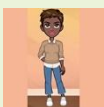


土壤生态系统随时间变化而变迁

Enrique Doblas-Miranda *

CREAF, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, Spanien

小审核家:



鲁腾多

(14岁)



诺库滕达

(14岁)

所有生活在我们脚下的动物都非静止不动的。它们既可以在土壤的三维空间中游弋，也能够发生诸如破茧成蝶的蜕变。因此，在同一块田中的同一片土里，在冬季与夏季，甚至是在一个阳光明媚的白天与一个寒风刺骨的黑夜，二者所包含的生物群落也可能不尽相同。例如，对土壤里的甲虫幼虫的研究表明，由于幼虫要寻求更优良的生存环境，它们会出现季节性的垂直移动。此外，土壤在其形成过程中也会发生诸多变化，造成土中的栖息动物也随之做出改变。以甲螨这种体型微小却种类繁多的土壤螨类而言，科学家们观察到其群落在十数年至数百年间所发生的变迁。许多研究均指向一个铁律：生态系统绝非静态的照片，而是时刻变化的环境画卷。

土壤生物多样性

栖息在土壤中的所有生物的集合

无脊椎动物

没有骨头的动物。在土壤里主要指那些蠕虫和节肢动物（如蜈蚣、鼠妇、昆虫、蜘蛛等）

土壤空隙

在土壤固态结构中极其微小（ $<0.075\text{ mm}$ ）的空间，主要被空气和水填充。

垂直迁移

垂直迁移是土壤和水生环境中的典型运动现象，在这些环境中，生物不限于在（水平）表面上移动。与任何其他迁移方式一样，垂直迁移通常也是为了寻找资源或更好的环境条件。

中型土壤动物

小于2毫米的土壤居民，如跳虫、螨虫和小型蠕虫[2]。

生态系统不是静态的照片

当我们想象生态系统的多样性时，我们经常联想到的是生态系统大多数都是静止不动、亘古不变的，就像书上的图片一样——所有的植物和动物都处于一种冻结的平衡状态。在我们的脑海中（以及在许多书本的图片里），植物很容易被食草动物吃掉，食草动物则等待着被食肉动物捕食，而所有的这一切都发生在令人惬意的白天之下。但事实绝非如此！生态系统中的大多数动物在白天活动，但有的动物则只会在晚上出没；有的植物会根据季节变化生长出不同的可食用部分；有的整个生态系统会因为森林火灾等灾难而做出响应。更何况，我们甚至极少想象那些就发生在脚下土壤中的千变万化。

那么，我们脚下的变化是如何发生的呢？

诚然，土壤生物多样性会随着时间的推移而变化，但这一变化与地表所发生的那些变化不尽相同。首先，土壤中的移动更加艰难。蚯蚓，昆虫幼虫、蜈蚣（当然还有鼯鼠，但我们这里关注的是那些更小型的无脊椎动物），以及许多其它微小的生物都必须用它们的嘴、爪子或腿来挖掘土壤。更小的生物则利用狭小且充满空气的空间即土壤孔隙，在土壤中移动。水平移动是地表动物典型的移动方式，而土壤无脊椎动物的移动并不局限于此，还能可以在同一片地表以下做上下移动，我们把这种移动称为“垂直迁移”。垂直迁移可以在一天内进行，也可以跨季节发生。线蚓是一种非常微小的蠕虫，是少数被观察到在白天迁移的土壤动物之一。为躲避正午时分干燥的地表环境，线蚓会向土壤更深处移动，待到傍晚时分它们喜爱的潮湿环境恢复时，又会从土壤深处爬回来。而我们研究土壤中中型动物最常用的方法之一——漏斗法的原理基础，正是利用了虫子的这种迁移特性。该方法是将土壤样品放入一个漏斗之中，漏斗上方装置一个灯泡，使得土壤变干，这样一来，所有的小伙伴们就会因“逃跑”而落入到底部的收集容器中（图1）。

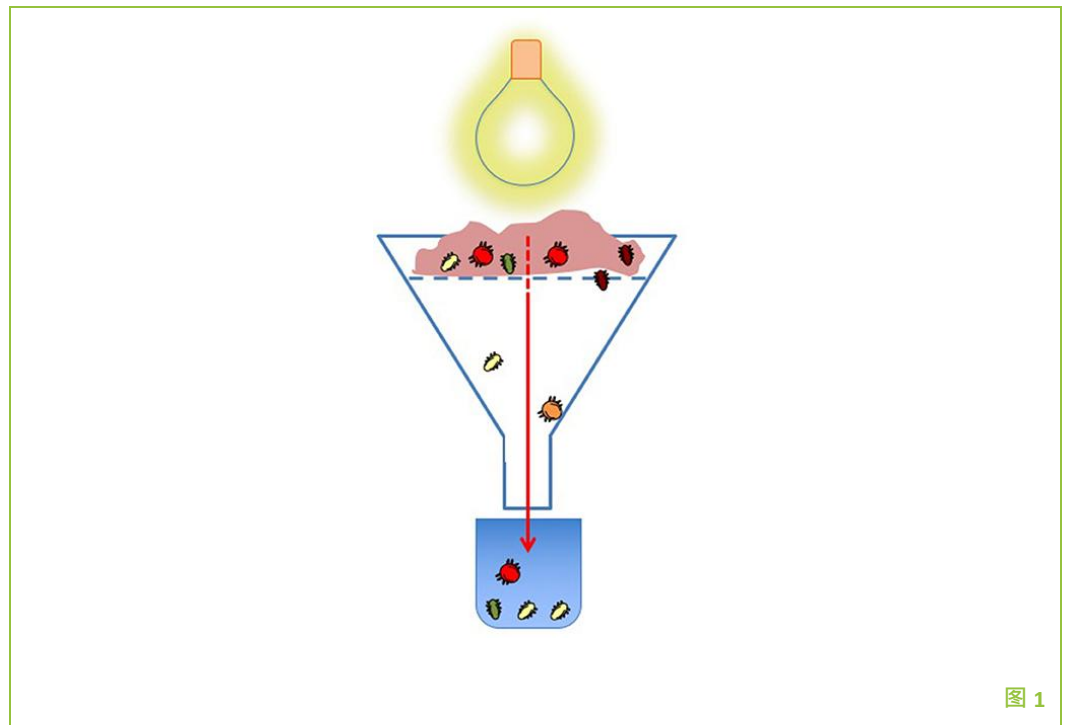
图 1

分离土壤无脊椎动物以进行研究

一种典型的土氏（Tullgren）或柏氏（Berlese）漏斗式捕虫器，是以其发明者而命名的。土壤被放置在漏斗的顶部，由一层网纱支撑着。顶部一个灯泡给土壤加热使土壤干燥，迫使土壤里的生物往下移动。当它们从样本土壤中掉下时，会落入收集容器中，这个容器通常充满了一种能维持它们存活的物质。这些收集起来的生物便随后可被用于研究。

被动扩散

移动的生物体可以做出主动移动（即用腿或附肢穿行于领地），也可以让自己“随波逐流”（即被水、风，甚至其他动物带走），即所谓的被动移动或被动扩散。



许多土壤无脊椎动物都可以以一种高抵抗力的形式生存，从而使它们能够熬过长期恶劣的环境条件下。硕介壳虫——一种体型微小圆胖、非常有趣的昆虫就是一个很好的例子。它们能在自己周围分泌出一层珍珠状的覆盖物，形成一个球形包囊或处于“休眠”阶段，从而在其中可以存活几十年！但是，当有了美味的树根时，“包囊”就会发育成贪婪的成虫。如果条件非常好，许多硕介壳虫会克隆自己，使其尽可能地利用有利条件获利。一位倒霉的葡萄园园主可能一整年都看不到微小的硕介壳虫，但第二年却发现自己的庄稼受到了大批成虫的侵扰。

在土壤表面，许多小型动物可以被风、水，乃至其他动物所携带而扩散。一些栖息在土表的小伙伴们也会主动以这种方式迁徙，但所谓的土壤动物的被动扩散近年来得到了大量研究的关注，因为它可以解释土壤生物远距离的扩散。

季节性的变化

在我从事研究工作早期，人们对土壤生物的移动并没有像今天这样了解，那时候，每一个新发现都是如此地激动人心，那些发现里，就包括生活在土壤中的幼虫会发生季节性的垂直迁移。

MAKROFAUNA

Boden-Lebewesen, zwischen 2 mm und 2 cm groß, z.B. Käfer und ihre Larven, Regenwürmer und winzige Würmer [1]

每个月，我都在西班牙南部的沙漠灌丛中的不同地方进行土壤取样，为期两年。土壤样本是从不同深度的土壤中采集的，从表层的枯枝落叶到50cm深处。每个样本中的大型无脊椎动物都被一一计数和鉴定。在分析了每个季节和每个深度的所有土壤样本后，科学家们发现，一种属于拟步甲科（Tenebrionidae）的甲虫大家族里的幼虫以有机碎屑为食，每年都做同样的迁移。它们在冬季土壤表面的数量比夏季更多（图2）。

图 2

甲虫幼虫的垂直迁移取决于所处土壤的深度及季节

在夏季，幼虫在表层和深层土壤的个体数量相当，但在冬季，它们在土壤表层的数量会更多一些，因为在那里它们可以以枯叶为食，且不会受到夏季炎热干燥环境的伤害。

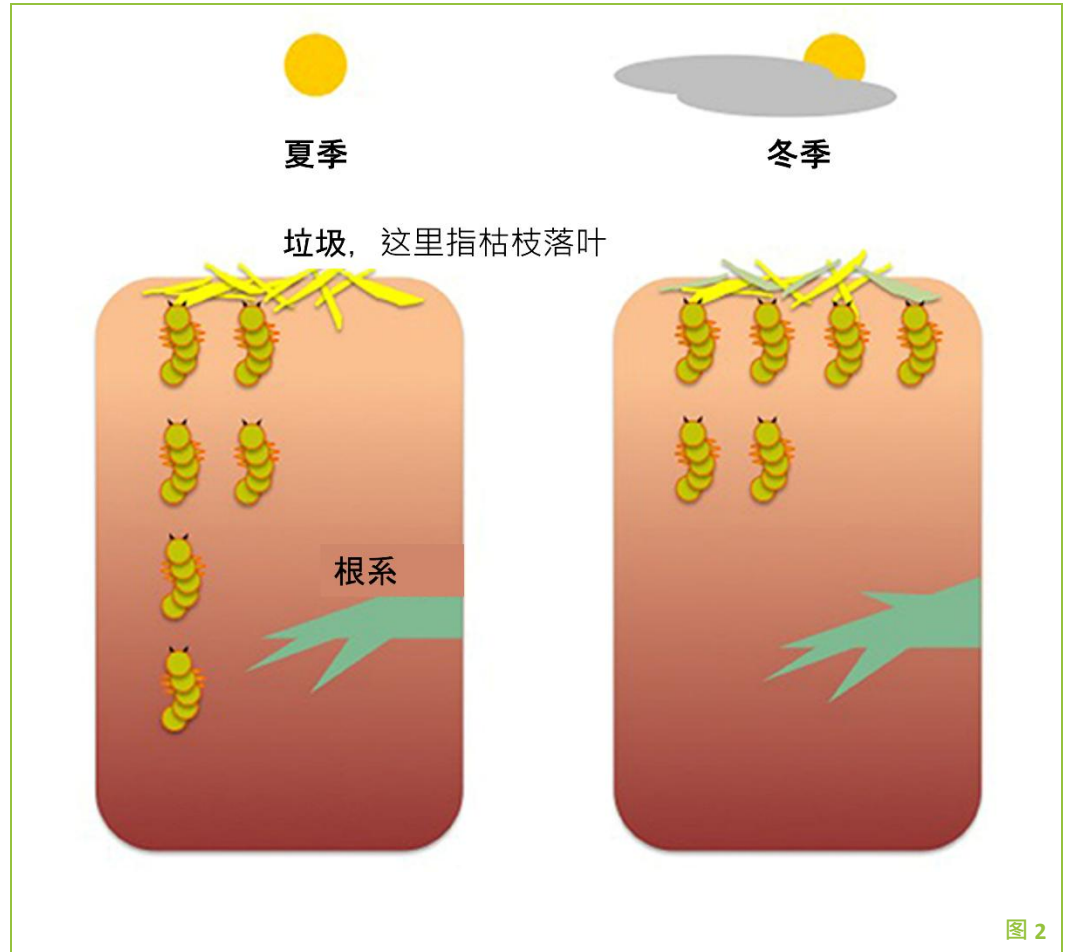


图 2

在那些研究的地带里，夏季是高温且干燥的。而拟步甲科昆虫最喜欢的食物——枯叶，就存在于诸如灌木丛、蚂蚁堆之类的裸露土壤表面的“餐厅”之中。因此，这些甲虫幼虫更喜欢在温和的冬天吞食土表的枯叶，而在夏季则享用更深层“餐厅”里的佳肴——如腐烂的根。当幼虫进行垂直迁移时，它们也为整个生态系统提供了良好的服务。就像生活在潮湿环境中的蚯蚓一样，这些坚韧不拔的幼虫通过在干燥的土壤环境中移动土壤，使得空气、水和有机物质在土中被混合，从而对土壤健康大有裨益。

生态系统可以生长，甚至可以衰老

生态系统的演替

在诸如新的珊瑚岛或冰川融化后露出的土壤等新地表形成后，生态系统“诞生”和“生长”的过程，或者是生态系统在森林火灾等干扰后“重新生长”的过程。

年代序列

指的是这么一组生态系统：它们具有相似的起源、植物物种和地理区域，只是年龄、年代不同。研究具有年代序列的生态系统是有必要的，毕竟我们不可能在一个生态系统的发展过程中每次要等上好几十年才能取样。

生态系统变化不仅仅表现在天气的变幻莫测和食物的贫乏富足。事实上，整个生态系统都可以在一个被称为“**生态系统演替**”的过程中发生变化。以甲螨（oribatid）这一土壤螨类为重点研究对象，科学家们已经在探索土壤生物多样性是如何随生态系统的演替而变化的。首先，甲螨体型微小、数量众多、种类多样，这意味着我们可以在一小块土壤样本里找到它们的一整个群落。同时，现有很多资源可以帮助我们鉴定各种甲螨的种类，因此它们是用于观察和研究土壤生态系统多样性变化的理想生物。此外，甲螨生活在土壤深处，迁移能力相对有限，它们只能通过土壤孔隙，或偶尔通过被动扩散才得以移动因此，甲螨群落是主要通过生态系统演替这一过程来发展壮大的。

在最近的一项工作中，科学家们针对在废弃农田上重新生长的不同**年代序列的森林**进行了研究。他们想知道这些不同年龄的同一类森林里是否具有相同的土壤生物群落。科学家们假设：农田里可能只有少数几种，且数量较小的甲螨，而在较老的森林中会形成具有高度多样性的复杂群落。将当前的航拍图照与1950年的航拍图片作比较，科学家们可确定哪些地区早在1950年代就是森林（即较老的森林long-established forests），而哪些森林地区当时曾是农田（即近期形成的森林recent forests）。在近期形成的森林中，我们还将其区分为孤立的森林（即主要被农田包围着，并可能具有与农田相似的甲螨群落）和与其他森林相连接的森林（即可能具有与较老的森林相似的甲螨群落）。

科学家们发现两个重要的结果：第一，较老森林中的甲螨，无论是个体数量上，还是物种数量上，都与那些近期形成且与其他森林相连接的森林中的旗鼓相当，但二者均比在孤立森林中的要高；第二，孤立森林和与其他森林相连接的森林，即两种近期森林中的甲螨群落共有的物种更多，且多于它们之间任何一个与较老的森林中共有的物种数（图三，下图）。很有可能，在森林生态系统发展早期，甲螨主要是通过被动扩散的形式到达近期森林的。这大概就是为什么与较老的森林相连的近期森林会迅速形成与较老森林相类似的甲螨群落。但随着近期森林生态系统的继续发展，庇护所和食物的匮乏可能会阻止一些甲螨物种在那永久生存。这就可以解释为什么在与其他森林相连接的近期森林里的甲螨群落会与孤立森林，乃至农田里的甲螨群落更相像。

图3

生态系统随着时间发生变化和发展

早在1950年代（上图），相较于农田，森林中的甲螨群落个体数量更多，物种也更加丰富。农田被弃耕后（中图），一些源自森林的物种个体主要通过被动分散（箭头）的方式到达与之相连的农田。最终，那些可能需要更好土壤条件的物种会消亡（虚线箭头），从而造成三种森林甲螨群落之间如今的差异（下图）。

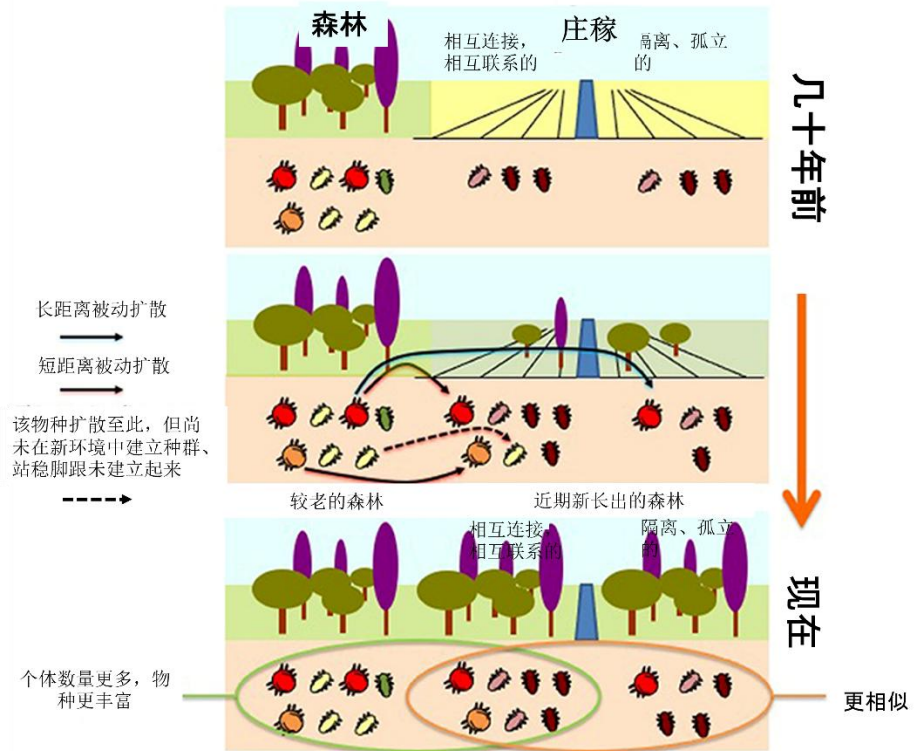


图3

生态系统不仅会“生长”，而且在没有发生诸如火灾这样的重大干扰的情况下也会“衰老”。科学家们研究了加拿大境内寒温带针叶林生态系统的衰退现象。

他们依赖100年前的古地图、高达200年的树木年轮，以及土壤深层化学物质测定等方法，确定了一系列在不同年份火灾后建立成长起来的森林——这些森林中有的距离上次火灾发生时间高达700多年——，并依次对林中的甲螨进行采样。

尽管在最近一次大火后森林的前200年里，甲螨的个体数量大幅减少，但物种种类的数量并未受到冲击，它们直到后来森林发生衰退的后期才真正受到影响。这意味着，因森林衰退而造成的磷、氮等营养物质的逐渐减少无法维持高数量的甲螨生存，再到后来，这对某些甲螨物种而言甚至是灭顶之灾。通过研究枯倒木底下的土壤样本和不在枯倒木底下土壤样本，科学家们还发现：尽管两者甲螨种群数量保持稳定，但枯倒木底下土壤的甲螨个体数要比不在枯倒木底下土壤中的低。这使科学家们得出结论：不生活在枯倒木底下土壤中的甲螨受生态系统衰退的影响更大。

· 这可能是因为在随着森林的老化，甲螨喜食的枯叶在那里变得更加匮乏了。

生态系统就像珍贵的电影

我希望现在，当你想象一个森林里的生态系统多样性时，你的脑海里不仅仅是一幅静止不动的画面，因为这些生物都在变化和移动、出现和消失.....我希望你不妨也畅想一下那些栖息在我们脚下土壤里的生物们！生态系统作为鲜活的剧情，并不是静止不动的，随着时间的推移，它会变幻莫测。随着生态系统的变化，那土壤里的微小生物们也会做出改变，它们各显神通，变化策略令人眼花缭乱。土壤里的生物对生态系统尤为重要，因为它们可以维持土壤健康，并构成了枯枝落叶和凋亡根系进行循环利用的关键一环，从而缓解全球变暖，有助于我们整个地球的健康。

参考文献

- [1] Nielsen, U. (Ed.). 2019. "Soil and its fauna," in *Soil Fauna Assemblages: Global to Local Scales* (Cambridge: Cambridge University Press). p. 1–41. doi: 10.1017/9781108123518.002
- [2] Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M. J. I., Chotte, J. L. et al. (Eds.). 2016. *Global Soil Biodiversity Atlas*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [3] Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., and González-Megías, A. 2009. Vertical distribution of soil macrofauna in an arid ecosystem: are litter and belowground compartmentalized habitats? *Pedobiologia* 52:361–73. doi: 10.1016/j.pedobi.2008.11.006
- [4] Doblas-Miranda, E., and Work, T. T. 2015. Localized effects of coarse woody material on soil oribatid communities diminish over 700 years of stand development in black-spruce-feathermoss forests. *Forests* 6:914–28. doi: 10.3390/f6040914

引用: Doblas-Miranda E (2021) Soil Ecosystems Change With Time. *Front. Young Minds*. 9:543498. doi: 10.3389/frym.2021.543498

利益冲突: 该文章作者声明，该研究是在没有任何商业或财务关系的情况下进行的。（这种商业关系和财务关系可以被理解为潜在的利益冲突）

版权 © 2021 多布拉斯-米兰达. 本文系基于知识共享署名许可 (CC BY) 条款发布的开放式获取文章。依照公认的学术惯例，本文允许在其他论坛被使用、分发或复制，但必须注明原作者和版权所有，并对本刊的原

始出版版本进行引用。任何不遵从以上条款的使用、分发或复制均不被允许。

小审核家



鲁腾多 (14岁)

我出生在津巴布韦，家里有两个哥哥和一个姐姐。我热爱数学、喜欢阅读和听音乐。长大后，我想成为医生，或科学家、心理学家、考古学家。



诺库滕达 (14岁)

我的爱好主要为烹饪和画画（以画漫画最为多）。我一心想在长大以后成为一名厨师。我喜欢具有创造性的艺术绘画。在空闲之余，我爱用画画来表达我脑海里想到的东西。其他闲暇之时，我会尝试挤时间读科幻小说。

作者

恩里克·多布拉斯-米兰达

恩里克是生物学博士，现为西班牙生态研究与林业应用中心（CREAF）研究员。他对国际合作充满兴趣，曾担任欧洲-地中海MENFRI项目负责人，并以此为基础创立了一个以合作来应对发展和环境所面临的复杂挑战的组织。恩里克致力于全球变化背景下的景观恢复力和管理措施方面的研究，同时，生态系统生物多样性随时间的变化规律也是他的一个主要研究方向。他还以土壤无脊椎动物群落为研究对象，探索了西班牙、新西兰、加拿大森林和农田的动态变化特征。*e.doblas@creaf.uab.cat



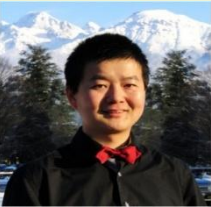
翻译者



梁婧

广东药科大学，中国；马来亚大学，马来西亚

我目前（2025年）是广东药科大学生物技术专业的大四学生。16岁时（2020年），在导师毛准博士的指导下，我开始翻译Frontiers for Young Minds的文章。在本科阶段，我曾赴马来亚大学交换六个月，也参加不列颠哥伦比亚大学的暑期项目。我喜欢翻译科学文章，助力知识传播，也喜欢旅行、结识世界各地的朋友。未来，我希望在发达国家（如加拿大或美国）攻读硕士和博士学位，拓展学术与职业发展。联系邮箱：xiaojingowl@gmail.com



毛准

法国农业食品与环境研究院，法国

我在法国国家农业、食品与环境研究院（INRAE）从事生态学方面的科研工作，研究植物与土壤之间的相互作用及其对护坡、固碳等生态服务的影响。我喜欢音乐、文学、摄影，当然，还有科学。音乐、文学、摄影是生活中赋予我无限灵感的啤酒，而科学则是我的信仰，是我与山川草木沟通的语言，是载我驶向星辰大海的小舟。

经费支持说明

“土壤生物多样性翻译”团队得到了德国综合生物多样性研究中心（iDiv, 哈雷-耶拿-莱比锡）的支持，该中心由德国研究基金会（DFG FZT 118, 项目号202548816）资助。

引用说明

本文系基于知识共享署名许可（CC BY）条款发布的开放式获取文章。依照公认的学术惯例，本文允许在其他论坛被使用、分发或复制，但必须注明原作者和版权所有者，并对本刊的原始出版版本进行引用。任何不遵从以上条款的使用、分发或复制均不被允许。

推荐引用格式如下: Doblas-Miranda E (2025) Soil Ecosystems Change With Time. (Chinese translation: Jing Liang & Zhun Mao). Translating Soil Biodiversity & Front. Young Minds. Originally published in 2021, doi: 10.3389/frym.2021.543498