



养分循环

作者:卡洛斯·阿尔梅尼奥·卡图尼安

2025/02/19

植物中的矿质营养素

自然界的所有生物主要都由碳、氢、氧这三种化学元素组成。在植物中，这三种元素约占干物质的**95%**。其中氢和氧来自水，碳来自空气中的二氧化碳。其余**5%**中的一系列其他化学元素一起统称为矿质营养素。氮、磷、钾是所有矿质营养素中需求量较大的三种，它们被称为主要常量矿质营养素，其次是被称为次要常量营养素的钙、镁、硫。植物的生长还需要硼、氯、铜、铁、锰、钼、钴、镍和锌等微量元素，硅这种常见的元素对于某些植物来说也是必不可少的。

植物要想顺利生长并完成其生长周期，就必须获得所需的一切养分。由于植物固定在土壤中，所有这些养分都需要靠其吸收结构汲取，也就是根部。养分需要溶解在浸透根系的土壤溶液中才能被吸收。养分从溶液中进入根部，然后到达茎与叶等其他植物生理活动部位。

不同地区的土壤含有不同量的矿质营养素，也可能会含有游离铝等有毒元素。由于植物扎根于土壤，其必须进化出适应土壤中矿物质养分比例的特性，以及对有毒元素的耐受力。

出于这个原因，尽管不同植物需要的矿质营养素相同，其所需元素的比例却各不相同，从土壤中汲取养分的能力和对有毒元素的耐受力也不同。在不同环境中进化的植物具有不同的适应性。如在温带半干旱气候下石灰性土壤中生长的小麦和在潮湿热带地区酸性土壤中生长的水稻特性就不同。因此，它们也就需要不同的条件来充分发挥其生产潜力。



土壤-植物系统中氮磷钾的动态特性

不同矿质营养素具有截然不同的化学性质。本节将详细介绍三种重要的主要常量营养素。

磷

通常情况下，未开垦土壤中的磷主要来自基岩，是植物吸收生物质的来源。当这些生物质分解后，磷以阴离子的形式进入土壤溶液中。此时它很容易与阳离子发生反应，特别是在热带地区土壤中与铝和铁发生反应。与铝和铁反应生成的磷酸盐几乎不溶解，因此大多数农作物都无法吸收这些磷。这一过程被称为磷固定。分解释放出的磷需要被生长中的植物马上吸收才能避免磷固定，这就需要根系很活跃。

磷作为矿物肥料被施用时会发生磷固定，因此作物对磷的利用率通常只有**5%到 10%**。被固定的磷可以被木薯、番豆、粘豆和蚕豆这种具有从难溶性磷酸盐中提取磷能力的作物提取出来，从而重新进入循环。

农作物的磷输出量通常为每公顷几十公斤。由于土壤溶液中的磷浓度较低，淋溶损失在农业时间尺度上并不重要。磷流失的主要原因是土壤侵蚀，因为土壤受侵蚀时磷会与颗粒物结合在一起。因此控制侵蚀是防止磷流失的主要措施。

钾

与磷一样，钾也来源于土壤基岩。从基岩中释放出的钾主要以阳离子的形式存在，与磷不同的是钾离子会形成极易溶的盐。钾盐是除钠盐以外最易溶于水的金属盐，存在于所有植物体液中。

在土壤中，粘土矿物和腐殖质形成了带负电荷的化学海绵，能够将钾离子等带正电荷的离子吸附在其表面。离子被吸附后可被植物根系吸收。

阳离子交换量是指在一定条件下土壤胶体所能吸附的各种阳离子总量。由于钾与水的亲和力很强，大雨能把叶片上的钾冲刷到土壤中，被粘土和腐殖质的络合物吸收。若水量大但阳离子交换量低，其中一些钾就会被雨水或灌溉水带走，随渗水进入土壤深层。这种随渗漏水的移动称为淋溶作用。如果钾被淋溶到根系无法触及的深度，植物就会失去矿质营养素。

在潮湿的气候条件下，淋溶作用通常会导致钾的大量流失。根系越深越密集，流失越少。

农作物的钾输出量通常在每公顷几十公斤到几百公斤之间，具体取决于作物的类型和数量。由于钾与水的亲和力很强，谷物等低含水量产品的钾输出量明显低于甘蔗、香蕉或木薯等高含水量产品。

氮

与磷和钾不同，生态系统中的氮不是来自土壤基岩，而是来自空气。氮气约占空气的**80%**。氮可以通过放电，尤其是通过能够将氮气转化为有机形式的生物活动，从而融入土壤。这种转化过程被称为“生物固氮”。值得注意的是，“生物固氮”的“固”与“磷固定”的“固”含义不同。在各种生物固氮系统中，豆科植物与根瘤菌的结合在农业中应用最为广泛。

氮是除水之外最快速、最明显的植物生长促进因素。与碳、氢、氧一样，氮也是蛋白质的组成部分。蛋白质能组成酶，酶是所有生物新陈代谢的媒介，也包括植物的光合作用。氮在融入豆科植物生物质中后就会参与该植物的生长发育。在生长周期结束时，植物体中的一部分氮会进入种子，另一部分留在植物残体中，由分解者处理。

在通风良好的环境中，植物残体中的氮会转化为硝酸盐。硝酸根离子是一种对水具有极强亲和力的阴离子，因此和钾离子一样，它也会被淋溶。然而，由于硝酸根离子带有负电荷，它不



会被土壤中的交换络合物所吸附。因此，除非有足够密集根系在硝酸根离子被淋溶之前将其吸收，否则其流失会非常严重。然而，由于农业用地长期没有任何植被覆盖，淋溶造成的硝酸根离子流失通常非常大。

由于这些化学动态变化，在整个农业发展史上，补充土壤中的氮一直是恢复农田生产潜力的自然要求。主要恢复策略是休耕，也就是让土地停耕数年。随着合成氮肥的发明，人们不再需要等待漫长的休耕期了。土地可以年复一年地耕种。犹太裔德国科学家弗里茨·哈伯(Fritz Jacobus Haber)就是凭借他研究的化学固氮法获得了1918年诺贝尔化学奖。卡尔·博世(Carl Bosch)对这一技术进行了工业化改造。如今，这一技术也被用于生产氮素化肥——尿素。随着时间的推移，合成氮肥的持续使用导致了一些不可预见的问题。如今，生态农业避免使用合成氮肥，有机生产也禁止其使用。但这不在本文讨论范围之内。

再来看氮的动态，如果环境通风良好，尿素等合成氮肥会转化为硝酸盐。植物残体中的氮也是如此，因此淋溶作用带来的氮流失很值得重视。除了淋溶，氮还会受其他因素影响从系统中流失。当含氮的植物组织或硝酸盐本身受到化学还原条件的影响，比如在被水覆盖且有机物丰富的环境中时，氮就会转化为氨气或氮气等其他化学形式。因此，在灌溉稻田时或在养猪场污水储存池中，物质中所含的氮会通过挥发散失到大气中。

另一种导致氮流失的因素是动物尿液。在牛等大型动物较多的地方氮损失可能较为严重。动物将消化后的氮浓缩在尿液中，排尿时将其沉积在一个通常直径不到一米的圆形小区域内。其中，每次排尿的氮浓度可超过500千克/公顷。由于草无法立即吸收如此大量的氮，这往往会导致淋溶。

在干燥的环境中时，氮的流失会更严重。尿素形式的高浓度氮加上尿液中的钾和钠形成了一个高盐度的环境，使那块尿渍中的草被烧死。盐浓度从那块尿渍中心到边缘递减。被烧到的那片草并不是枯死了，而是被氮肥和尿液浇淋，在周围形成一个蓝绿色的环。在其中，尿素转化为硝酸盐并积聚。当降雨时，钾盐、钠盐和硝酸盐被溶解，并随雨水渗入土壤中。所以，每当奶牛排尿时，氮就会流失。这是牧场氮流失的主要形式，土地中的氮量因此而持续减少。农民看不到这种损失，大多数农学家也不了解这种损失，但牧场的贫瘠是显而易见的。

氮的这种持续流失为能够进行生物固氮(NBF)的植物，尤其是豆科植物的生长创造了有利条件，豆科植物通过从空气中吸收氮来补充土壤中的氮。在传统轮牧系统中，每当牛群离圈时都要施用尿素来补充氮。在用于作物生产的土地上，由于植物生长消耗和淋溶损失，氮的减量通常很高。因此，应当在生态农业的轮作或间作序列中加入豆科植物。

现在，读者您应该已经意识到氮的化学动态非常复杂了。与其他养分相比，氮的正确管理需要更多研究与规划。笔者不会在本节中阐述明确做法，只是将本节作为参考，抛砖引玉，以便读者朋友们制定适合自己生产系统的管理计划。从最简单部分的开始，逐步改善从而提高到所需的复杂程度。

比较氮、磷和钾在生态系统中的移动，可以明显看出，在农业时间尺度上，只有氮是有规律输入系统的，因此我们才能讨论“循环”。至于磷、钾等所有其他营养素，在农业时间尺度上实际观察到的只有从陆地到海洋的移动。这是一种流动的损失，需要人类在永久性农业系统中以某种方式加以补偿。在下面的章节中，我们将力求更深入地了解这些养分的移动情况，以减少营养素流失，进而降低对人为补充营养素的需求。

自然及农业系统中的矿质营养素循环

矿质营养素不断发生复杂的运动，农民要对其了如指掌才能妥善管理。这些运动是由每种营养素的化学特性、气候、周边动物等自然因素以及人为干扰造成的。为了便于阐述，我们将这些运动分为三类，即自然循环、自动循环和人为循环。



虽然从自然现象的角度来看，“循环”一词可能并不恰当。但用来引起读者重视所有当地和地区现有材料的再利用，使之优化植物生产，却是合适的。

矿质营养素的自然循环

地球上任意地区的天然植被都能完全适应当地的生长条件，因为所有适应性差的物种都会被淘汰，只有适应性强的才能存活。植物们发芽、生长、繁殖，进行光合作用，产生生物质。它们从空气中吸收二氧化碳，从土壤中汲取水和矿质营养素。植物死亡后会被分解，二氧化碳回到空气中，矿质营养素回到土壤中，再被另一种生长中的植物吸收。这一过程在自然界生态系统中不断发生，是大自然运作方式的一大部分。

植物通过光合作用从水和二氧化碳中产生生物质，吸收矿质营养素并将其融入自身。植物生物质是食草动物和分解者的食物。被分解时，其释放二氧化碳、水及矿质营养素。营养素从土壤进入到植物，再从植物中回到土壤。在自然界生态系统中，矿质营养素垂直循环与生物循环相结合，这就是矿质营养素的自然循环。

矿质营养素的自动循环

在人类经营的生态系统中，光合作用、矿质营养素吸收、生物质产生和分解的过程与自然界相同。然而，在农业生产过程中，产出的生物质会在土地上发生很大的水平位移，其中部分生物质（即收获的作物）会作为农产品出售。农田在淡季往往植被稀疏甚至光秃秃，营养素会因土壤侵蚀和淋溶作用而流失，农田养分循环中的营养素流失更严重。因此，即使是生态农业，也必须人为进行营养素补充。问题就在于如何最大限度地减少流失，从而减少补充营养素的需要。

在饲养动物的系统中，生物质和矿质营养素从种植作物的农田转移到动物废料堆放处，并集中在那里。然而一部分土地的肥沃牺牲了另一部分土地。农舍、马棚、猪圈和鸡舍都是矿质营养素的集中地。集中在这些地方的营养素对生产毫无用处，因为牲畜会阻碍植物的生长。因此，农民应当考虑收集牲畜粪便并将其运送到农田的方式。

集约化畜牧系统中，在1000至2000平方米的农舍中饲养家禽或猪一年需要两到四百公顷的大豆和玉米种植量。这些生物质从几百公顷土地上的作物到被动物消化为粪便排出的过程就像通过了一个漏斗，其中的矿质营养素被浓缩在牲畜粪便中。这意味着农民在运牲畜输粪便时要小心，在单位营养素如此高的情况下任何损失都是很严重的。

在农业系统中，最常见但往往不被注意的矿质营养素迁移方式是人们将生活中产生的废弃物集中堆放在家附近。农民运来柴火做饭，然后把柴灰倒在家附近某处；用玉米喂牲畜，牲畜吃完后农民就在原处处理排出的粪便；带回家水果、蔬菜和秸秆，产生的废弃物最后都被倒在家旁边。因此，随着时间的推移，房子周围的营养素和生物质越来越多。

这种因农业运作而产生的营养素移动通常是在农民没有意识到的情况下发生的，被称为自动循环。自动循环主要发生在水平方向上，使营养素在植物生长处贫瘠但在动物集中区和房屋周围富集。

矿质营养素的人为循环

当农民在植物生长环境中施用粪肥、植物残体、草木灰等肥料时，他们人为引导营养素向系统中的某些节点移动。理想情况下，人为循环能提升系统中原有或人为加入的营养素量的利用率，使其在生物和经济生产中得到最佳利用。收集人为经营生产系统中动植物产生的废弃物并将其用作农作物肥料，这就是人为循环的做法之一。但该种循环在提高养分利用率方面还有待提升。为此，需要农民发现可优化的部分后调整系统结构及经营方式，从而获取收益。



由于粪便收集困难，牲畜粪便利用率往往很低。为了提高利用率，在设计设施时必须考虑粪便的收集问题，在管理上也需要考虑到粪尿排泄模式。最难收集粪便的情况是动物完全散养，最容易的情况是完全封闭饲养。然而，完全散养需要的劳动力和饲喂量要少得多，因为动物能自给自足，而封闭饲养则完全依赖于人的照料。不过也有中间情况，比如让鸡睡在鸡舍里就可以收集夜间产生的粪便。农民通常饲养**20-30**只母鸡供自家食用。这群鸡产生的粪便足够一个**50-200**平方米的菜地使用，这就足以让一个家庭全年都有蔬菜吃。同样，在夜间把大小牲畜聚集起来比较容易收集产生的粪肥。

粪肥的特点与处理方式

首先，我们需要从概念上理解“粪肥”一词的含义。从牧场、马棚或退耕还林地收集的粪便有不同水分含量和不同分解阶段。粪便是食物中未被消化的部分，富含纤维素，并含有氮、磷、钾、钙、镁等未能被吸收的少量矿质营养素。

当室内饲养动物的地面和垫料不透水时，“粪肥”指的是粪便、垫料和尿液的混合物。这时粪肥的成分以及化学和生物动态都有所不同。首先，木屑、花生壳、稻壳、稻草等都可以当作垫料。其次，动物身体将其新陈代谢的废物转化为尿液，尿液中可能含有含氮物质经消化后的最终产物，以及饲料中的钾和食盐中的钠产生的多余水溶性盐类。粪便中的营养物质只有在数周或数月后才会被微生物分解从而供植物利用，而尿液中的营养物质则可以立刻被植物分解利用。尿液中的主要含氮化合物是尿素，因此稀释后尿液对植物的作用与工业尿素相似。纯净的尿液含盐量很高，会烧死植物。

猪粪与牛粪一样，其中的营养物质被植物吸收的速度比尿液更慢。不过，由于猪多以谷物为食，主要由富含淀粉和蛋白质的植物组织构成，其粪便的分解速度要比草食动物快得多，因为草食动物的食物中纤维素纤维含量很高。猪和牛粪便中的营养物质也要通过防渗地板和碎木块，木屑、稻草碎等高纤维素垫料才能得到最佳利用。尿液和粪便在猪的不断踩踏下最终会和垫料混在一起。

随着时间推移，垫料会变得愈发潮湿，因此需要在其变成糊状并粘在牲畜身上之前将其清理走。清理出来的东西是粪尿和垫料的混合物，随时可能滋生嗜热菌。因此当堆积在一起时混合物会立即升温。从卫生角度来看，这种升温是非常有益的，因为其能遏制猪身上人类常见病原体的繁殖甚至将其消除。粪堆被翻动的次数越多，消除病原体的效率就越高。更换垫料的间隔视所用材料的吸湿能力与动物通过粪尿排出的水分量而定。作为参考，**3x3**平方米的棚舍中铺设**20**厘米厚的垫料足够断奶后的一窝动物使用一到两个月。

从营养角度来看，猪和鸡的饲料成分类似，因此人们会认为它们的粪便也具有相似的特征。然而，鸡的消化系统有两个特殊之处，使其粪便迥异：鸡胗和尿酸。禽类将食物在胗中分解。胗是胃的分化，肌肉发达。比起猪齿的咀嚼，胗能将摄入的食物消化成更细腻的糊状物。另外，禽类和爬行动物都进化出适应干燥环境的生理系统，能用尿酸这种难溶于水的化合物来排出含氮废物。因此，哺乳动物需要大量水来排出尿素，而禽类却不需要水就能做到。

在一滩鸡粪中，粪便是体积较大、颜色较深的部分，而尿酸则是这一滩东西顶部逗号状的浅色部分。这个浅色逗号相当于猪和牛的尿液。鸡粪更细碎，且含有尿酸，因此鸡粪中的氮含量更高，分解速度也比猪和牛的粪便快得多。在空气中有水分的情况下，鸡粪很快就会被细菌分解成水、二氧化碳和氨气。鸡舍中强烈、刺鼻且有毒的气味正是归因于氨气挥发。

为了充分利用其中的氮，鸡粪需要快速脱水，这可以通过铺干垫料来实现。当家禽粪便存在于干净潮湿的环境中并与垫料混合时，大部分氮会转化成氨气并快速流失。因此，最终的混合粪肥中富含磷和钾，但没有氮。氮在干燥肥料中的流失量较小。

由于纯家禽粪便浓度较高，使用时应更加小心，以免伤害植物。在菜地里，每平方米菜畦使用的干肥料应控制在一到两升以内。与猪粪相比，家禽粪便对人类健康的影响较小。在肥料领域



始终存在的一个问题是能否将人类排泄物用作肥料。事实上，这种方式在东方以水稻为中心的农业系统中已经使用了数千年，而在西方却仍然是禁忌。

从粪便成分和卫生风险的角度来看，人类粪便与猪粪非常相似，因此在使用时也有相同的待考虑因素。将人类粪便堆肥能消毒，使其可以安全地用作肥料。人的尿液比任何其他动物的尿液都更容易收集，可用作任何作物的氮源。唯一要做的就是用水稀释，以避免盐度过高损伤作物。大多数作物都能很好地承受 1:10 的稀释度。

在东方，人类排泄物一直是未经堆肥处理就直接施用于农作物，尤其是在稻田中。这会导致人类粪便中的有机物污染大片环境。为了避免这种情况，东方人，尤其是中国人，会用开水泡茶喝，蔬菜在食用前也会经过加热处理。

生物质分解和堆肥

在农业生产系统运行过程中，生物质总是会发生重要的水平移动，其中一些生物质最终会堆积在系统中的某些位置。这些物质会受到大小不一生物体的作用，形成一种颜色深、碎屑多、气味宜人、肥料潜力高的产品。

当堆积物富含简单碳水化合物和氮化合物等微生物易于分解的物质，且堆放处通风良好时，就会迅速升温到略高于60°C的温度。其中的嗜热细菌成为加热中堆放物的分解剂。堆积物的加热并不均匀，加热过程是在堆积物表面以下的盖子内进行的。盖子表面缺水，内部缺乏空隙。几周后，嗜热菌已将盖子中的营养素侵蚀殆尽，盖子便冷却下来。不过如果翻动堆体，堆积物就会再次升温，因为其内外材料被重新分配，又为堆盖提供了养料。因此，翻堆次数越多，分解速度就越快，对整个堆体的热处理就越有效。这一过程产生的物质被称为堆肥，具有很高的施肥潜力，也能帮助调整土壤结构，让土壤恢复活力。

如果堆积物的主要成分是如谷物秸秆、枯叶和锯木厂废料等的氮含量较低的纤维素材料，则不会发生加热现象，因为嗜热菌缺乏食物。在这种情况下，堆积物的分解就只能由其他生物完成。在室温下分解的堆积物需要更长的时间才能达到肥料的效果，但分解过程类似堆肥，会有更多种类的生物参与进来，与森林中落叶被分解的过程类似。不过，由于没有加热过程的处理，室温分解消除病原体及繁殖体的效率较低。

无论分解是在室温还是高温下进行，氮、磷和钾在堆中的动态变化都遵循不同的模式。无论是以氨气的形式挥发还是以硝酸盐的形式淋溶，氮总是会流失。我们可以尝试减少流失，但没法完全杜绝。堆中的磷流失量很小。钾的流失情况取决堆积物的渗水情况。由于钾极易溶解，它会随渗水进入堆下土壤中并滞留在那里。

上述一系列过程会导致氮、磷、钾这三种营养素的比例发生变化。与堆放的原始材料相比，成品堆肥中的磷比例较高，而氮和钾比例较低。堆肥含水量越高，其中钾含量就越低。因此，持续施用堆肥会增加土壤中的磷含量，但不会增加氮和钾含量。施用任何其他形式的生物质都会增加土壤中的磷含量，只是比起施用堆肥来说速度会慢一些。

草木灰

植物中干生物质的95%是碳、氢、氧，其余5%是矿质营养素。从化学角度看，燃烧意味着与氧气发生反应，使生物质中的元素转化为氧化物。气态氧化物会挥发，如二氧化碳、水蒸气和二氧化硫。固态氧化物统称为草木灰，残留在燃烧后的地方，主要为氧化钙、氧化镁、氧化钾和二氧化硅。这些氧化物的比例取决于燃烧的生物质类型。

二氧化硅是一种惰性材料，其液态形式可以制成玻璃。甘蔗灰的成分中70%是二氧化硅，因此在燃烧时会形成玻璃石。与二氧化硅不同，钙、镁和钾的氧化物非常活泼。湿润时，它们会产生强烈的碱性反应并各自生成氢氧化物。因此，将其施用到土壤中不仅能提供养分，还能改



善土壤酸度。施用于植物时，其能阻止真菌侵袭，因为真菌通常喜欢酸性环境。此外，钾元素还具有十分显著的保护作用，对植物健康大有裨益。

综上所述，草木灰是一种宝贵的资源，我们应特别关注其在生产系统中的利用。

营养循环、自给自足和粮食安全

在自动循环中我们提到，房屋周围区域是植物生产得天独厚的空间，但却很少被利用。除了生物质和矿质营养素外，此处的劳动力和水资源可用性也很高。在大多数农业系统中，生物质、矿质营养素、劳动力和水资源使这一区域具有很大生产潜力。但由于人们未能充分发挥这一潜力，也由于散养农场的存在，这一空间往往没有得到充分利用。农民们发现圈养鸡和猪的产出不如散养的高，因此他们不愿意圈养牲畜。但散养农场会阻碍房屋周围地区生产潜力的充分利用。

将生产潜力的利用与散养模式相协调的一种方法是，在房屋附近围出一块区域进行集中耕种。为了给这片区域施肥，所有运到房屋附近的废物都会被人为引导，这样就能将此处的自动循环转化为人为循环。由于围场距离房屋很近，人们因此可以利用碎片化时间来种植物。农民们可以按需在该区域中的一小部分地里种植需要灌溉的蔬菜。

按照这种方式进行选址并经营，一块总面积1000至2000平方米的围场中灌溉面积可为20至100平方米，能为一个三至五口之家提供全年的大部分食物。在非灌溉区，可以种植木薯、青玉米、爆米花玉米、花生、南瓜、豆类、红薯、秋葵、生姜、辣椒等产品。在小块灌溉区，根据季节和地区的不同，可以种植甘蓝、卷心菜、生菜、胡萝卜、四季豆、葱、洋葱等。围场的周围环境和围栏是豌豆等藤类植物和扁豆、蚕豆、百香果、佛手瓜等攀缘植物的理想生长地。根据农民的自身经验、所种植作物的大小、种植复杂程度以及农民的知识技能，每天一个小时的工作就足以经营一个这样的围场。

总结

通过本节叙述的各个方面，相信我们可以理解土地资源整合的重要性以及作物和牲畜管理如何以及为什么会影响生产系统中可用矿质营养素的使用。在以生态为基础的农业中，成功的关键在于农民真正了解每种养分的特性并能精确把控每种营养素的量。例如，如果避免生物质堆下的钾损失，如何以最佳方式管理牲畜并利用粪便，如何规范地将废料运到家中用作围场肥料。

即使营养素的量有限，知识也能提高其利用率。不过这并不意味着从系统外添加化学或有机肥料是不可取的。例如，巴西的土壤通常缺磷，却能很好地生产木薯、水稻和豌豆。如果施以肥料，就能生产出更多种类的作物。同样，施用石灰来中和游离铝，可以扩大该农业系统中可种植的物种范围。在过去的二十年里，除了传统的石灰石和天然磷酸盐之外，岩粉的使用也有了显著的增长。适当施用岩粉可以促进土壤再矿化，增加养分在系统中的循环流动。施加化肥也能起到这种作用。

不过，本节的中心思想是希望读者关注养分循环的相关过程，这样无论农业系统中的营养素存量是多少，农民都能尽可能有效管理其存量。

更多信息

为了让读者更深入地了解这一主题，我们向您推荐以下三篇文章：

1. JENKINS, J. *The humanure handbook*. White River Junction, VT. 切尔西格林出版社，1999年。第301页。



该文章实用度与幽默感兼备，其作者是一位自学成才的堆肥专家。自20世纪70年代末以来，他一直在对自家排泄物进行堆肥处理，并利用其种植口粮。

2. KHATOUNIAN, C. A. The ecological reconstruction of agriculture. Botucatu: 生态农业出版社，巴拉那州农业研究所，2001年。第345页。

这是一本基于作者第一手经验的关于生态农业基础原理的书籍，能帮助读者获得搭建并经营生态农业导向的生产系统的基础知识。

3. NOVAIS, R. F. et al. (ed.) Fertilidade do solo. Viçosa (MG): 巴西土壤科学学会，2007年。第1017页。

该书由巴西土壤科学学会组织编写，内容涉及土壤化学、养分动态和植物矿质营养素等多个方面。

本文转载自Expressão Popular出版社的《生态农业与教育词典(Dicionário de Agroecologia e Educação)》2021年9月第一版。源语言为葡萄牙语，由ROOTS成员编辑并译为中文。原文链接：
https://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/dicionario_agroecologia_nov