

# 蚯蚓——肥沃土壤的建筑师

撰文、图片 \_ 刘宗岸

今天人们对蚯蚓的研究大部分集中在一般分类标准和生物学,而有关其对土壤性质的影响、与其他土壤生物的相互作用以及对种群的耕作方式的影响则相对较少。

本指南简要概述了土壤中蚯蚓的生物学、生态学及其对农业的多种作用,并给出了在土壤中促进这些不平凡生物的建议。



## 被低估的工人

在19世纪,蚯蚓被称为土壤害虫。即使这种观点发生了变化,蚯蚓在农业实践中也受到轻视,很少有农民积极推广使用。越来越多的机器强化耕作和农药的密集使用,使得田间的蚯蚓已经在很多地方消失了。与这种情况相比,在一公顷草原的健康土壤中,可以发现100万—300万只蚯蚓。

土壤中蚯蚓的数量和多样性被认为是土壤肥力的重要标准,蚯蚓在许多方面对土壤的健康和生物活性有贡献,并能更好地适应农业系统和气候变化,

从而具有了重要的土壤修复功能,有利于生态系统的健康发展。由于农业生态系统的可持续性不断提高,蚯蚓应在可持续农业发展中得到更多重视。

## 分布和生物学

除了极地和沙漠之外,蚯蚓可以在大多数土壤中找到。虽然世界范围内有超过3000种蚯蚓,但在欧洲仅有400种,欧洲中部仅有40种,在农田中常见的只有4—11种。

相对沙质土壤,蚯蚓更喜欢中等重量的黏土。重黏土和干燥的沙质土壤不利于其发育。在酸性泥炭土壤中,只有适应这种恶劣条件的特殊种类可以找到。

蚯蚓是雌雄同体,除了落叶层的品种之外都发育缓慢,每年生产一代最多8—12个卵。蚯蚓能存活2—8年,具体寿命取决于其品种。性成熟的蚯蚓可以通过环绕身体的“生殖带”来识别。

每年3月和4月以及9月和10月(温带地区)都是蚯蚓活动和繁殖高峰。当在非常干燥和炎热的时候,许多蚯蚓可以撤退到更深的地方。

在寒冷的冬天,蚯蚓回到了它们洞穴中不结冰的部位,其新陈代谢减慢到最小。在无冰的冬天,他们再次变得活跃。蚯蚓可以不受干扰地从边缘地区迁移到农田,如田间边缘。夜间爬行类(上食下栖型)蚯蚓每年可以迁移20米。



A *Nicodrilus* sp. 此种在寒冷、炎热或干旱的时期以及冬眠或哺育期间会卷曲起来生存。

## 营养

蚯蚓主要吃植物残体。它们晚上吃白天在草地生长的藻类,并将死亡的植物体拖到洞穴中先利用土壤微生物进行“预消化”2—4周。蚯蚓没有牙齿,因此不能吃根。为了蚯蚓茁壮成长,充足的食物供应至关重要。

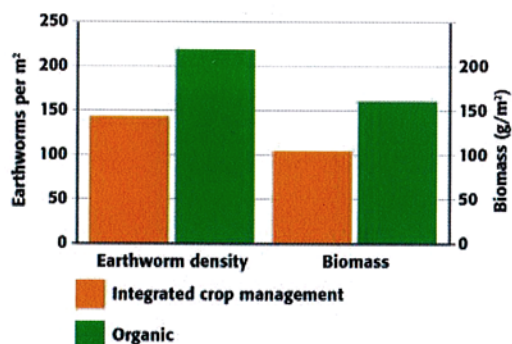
## 传统农业对蚯蚓种群的影响

农药的应用可以通过三种方式影响蚯蚓,它们可以影响其基因表达和生理(个体内水平),改变生命史特征、种群密度和行为(个体和种群水平),修改蚯蚓种群的生物量和密度(群落层次)。杀虫剂可能会破坏酶促过程,增加个体死亡率,降低生殖力和生长,或者它们可能会改变个体行为,如进食率,从而降低整体社区生物量和密度。

蚯蚓如 *L. terrestris* 种最容易受到表面施用农药的影响。因为 *L. terrestris* 形成永久性的洞穴,它不会

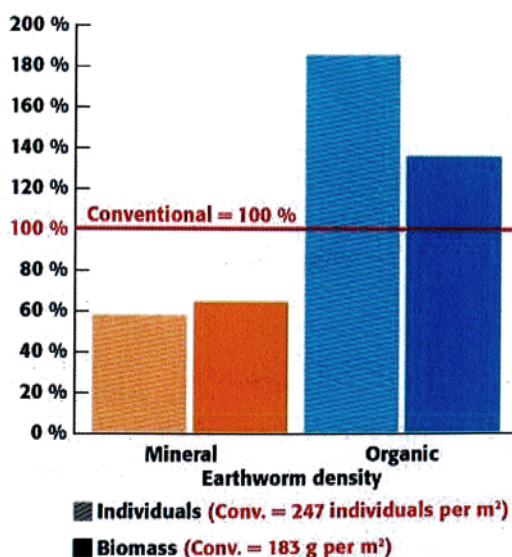
与其洞穴中的亚表土接触。相反,内源性品种,例如 *A. caliginosa* 种会不断地扩展它们的洞穴,只有当农药或抑制剂进入土壤才会影响它们。

大多数除草剂不会直接损害蚯蚓。如果以推荐的使用频率施用除草剂,则它们对蚯蚓的毒性较低。但它们可以通过减少杂草植物对土壤表面有机质的可利用性来减少蚯蚓种群。



耕作系统对蚯蚓密度和蚯蚓生物量的巨大影响(Pfiffner & Luka, 2007)

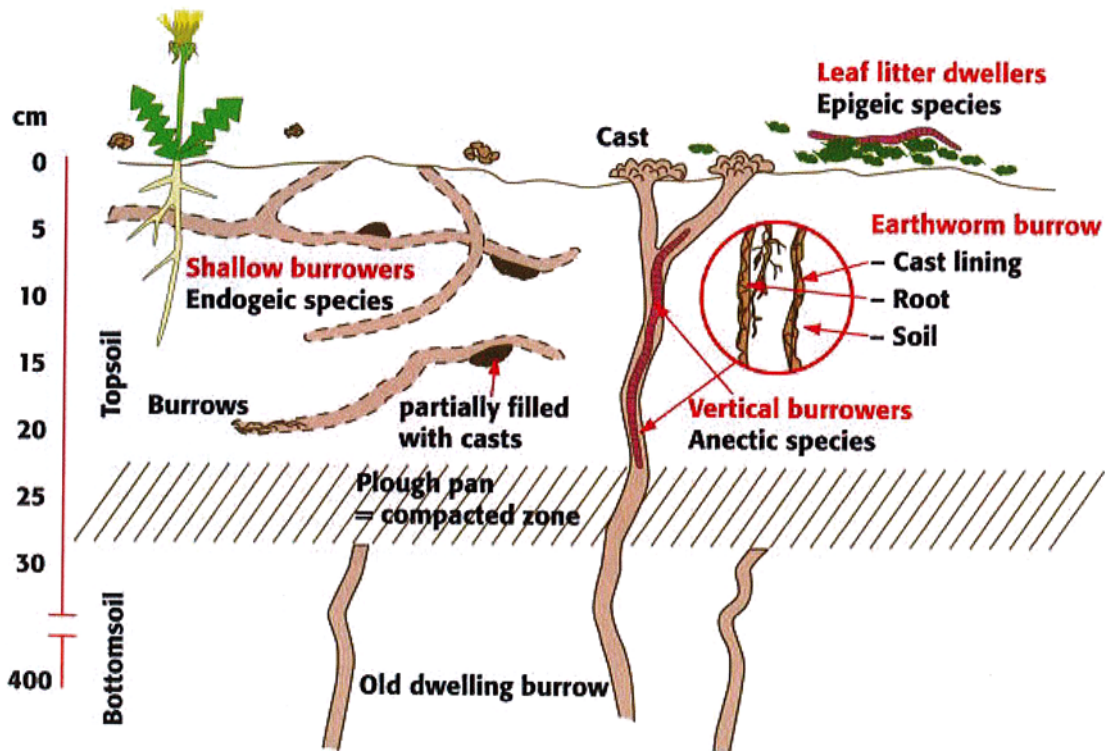
一些无机肥料,特别是硫酸铵,会损害蚯蚓群体,这可能是由于土壤酸化的影响。



长期试验(DOK试验)中不同农业系统施肥和农药对蚯蚓数量和生物量(平均3年)的影响。Mineral=纯矿物肥料和病虫害综合治理; Conv =混合矿物和或有机肥料和IPM; Organic=仅使用新鲜粪便,不使用化学杀虫剂。(Pfiffner & Mäder 1997)。

温带生态系统中蚯蚓的三种生态生理分类

类别	落叶层	浅层土壤	深层土壤
	表面种群, 优势种	浅层种群, 内吞物种, 横向挖掘者	垂直挖掘, 稀有物种
代表			
例子	红蚯蚓 欧洲蚯蚓	八倍体内酯 常见的耕地蚯蚓	夜行者 黑头蚯蚓
颜色	整体棕红色	苍白	红棕色, 头部暗色
栖息地	在落叶层, 特别是在草原、森林和堆肥 由于缺乏永久的落叶层, 在农田中很少被发现	表土(5—40cm), 腐殖质矿物土壤 大部分是水平的, 不稳定的洞穴 幼体通常在上层的根部缠结中	所有土层, 3—4m深 其全部生活用在垂直、稳定的洞穴 (Ø8—11mm) 对农业土壤重要
尺寸	小, 一般2—6cm长	小至长达18cm	一般比较大, 长15—45cm
觅食习惯	吃土壤表面的小植物体	吃表土中的植物体	把大的植物体拉到洞穴中
繁殖量	巨大 每年100个卵	有限 每年8—12个卵	有限 每年8—12个卵
寿命	短, 1—2年	中等, 3—5年	长, 4—8年
对光敏感性	弱	强	中等



蚯蚓的三个生态学类别具有明显不同的觅食和生存习惯

## 蚯蚓如何有益于土壤肥力?

蚯蚓每年可在土壤及其表面沉积每平方米10公斤的有价值的粪便。这相当于0.5cm的农田土壤层,或者多达1.5cm的草地土壤层。但除此之外,蚯蚓还为土地提供了更多的益处。



蚯蚓洞穴内有虫体,棕色痕迹的腐殖质和白色斑点的充足营养,为植物根系提供了极好的生长条件。

### 1. 蚯蚓使土壤透气

蚯蚓洞穴确保土壤充分透气,增加了大孔的数量。

### 2. 蚯蚓可以改善水分渗入土壤并减少地表径流

垂直挖掘者的稳定洞穴特别显著地改善了土壤的渗水、储存和排水,因此减少了地表径流和侵蚀。在未耕种的土壤中,每立方米可以找到多达150个洞穴,或900m的洞穴长度。在深黄土壤中,泥土稳定的垂直洞穴可以深达3m,在黑钙土土壤中(黑土)甚至深达6m。由于其强大的肌肉,深挖掘者能够穿透轻微压实的土壤,从而改善排水。

### 3. 蚯蚓分解枯枝落叶的物质

在田间,蚯蚓每年将每公顷多达6吨的植物残体

纳入土壤。在森林里,蚯蚓每公顷处理多达9吨的树叶。

### 4. 蚯蚓富集植物营养

蚯蚓每年每公顷生产40至100吨的排泄物。蚯蚓形成稳定的土壤聚集体(碎屑),它们沉积在土壤表面上。有机和无机部分在蚯蚓中很好地混合,营养素以易于获得和富集的形式存在。这些排泄物中的氮含量是平均含量的5倍,磷含量是平均含量的7倍,钾含量是平均含量的11倍。



这种土壤表面有许多蚯蚓,表明蚯蚓活动较高。大雨后几乎不会变得泥泞。图片来自瑞士 Therwil 的 DOK 的长期试验的有机管理图。



这种土壤表面的蚯蚓大部分缺乏,表明蚯蚓活动很小。在大雨期间,土壤表面往往会淤积。图片来自瑞士 Therwil 的 DOK 长期试验的常规管理图。

### 5. 蚯蚓恢复土壤

蚯蚓将土壤物质和营养物质从底土输送到表土,从而保持土壤的活力。

### 6. 蚯蚓作为生物防治传播者

蚯蚓可以为土壤细菌和真菌提供洞穴并提供营养物质促进它们繁殖。通过将落叶拉入土壤,叶面病原体和害虫(真菌病原体的冬季,如苹果痂病,以及诸如叶螨等昆虫)则被生物降解。最后,以休眠的形式(孢子)在蚯蚓肠道中消化,并被排出体外。

### 7. 蚯蚓促进根系生长

超过90%的洞穴往往被根系穿透。因此,根部能够渗透到较深的土层中,而不会遇到阻力,从而吸收营养丰富的蚯蚓粪便、水和空气。



深层挖洞蚯蚓造成的洞穴使根更容易深入土壤

### 8. 蚯蚓促进土壤结构和土壤稳定性的形成

通过有机物与无机土壤颗粒和微生物的密集混合以及黏液分泌,蚯蚓产生稳定的土壤屑,有助于良好的土壤结构的形成。具有高频率蚯蚓活动的土壤比具有较少蚯蚓活动的土壤不易变得泥泞且容易进行处理。



蚯蚓形成稳定的土壤团聚体,富含营养成分。蚯蚓每年可能产生每公顷40至100吨的粪便。

此外,营养和水分可以有效地保留在土壤中。丰富的蚯蚓粪便使得重土更松散、沙土更加具有凝聚力。

### 蚯蚓有助于控制土壤有害生物

最近的研究表明,蚯蚓能促进土壤中有益生物的生长和繁殖。蚯蚓能在土壤中分泌斯式线虫(*Steinernema* sp.)和真菌(*Beauveria bassiana*),从而有助于更好地分解土壤有害生物。真菌孢子通过蚯蚓肠道生存,并在蚯蚓粪便中繁殖。在这方面,建立永久性洞穴的垂直挖掘品种如夜行者或黑头蚯蚓在当中起着重要作用。

### 9. 蚯蚓和碳汇

蚯蚓摄取不同C:N比的有机残留物,并将其转化为较低的C:N比,最终有助于碳固存。因此,它们也有助于缓解气候变化。



蚯蚓将落叶拖入土壤,加速叶面病原体和害虫如苹果痂病和流感病菌的降解。

### 有效增加蚯蚓的农业措施

#### 避免使用犁和快速旋转装置

◇犁和快速旋转装置只能在必要的情况下才使用,因为它们可能会在一年中的某些时候严重损坏蚯蚓。在使用犁之后,蚯蚓的损失率约为25%,使用

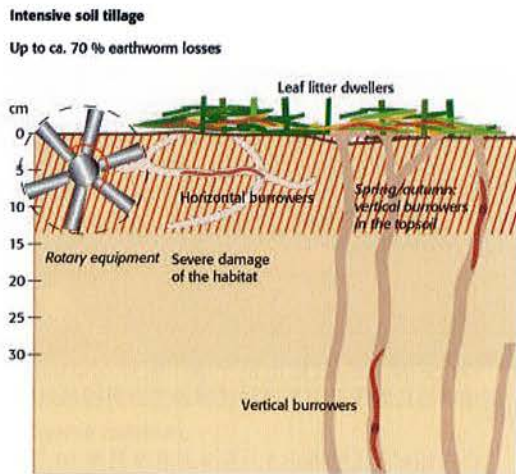
旋转装置后可能高达70%。

◇在每年的3月—4月和9月—10月蚯蚓活动期间,应避免频繁的土壤耕作。

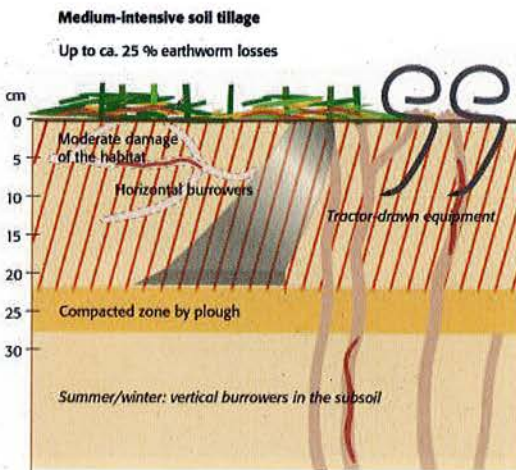
◇干涸或寒冷土壤的耕作对蚯蚓种群的负面影响要低得多,因为大多数蚯蚓在这样的时期已经重新回到深的土层。

◇使用表面犁和浅耕可以减少较深土层的压实。

◇保护性耕作,包括减少耕作,最小化的土壤干扰,减少土壤压实的风险,保持适当的水分渗透,减少水分流失和蒸发,从而提高储水量。

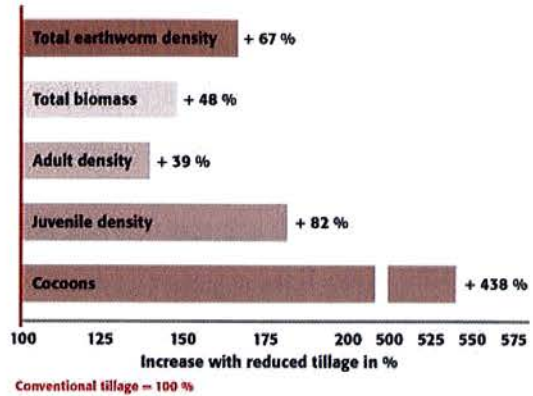


与常规耕作相比(常规耕作=100%),减耕处理对有机管理的黏土土壤中的蚯蚓的影响。与常规耕作相比,减耕处理蚯蚓种群密度,生物量和生长阶段相对增加(Kuntz等,2013)。



土壤耕作越频繁,损失就越大。春季和秋季损失最高。

不同耕作强度对蚯蚓的影响



◇土壤的压实对蚯蚓种群和其他生物有负面影响。设备越重,土壤的压实越严重。

◇机械应适当将地面压力降至最低(轮胎压力,机械重量)。

◇为了避免土壤压实,应当只耕作干燥、耐压的土壤。



表面犁有助于防止犁盘中的土壤压实。



浅耕和钻孔结合保护蚯蚓。

### 多样化作物轮作,丰富蚯蚓的群体

◇多样化的作物轮作,以及具有种植期持久和根蒂较长的间作作物苜蓿或绿肥等,其丰富的作物残体是土壤生命的基础,对维持蚯蚓群体十分重要。

◇土壤(特别是冬季)被植物残体或植被的持续覆盖对蚯蚓和其他土壤动物来说是非常有益的。

◇种植多年生苜蓿草地能使蚯蚓群体大幅再生,比一年生的草地更有益。

### 根据土壤性质和植物需求施肥

所用肥料的种类和数量都会影响蚯蚓种群。

◇适应作物需要并且均衡管理的农田土壤对作物和蚯蚓都有好处。

◇稍微腐烂的堆肥肥料含有更多的蚯蚓食物,因此比成熟的堆肥更适合促进蚯蚓。

◇有机肥料只能进入浅层深度。深埋的作物残体对蚯蚓有害,因为可能会导致厌氧条件。

◇由于未处理的液态粪便中的氨是非常有害的,特别是对于接近淹水土壤表层的蚯蚓,液态肥料应在施用之前进行搅拌(因而充气)并进行稀释。

◇液体肥料只能施用于吸收性土壤,施用中等量,每公顷约25立方米。

◇为了确保中性土壤pH,可以适当地添加石灰来调节酸碱度。低于5.5的土壤pH(H<sub>2</sub>O)对蚯蚓有害。



当在适当的时间,并稀释后适量施用时,液体肥料对蚯蚓和作物生长有益。



丰富的蚯蚓动物有助于减少淤积并改善水的渗透和储存。

### 预估土壤中蚯蚓的数量

在中欧,农田每平方米120—140条蚯蚓,就具有较高种群密度。

可以使用以下方法粗略地估计蚯蚓的大致数量,操作如下:

◇使一个10cm×10cm和25cm深的铲子充满肥沃的土壤,中等重量的土壤平均含有2—3个蚯蚓。这个数量相当于每平方米100到200个蚯蚓。

◇蚯蚓洞穴的数量也是土壤中蚯蚓活动的良好指标。

◇在蚯蚓活动期间(3月至4月和9月至10月)计算50cm×50cm区域的粪便数,5堆或更少粪便,表示出较少的蚯蚓活动;10堆粪便,表示出中度蚯蚓活动;20堆或更多的粪便,表示良好的蚯蚓活动且土壤中含有许多蚯蚓。



蚯蚓从卵中诞生。

### 栖息地影响蚯蚓的密度

蚯蚓栖息地的繁殖主要取决于食物和水的供应。因此,每平方米的蚯蚓数量有很大变化:

低投入牧场	400—500 只蚯蚓
施肥草地	200—300 只蚯蚓
硬木林	150—250 只蚯蚓
低投入耕地	120—250 只蚯蚓
贫瘠的草原	30—40 只蚯蚓
云杉林	10—15 只蚯蚓



只有成熟的具有生殖圈的标本才能够明确该品种级别(例如: *Eisenia foetida*)。

### 总结:推广蚯蚓的关键措施

以下措施是农业土壤中蚯蚓繁荣的先决条件:

1. 给蚯蚓提供足够的食物(如植物原料)。
2. 不使用有害于蚯蚓的农药。
3. 应用有利于土壤保持的耕作方式,如轻度耕作和免耕等。
4. 避免土壤压实和促进土壤结构良好透气。
5. 作物适当施肥,进行作物轮作管理,以平衡人为耕作后对土壤的影响。

丰富的蚯蚓数量,不仅能使土壤健康地发展,而且对维持土壤的生态系统平衡具有至关重要的作用。

### 翻译说明:

本文译自 Technical Guide on Earthworms, Order no. 1629, International edition © FiBL 2014, [www.fibl.org](http://www.fibl.org)。由瑞士有机农业研究所(FiBL)独家授权上海色瑞斯生态农业研究中心翻译为中文并刊发,未经FiBL和上海色瑞斯生态农业研究中心同意,不得转载。

### 单位简介:

上海色瑞斯生态农业研究中心拥有农学、生态学、环境工程、植保、植物营养、园艺等多个学科的博士、硕士团队,专注于生态、有机领域的技术研究、技术开发、技术服务,与瑞士有机农业研究所、德国 Bioland 有着框架合作机制,致力于引进、消化、吸收国际先进的生态、有机技术,并服务于中国企业。上海色瑞斯生态农业研究中心参与了众多科研、技术支持和培训项目,其中不乏国家级、省部级科研项目,基于研究,上海色瑞斯生态农业研究中心为国内企业提供技术支持服务,使其科研成果能迅速应用于实践。上海色瑞斯生态农业研究中心可提供的服务包括:

1. 技术支持类:有机生产质量管理体系建设、有机生产技术支持、有机标准培训、FDA 合规技术支持与培训、企业标准编制、农业技术资料翻译、地方科研项目合作;
2. 生态规划类:生态有机农业园区规划、有机农业发展规划、有机农业示范基地规划、休闲农业与乡村旅游规划等。

### 上海色瑞斯生态农业研究中心联系方式:

联系人:刘宗岸

联系电话:13989804556

Email: [liuzongan@ceres-cert.cn](mailto:liuzongan@ceres-cert.cn)

网址:<http://www.bio-osc.com>