



地下登山者：关于生活在山区土壤中的生物

Michael Steinwandter¹, Julia Seeber^{1,2}

¹ AlpSoil Lab, Institut für Alpine Umwelt, Eurac Research, Bozen, Italien

² Institut für Ökologie, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

小审稿人:



MERCY
SCHOOL
INSTITUTE

龄: 15 岁

尽管我们知道它是大量有机体的家园，我们脚下的土壤仍然需要更多的探索。它基本上是一个黑匣子，因为我们还无法观察它的居民和它们所贡献的过程。在这篇文章中，我们将告诉你那些仍然很少被探索的土壤。我们要说的是高海拔的山地土壤：不容易进入但却蕴藏着许多令人兴奋的物种，而其中一些物种是专门生活在山地土壤中的。我们是一个土壤生态学家团队，致力于揭开生活在山区土壤中的动物秘密。我们将告诉你，在欧洲阿尔卑斯山的高海拔土壤中有哪些以及有多少土壤动物，包括自然山地生态系统以及用于耕作的高山土壤。此外，我们还将解释这些物种如何通过一些巧妙办法来适应恶劣的高山环境。

高山地带

一个可以在较高的山区或北极地区找到的气候区。这是一个由于温度低而使树木无法生长的区域。

图 1

在欧洲阿尔卑斯山，几个世纪的传统耕作创造了具有丰富物种的草原土壤。(A) 树线以上的高山地带经常有牛和羊在吃草。在亚高山地带的下面，森林也被砍伐，以创造牧场和干草草场。以岩石为主的生境在高海拔地区增加，并在高寒地带大多数植被之上的地区占主导（意大利南蒂罗尔州的Gsies）。(B) 我们通过安装诱捕器（黄色箭头）来捕捉和评估土壤无脊椎动物（意大利南蒂罗尔州白云山）。(C) 土壤块被移走带到实验室进行研究（意大利南蒂罗尔州马奇）。（图片来源：Michael Steinwandter）

无脊椎动物

一大类没有脊椎骨（背脊）的动物。常见的土壤无脊椎动物包括昆虫（甲虫、苍蝇幼虫）、蚯蚓、千足虫、蜈蚣、木虱和蜘蛛。

什么是山地土壤？

当我们谈论山地土壤时，我们通常指的是高海拔的土壤，特别是树线（山顶上树木生长的上限）以上的土壤，那里只有零星的树木，或者根本没有树木。在欧洲阿尔卑斯山可达到海拔2000米以上，而在中欧阿尔卑斯山可达到海拔2300米以上。当然，一些山地土壤也存在于较低的山脉甚至丘陵上，但我们将重点关注欧洲阿尔卑斯山从海拔1500米到3000米范围上，生活在天然草原、放牧牧场甚至海拔更高的山脉上的土壤动物的美丽世界。

一些位于树线以上的山区，即所谓的高山地带，似乎没有被人类触及。但事实并非如此——因为几个世纪甚至几千年来，农民一直在温和地使用许多这样的草原，并在夏季作为牛、羊和山羊的牧场（图1A）。为什么过去甚至今天的农民要带着牛羊徒步走这么远？为什么不直接使用很容易到达的谷底草场？是的，它们确实会使用山谷草场，但高山牧场上有许多牛羊喜欢吃且对它们非常健康的色彩鲜艳、营养丰富的植物。同时，在炎热的夏天，高海拔地区的温度对动物来说也更适宜。



图 1

哪些和多少动物生活在山区土壤中？

山区的美不仅体现在地面上五颜六色的花朵和灌木，也体现在我们的脚下。为了研究土壤中的小动物，我们取出25×25厘米、深15厘米的方形土块（图1C），用Kempson仪器提取里面的无脊椎动物。Kempson仪器利用灯泡的热量和光线，迫使动物在土块变干时从土壤中逃脱，然后落入含有收集液（如酒精、生理盐水等）的容器中。此外，我们还在研究地点安装了诱捕器（图1B）。诱捕器是开放的玻璃罐，被挖入地下，这样像蜘蛛和甲虫这样的生物就会掉入其中并被诱捕。这对于土壤表面

KEMPSON 仪器

土壤实验室的一种设备，用于从土壤块中提取动物。由于从上面被加热，土壤中的动物试图逃离干燥和炎热的环境，落入一个收集桶中。

诱捕器

捕捉地栖昆虫和节肢动物的一种简单方法。这是在土壤中挖出的玻璃罐子，让其活动一天或几天。

亚高山地带

一个气候区，包括自然树线以下的山林。它还包括这些森林和高山草原之间的过渡带，那里只能生长小灌木和单一的树木。

爬行的动物来说，是一个非常有用的采集方法。利用这些采集技术，我们在山区土壤中发现了多样化的蚯蚓、千足虫、甲虫和昆虫幼虫群体。

土壤生物多样性在1500至2000米的**亚高山地带**特别高，这个边界地带包含森林和人造牧场。在这个区域，通常在山林中发现的土壤动物（如木虱和蜈蚣）与来自天然草地的物种（蚯蚓和千足虫）共存。在中欧阿尔卑斯山的亚高山牧场土壤表层（15厘米）中，我们发现了每平方米多达115条蚯蚓、60条千足虫、55只甲虫、50只苍蝇和蠓虫的幼虫[1]。所有这些土壤无脊椎动物都得益于零星存在的牛、羊、鹿、麝子和阿尔卑斯山羊等野生哺乳动物。比如，放牧的动物使植被变短，清除烦人的灌木，从而保持着草原的开放。此外，它们还留下了大量的粪便，这是许多土壤动物（如蚯蚓、千足虫和屎壳郎等）喜欢的食物来源（图2）[2]。然而，如果农民把太多的牛羊带到这些地方，我们也可以观察到践踏和太多粪便的负面影响，即导致一些土壤动物的数量减少。例如，在一个被农民过度使用的地区，我们发现每平方米只有大约5只千足虫和45只甲虫的标本。

我们发现，我们走得越高，土壤动物的个体和类型就越少（图3）。在2000至2800米的高寒地带，因为温度太低和夏季生长季节短，树木无法生长。在这个**高寒地带**，一些土壤动物达到了它们舒适区的上限。例如，蚯蚓和千足虫的数量减少，即使漫游的羊群以粪便的形式增加了额外的食物，我们在海拔2500米以上的地方也很少能找到它们。在我们研究的这个高寒地带，每平方米只发现了20条蚯蚓和10条千足虫。另一方面，苍蝇和蠓的幼虫数量大量增加（每平方米超过750只），它们会取代了蚯蚓在土壤里执行的一些功能，比如分解死亡的植物组织[3]。

在欧洲阿尔卑斯山，海拔2500米以上的地区往往大部分时间被雪覆盖，这使土壤动物的生活非常具有挑战性。这些区域被称为高寒地带和尼瓦尔带（3000米以上）且通常不被农民使用。这些地区主要由小型土壤动物居住，如跳虫和螨虫。这些耐寒的动物物种可在像毯子一样的雪层下生存，尤其是当空气温度远远低于冰点时，这个“毯子”可起到一定的保暖作用。

图 2

来自我们在奥地利蒂罗尔州Stubai阿尔卑斯山和Oetztal阿尔卑斯山研究地点的山区土壤无脊椎动物。(A) 掀起的牛粪揭开了蚯蚓

(*Lumbricus rubellus*)、蜣螂和昆虫幼虫的食穴。(B) 药用千足虫 (*Glomeris transalpina*) 常见于中欧阿尔卑斯山的高山灌木丛中。(C) 眼蕈蚊科 (*Mycetophilidae*) 的幼虫在高山牧场的羊粪上觅食。(图片来源：Michael Steinwandter)



图 2

这些动物如何才能生存？

适应性是在高海拔地区生存的关键。适应是通过优化身体特征和/或行为来适应新环境条件的能力。这些生态系统中的土壤动物要经历低温，即使在夏季也经常会遇到雪，同时还面临着强烈的紫外线照射，这些都不利于它们的生存。也就是说，海拔越高，生活空间就越小。这些动物对它们的食物不能挑剔，它们必须以任何可用的食物来源为食。例如，在低地，一些甲虫只吃植物性食物，而在高山牧场，它们也吃其他动物及其脱落的皮、尸体以及粪便（如果有的话）[4]。对这种更广泛的食物适应，增加了这些甲虫成功收集足够的能量以获得生存和发展的机会。

山区土壤动物的另一个生存策略是：当夏天太短而不能让它们进入下一个生命阶段的时候，它们可以延长自己的生命阶段。例如，在多雪、寒冷的夏天，当千足虫无法获得足够的能量来产卵时，它可以等一个季节并在下一年条件更有利的时候产卵。虽然这是一种有用的适应，但这也意味着这些千足虫必须在恶劣的环境中生存更长时间来成功完成产卵。

高海拔地区的土壤动物还通过以下方式使它们的身体适应恶劣的条件，比如减小它们的体型（较小的身体更容易取得热量）、失去翅膀（没有翅膀，动物可以靠近土壤表面，避免强风），改变身体颜色（较深的身体更容易取得热量），或/和它们身体组织会产生“抗冻剂”来防止它们的身体在低温下结冰。

尼瓦尔带

高山和北极地区的岩石区，经常被雪覆盖，紧随高山地带。在这里，几乎没有植物生长，而主要是地衣和苔藓。

适应性

通过优化身体特征和/或行为来适应新环境条件的能力。例如，高山无脊椎动物适应了恶劣的山区环境。

图 3

中欧阿尔卑斯山不同垂直带上典型土壤无脊椎动物的分布。这些垂直带分别在阳面和阴面的不同海拔上开始和结束。该表根据目前可用的数据，显示了在每个海拔区每平方米可以有多少动物。一般来说，土壤动物的数量随着海拔的升高而减少，不同的动物群体在不同的海拔高度达到极限（如千足虫在2500米，甲虫在3000米）。星号（*）表示可用的数据非常有限，变化很大。（图片来源：根据维基百科修改）

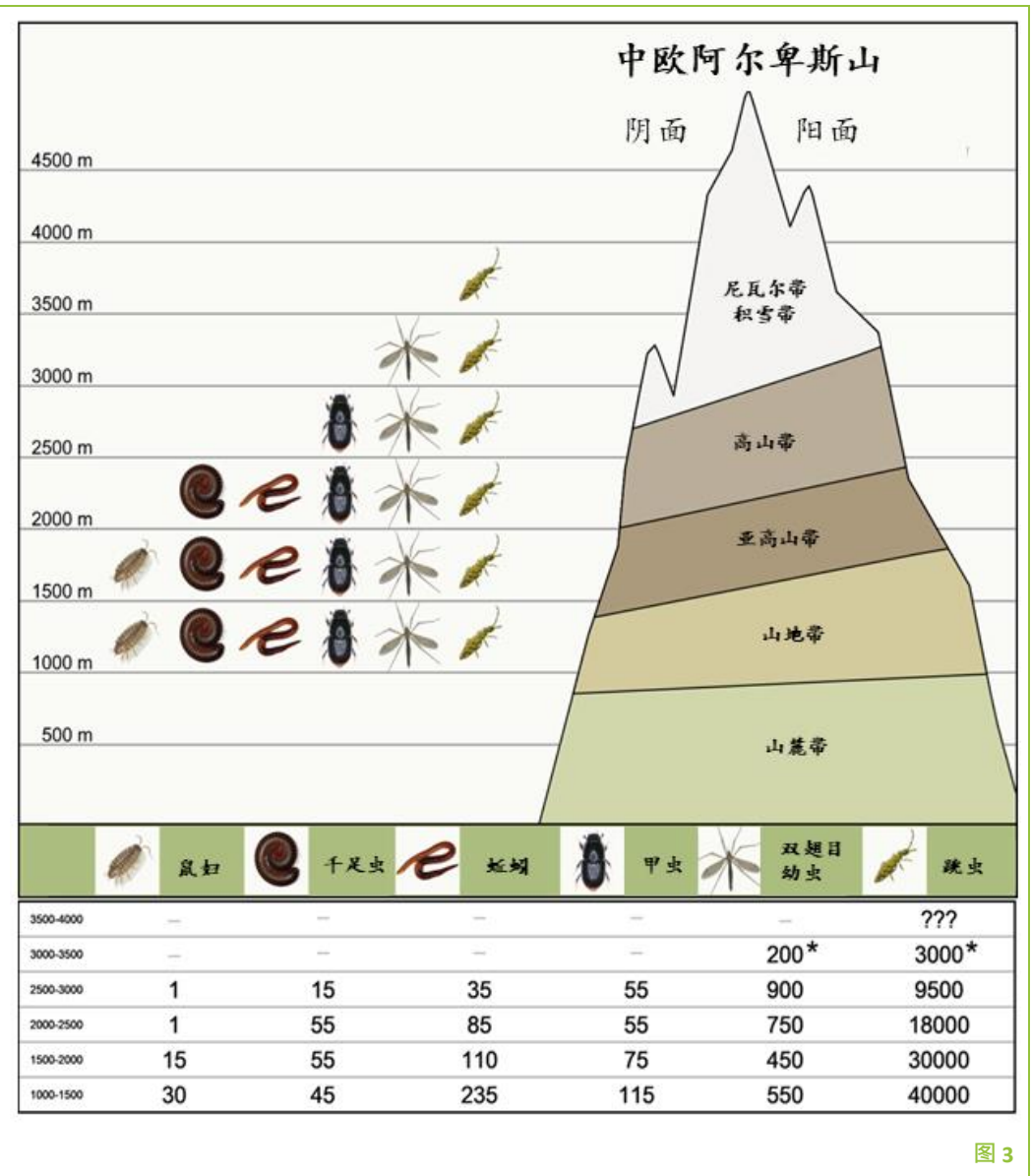


图 3

山区土壤需要帮助吗？

现在你知道了，山区土壤是有趣的地方，是许多土壤无脊椎动物的家园，而有一些动物只能在山区土壤中找到。由于这些土壤及其居民仍未得到充分研究，在那里发现新物种的可能性相当大。然而，像现在的许多生态系统一样，山区土壤受到威胁，需要保护。物种丰富的亚高山牧场面临的一个大问题是，农民正在放弃这些土地，因为这些传统的耕作方法不能获得足够的经济效益。当牛羊不再在树线上的高山草原上吃草时，这些地区将被灌木植被持续占据，从而形成密集灌木丛而导致体型较大的土壤动物很难通过。另外，气候变化导致的温度升高将导致土壤动物向上迁移，因为它们试图逃离对它们来说过高的温度。但由于随着海拔

的升高，这些动物将很难找到足够的生存空间，从而可能会经历更高的灭绝风险。

但好消息是，我们都可以提供帮助！例如，通过支持山区农民和购买他们的产品（如牛奶和奶酪），从而可以增加他们继续保持美丽高山牧场的机会。此外，我们可以通过在徒步旅行、登山或滑雪时不破坏且保护山地土壤。我们应该在山路上行走，并把垃圾带回家而不是丢在山上。最后，我们可以呼吁，不要在高山上建造新的娱乐设施，如滑雪场、山地小屋和山地自行车道等，因为这些都会损害这些自然的和敏感的区域。

我们都需要对这个被称为“土壤”的“珍贵”生态系统格外关注。让我们牢记，山地土壤的形成需要几个世纪（在高山上甚至需要几千年），但生活在其中的土壤生物，如果没有我们的保护，它们的生命可能几分钟就会被摧毁！

参考文献

1. Steinwandter M, Schlick-Steiner BC, Seeber GUH, Steiner FM, Seeber J. Effects of Alpine land-use changes: Soil macrofauna community revisited. *Ecology and Evolution* (2017) 7:5389–5399. doi:10.1002/ece3.3043
2. Curry JP, Schmidt O. The feeding ecology of earthworms - A review. *Pedobiologia* (2007) 50:463–477. doi:10.1016/j.pedobi.2006.09.001
3. Kitz F, Steinwandter M, Traugott M, Seeber J. Increased decomposer diversity accelerates and potentially stabilises litter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* (2015) 83:138–141. doi:10.1016/j.soilbio.2015.01.026
4. Steinwandter M, Rief A, Scheu S, Traugott M, Seeber J. Structural and functional characteristics of high alpine soil macro-invertebrate communities. *European Journal of Soil Biology* (2018) 86:72–80. doi:10.1016/j.ejsobi.2018.03.006

编辑：Malte Jochum, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

科学导师：Fares Z. Najjar

引用：Steinwandter M and Seeber J (2022) Belowground Mountaineers: Critters Living in Mountain Soils. *Front. Young Minds* 10:660110. doi: 10.3389/frym.2022.660110

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 Steinwandter and Seeber。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：

默西学校研究所 MERCY SCHOOL INSTITUTE，年龄：15岁

我们是有趣而充满活力的带头人，我们喜欢和朋友们在一起。

小审稿人 (翻译及校稿)：

林子钰，11岁

福建省厦门市松柏小学

作者



MICHAEL STEINWANDTER

我是阿尔卑斯山土壤实验室的土壤生态学家和土壤动物学家，主要研究小动物，如蚯蚓、蜘蛛，最好还有千足虫。我在所有海拔高度的土壤中进行研究，包括低地，但我真的很喜欢发现树线以上的山林和牧场的土壤生命。这源于我对徒步旅行和登山的热情，当你在多洛米蒂（南蒂罗尔，意大利北部）长大时，你就会有这种热情。除了做科学，我对所有的大自然都很着迷。因此，我也是一名专业的徒步旅行向导和环保主义者。*michael.steinwandter@eurac.edu



JULIA SEEBER

我是阿尔卑斯山土壤实验室的土壤生态学家，对了解土壤动物和它们的栖息地之间的关系，以及这些动物对哪些土壤过程的贡献感兴趣。我喜欢去实地考察和调查栖息地，但我也喜欢在实验室里用动物做实验，看它们做一些奇妙的事情，如分解死去的植物材料。我最喜欢的土壤动物是蚯蚓，因为没有它们，土壤生态系统的效率就会大大降低。我对山地运动的热爱，如滑雪和徒步旅行，很容易与我对在山地做科学的热爱相结合。

翻译及校稿

唐仲辉，硕士研究生

中国科学院城市环境研究所

孙新，研究员

中国科学院城市环境研究所