

硫与植物营养

Rob Norton Robert Mikkelsen Tom Jensen

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 10-12 页)

硫(S)是植物必需营养元素,但在植物中的浓度为所有大量元素之最低。植物能够同化硫酸盐并将它还原成必需氨基酸,在这一过程中S参与了一系列代谢功能,其中包括蛋白质合成。在全球很多地区,需要更多地关注硫在作物平衡营养中的作用。

硫(S)是植物必需营养元素,但在植物中的浓度为所有大量元素之最低。植物能够同化硫酸盐并将它还原成必需氨基酸,在这一过程中S参与了一系列代谢功能,其中包括蛋白质合成。在全球很多地区,需要更多地关注硫在作物平衡营养中的作用。

硫是植物和动物的必需大量元素,许多重要的代谢功能都离不开它。植物能将硫酸盐(SO_4^{2-})转化成有机化合物,但动物则必须食用含S氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)。

近年来,作物对S的需求量越来越大,这是因为许多农作制中S的投入比以前显著减少。作物高产、有机质转化慢、含S投入品减少,以及改变农作模式都需要额外补充S肥。

虽然土壤中的S主要是在有机质中,但在绝大多数土壤中可溶性硫酸盐才是植物吸收的主要形态。这些硫被主动吸收(尤其是在根毛区)进入根,通过各种硫转运蛋白进入植物细胞。在植物体内,硫酸盐随蒸腾流移动,然后被贮存在液泡或参与一系列生化反应。叶片也能从大气中吸收二氧化硫(SO_2),但其吸收量通常 $<1/15$ 公斤S/亩/年。植物叶片也释放硫化氢(H_2S)气体,这被认为是暴露于高 SO_2 后的一种解毒机制。

大部分吸收的硫酸盐在叶绿体中被转化成半胱氨酸。植物体内大多数含硫有机化合物的合成从半胱氨酸开始。这一合成过程始于硫酸盐被还原成腺苷酰硫酸,最终形成不同的含S有机化合物(图1)。硫酸盐还原需要大量的生物能。其它重要的含S氨基酸包括胱氨酸(连接两个半胱氨酸分子)和甲硫氨酸(图2)。少量S与一些重要分子结合,如辅酶A、生物素、硫胺、谷胱甘肽和硫脂。



小麦缺S。插图显示的是一正常叶片(右)与缺素叶片(左)相比较(Sharma和Kumar, 2011)

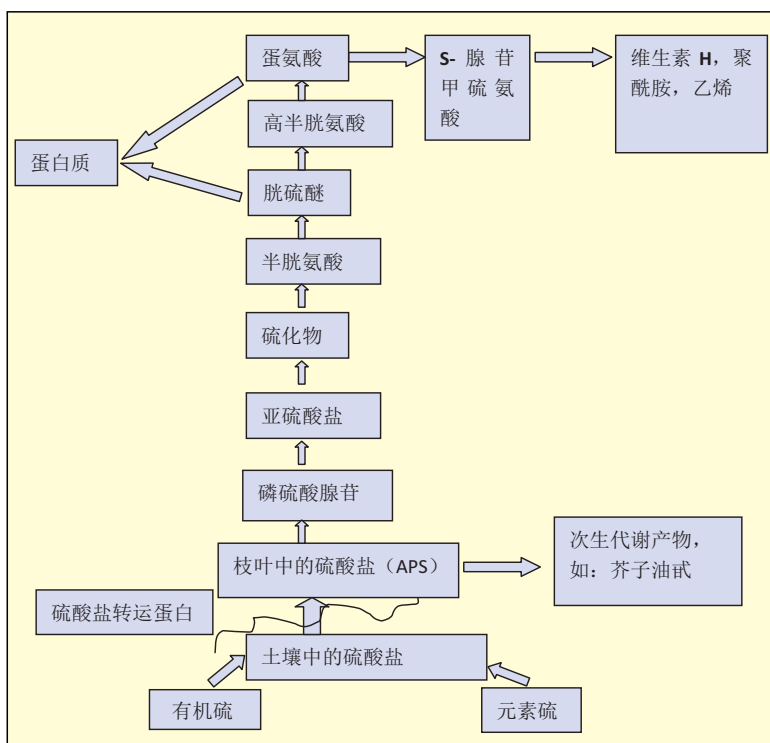


图1 硫酸盐还原和植物吸收的一般过程 (源自 Hawkesfor, 2012)

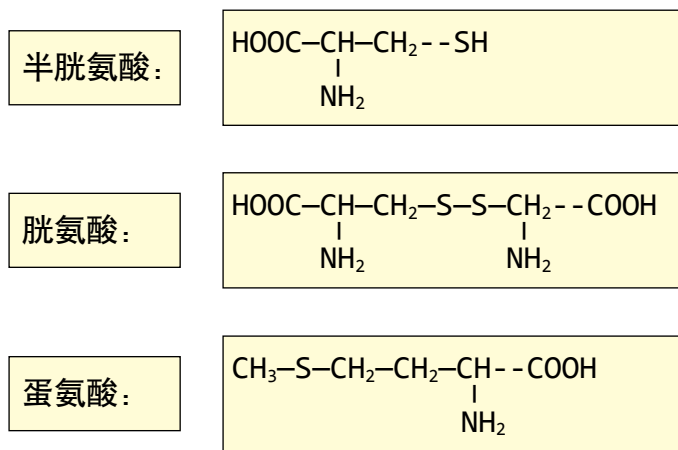


图 2 三种基本含 S 氨基酸

一旦硫酸盐转化成有机化合物，它们就通过植物韧皮部输送到活跃的蛋白质合成地点（特别是根和茎顶端、果实和籽粒），随后在植物体内基本上不再移动。缺 S 症状首先出现在比较幼嫩的组织上，叶片和叶脉由浅绿色变为黄色。这种失绿症状看起来与缺 N 相似，但是，因为 N 在植物体内移动性较强，所以缺 N 症状最先出现在较老的叶片上。当看见缺 S 症状时，再施用硫肥也许难以完全恢复某些作物的生长。

大量次生硫化物可为一些特殊植物种类提供生化优势。一些作物（如芸苔属的油菜和芥菜）需要较高的 S 来合成葡萄糖异硫氰酸盐化合物。葱属植物（如大蒜和洋葱）的蒜碱化合物含 >80% 的植物总 S。当洋葱和大蒜种在高硫土壤上，那些与挥发性 S 化合物有关的特殊味道和气味就会加重。这些化合物和其它含 S 化合物能抵御病虫害和环境胁迫。

作物对 S 的需求

作物对 S 的需求迥异，S 含量占作物干物重的 0.1 - 1%。芸苔属作物（如大白菜、花椰菜和油菜）对 S 的需求最大，其次是豆科，然后是禾谷类。

植物在生长过程中对 S 的需求也不同。例如，油菜在开花期和种子形成期对 S 的需求最大。玉米在整个生育期对 S 的需求基本稳定，其籽粒含 S 量大于整个 S 累积量的 50%。小麦在开花期和成熟期会消耗掉总 S 量的一半。需要检验每种作物的特殊养分需求（图 3）。

虽然作物种类和产量不同，在收获时带走的 S 量一般为 0.7 - 2 公斤 S/亩，尽管有些芸苔属作物的 S 吸收量可高达 4.7 公斤 S/亩（表 1）。

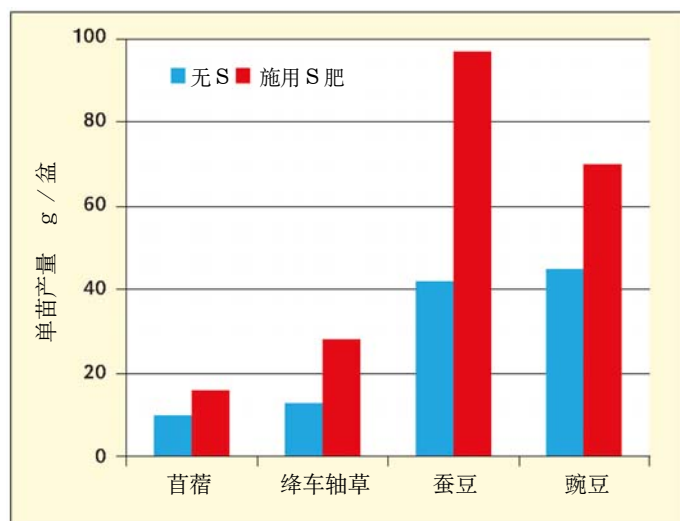


图 3 充足的 S 肥提高了苜蓿、红三叶草、蚕豆和豌豆的产量
(摘自 Lange,1998)

谷类	公斤 S/t	油料作物	kg S/t
小麦	1.4	油菜	5.0
大麦	1.2	向日葵	1.7
玉米	1.1	棉籽	2.9
水稻	0.9	亚麻籽	2.0
大豆	3.5	甘蔗（鲜重）	0.26
鹰嘴豆	1.8	苜蓿饲草（含水 13%）	2.6
紫花豌豆	2.1	青贮牧草（鲜重）	2.2
兵豆	1.4	啤酒花（干）	3.6

¹ 未收获植物部分的含 S 量可能与收获部分相同或更高。
来源：National Land and Water Resources Audit,2001。

作物品质

土壤缺 S 会导致作物产量和品质下降。提供充足的 S 是提高植物蛋白质品质的主要因素，S 对酶的结构和功能以及对叶片组织和籽粒的蛋白质影响很大。举例来说，充足的半胱氨酸对谷物蛋白质的形状和功能属性起到了关键作用。正因如此，用低 S 小麦面粉烘烤的面包不会发胀，导致面包不松软且形状不好。

硫的交互作用

由于 S 和 N 在蛋白质合成中都很重要，因此这两种养分总是紧密联系在一起，并通常被认为共同相互制约和相互促进。已知蛋白中每含 15 份 N，就大致含 1 份 S（N:S 比为 15:1）。然而，这一基本原则会因作物不同而改变。

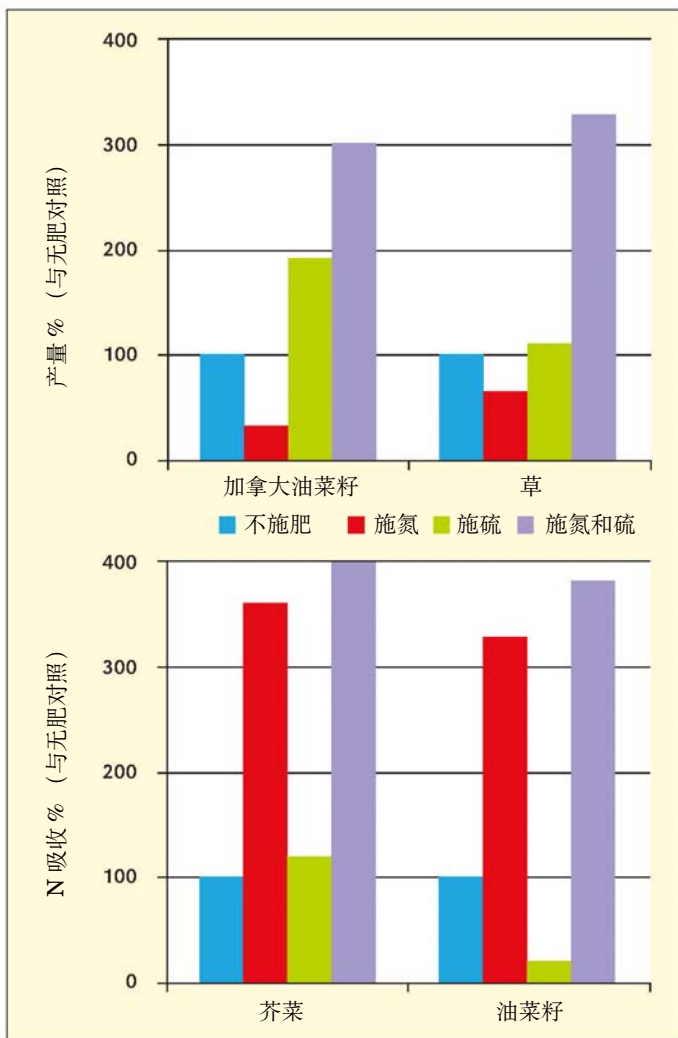


图4 单施N肥或S肥,或N和S肥配施对作物产量(上图)和N吸收(下图)的影响(Aulakh和Malhi,2004)

例如小麦籽粒的N:S比大约为16:1,而油菜籽的N:S比大约为6:1。

其它作物如小麦、糖甜菜和花生常被认为是需S较低的作物。有很多关于同时施用充足的N和S来获得理想产量的例子(图4)。豆类作物缺S同样可降低N的合理利用,这是因为缺S会减少根瘤数量和固氮效率。

过度依靠N:S比例用于缺S诊断会产生误导,这是因为即使N、S含量都很低时也可以得出合适的比例。同样,N或S任一过量也可使人们误认为另一养分缺乏。

施S不足不仅会降低产量和品质,而且会减少N利用率,增加N流失到环境的风险。研究表明对缺S牧草地施用S肥增加了牧草产量、提高了N肥利用率,减少了土壤N流失量。根据N与S的紧密关系,Schnug和Haneklaus(2005)估算,植物每缺少1个单位的S,就会导致15个单位的N损失到环境中。他们的计算认为,德国因缺S每年损失的N可达3亿公斤(或相当于全国

N肥消费量的10%)

施S量高可导致缺Mo。这是因为硫酸根和钼酸根(MoO_4^{2-})相互拮抗,竞争根部膜上的转运蛋白。巧合的是,Mo是调节有机硫化合物合成酶的重要组分。S和Se(尤其是硒酸根, SeO_4^{2-})因为同样的原因也相互拮抗。在正常含Se土壤上施S可减少牧草中的Se含量,导致食草动物缺Se。施用硫酸盐已被证明是减少植物从污染的土壤中吸收其它元素的有效方法。由于S氧化会使根际土壤酸化,因此,施用元素S可促进植物对金属微量元素(如Cu、Mn、Zn、Fe和Ni)的吸收。

用4R养分管理原则进行硫管理

4R养分管理原则(把正确的肥料品种和正确用量在正确时间施用到正确位置)适用于所有的植物养分。由于有多种S肥品种,包括粪肥,4R原则有助于这一养分的有效施用。作为这些4R理念的一个例子,硫酸铵[品种]通常在小种子作物播种时[时间]施入播种沟[位置],但是肥料用量[用量]必须要低,以降低种子受氨(NH_3)损害的风险,特别是播种沟很宽和在干燥及沙质土壤上。以下是把4R养分管理原理用于作物最佳S营养管理时应当考虑的事项。

肥料品种: S肥包括水溶性硫和可转换成水溶性硫的元素S。需要估算需要多少时间元素S才能转化成植物可吸收的水溶性硫。有多种S形态的优质固态和液态肥料,可作掺混肥或直接施用。将可溶性硫与元素S混合非常有用,它可以为植物提供即效和长效S营养。元素S的颗粒大小是决定这个估算的关键,因为小颗粒S氧化成硫酸盐比较大颗粒更快。

施用时间: 由于硫酸盐肥料品种具有速效性,因此应根据作物需肥时间来施用。但元素S必须提前施用,以保证有足够的时间让微生物氧化。冬季温度寒冷的地方,更要在作物吸收之前几个月施用。在温暖土壤条件下,硫从土壤有机质和作物残茬中的释放速度很快,在作物生长季节就能提供大量的S。绝大多数作物生长需要硫的稳定供给。

施用位置: 把S肥带状施用在一年生作物的种子带旁非常有效。但要注意避免大量硫酸盐直接与幼苗接触,防止反渗透对根部的损伤。由于硫酸盐在土壤中易移动,它会随水分移动通过根区。施用元素S最有效的方法是

(未完,下转43页)