

土壤与硫肥

Robert Mikkelsen Robert Norton

谢玲 译 涂仕华 校

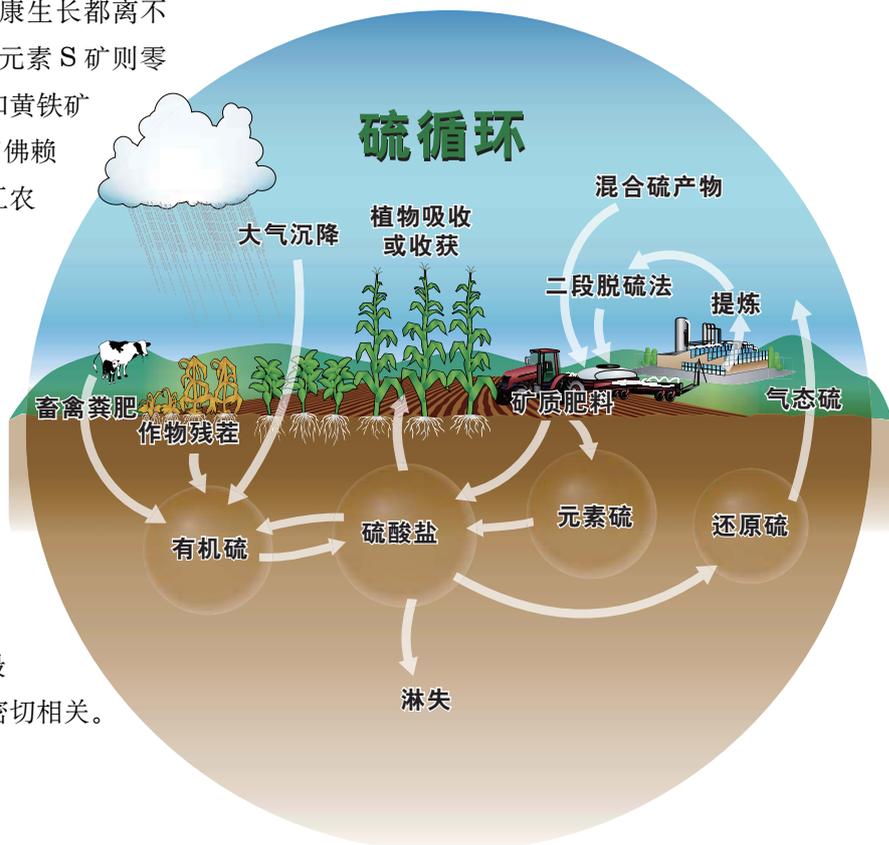
(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 原文译自《Better Crops》2013 第二期 P7-P9)

植物生长离不开硫(S)的持续供给。虽然有机质是土壤中的最大S库,但它必须转化成可溶性硫酸盐才能被植物吸收。S肥的主要来源是通过清洗石化燃料来获得。当我们以正确用量在正确时间和正确位置施用S肥时,有多种优质的速效和缓效S肥可满足植物营养需求。

硫在自然界分布广泛,动、植物的健康生长都离不开它。硫通常在火山活动地区累积,大的元素S矿则零星分布在世界各地。到目前为止,火山S和黄铁矿(Fe_2S)都是S的主要来源。20世纪发明了佛赖什采磁法,它将地下的S矿溶解提取,为工农业生产提供更多的S源。

石化烃含S是因为S最先存在于形成石化烃的有机物中。这种石化S是石油、甲烷、油砂和煤炭生产的副产品。在燃烧过程中从石化燃料中回收硫减少了空气污染。目前,所有石油或天然气加工和精炼厂都在提取元素S。世界上的硫是以固态或熔融态进行交易的。

在许多工业生产中硫是一种非常重要的产品,特别是硫酸。磷肥生产则是S的最大用途。全球S的供应和价格与磷肥市场密切相关。



土壤中的硫

有机S

土壤中的S主要以有机化合物形态出现,赋存于作物残茬和土壤有机质中(占全S的98%)。尽管有机质中有多种含S复合物(如硫酸酯和C-S键化合物),但不能被植物根系吸收利用,除非它们被微生物转化成可溶性硫酸盐。

在微生物作用下,土壤中的硫在有机和无机形态之间不断转化。当硫作为微生物反应的副产物被释放出来时,矿化就发生了。当硫在微生物繁殖过程中成为微生物体的组成成分,固定就发生了。

用来预测土壤中的硫到底是净矿化还是净固定的一个简单技术就是测定土壤中的碳(C)硫比。当土壤有机质的C:S的比例 $<200:1$ 时,硫被释放;而当C:S比 $>400:1$ 时,硫被固定。当C:S比在这两个比值之间时,就很难说硫被固定还是被释放。

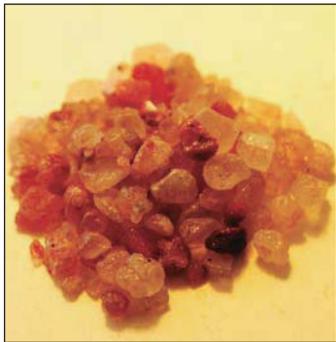
土壤有机质中的硫通常矿化太慢,不能满足高产作物的营养需求。必须施用矿质硫肥或有机肥来解决硫的供应不足。



元素 S



硫酸铵



无水钾镁矾



硫酸钾

无机 S

土壤中无机硫仅占全硫含量的很小一部分。硫酸盐是土壤无机 S 的主要形态。它溶于水，持留在土壤矿物表面，或存在于石膏矿物中。在湿地或排水不良的土壤中，硫化矿物（如黄铁矿）就会累积。

硫酸盐通常是可溶的，并随土壤水分移动。它仅被土壤粘粒和矿物微弱地吸持（吸附），特别是在低 pH 条件下。土壤吸附的硫酸盐可代表植物重要的营养库，尤其是在酸性底土中。一些土壤会产生硫的专性吸附，特别是在那些游离铁铝氧化物和水化物含量高的土壤上。可通过施用石灰和磷肥来减少非专性吸附的硫。

硫酸盐淋失

降雨或灌溉是硫酸盐从根区淋失的主要途径。虽然流失量的多少取决于土壤和环境因素，但每年的流失量大约为 0.3–4 公斤 S / 亩。从作物生长旺盛的土壤上流失的硫通常比空地少得多。覆盖作物常用来降低硝酸盐淋失，但它们同样有助于处于流失风险的硫酸盐的吸收和循环利用。

挥发

在厌氧土壤条件下，硫酸盐被细菌还原成各种植物不能吸收利用的化合物，包括二硫化碳、氧硫化碳、二甲基二硫醚、甲硫醇和挥发性硫化氢气体。硫化物常与铁反应形成黄铁矿。

大气 S

二氧化硫 (SO₂) 是很容易发生反应的气体之一，它由石化燃料燃烧排放而来。因为 SO₂ 排放会损伤呼吸系统和形成酸雨，政府出台规定对其释放进行限制。石化燃料中（特别是硫化氢）很多 S 在燃烧之前都要被洗去，是商品 S 的主要来源。

环境考虑

尽管政府没有饮用水中硫的限定指标，但考虑到饮用水的味道和气味，美国环境保护署还是提出了 250 毫克 / 升的限量。当井水含硫化氢时，哪怕只有几个毫克 / 升都会导致口感不好和气味难闻。在地表水中，硫酸盐几乎不是一个刺激水生生物生长的限制养分，但它可能参与继发反应。

植物养分硫

如果不施 S 肥，收获作物会逐逐渐耗竭土壤 S 库。有机物含量高的土壤可以不施硫肥，但定期施硫会提高作物产量和改善土壤肥力。

土壤和植株测试

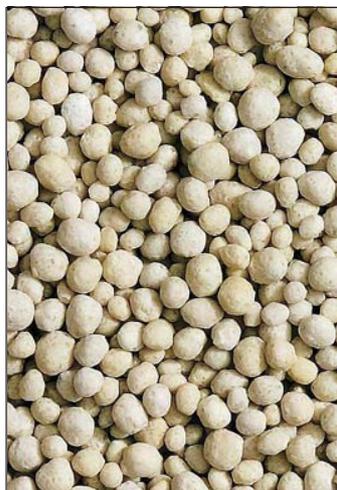
已经建立了各种土壤测试方法来预测 S 的植物有效性。这些测试在一些地区比另一些地区更为成功。由于估算的植物有效 S 部分取决于土壤有机质矿化，土壤测试就成了成功预估的一个方法。质地粗的土壤有机质含量低，植物生长对 S 肥的反应就很常见，但在世界上许多地方我们都观察到了施用 S 肥使作物增产的情况。

因为硫酸盐在土壤中易于移动，它可以在表土层下积累。用作 S 分析的土样应反映作物的整个根层，即表土层以下 S 的状况。包括较深土层的分析通常会改善土壤 S 测定值的预测效果，尤其是对粗质地土壤。

植株分析一直是一种值得信赖的用于评估是否需要施用硫肥的方法。尽管不同作物种类的取样部位和取样时间各不相同，但一般来说是在作物需 S 高峰期采集植物的幼嫩部位。需要注意的是，如果出现养分分层，即 S 位于土壤较深的地方，只有当植物根系达到这一土层时，根系才能吸收到 S。



硫代硫酸钾



硫酸镁石



石膏



过磷酸钙

用于植物的 S 肥

如果诊断结果表明要施 S，有多种优质 S 肥品种可供选择用作土壤施用。

元素 S (99% S)：元素 S 不溶于水，它需要经过土壤微生物氧化成硫酸盐，植物才能吸收。硫的氧化速率受制于元素 S 的特性和各种土壤环境条件。

单位质量 S 颗粒的表面积与其颗粒大小成反比。土壤微生物对小颗粒 S 的氧化比大颗粒 S 更快，这是因为小颗粒的表面积更大。然而，想把细小的 S 颗粒均匀施用则相当困难，空气中的 S 尘可引起火灾隐患，并刺激呼吸系统，这使它们实际上很难成为常用肥料。增大 S 颗粒与土壤的接触面积会加速元素 S 转化成硫酸盐，因此把 S 与土壤混合比带状施用更可取。

各种土壤微生物都能氧化元素 S，特别是硫杆菌类(酸性硫杆菌)。当土壤温度、水分、pH 和通气条件都适合微生物生长时，S 的氧化就会比在凉爽干燥条件下更加快。



元素 S 硫酸

元素 S 也可被用作降低土壤和水 pH 的一种酸性物料。常用概算是 1t 元素 S 能中和 3t 石灰。它作为杀真菌剂已有很长历史了。

粘土硫 (90% S)：将熔融 S 与大约 10% 的斑脱土混合制成颗粒(或錠)。当颗粒中粘土在土壤中吸湿后，就会膨胀并分裂成许多碎片，这些碎片具有很大的反应表面积。许多粘土硫产品都添加了各种微量营养元素(包括

Zn、Fe 和 Mn)，这些微量营养元素可通过 S 氧化产生的酸性而提高有效性。

石膏 (16-18% S)：硫酸钙 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 微溶于水(0.2 克/升)，在缓慢溶解过程中给植物提供硫。此外，土壤缺钙时可作为钙肥施用，也被用来改良碱土。

过磷酸钙 (11-12% S)：这种肥料是硫酸与磷矿粉反应产生的磷酸一钙和石膏的混合物。该肥料已被逐渐淘汰，取而代之的是浓度更高、运输和处理成本更低的 P 肥。

硫酸铵 (24% S)：硫酸铵 [$(NH_4)_2SO_4$] 是一种同时能提供 N 和 S 的常用肥料。绝大多数硫酸铵为各种工业过程的副产品，尽管有时是通过氨水与硫酸反应而成。硫酸铵易溶于水且常被用于液态肥中。施用 $(NH_4)_2SO_4$ 使土壤酸化是铵的硝化作用(变成硝酸)的结果，而非硫酸盐本身。

硫酸钾 (17-18% S)：这种常用肥料 [K_2SO_4] 可直接从海洋卤水中提取或是通过不同的矿物和酸反应制成。它极易溶于水，因此它对植物来说是一种极好的硫酸盐品种。

硫酸钾镁(无水钾镁矾) (20-22% S)：无水钾镁矾 ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) 是从地矿中提取的，给植物提供三种必需元素。它具有很好的溶解性。

硝铵硫酸 (6-14% S)：这种物质是通过硝酸与硫酸反应，再用氨中和而成。其含 S 量取决于反应物质。最近，一种新的硝铵硫酸肥料是将硝铵与硫酸铵熔融形成颗粒(14% S)。

富硫肥料：常用肥料(如磷酸一铵或磷酸氢二铵)有时会添加元素 S 和硫酸盐的小颗粒混合物，给作物提

供速效和缓效 S。元素硫产生的酸有利于保持 P 和 Zn 等养分的溶解性。

硫代硫酸盐 (10-26% S)：硫代硫酸盐肥为透明液态，S 形态为 $S_2O_3^{2-}$ 。这种液态肥通常与其它肥料溶液混合。在温暖土壤条件下，硫代硫酸盐在一周或两周以内就会转化为硫酸盐。

硫酸镁 (10-26% S)：这种物质有两种常见来源，硫酸镁石 ($MgSO_4 \cdot H_2O$) 和泻盐 ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)。这些物质易溶于水可提供速效硫酸盐。

粪肥和堆肥：粪肥和堆肥的含硫量不定，这取决于动物种类、饲料类型和处理方法。以干基计，粪肥和堆肥的含硫量大致为 0.3-1%。有机硫需要一定矿化时间转化成硫酸盐，植物才能吸收利用。

如何选择合适的 S 肥品种取决于土壤特性，如淋失潜力、pH 和有机质含量。是否要在硫肥中加入其它养分也需要考虑。对 S 肥速效性的需求会影响特定肥料品种的选择。

缩略语：N= 氮；P= 磷；S= 硫；Fe= 铁；Mn= 锰；Zn= 锌；ppm= 百万分之一。

Mikkelsen 博士是 IPNI 北美项目西部片区主任，E-mail: rmikkelsen@ipni.net

Norton 博士是 IPNI 澳洲和新西兰项目部主任，E-mail: rnorton@ipni.net

(上接 39 页)

撒施，随后耕入土中。在淹水土壤上，最好将元素 S 施用在土壤表面，从而使它在土-水界面这一薄层有氧区被氧化成硫酸盐。

施用量：施 S 量应根据作物需求、土壤条件（如土壤质地和有机质含量）和环境因素（如温度和降雨）而定。硫肥施用通常要考虑多年作物轮作。比如在加拿大西部的油菜-大麦-小麦轮作中，油菜的需 S 量很高，可以通过油菜季施用 S 肥来满足三年轮作对 S 的需要。

充分的 S 营养是维持作物产量和品质所需要的。缺 S 会降低蛋白质合成、N 肥利用率和豆科作物的固氮 (N_2) 能力。运用 4R 养分管理原则能明确是否需要补充 S 肥来解决植物潜在的缺 S 问题。

缩略语：N= 氮；Cu= 铜；Fe= 铁；Mn= 锰；Mo= 钼；Ni= 镍；Se= 硒；Zn= 锌。

Norton 博士是 IPNI 澳洲和新西兰项目部主任，E-mail: rnorton@ipni.net

Mikkelsen 博士是 IPNI 北美项目西部片区主任，E-mail: rmikkelsen@ipni.net

Jensen 博士是北部大平原地区主任；E-mail: tiensen@ipni.net

参考资料 (略)