

File No. 61

土壤酸化与肥料的关系

土壤酸化是指因为某些外界原因使得土壤逐渐地倾向酸性的现象。原始土壤的 pH 受到形成该土壤的母岩的强烈影响，例如花岗岩和玄武岩等火成岩和火山灰形成的土壤偏向酸性，而石灰岩等沉积岩形成的土壤多数偏向碱性。但是，当土壤形成之后，降雨就成了使土壤 pH 变动的主要因素。其理由是雨水含有二氧化碳，正常情况下呈 pH5.6 左右的弱酸性。雨水中的氢离子具有溶脱吸附在土壤胶体表面阳离子的作用，可以将土壤胶体表面的碱基置换成氢离子。因此，降雨量多的地区经过漫长岁月的雨水溶脱，土壤阳离子中氢离子占了多数，使得土壤 pH 降低，呈现酸性。反过来，少雨干燥地区则会因为土壤表层的水份过度蒸发，毛细作用将地下水提升到地表的同时，溶解在地下水里的钠，钙，镁离子和其他阳离子也一起上升到地表。水分蒸发后留下的钠，钙，镁离子逐渐积累在土壤表层，使其成为碱性土壤。

除了降雨，植物的存在也会影响到土壤 pH。植物在生长时需要从土壤中吸收多量的钙和镁，会减少土壤中的钙镁含量。植物的根还会分泌根酸，落叶和残枝等植物残骸分解时也会产生有机酸，促使土壤倾向酸性。但是，被植物吸收了的钙和镁在落叶或植物死亡后会分解回到土壤里，根酸和有机酸在好气状态下完全分解后酸性就会消失。因此，在古代农耕社会出现之前，土壤的 pH 主要是由降雨量的多寡来决定。

在没有人工干扰的自然条件下，要使土壤 pH 变化 1 个单位需要数万~数 10 万年的时间。但随着 18 世纪发祥于英国的产业革命开始的现代工业化的发展，土壤酸化速度加快了很多。特别是现代农业的普及和化肥的大量使用，耕地的土壤 pH 降低 1 个单位的所需时间缩短到数年~数 10 年。促使土壤 pH 下降加速，土壤急速酸化的原因主要有以下 5 个。

1. 化肥的乱施滥用

化肥按照其成分和性质可以分为酸性，中性和碱性肥料三大类。肥料的酸碱性分类方法有 2 种，1 种是按照化肥水溶液的 pH 来分为化学酸性，化学中性，化学碱性肥料。另 1 种则是按照化肥施用后对土壤产生的影响来进行分类。即施用到土壤里的肥料当其中含有的养分成分被作物吸收后，残留的成分会给土壤带来的化学变化来进行分类。化肥施用后，残留成分会使土壤偏向酸性的称为生理性酸性肥料，使土壤偏向碱性的称为生理性碱性肥料，对土壤 pH 不起影响的则称为生理性中性肥料。

按这 2 种分类既有一致的化肥，也有不一致的化肥。对土壤 pH 有较大影响的化肥有硫酸铵，氯化铵，氯化钾，硫酸钾等。这些化肥施用到土壤里后，化肥中的氮和钾养分被作物吸收后，剩下的硫酸离子和氯离子留在土壤里会导致土壤酸化，表现出土壤 pH 降低。而钙镁磷肥，石灰氮等碱性肥料则会升高土壤 pH，使土壤偏向碱性。

大量施用生理性酸性肥料，会使多量的硫酸离子和氯离子积存在土壤里。若降雨少或灌溉不足，积存在土壤中的硫酸离子和氯离子难以随水流失，会引起土壤急速酸化。

2. 过量施用未腐熟的有机肥料

堆肥和家畜家禽粪尿等有机肥料，若在未腐熟的状态下就施入土壤里的话，土壤微生物会活跃地分解其中的有机物，在分解过程中产生大量的有机酸和放出多量的二氧化碳。有机酸和二氧化碳会降低土壤 pH，使得土壤倾向酸性。特别是在氧气不足的厌氧状态下有机酸难以分解，二氧化碳也不易逸散，对土壤的酸性化影响更为强烈。与此相对，完全腐熟了的有机肥料基本不会产生有机酸和二氧化碳，若没有混入其他能够影响土壤 pH 的物质，土壤 pH 基本上不会变动，反而因有机质的存在会增强土壤的酸碱缓冲机能，减轻土壤 pH 的变动。

3. 氮养分的形态变化

施用到土壤中的氮肥会因土壤微生物的硝化作用生成硝态氮，在短期内使土壤酸性化。例如，施用了尿素后，首先尿素会受到微生物的氨化作用，水解成碳酸铵或碳酸氢铵等氨态氮。氨态氮再进一步受到硝化作用被分解成硝态氮后被作物吸收利用。硝化作用生成的硝酸离子具有酸性，可以与吸附保持在土壤胶体表面的钙离子和镁离子等碱基发生置换，将这些碱基溶脱出来。特别是硫酸铵和氯化铵之类生理性酸性肥料在施用后，叠加上氨态氮的硝化作用更容易促进土壤的酸性化。

4. 农作物对土壤碱基的夺取

农作物为了生育，必须吸收大量的养分。除了氮磷钾这三大养分之外，作物还必须吸收较多的钙和镁等元素。收获时收获物中的钙镁等元素也一起被带出了耕地，不会再度回到土壤里。长此以往，土壤中的钙镁等元素逐渐减少，导致土壤酸性化。因此，若不及时补充石灰和含镁肥料，作物的收获量越高，土壤的酸性化速度越快。

5. 酸性雨的影响

酸性雨是大气中的硫氧化物（SO_x）和氮氧化物（NO_x）等溶解在雨水里，使得雨水呈酸性的降雨。随着现代化的进展，煤炭等化石原料的燃烧和汽车等排出的废气产生的硫氧化物和氮氧化物是造成酸性雨的主要原因。但是，20 世纪中叶以后，化肥的过量施用和不正确的施用导致作物不能完全吸收利用其中的氮养分，多余的氮被土壤微生物分解成氨并将硝态氮还原成一氧化二氮等氮化合物后释放到大气里也是造成酸性雨的原因之一。根据中国环境科学院的调查，2016 年北京发生的雾霾中硫酸铵和硝酸铵的微粒子数量占了 40~60%。推测这些硫酸铵和硝酸铵的微粒子大都是从土壤挥发出的氨与大气中的硫氧化物和氮氧化物结合生成的二次粒子。这类微粒子溶解到雨水里随降雨落到地面上后，会加速土壤的酸性化。

图 1 是各种外界因素对土壤酸性化的影响模式图

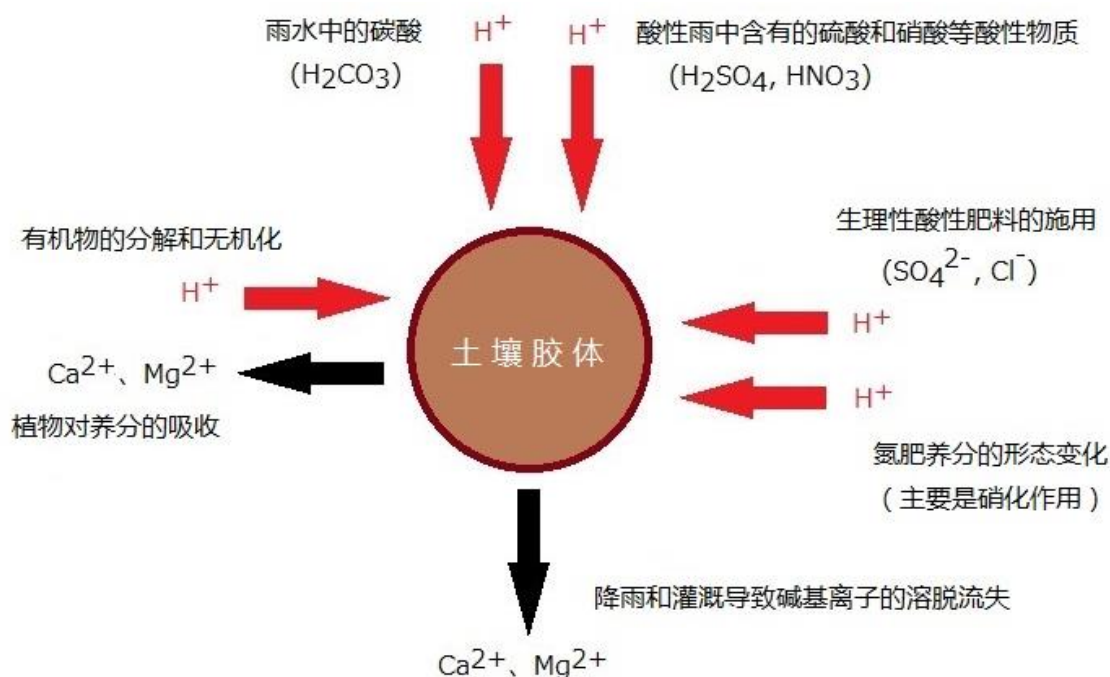


图 1. 影响土壤酸性化的各种外界因素

对于农业生产来说，土壤酸性化主要会引起以下的 4 个大问题。

① 阻害作物生长

通常，最合适农作物生长的土壤是 pH5.5~7.0 的弱酸性到中性。pH4.9 以下的强酸性土壤会妨碍作物生长，使得作物生育不良甚至不能生育。主要原因是土壤的酸性化会促使粘土矿物中的铝溶出，增加土壤中的活性铝离子。活性铝离子会损害根的机能，降低养分和水分吸收能力，使作物出现生长障碍现象。

② 减弱土壤的养分供给能力

强酸性土壤中的活性铝离子会与磷酸阴离子结合形成难溶性磷化合物，还会置换出吸附保持在土壤胶体表面的钙镁等阳离子，使得土壤中的养分不足。另外，在强酸性土壤里，硼，钼等微量元素的溶解度大大降低，难以被作物吸收利用，容易出现养分缺乏症。

③ 导致作物病害多发

土壤偏向酸性时，土壤微生物群中的属于真菌的丝状菌会变得活跃起来，容易引起作物病害。丝状菌引起的主要病害有青霉病，赤枯病，稻瘟病，灰霉病，黄萎病，枯死病，白粉病，紫霉病，轮纹病等。

④ 土壤丧失保肥保水能力

土壤酸性化的过程也是土壤胶体表面的碱基溶脱流失的过程。随着钙镁离子的溶脱，土壤团粒结构会崩坏，使土壤板结，减弱或丧失保肥保水能力。

为了避免土壤酸性化带来的作物生育障碍，正确地施用能够改良土壤酸性的资材是非常有

效的方法。常用的土壤酸性改良资材有消石灰，苦土石灰（白云石烧制的石灰），石灰石粉（碳酸钙），牡蛎壳粉，贝壳化石粉等石灰质资材。表 1 是常用的各种土壤酸性改良资材的特性比较表。

表 1. 常用的各种土壤酸性改良资材的特性比较

	消石灰	石灰石粉	苦土石灰	牡蛎壳粉	贝壳化石粉
改良酸性效果的速效性	◎	○	○	△	△
改良酸性效果的持续性	×	○	○	○	○
补充镁的效果	×	×	○	△	△

◎：效果非常高，○：效果高，△：有一定的效果，×：没有效果

消石灰是代表性的土壤酸性改良资材，具有廉价，见效快等特征。图 2 和图 3 是消石灰对酸性土壤改良效果的相片。施用消石灰前的土壤 pH 是 5.6，施用消石灰 2 星期后，土壤 pH 就上升到了 6.3。



图 2. 施用消石灰前的土壤 pH



图 3. 施用消石灰 2 星期后的土壤 pH