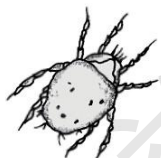


## 《土壤健康管理指南》第十部分

土壤硝态氮、pH



美国农业部

# 《土壤健康管理指南》



山东益禾箭生物技术有限公司 编译

第 6 章 土壤健康评价

第 12 节 土壤硝态氮

硝酸盐( $\text{NO}_3^-$ )是土壤中自然存在的无机氮(N)的一种存在形式。土壤 $\text{NO}_3^-$ 的来源包括, 分解的植物残渣和动物粪便/堆肥、化学肥料、活植物的渗出物、降雨和闪电。最终, 被微生物固定的硝酸根离子(被微生物吸收的硝酸根离子)转化为有机形式, 当死亡的土壤生物被利用或分解时, 又以植物可利用的无机氮形式释放回土壤中。在排水良好的土壤中, 铵态氮( $\text{NH}_4^+$ )和氨态氮( $\text{NH}_3$ )被特定种群的好氧细菌转化为 $\text{NO}_3^-$ , 这个过程被称为硝化作用。

另一种生物 N 的转化是反硝化作用, 即 $\text{NO}_3^-$ 转化为一氧化二氮( $\text{N}_2\text{O}$ )、二氧化氮( $\text{NO}_2$ )和氮气( $\text{N}_2$ ), 这通常发生在厌氧土壤, 如水涝土壤和湿地。即使在通气性良好的土壤中, 硝化细菌在团聚体的外部非常活跃, 团聚体内部的厌氧微位点也可能发生反硝化作用。硝酸盐极易溶于水, 很容易通过径流和其他地表和地下水

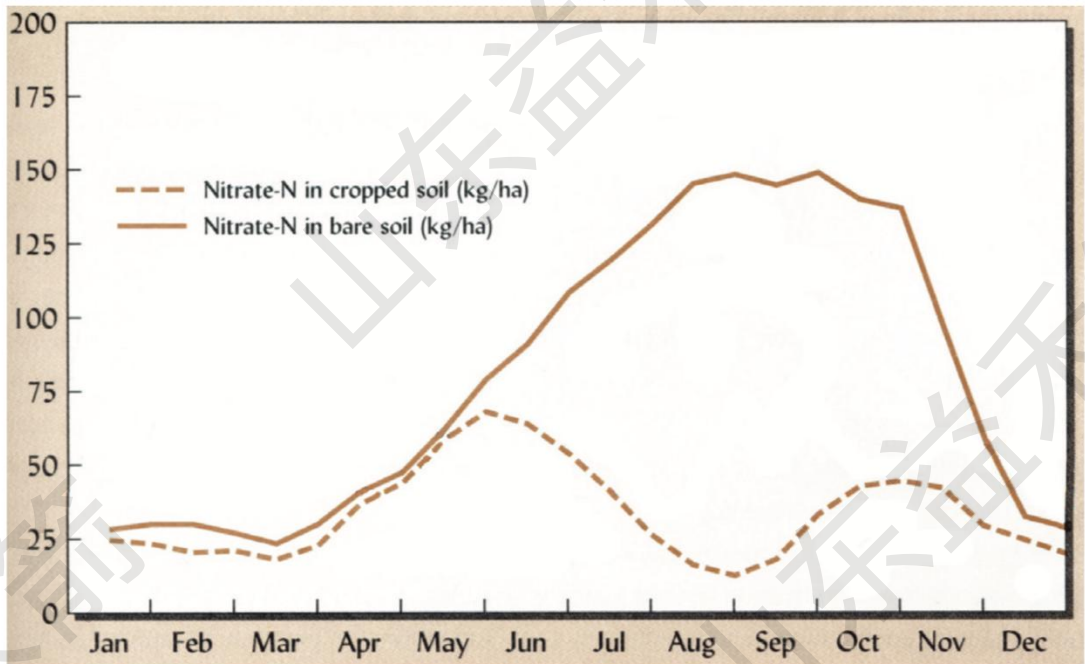


图 1 所示。对于冬季寒冷、全年降雨均匀分布的湿润温带地区典型土壤, 有和没有种植植物的、典型地表土层硝酸盐浓度的季节变化模式(基于 Brady 和 Weil, 1996 年)。

流输送到河流和湖泊，或向下移动到地下水中。

### 1. 影响因素

**内在的**-土壤质地影响  $\text{NO}_3^-$  的流动性：土壤质地越粗， $\text{NO}_3^-$  通过土壤剖面的速度越快，因为  $\text{NO}_3^-$  离子不与沙质颗粒结合，在沙质土壤中水分渗透率通常很高。下大雨时，在这种类型土壤中  $\text{NO}_3^-$  最终会沥滤或污染地表水。在热带和亚热带土壤中发现，风化程度较低的粘土矿物(如蒙脱石、伊利石、蛭石等)比风化程度高的粘土矿物(如高岭石)有较低的  $\text{NO}_3^-$  滞留。CEC（阳离子交换量）高的土壤保持不住  $\text{NO}_3^-$ 。有些土壤，例如密西西比河流域，有严重的淋滤问题。

气候(温度和降水)影响硝化速率；最适宜的温度在华氏 86 至 95 度之间。土壤排水不良为反硝化和向大气中释放气态氮氧化物创造了理想的生化环境，而在含碳丰富的土壤(如湿地或堵塞的瓷砖排水沟)中，氮氧化物会加剧这种情况。土壤  $\text{NO}_3^-$  对季节变动和作物的出现非常敏感。从图 1 可以看出，在温带地区(5、6 月)， $\text{NO}_3^-$  随着土壤变暖而提高，而在秋季，由于雨季  $\text{NO}_3^-$  的淋失，含量急剧下降。

**动态的**-在酸性土壤中硝酸盐通常缺乏，因为土壤 pH 值 (<5.5) 较低会降低硝化作用。当  $\text{pH} < 4.5$  时，硝化作用停止；硝化作用的最佳 pH 在 6-8 之间。因为有机质是  $\text{NO}_3^-$  的重要来源， $\text{NO}_3^-$  的积累可能与有机质在土壤中的存在、分布模式相关。而且硝化作用依赖于微生物，有机质存在时这些微生物才能够繁殖。高碳氮比(24/1)的残渣减缓了有机质释放  $\text{NO}_3^-$  的速度；微生物最初为了自己的生长而从土壤中固定化所有可用的  $\text{NO}_3^-$ -N。这也延缓了有机物的分解和相关的硝化作用。

### 2. 与土壤功能的关系

$\text{NO}_3^-$  的主要功能是作为植物和土壤微生物的营养和生长的氮素来源。

### 3. 活性缺乏问题

反硝化作用导致土壤中的氮流失，并产生一些对环境有害的中间气态氮(如  $\text{N}_2\text{O}$ )。与高浓度  $\text{NO}_3^-$  相关的问题包括，地下水和地表水的污染，污染增加了威胁水生生物生存的富营养化风险。硝化过程中释放的氢离子( $\text{H}^+$ )可能导致土壤酸化。

### 4. 改善管理措施

在马里兰大学研究中心进行的一项研究指出，在土壤的任意深度(除 0-30cm 外)，免耕土壤的  $\text{NO}_3^-$  浓度始终低于常规耕作的土壤(见图 2)，并与施肥量有关。

该研究作者的解释包括：

(i) 传统耕作点上缺乏冬季覆盖作物，影响了根区土壤氮含量和随后的硝态氮淋溶速率；(2) 免耕地块的反硝化速率高于常规耕作区(即免耕作区反硝化生物种群较多)；(三) 免耕区作物更有效地利用氮(从土壤中吸收更多的氮)；(4) 常规

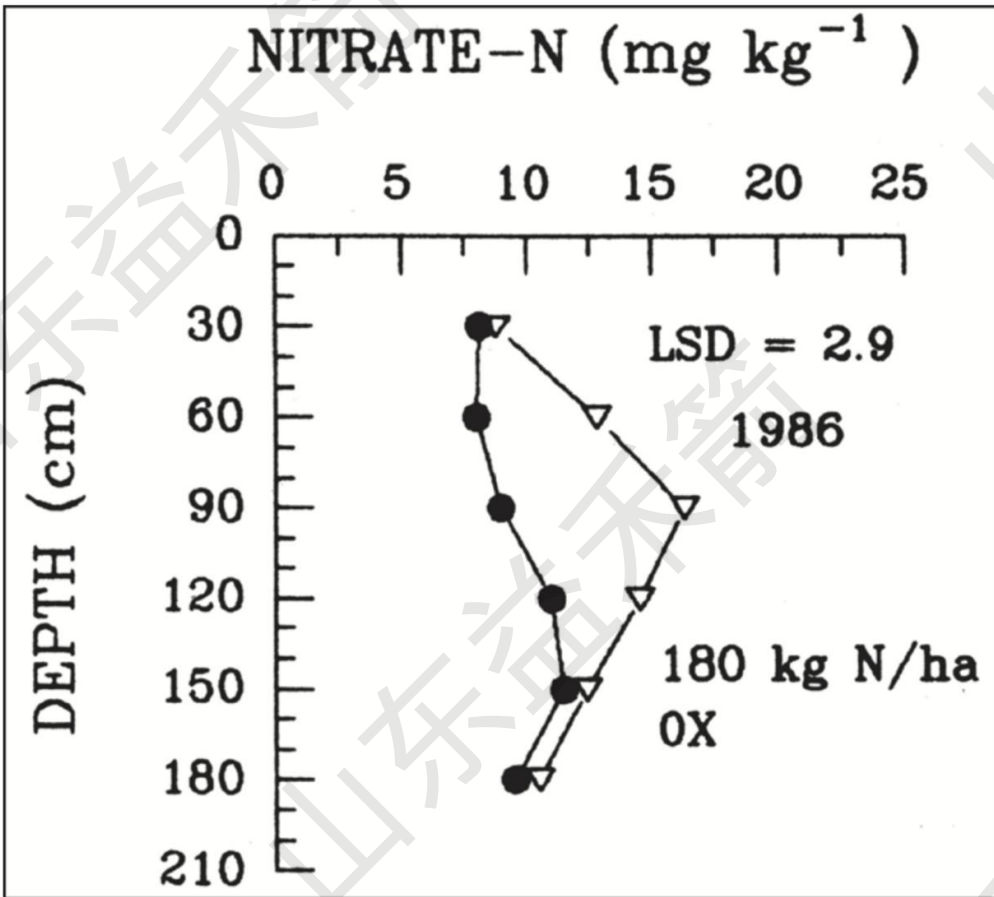


图 2。硝酸铵与耕作(●免耕；△=常规耕作；0X=不施肥)对 1986 年春季采集到 210 cm 深的土壤硝态氮浓度的影响(在 Angle 等人之后，1993)。

耕作区的硝酸盐积累主要来自往年的植物残茬。

以下做法增加硝酸盐：

- 豆类作物轮作

- 添加有机残留物、粪肥和堆肥
- 保护性耕作和田间条播或免耕加冬季覆盖作物
- 与作物生长阶段相适应的分散施用肥料

以下措施可防止硝酸盐流失：

- 氨态肥料在冻土上秋季应用
- 应用缓慢释氮材料
- 种植吸收残留  $\text{NO}_3^-$  的覆盖作物 (cover crop) 品种
- 根据现场土壤含水率，规划灌溉时间和灌溉速率
- 保持土壤排水良好
- 添加高碳氮比的绿肥

#### 5. 土壤硝态氮的测量

土壤  $\text{NO}_3^-$  的田间检测，使用在《土壤质量检测试剂盒指南》中描述的试验纸条。检测大根需要 15 分钟。检测条有 2 个盘，一个用于检测  $\text{NO}_3^-$ ，另一个用于合并检测  $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ 。检测并不是打算成为施肥建议，但是可以作为一个潜在的土壤需求管理指标。

## 第 12 节 土壤 pH

土壤 pH 值一般是指土壤酸度或碱度。化学上定义为土壤溶液中的  $\log_{10}$  氢离子 ( $\text{H}^+$ )。pH 值范围为 0–14；pH 为 7，被认为是中性的。如果 pH 值大于 7，则认为溶液为基础的或碱性的；如果低于 7，溶液则是酸性的。重要的是要认识到，因为 pH 值标度是对数单位，仅仅几个 pH 单位的变化就会导致化学环境和敏感的生物过程发生重大变化。例如，pH 值为 5 的土壤，酸度是 pH 值为 6 或 7 的土壤的 10 倍或 100 倍。土壤溶液中  $\text{H}^+$  离子的来源包括，有机质分解、根系呼吸作用产生二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 形成的碳酸、土壤空气溶解于土壤水体等。 $\text{H}^+$  离子的其他来源有根的释放、铝离子 ( $\text{Al}^{+3}$ ) 与水的反应、肥料中氨的硝化作用和有机物的矿化、硫化物的反应、雨水和酸雨。某些土壤对 pH 值 (缓冲能力) 的下降或上升更有抵抗力，因此，在改良土壤之前，必须针对每个地块确定石灰的需求量，即将酸性土壤的 pH 值提高到一个满意 pH 值，所需石灰石 ( $\text{CaCO}_3$ ) 的数量。

#### 1. 影响因素

**内在的**-自然土壤的 pH 值反映了成土因素的综合作用。风化和相关的化学反应释放出大量的阳离子 ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ), 这些阳离子可自由地留在土壤溶液中, 与溶解的有机碳化合物形成复合物, 或吸附在粘土矿物和腐殖质表面。随着时间的推移, 游离阳离子、碱性氧化物和碳酸盐的淋滤, 以及植物吸收和收获对阳离子的去除, 以及碳酸的不断形成, 导致土壤酸化。当阳离子丢失时,  $\text{H}^{+}$  离子会在土壤溶液和粘土矿物和腐殖质表面取代它们。在极酸性土壤中 (pH 小于 5), 铝可溶, 其离子 ( $\text{Al}^{+3}$ ) 倾向于与水反应生成  $\text{H}^{+}$  离子, 进一步加剧酸化。在干旱气候条件下, 土壤风化作用和淋滤作用较弱, 阳离子积累,  $\text{OH}^{-}$  离子抵消  $\text{H}^{+}$  离子, 结果土壤变得中性或碱性。与粘土土壤相比, 质地粗糙的土壤容易酸化, 因为它们的有机质含量低, 缓冲能力低, 阳离子交换能力低 (阳离子保留能力差), 水的渗透和入渗率高。矿质土壤中的粘土和有机质起缓冲作用, 以抵抗 pH 值的变化。土壤母质影响土壤性质, 包括 pH 值, 这可以通过石灰性和花岗岩性土壤 pH 值的对比得到。植被对土壤 pH 值的影响, 部分是由于某些类型的腐殖质, 这种类型的腐殖质正在使土壤酸化。水的侵蚀消除了表层, 表层可能富含有机质, 沿着种植斜坡形成了 pH 梯度。

**动态的**-若将荒地转为耕地, 几年后会导致 pH 值急剧变化。这些变化是由于阳离子的去除引起的, 作物吸收、淋溶的加速、肥料和改良剂的影响以及有机质含量和土壤缓冲能力的变化都引起阳离子流失。无机改良剂 (石灰和石膏) 和富含阳离子的有机改良剂使土壤 pH 值增加, 有机物矿化 (硝化作用)、氨基肥料和硫化物产生的铵降低了土壤 pH 值。高渗水率和渗透率增加了阳离子的淋溶, 加速了土壤酸化。

## 2. 与土壤功能的关系

土壤 pH 值影响土壤的物理、化学、生物特性和过程, 以及植物生长。当 pH 值较低时, 大多数作物的营养、生长和产量下降, 而当 pH 值达到最佳水平时, 则随 pH 上升产量也提高。pH 值接近中性时 (pH 值 6 至 7.5), 许多作物生长最好, 尽管也有一些作物喜欢酸性或碱性土壤。在酸性土壤中, 钙、镁、硝酸盐、氮、磷、硼和钼缺乏, 而铝和锰丰富, 有时达到对某些植物有毒的水平。磷、铁、铜、锌和硼在极碱性土壤中经常缺乏。细菌的数量和活性在低 pH 下水平下降, 而真

菌适应大范围的 pH(酸性和碱性)。大多数微生物都有适合生存和发挥作用的 pH 范围(见表 2)。在非常酸或碱性的 pH 水平下，由于与细菌相关的微生物活性较差，有机质矿化减慢或停止。低 pH 对硝化和固氮也有抑制作用。除草剂和杀虫

表 1。在不同 pH 水平下，以玉米、小粒谷物、豆类或提摩太轮作栽培的相对产量。(改编自史密斯和多兰 1996)

| Crop    | pH                     |    |     |     |     |
|---------|------------------------|----|-----|-----|-----|
|         | 4.7                    | 5  | 5.7 | 6.8 | 7.5 |
|         | Relative Average Yield |    |     |     |     |
| Corn    | 34                     | 73 | 83  | 100 | 85  |
| Wheat   | 68                     | 78 | 89  | 100 | 99  |
| Oats    | 77                     | 93 | 99  | 98  | 100 |
| Barley  | 0                      | 23 | 80  | 95  | 100 |
| Alfalfa | 2                      | 9  | 42  | 100 | 100 |
| Soybean | 65                     | 79 | 80  | 100 | 93  |
| Timothy | 31                     | 47 | 66  | 100 | 95  |

剂的移动性和降解，重金属的溶解度与 pH 有关。土壤 pH 值对阳离子有效性的影响，也影响着团聚体的稳定性，因为多价阳离子(如钙离子)在有机胶体和粘土之间起桥梁作用。有些疾病在碱性或酸性土壤中容易滋生。全蚀病是由真菌 *Gaeumannomyces graminis* 引起的，在碱性 pH 条件下容易感染小麦、大麦、黑麦和几种禾本科植物。

3. 不良 pH 水平的影响

如前一节所讨论的，许多营养物质的缺乏、微生物活动和作物产量的下降以及环境条件的恶化都与 pH 值水平有关。

4. 改善土壤 pH

石灰、添加主要阳离子丰富的有机残留物、阻断豆科作物的酸化效应的轮作，可提高土壤 pH。应用铵态肥料, 如尿素、硫/亚硫酸盐、与酸化肥料一起灌溉或使用酸化残留物(酸苔藓、松针、锯末)，则降低土壤 pH。增加有机质提高土壤的缓冲能力。

| 表 2:微生物群的最大、最小和最佳 pH 值。(改编自史密斯和多兰 1996) |           |         |
|-----------------------------------------|-----------|---------|
| 微生物                                     | Range     | Optimum |
| 细菌                                      | 5-9       | 7       |
| 放线菌                                     | 6.5 - 9.5 | 8       |
| 真菌                                      | 2-7       | 5       |
| 蓝绿细菌                                    | 6-9       | >7      |
| 原生动物                                    | 5-8       | >7      |

5. pH 的测量

使用便携式 pH 袖珍计在现场测量土壤 pH 值，如《土壤质量测试工具包指南》第 1 节第 6 章第 15 页所述。对结果的解释也见第 63 至 66 页第 5 章第二节。

专业设备、快捷方式、小窍门：

在使用 pH 计之前，一定要用适当的缓冲溶液校准 pH 计，并报告用于读取读数的土壤：水比。在测量电导率后等待 10 到 15 分钟，让土壤颗粒沉淀。