊兹(Ruiz et al.), 2008年, 《大型土壤动物实地手册: 技术层面》(Soil macrofauna field manual - Technical level), 联合国粮食及农业组织, 罗马  
<http://www.fao.org/docrep/011/i0211e/i0211e00.HTM>



在地球上已知的动植物物种里面，有超过四分之一的物种生活在土壤中。这些生物的活动保证了土力的肥沃、食品的健康、空气的清新和水质的洁净。气候变化和人类土地利用（如城市化、高强度农林经营等）造成的日益增长的环境压力直接威胁着土壤生物多样性及其功能。为了保证地球家园的可持续发展，保护土壤生物多样性刻不容缓。针对那些或对土壤造成影响的项目，我们需要将土壤生态服务功能所体现的价值纳入到项目评估中去。

#### 撰写委员会成员：

埃里克·布朗查尔(Eric Blanchart)，大型土壤动物学家  
帕特里克·拉维尔(Patrick Lavelle)，大型土壤动物学家  
阿涅斯·里绍姆-若利翁(Agnès Richaume-Jolion)，微生物学家  
雅克·贝尔特林(Jacques Berthelin)，微生物学家  
吉尔·格罗娄(Gilles Grolleau)，经济学家  
斯蒂芬·德·卡拉(Stéphane de Cara)，经济学家

#### 通讯作者：

玛丽昂·巴尔迪(Marion Bardy)，原法国生态、可持续发展和能源部  
可持续发展总局科研创新处科研科  
托马·埃格兰(Thomas Eglin)和安东尼奥·比斯泊(Antonio Bispo)，  
原法国环境与能源控制署科普工作者

\*注：通讯作者所在机构的名称如今已发生变化，这里采用的是2010年的机构名称。

手册设计：Béatrice Saurel

法文版出版于2010年10月

封面图片来源：Antonio Bispo、Eric Blanchart、Claire Chenu、  
Isabelle Feix



如需查阅法文原版材料，可通过下方网站链接下载：  
<https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/3564-vie-cachee-des-sols-la-9782111280359.html>

译者：椿楸

校译：赵卉瑜、柯梦琦