



## 土壤改良剂让土壤更健康

作者: Thomas L. Thompson \*

翻译: 李岚 (Lan Li)

ECHO 亚洲期刊, 第 36 期

2018 年 10 月

### 介绍

土壤化学、物理学和生物学特征把土壤划分为高度适宜植物生长到高度不适宜植物生长。非常罕见能找到所有属性都高度适宜植物生长的原生土壤，尤其是在热带。但是，只要有充分的土壤厚度来提供一个足够深度和排水良好的根系区域，相应的改良和土壤属性管理能让几乎所有的土壤变得合适植物生长。甚至是自然状态下不肥沃的土壤和保水性特别低的土壤在合适的管理和投入之后都能有非常高的农作物产量。

土壤对植物生长的不利影响必须通过改良剂、物理处理（耕作）、改变土壤管理行为或这三种方式的组合来消除。例如，土壤板结只能通过翻耕土壤，破碎板结区块来改善。不合适的土壤化学特性需要土壤改良剂改良，然后合适的土壤管理能降低问题再出现的频率。生物问题，如土生真菌或寄生线虫的感染，能通过化学手段快速处理，或者采用其他相对缓慢但健康的，改变农作物和土壤管理方式的手段。

以下内容包括 1) 定义土壤改良剂，2) 讨论改良剂能处理的一般土壤问题，3) 描述土壤改良的种类

### 土壤改良剂定义

土壤改良剂不同于化学肥料。肥料加入土壤主要是增加植物所需的营养。然而，土壤改良剂主要是改变土壤不利的化学、物理或生物特性，并不只是改变低营养有效性。改良剂和肥料的区分不总是那么清晰。例如，有机质也能作为肥料也能作为土壤改良剂。在这篇文章中，我们仅限于讨论作为改良剂的功能。

### 改良剂能处理的常见土壤问题

很多常见土壤问题都能通过加入土壤改良剂处理。以下是对一些问题的描述：

#### 土壤酸碱度

土壤 pH 值是土壤性能最重要最基础的指标。土壤 pH 值控制着很多基本营养物质的生物有效性（图 1），也决定着土壤中各种金属物质的相对毒性。pH 值是测量土壤酸度

和碱度的指标。pH 值的范围是从 0 到 14；pH 值为 7 是“中性”，值小于 7 是酸性，值大于 7 是碱性。对于大多数植物来说，pH 值在 6 附近最理想，当然也有些喜酸的植物可以忍耐 pH 值低到 4，耐碱的植物在 pH 值高到 10 都能茁壮成长。即使在植物可以耐受的 pH 值范围内，植物的健康和产量也受其他外界限制的影响。很多生长在湿润热带和亚热带的植物适应 pH 值稍微偏酸性的土壤（表 1），包括大米、咖啡、菠萝和西番莲。这是幸运的，因为大多数热带土壤自然都会偏酸性！

土壤偏酸性是土壤长期暴露于湿润气候的自然结果（例如上千年）。在这样的环境中，非酸性土壤元素例如钙和镁会损失掉，同时酸性元素例如铝铁在土壤里又过于顽固，溶解之后产生更多的酸。假如哪里的土壤是酸性的，在应用改良剂增加土壤 pH 值之前最重要的要考虑种植耐酸作物。

在高酸度的土壤里（pH<5），氮、磷和钾的生物利用度通常都是很低的。同时，铝、铁等其他金属可能变得很易溶，但它们对植物是有毒的。事实上，对生长在高酸度土壤中的植物铝和锰的毒性是一个非常严重的问题；能抵御低土壤 pH 值的植物要能忍受高浓度的铝和锰（Yost 2000）。土壤高酸度同样对微生物活性有不利影响，在高酸度土壤中，细菌变得缺乏活性而真菌变得更有活性。在高酸度的土壤中有益的固氮细菌的生长会被抑制。

碱土的 pH 值超过 7。这种土壤最通常存在于半干燥和干旱区域，这些地方因为灌溉水和/或缺乏良好的排水系统，土壤是盐化的。碱土在半湿润区域也存在，在这里土壤由碱性原生材料例如石灰岩构成。土壤 pH 值大于 8 很少会对植物造成问题（但喜酸的植物很少见）。但是，pH 值大于 8 通常会照成微量营养物质例如铁、锌和锰严重缺乏。

土壤碱化的会造成的结果有两种，最常见的是碳酸钙（石灰）的出现。很多干燥地区的土壤自然地会有石灰的积累，因为这种适度可溶的矿物质留存于土壤中。含有自然石灰的土壤（钙化土）pH 值会保持在 7 以上，甚至会高到 8.3。土壤碱化也因为大量与碳酸盐关联的钠的存在。这个因素通常是因为在土壤中加入钠但是土壤排水又不好钠无法从根系中滤掉的结果（例如采用灌溉水）。高钠含量的土壤被称为钠土，这是一种很难纠正的状况（图 2）。

### 土壤盐碱度

盐渍土中积累的可溶性盐的浓度对植物有害。和 pH 值一样，土壤有不同程度的含盐度，植物的耐盐度也不同。土壤的含盐度通常表达为导电性（EC）或 TDS（总溶解固体量）。640ppm 的 TDS 大约相当于 1ds/m 的 EC。盐度通过减少植物土壤水可用性来影响植物生长，因为盐份通过渗透作用将水份从植物中挤出。适宜在潮湿和半潮湿热带地区的大多数植物是不耐盐的，甚至一点温和的盐分都会伤害它们。相反，有的植物品种就能耐受很高的盐含量，尽管这些植物很少成为农作物（表 2）。表 2 展示的耐盐度等级只是一个一般意义的指导，因为植物的耐盐度也受生长环境和其他因素的影响。盐度的不利影响是能被缓和的——虽然不一定能被消除——通过保持根系全时段的湿润（不是潮湿）等合

适的土壤湿度管理来处理。湿润的根系区域能稀释盐浓度。但是过度潮湿的根系对植物也是有害的。滴灌系统是一种特别好的管理盐度的方式，因为它是管理根系土壤湿度最好的办法。

盐度和碱度问题通常一起出现，但是两个问题中碱度问题通常更为严重因为它更难处理。土壤的碱度是指土壤中积累了大量的钠，特别是在缺乏足够的钙的情况下。碱度高不会直接伤害植物，但是会导致土壤结构破坏并使得土壤不可透水。

## 土壤改良剂

### 石灰

从化学上看，中和土壤酸度的改良剂是碱。“石灰”是几种来自自然石灰岩的物质的总称。农业用石灰是粉状石灰岩（ $\text{CaCO}_3$ ），通常叫石灰泥。农业石灰的有效性取决于化学纯度和颗粒大小（小颗粒最有效）。熟石灰（ $\text{Ca(OH)}_2$ ）和生石灰（ $\text{CaO}$ ）是在加热农业石灰时形成的；它们通常比农业石灰更贵，因此较少被使用。生石灰必须谨慎使用，因为它会对人和植物造成腐蚀性伤害。白云石石灰（ $\text{CaMg(CO}_3)_2$ ）是钙和镁碳酸盐的自然混合物，可以用来代替农业石灰。泥灰土是一种含有高浓度碳酸钙的土壤材料，但由于其纯度低，除非没有其他石灰材料，否则不推荐使用。

虽然石灰材料主要是用于中和土壤酸性，但也在它们中可以添加钙（在白云石石灰中，添加镁），因为这是植物必需的但通常在酸性土壤中缺乏。石灰材料的相对有效性用碳酸钙当量（CCE）表示；纯碳酸钙的 CCE 为 100（表 3）。CCE 通常取决于化学成分但也取决于颗粒大小。大石灰颗粒在土壤中小于小颗粒化学反应速度慢，因此需要更长的时间才能达到同样的中和酸的效果。除中和酸性外，在热带土壤中施用石灰还可改善土壤的聚集性、孔隙度和容积密度。酸性土壤被石灰中和后通常 pH 值应该达到 6.0–6.5。加入酸性土壤的石灰量是否合适取决于两个因素——土壤的 pH 值和土壤的缓冲容量，也被称为“储备酸度”。粘土含量高、阳离子交换能力（CEC）强的土壤具有较强的缓冲能力。精确确定某一特定土壤石灰需氧量的唯一方法是让有信誉的土壤测试实验室对土壤进行检测。实验室将测量 pH 值和缓冲能力，并给出推荐石灰率，通常以吨/公顷为单位。这个比例是假定石灰材料的 CCE 为 100。如果无法将土壤样品送到实验室，可以通过培养不同数量/比例的石灰湿润土壤样本来估计石灰需求量。5 天后，测量 pH 值（Sonon 和 Kissel 2015），使用 pH 值最接近 6.0—6.5 的石灰量对土壤进行石灰化处理。当然，这种培养方法应该只在实验室土壤分析不可能的情况下使用，因为这种方法的准确性还没有得到彻底的评估。

### 石膏

没有改良剂能中和土壤中的可溶性盐或减少它们对植物生长的影响。土壤盐碱化的唯一解决办法是用高质量的灌溉水在根部以下充分析出盐分。如果无法做到以上方法，可以通过灌溉的办法维持最佳的土壤湿度，从而让盐分失调最小化（例如滴灌），并/或种植

耐盐作物。运用石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）可以帮助去掉土壤的钠，但是不能去可溶性盐，所以只有排水是最好的办法。石膏的添加量随钠含量和土壤阳离子交换能力的增加而增加。

### 酸碱中和

化学上说，中和土壤碱度的最佳改良剂应该是酸。但是这种改良剂的使用比碱性石灰材料少得多。这有几个原因。第一，含钠土壤虽然是碱性，但是运用石膏和从土壤中析出钠的方法常常会导致 pH 值低于理想水平。第二，很多碱性土壤是钙化的。钙化的土壤的 pH 值无法低于 7.0，除非所有碳酸钙被中和，但是这通常需要大量的酸。出于这些原因，中和碱性土壤对于一年生作物是不实际的。但是，对于中和木质作物的根系，添加酸结构的改良剂例如硫、硫代硫酸盐和硫化亚铁是可行的。酸结构改良剂的使用比例取决于通过土壤测试确定的土壤 pH 值和缓冲能力。Mickelbart and Stanton (2012)提供了一些有用的相关信息。

### 有机改良剂

有机改良剂来源于生物。有机改良剂品种非常多，包括作物残茬、肥料、食物、废料、有机肥、生物碳、堆肥等等。生物改良剂的品种几乎是无穷无尽的；表 4 显示了一些常用的有机改良剂。一般来说，有机物质加入土壤不能控制 pH，但是他们能影响 pH 值和植物对 pH 值的反应。有机改良剂通常加入土壤是为了增加土壤有机质和/或提供植物可利用的营养。因为对有机改良剂完整的讨论超出本文的论述范畴，我只就几个关键点进行介绍。

有机物质的重要特征是碳氮比例（C:N）。有机物的碳比例比较平均地维持在重量的 50-60%左右。另一方面，氮的比例随着品种的不同在低于 1%和高于 6%之间。因此，有机物的碳氮比可能低到 8 也可能高到 200。通常来说，土壤中易腐的有机物质的碳氮比较低（通常他们有较高的氮比例），非常适合做肥料。肥料、绿色作物残渣和食物残渣就是这类物质的例子。当这些物质被添加到土壤中，微生物开始分解，它们就成为植物的养分来源。当这些有机改良剂降解时，他们提供的营养物质并不比化学肥料提更容易利用、更有益。但是，在土壤中添加有机物也有增加有机质的好处。降解的有机质的比例是非常不一样的，它取决于有机物质的化学成分、碳氮比、土壤湿度、pH 值、温度和微生物含量。通常，在湿润、温暖和微酸的土壤里有机物质的微生物分解速度更快。

抵抗微生物分解并且有高碳氮比的有机物质能充当土壤改良剂但不是优质肥料。褐色的作物残渣和木质材料就是例子。当它们被加入土壤并开始分解，实际上它们可能会“耗尽”几个星期或几个月的营养。这些物质有很高的碳氮比从而抵抗降解，所以它们会在土壤中存在很长一段时间。它们成为腐殖质的重要组成部分，腐殖质中含有储存碳，有助于形成土壤的结构。腐殖质也可以帮助促进土壤中碳的储存或“隔离”。

### 堆肥

通常来说，在土壤中加入有机物质会产生有利效果。但是，效果程度和持续时间取决于有机投入的属性。堆肥是一种有机土壤改良剂，是由堆砌和分解的有机物质制作。它会在土壤中慢慢分解的最终产物（Evanylo 2011）。制作完成的堆肥碳氮比例较低但是在土壤中的降解速度却很慢，因为它的化学成分复杂。堆肥通常营养不丰富，所以短期内不能增加植物的可用营养。但是堆肥是一种极好的土壤改良剂。正如近期 ECHO 西非期刊提到的，可用任何有机物质制作堆肥（Gouba 2017）。长期使用合适的制作好的堆肥能增加土壤的保水力、聚合性、肥力并促进有益微生物的生长。

### 生物炭

生物炭作为土壤改良剂最近获得越来越多的关注。把碳加入土壤，能改良土壤的化学和物理特性，从而增加产量（Major, 2010）。最近一篇 ECHO 亚洲的文章对生物炭进行了广泛的讨论（Major, 2010），并鼓励读者查阅资料以获得更多细节。生物炭是一种有价值的土壤改良剂，但是它并不是“魔力药水”能治疗所有土壤疾病。

### 微生物

微生物通常不被认为是改良剂，尽管它们能改变土壤的生物学特性。例如，根瘤菌（*Rhizobium bacteria*）对豆科植物来说有用的菌剂，它能够通过固氮来给植物提供营养。同样的，菌根真菌（*mycorrhizae fungi*）能支持作物在退化的土壤中生长，同时作物能和这些真菌共生。木霉真菌加入土壤中也是有益的，它可以抵抗病原微生物，优化植物生长（Shelton 2018）。加入微生物最有效是处理一些特殊的情况，例如第一次在地里种植豆科植物时，可以添加一些菌根菌在被侵蚀或营养枯竭的土壤中。

### 土壤“兴奋剂”

最后一组土壤添加剂被称为“兴奋剂”，它的范围很广但是致病性还不太明确。这些添加剂的制造商应该做了大量的宣传，例如促进土壤肥力、解锁土壤营养、促进植物耐受力、作为土壤益生菌能减少或消除化肥的使用等等。不同的添加剂就有不同的广告词。一些土壤添加剂是合法的，他们在科学上是已知的，作用机制是可以论证的，并且还有成功的先例。但是，很多被称为土壤添加剂的东西不符合这些特征，所以有几句话需要注意。有一句众所周知的谚语，“如果它听起来太好那就不是真的”，土壤添加剂也是一样。土壤不是魔法领域，如果一种声称效果神奇的产品一定是有问题的。土壤微生物群落是非常复杂的添加剂，除非土壤高度退化，否则就不太可能实现土壤微生物群落的全面变化。

了解土壤添加剂的宣传我的最佳建议是，第一，他们承诺的好处是否是合理的，或是不太神奇的？第二，承诺的好处是否能被科学解释？第三，这些好处是否已经被中立的第三方证实？最后，卖家是否乐意回答你的问题并提供支撑信息？如果这几个问题的回答都是“不”，那么买家就要当心了！

## 总结

土壤改良剂能修正土壤的化学、物理和生物的不利特征，并不修正土壤的低营养有效性。通过土壤采样和分析来彻底了解土壤化学特性，对于在特定环境下采用什么品种和什么比例的土壤改良剂是非常必要的。常见的土壤改良剂包括无机改良剂如石灰材料和石膏，有机改良剂如作物和动物废料、堆肥和生物炭。有机材料添加通常会改善土壤特性，应该被鼓励。

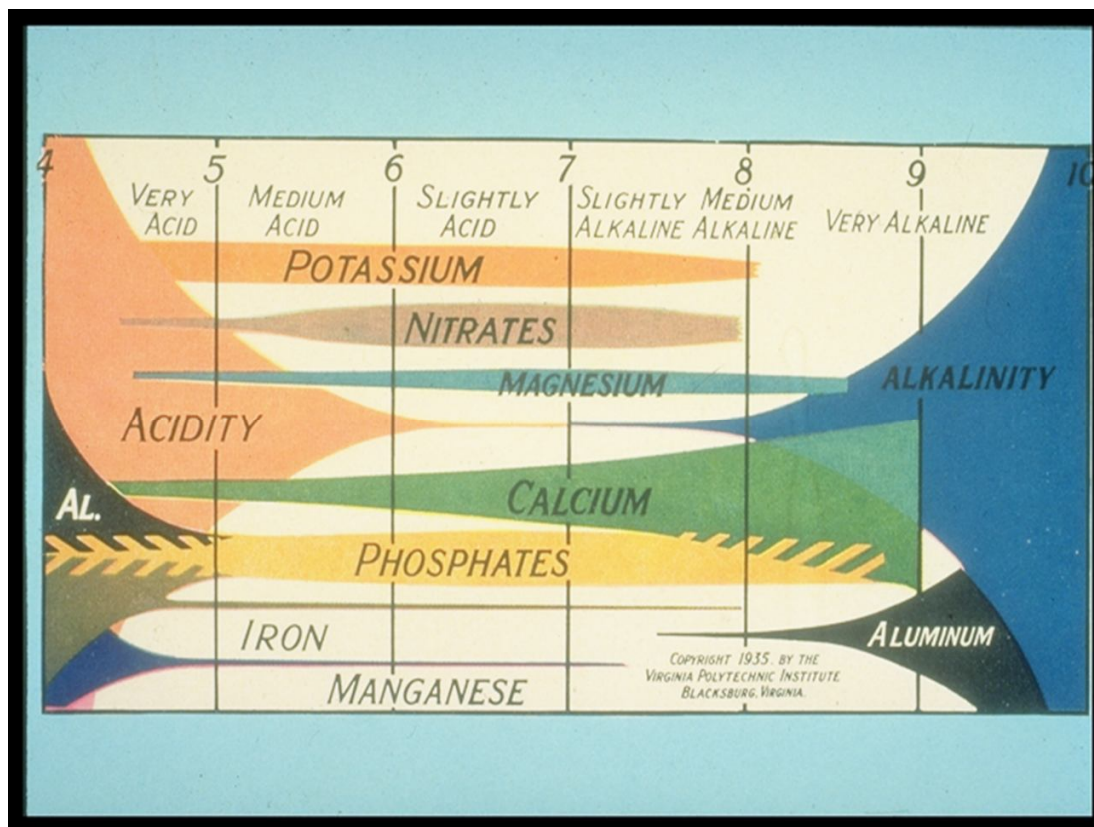


图 1. 土壤 pH 值在营养有效性和其他因素上的广义影响。来源于弗吉尼亚农业试验站公告 136 号，1935 年。

表 1.不同作物的最佳土壤 pH 值。来源于《夏威夷土壤的植物营养管理》，《热带和亚热带农业方法》

作物	pH	作物	pH
玉米	5.5-6.7	西番莲	5.0-6.0
大米	5.0-6.5	菠萝	4.7-5.5
高粱	5.5-7.0	番石榴	5.5-6.8
咖啡	5.0-6.0	大多数蔬菜	6.0-6.8
牛油果	6.2-6.5	狼尾草	5.5-6.5
香蕉	5.5-6.5	甘蔗	5.0-6.5
柑橘	6.0-6.8	芋头	5.5-6.5

表 2. 不同耐盐性的作物。数据来源：FAO29，农业的水质量，UN-FAO, 1994。

耐受度	作物	耐受度	作物	耐受度	作物
高 土壤 EC<6	大麦	中等 土壤 EC<3	豇豆	低 土壤 EC<1	落花生
	棉花		小麦		玉米
	狗牙根		甜菜		大米
	芦笋		倭瓜		甘蓝类蔬菜
	枣椰		无花果		土豆
	芽草		橄榄		番茄
		菠萝	大多数水果		



图 2. 美国亚利桑那州的碱土。照片中间大片区域完全没有植被。照片来源：T.L. Thompson。

表 3. 某些石灰料的碳酸钙当量。数据来源：M. Alley. 《农学手册》，Virginia Cooperative Extension, 2000。

石灰材料	碳酸钙当量 CCE
农业石灰碳酸钙	100
白云石石灰	108
生石灰	150-175
熟石灰	110-135
泥灰碳酸钙	70-90

表 4. 能被土壤利用的常见有机材料。数据来源：G. Evanylo. 《城市营养管理手册》，弗吉尼亚合作推广部，2011。

农业	有机肥
	作物残茬
	蚯蚓粪
	堆肥*
城市废弃物	废水
	淤泥（生物固体）
	园林废弃物
	食物残渣
	废纸
工业	造纸污泥
	食品加工废弃物
	锯屑，木片

\* 堆肥能用很多不同的有机物质制作，包括以上清单包含或者其他的有机质例如动物尸体。



## 参考文献 References

Alley, M.M. 2009. Part IX: Lime. In *Agronomy Handbook*, Virginia Cooperative Extension.

Evanylo, G. and M. Goatley, Jr. 2011. Chapter 9: Organic and Inorganic Soil Amendments. In *Urban Nutrient Management Handbook*. Virginia Cooperative Extension.

FAO Water quality for agriculture. Technical paper No. 29. *Irrigation and Drainage*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. 1994.

Gouba, A. 2017. How to prepare compost in 3 weeks? *ECHO West Africa Notes*. Volume 1.

Harmon, G.E. *Trichoderma* spp.

<https://biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/trichoderma.php>. Accessed 6 Sep 2018.

Major, J. 2010. *Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems*. International Biochar Initiative.

Mickelbart, Michael V. and Kelly M. Stanton. Lowering soil pH for horticulture crops. Purdue University Extension publication HO-241-W. Accessed 19 Oct. 2018 at <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-241-W.pdf>.

Shafer, D.M. 2018. Putting Biochar to Use at the Edge: Quality, Soils and Measurement. *ECHO Asia Notes* #35.

Sonon, L. and D.E. Kissel. 2015. *Determining Lime Requirement Using the Equilibrium Lime Buffer Capacity*. University of Georgia Cooperative Extension Circular 874.

Uchida, R. and N.V. Hue. 2000. Soil acidity and liming. In Silva, J.A. and R.S. Uchida (eds.) *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils: Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.

Yost, R.S. 2000. Plant tolerance of low soil pH, soil aluminum, and soil manganese. In Silva, J.A. and R.S. Uchida (eds.) *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils*:

*Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.

\* Thomas L. Thompson is Professor of Agronomy and Associate Dean and Director-Global Programs in the College of Agriculture and Life Sciences at Virginia Tech, USA.  
Email: [tlthompsonlbb@gmail.com](mailto:tlthompsonlbb@gmail.com).