

# 土壤酸碱性对植物生长影响的研究进展

张丽芳<sup>1</sup>, 胡海林<sup>2\*</sup>

(1. 曲靖师范学院 生物资源与食品工程学院, 云南 曲靖 655011; 2. 曲靖市农业科学院, 云南 曲靖 655000)

**[摘要]** 土壤酸碱性是土壤的重要化学性质,也是土壤的基本属性之一,其不仅影响土壤的肥力,还影响土壤养分及有害物质的产生,进而影响植物的生长发育及产质量。为土壤酸碱性在生产应用及同类研究提供参考,从土壤酸碱性产生的机理、土壤酸碱性对植物养分有效性及其生长的影响和土壤酸碱性的改良等方面进行概述,并对未来研究方向进行了展望。

**[关键词]** 土壤酸碱性; 产生机理; 植物生长发育; 土壤改良  
**[中图分类号]** S153.4 **[文献标识码]** A

## Research Progress on Effect of Soil pH on Plant Growth

ZHANG Lifang<sup>1</sup>, HU Hailin<sup>2\*</sup>

(1. College of Bioresources and Food Engineering, Qujing Normal University, Qujing, Yunnan 655011; 2. Qujing Academy of Agricultural Sciences, Qujing, Yunnan 655000, China)

**Abstract:** Soil pH is not only an important chemical property of soil, but also one of basic properties in soil. It affects soil fertility and production of soil nutrient and harmful substance, thereby affecting growing development, yield and quality of plant. In order to provide a reference for production application and similar research of soil pH, three aspects of soil pH producing mechanism, effect of soil pH on nutrient availability and growth of plant, and improvement of soil pH are reviewed, the future research direction is prospected as well.

**Key words:** soil pH; mechanism of production; plant growing development; soil improvement

土壤酸碱性是土壤的重要化学性质,也是土壤的基本属性之一,其不仅影响土壤的肥力,还影响土壤养分及有害物质的产生,进而影响植物的生长发育及产质量。目前,国内对土壤酸碱性方面研究不多。赫伟红<sup>[1]</sup>研究表明,土壤溶液中金属离子、酸性气体化合物和有机物等含量不同是导致土壤的酸碱性不同的主要原因。土壤酸碱性强弱常用酸碱度( $H^+$ 浓度的负对数)来衡量,即pH大小来表示。罗淑华<sup>[2]</sup>对土壤酸碱度按其强弱进行分级:强碱pH>8.5,碱性pH 7.5~8.5,中性pH 6.5~7.5,酸性pH 4.5~6.5,强酸pH<4.5。同时,土壤酸碱性还影响土壤结构的形成、微生物活动、有害物质的形成和养分有效性,进而影响农作物的生长发育<sup>[3]</sup>。为提高作物的产质量,王宁等<sup>[4-8]</sup>通过在土壤中施加石灰、工业废弃物、农作物秸秆还田、绿肥和生物有机肥等,并进行合理轮作制度、水肥管理和作物品种选择等措施对土壤的酸碱度进行改良。很多地方由于土壤的过度利用导致其酸化严重,研究土壤酸碱性对作物生长的影响并对其进行改良具有重要意义。为此,从土壤酸碱性产生的机理、对植物养分有效性及其生长的影响和土壤酸碱性的改良等方面进行概述,以期土壤酸碱性在生产应用及同类研究

提供参考。

## 1 土壤酸碱性产生的机理

### 1.1 酸性土壤

土壤酸化始于土壤中活性质子氢离子( $H^+$ )<sup>[9]</sup>,活性 $H^+$ 的来源主要有自然因素和人为因素。自然因素:一是酸雨的形成。自然界释放酸性气体,如湖泊、湿地和大陆架等湿地单元,通过微生物的分解作用排放 $H_2S$ 气体,其在大气中经氧化生成 $SO_2$ ,此外,火山爆发也能够产生大量酸性气体,其溶解到雨水中形成大量硫酸盐物质,酸性物质通过降雨随雨水进入土壤,导致土壤酸化、有毒金属离子活化、盐基离子大量流失和土壤酶活性受抑制等<sup>[10-11]</sup>。二是风化作用。在含有酸性硫酸盐土壤中,土壤母质缺乏碱性阳离子,自然降雨引起土壤中碱基化合物大量淋失,氢离子与土壤胶体上被吸附的盐基离子交换,使土壤胶体上交换性氢离子不断增加,从而导致酸性土壤的形成。三是土壤中动植物呼吸作用产生有机酸和 $CO_2$ 。氢离子可自发地与土壤中固相的铝形成化合物,释放出等量的 $Al^{3+}$ ,而 $Al^{3+}$ 水解可释放出3个 $H^+$ <sup>[12]</sup>,土壤交换性氢及铝含量大量增加,土壤酸性增大<sup>[13]</sup>。

[收稿日期] 2020-04-20

[基金项目] 云南省科技厅青年项目(2018FD080);云南省曲靖师范学院青年项目(2019QN002)

[作者简介] 张丽芳(1987—),女,讲师,博士,从事农作物病害研究。E-mail:752859175@qq.com

\* 通讯作者: 胡海林。E-mail:huhailin02031@163.com

人为因素主要包括人类活动引起的酸雨和不恰当的农业措施。我国是世界第三大酸雨沉降区,酸雨污染已覆盖我国国土面积的40%<sup>[14]</sup>。酸雨形成的主要原因是工业生产和民用生活中燃烧大量煤炭、石油、天然气和汽车尾气排放等释放出SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>,经“云内成雨过程”发生液相化反应,形成硫酸和硝酸雨滴随雨水和雪降落地面形成酸雨<sup>[15]</sup>。在酸雨的长期侵蚀下,土壤pH逐渐降低,Ca<sup>2+</sup>及Mg<sup>2+</sup>等阳离子逐渐流失,从而导致土壤的离子平衡遭到破坏,导致土壤中酸性离子富集,土壤酸性增大。不恰当的农业措施主要包括农业生产中过度施用化肥、作物连作以及种植致酸性的植物,从而加速土壤的酸化,化肥如氯化铵和硫酸铵等生理酸性肥料在NH<sub>4</sub><sup>+</sup>发生氧化后被植物体吸收,导致土壤中交换性酸和交换性铝含量增加,从而导致土壤pH降低。赵其国<sup>[16]</sup>研究表明,江西红壤盆栽试验施用硫酸性肥料后,土壤pH不同程度降低。也有研究表明,施肥对土壤酸化的影响大于酸雨<sup>[11]</sup>。长期施用氮肥土壤比未施肥土壤酸化速率提高4.6倍<sup>[15]</sup>,而长期施肥农田耕层土壤的pH演变存在对施肥措施的共性响应特征<sup>[17]</sup>。另外,在农业生产上豆科植物长期连作也会加剧土壤酸化,而用改良剂、实施测土配方施肥和改变不当种植制度、增施优质有机肥和推广秸秆还田等可缓解土壤酸化,提高土壤肥力<sup>[18]</sup>。

## 1.2 碱性土壤

碱性土壤地域性差异非常明显,受各种因素的控制,且盐化和碱化往往同时发生,产生的因素有自然因素和人为因素。自然因素:一是受玄武岩及石灰岩等母岩的影响,其中玄武岩含钙、镁、钾、钠等盐基离子较多,石灰岩含碳酸钙较多,由这些含盐基丰富的母岩发育的土壤多呈碱性,即使在湿热的条件下,也呈中性至微碱性<sup>[19]</sup>。二是受降雨量的影响,在干旱半干旱带,大气降雨量远远低于蒸发量,使岩石、矿物风化释放出的钾、钠、钙和镁等盐类不能完全迁出土体,而积聚于土壤及地下水中,其水解产生氢氧根离子,使土壤向碱性转化。另外,像湖积物、河积物和海滩淤泥等形成的土壤多呈中性至碱性<sup>[2]</sup>。人为因素包括过度砍伐破坏滨海地区草坪和植被、不合理利用农业措施和环境的污染,导致土壤盐碱化显著增强<sup>[20]</sup>。

## 2 土壤酸碱性对植物养分有效性及其生长的影响

### 2.1 植物养分有效性

土壤酸碱性的营养元素有效性与微生物活性息息相关。在酸性土壤中,钴、锰、铁、铜和锌等微量元素离子有效性高,在土壤pH为中性时,大多数营养

元素有效性最高。如磷在碱性土壤中易被钙固定,在酸性土壤中易被铁固定,而在pH为6.5~7.5时,硼和磷有效性最高,因此,在碱性或酸性土壤中施用磷肥时,可与有机肥一起施用提高磷肥的肥效;氮有效性的最适pH为6~8,当处于酸性环境时,固氮菌活性降低,当土壤pH大于8时,硝化作用受抑制,而在此pH范围内,钙、镁离子和钼酸盐有效性最好<sup>[21]</sup>。土壤微生物活动在其适宜的pH范围下活动旺盛,易释放较多有效养分,使土壤有机质矿化,如细菌和放线菌适应pH为中性至碱性的土壤。土壤过酸或过碱都会导致土壤结构性变差、粘重,土壤水、气、热不协调,不利于耕作和植物生长<sup>[15]</sup>。

### 2.2 植物生长

土壤溶液pH与植物生长发育关系密切,各种植物对土壤pH的要求不同,这种差异主要取决于植物根系特性、构造及其生理特点,多数作物对pH的适应范围为中性或微酸性土壤,有些作物对酸碱反应敏感,如茶树喜酸性土壤,不适应中性至碱性土壤。究其原因:首先是茶树本身起源于酸性土。其次,茶树根系的生理特性决定,茶树根系的汁液中含有较多的有机酸,如草酸和苹果酸等;另外,茶树根部根毛较少甚至无根毛,其对营养物质的吸收主要依赖真菌进行,而真菌大多数只能在酸性环境中生长繁殖<sup>[22-23]</sup>。而金铁锁在不同酸碱度土壤中生长状况不同,其生长的最适pH为中性至微酸性<sup>[24]</sup>。甜菜、紫花苜蓿等最适pH为中性和微碱性土壤,芝麻和荞麦类对土壤酸碱度要求不高,适应范围较广,但这些作物都不适宜连作,否则将导致作物长势差,产量低,土壤环境恶化<sup>[25-26]</sup>。

## 3 土壤酸碱性的改良

### 3.1 酸性土壤

酸雨的危害已引起各国政府和学者的重视,就目前而言,防治酸雨的主要措施如下:一是提高能源利用率,减少污染气体的排放,其中,煤是最重要的能源之一,燃烧后会释放出SO<sub>2</sub>等有害气体,为减少SO<sub>2</sub>排放,科学家利用生物技术脱硫,微生物菌株分离有机硫<sup>[27]</sup>。二是改变能源结构,加速发展无污染能源,积极推进能源结构调整,大力发展太阳能、水能、风能和地热等清洁能源,发展农村沼气池,减少酸性气体的排放。三是种植樟树、金橘、银杉和桑树等抗酸雨农作物品种,其有很强的吸酸能力,可减轻酸雨的危害;另外可施用有机肥和种植绿肥缓解土壤酸化过程。四是完善环境法规,建立激励和约束机制。如,制定酸性气体排放标准,推行征收SO<sub>2</sub>等有害气体排放的限制性制度。五是建立公众参与机制,倡导绿色消费出行。如,限制机动车数量,倡导公交车和自行车出行等,鼓励人们选择低能耗、低污

染和低排放的绿色出行方式<sup>[28]</sup>。

石灰属于传统改良剂,可中和土壤的活性酸和潜在酸,生成氢氧化物沉淀,消除铝毒,可迅速降低土壤酸度,增加土壤中交换性钙的含量,施用石灰石粉 200 kg/667m<sup>2</sup>,3年后表层土壤酸度显著降低,土壤 pH 增加 2~3,但底层土壤酸度变化不大。因石灰中含有 Ca<sup>2+</sup> 和 OH<sup>-</sup>,施用初期可使土壤 pH 增大,但长期施用,修复效果减弱,造成土壤板结<sup>[5-6,29-30]</sup>。任一猛等<sup>[7-8,31-32]</sup>研究表明,施生物有机肥可有效改善土壤理化性质和微生物环境,增加农家肥及玉米秸秆等可使土壤 pH 增大并提高作物所需养分。孟赐福等<sup>[33]</sup>研究表明,浙江中部红壤施用石灰后 1.5 a,耕层(10~20 cm)土壤交换性 Ca<sup>2+</sup> 达最高,随着施用石灰后时间的推移呈急剧下降趋势;而底层(20~60 cm)土壤的交换性 Ca<sup>2+</sup> 随石灰用量的增加和施用石灰后时间的推移呈上升趋势;且施用石灰后耕层和底层土壤酸度的降低与交换性 Ca<sup>2+</sup> 的增加基本同步。表明过度施用石灰后,土壤酸度加剧;其原因是施用石灰增加了 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 活性,加速了有机质的分解,增加了植物秸秆和籽粒对 Ca<sup>2+</sup> 的转移。唐莉娜等<sup>[34]</sup>研究表明,在烟稻轮作中,酸性土壤(pH 5.0)施石灰 0.2~0.4 g/kg 能明显促进当季烤烟生长且后效良好,但施用过多对烤烟生长不利;施石灰大于 0.4 g/kg 明显抑制第 2 季水稻的生长,而施石灰 0.2 g/kg 有利于当季和下季水稻生长,建议隔季施用石灰,对改善土壤酸性效果较好。

近年来,一些研究者用白云石、磷石膏、粉煤灰和碱渣等矿物和工业废弃物改良酸性土壤。王文军等<sup>[35]</sup>在酸性黄红壤中施用白云石后土壤 pH 增高,土壤交换性铝、钙和镁含量均增高,同时作物产量也随之增加。磷石膏是磷复肥和磷化工行业的副产物,其主要成分是硫酸钙。何佳芳等<sup>[36]</sup>研究表明,在酸性黄壤中施用磷石膏可改善土壤酸性,增加作物产量。ALVA 等<sup>[37]</sup>研究表明,磷石膏改良土壤的机理是一种“自动加石灰效应”,由磷石膏中的硫酸钙与土壤发生反应,即 OH<sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的配位基发生交换作用而产生碱度,致使土壤酸性得到改善。叶厚专等<sup>[38]</sup>研究表明,红壤施用磷石膏对作物增产和土壤改良效果明显,能增加作物茎叶中钙及硫的含量,降低镁含量,有利于根系生长,降低铝毒害,增加土壤中 Ca、P 和 S 的含量,促使红壤 pH 从酸性向微酸性改变。张敬夫等<sup>[39]</sup>研究表明,果园酸性土壤施用粉煤灰、磷矿粉和鸡粪,其酸度可得到有效改善,果实产质量提高。

### 3.2 碱性土壤

碱性土壤改良方法主要有石膏、磷石膏、硫磺粉或其他酸性物质,一般施用石膏 100 kg/667m<sup>2</sup> 或磷

石膏 200 kg/667m<sup>2</sup>。碱性或微碱性土壤栽培喜酸露地花卉,施用硫酸亚铁 0.05 kg/m<sup>2</sup> 可使土壤 pH 降低 0.5~1.0。而对喜酸的盆栽花卉,浇施 1:50 硫酸铝或 1:180 硫酸亚铁水溶液均对改良土壤碱性具有较好的作用<sup>[3]</sup>。除前述化学改良外,还可采用禾康土壤改良剂利用高分子结合土壤中盐离子降低土壤 pH,从而改善土壤理化性质,提高土壤的水分和养分<sup>[40]</sup>。同时还可掺拌由松叶、残枝落叶和杂草等堆积发酵而成且具有很强酸性的绿肥或松针土,在碱性土壤中掺入 1/5~1/6 的绿肥或松针土可快速改善土壤理化性质,是改良碱性土壤快速有效的方法之一<sup>[29]</sup>。另外,近年来使用的一种调节土壤 pH 的种衣剂对改良碱性土壤效果良好,已经在农业上示范推广应用。

## 4 小结与展望

土壤酸碱性对作物生长发育的影响一直是倍受关注的问题。广大科研工作者一直在探索酸碱性土壤的改良措施,但效果欠佳。刘继培等<sup>[41-42]</sup>报道,中国、韩国、日本、美国和加拿大等均对人参忌连作问题进行了大量研究,其研究结果仅能起到一定的缓解作用,栽培后仍然存在产量下降,病害加重等问题。孙海等<sup>[43-45]</sup>采取轮作改善土壤微生物平衡,建立合理轮作制度,施农家肥提高土壤有机质含量,添加微生物制剂等措施提高土壤肥力及改善土壤酸碱性。由于不同地方土壤酸碱性不同,土壤酸碱性改良方法也存在差异,一方面可以根据土壤酸碱性不同增加特定的物质改善土壤缓冲性能,改变土壤团粒结构,增加土壤胶体粒子吸附能力和交换能力;另一方面可增施确保磷和钾等元素不流失的物质,从而保证土壤 pH 的稳定性。

### [参 考 文 献]

- [1] 赫伟红. 土壤酸碱性对土壤肥力和作物生长的影响[J]. 现代农村科技, 2012(24): 43.
- [2] 罗淑华. 土壤酸碱性[J]. 茶叶通讯, 1995(1): 23-24.
- [3] 赵军霞. 土壤酸碱性与植物的生长[J]. 内蒙古农业科技, 2003(6): 33.
- [4] 王 宁, 李九玉, 徐仁扣. 土壤酸化及酸性土壤的改良和管理[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(23): 48-51.
- [5] 胡 敏, 向永生, 鲁剑巍. 石灰用量对酸性土壤酸度及大麦幼苗生长的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 3896-3903.
- [6] 王敬华, 孔小玲. 施用石灰石粉对红壤酸度的影响[C]//中国科学院红壤生态实验站. 红壤生态系统研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1992.
- [7] 任一猛, 王秀全, 赵 英, 等. 农田栽参土壤的改良与培肥研究[J]. 吉林农业大学学报, 2008(2): 62-65.
- [8] 曹志强, 金 慧, 宋心东. 参地土壤改良及永续栽参[J]. 人参研究, 2002, 14(1): 29-35.

- [9] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [10] 徐仁扣. 我国降水中的  $\text{NH}_4^+$  及其在土壤酸化中的作用[J]. 农业环境科学学报, 1996(3): 139-140.
- [11] 杨 昂, 孙 波. 中国酸雨的分布, 成因及其对土壤环境的影响[J]. 土壤, 1999, 31(1): 13-18.
- [12] 易杰祥, 吕亮雪, 刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究[J]. 热带生物学报, 2006, 12(1): 23-28.
- [13] 邱 婷, 张 屹, 肖姬玲, 等. 土壤酸化及酸性土壤改良技术研究进展[J]. 湖南农业科学, 2016(10): 114-117.
- [14] 冯宗炜. 中国酸雨对陆地生态系统的影响和防治对策[J]. 中国工程科学, 2000, 1(9): 5-11.
- [15] 于长毅. 酸雨的形成、危害及防治[J]. 环境保护与循环经济, 2017, 37(9): 42-44, 47.
- [16] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [17] 孟红旗, 刘 景, 徐明岗, 等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1109-1116.
- [18] 王文娟, 杨知建, 徐华勤. 我国土壤酸化研究概述[J]. 安徽农业科学, 2015(8): 54-56.
- [19] 赵军霞. 土壤酸碱性对植物的生长[J]. 内蒙古农业科技, 2003(6): 33.
- [20] 石 伟. 极端盐碱土壤细菌的分离筛选及抗盐特性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [21] 李二云. 土壤酸碱性对植物生长的影响及其改良措施[J]. 现代农村科技, 2012(6): 48.
- [22] 魏国雄. 茶树与土壤酸碱度[J]. 中国土壤与肥料, 1979(6): 20-21.
- [23] 吴 洵. 谈茶树的土壤条件[J]. 土壤通报, 1964(1): 59-60.
- [24] 孙小红, 江 勋, 邓小容, 等. 土壤酸碱性对金铁锁生长的影响[J]. 园艺与种苗, 2018(1): 14-15, 33.
- [25] 杨继权, 李建平, 陈树斌, 等. 土壤酸碱度对甜菜生长发育及产量的影响[J]. 中国糖料, 2000(1): 19-21.
- [26] 樊芳芳. 连作对高粱生长及土壤环境的影响[D]. 太原: 山西大学, 2016.
- [27] 张伟勤. 酸雨的危害及其防治策略[J]. 工程与建设, 2012, 26(6): 738-741.
- [28] 张玉萍. 酸雨与低碳生活[J]. 中国农村教育, 2012(5): 61-62.
- [29] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244.
- [30] 张 瑶, 邓小华, 杨丽丽, 等. 不同改良剂对酸性土壤的修复效应[J]. 水土保持学报, 2018, 32(5): 330-334.
- [31] 赵洪颜, 傅民杰, 邹吉祥. 老参地土壤改良的研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(21): 12-15.
- [32] 邓小华, 黄 杰, 杨丽丽, 等. 石灰、绿肥和生物有机肥协同改良酸性土壤并提高烟草生产效益[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1577-1587.
- [33] 孟赐福, 傅庆林, 水建国, 等. 浙江中部红壤施用石灰对土壤交换性钙、镁及土壤酸度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 129-136.
- [34] 唐莉娜, 熊德忠, 张永成, 等. 酸性土壤施石灰对烟稻轮作后效的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2002, 31(4): 517-520.
- [35] 王文军, 郭熙盛, 武 际, 等. 施用白云石对酸性黄红壤作物产量及化学性质的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 723-726.
- [36] 何佳芳, 肖厚军, 苟久兰. 磷石膏与沸石对酸性黄壤活性铝形态及作物营养平衡的影响[J]. 西南农业学报, 2009, 22(3): 727-732.
- [37] ALVA A K, SUMNER M E. Amelioration of acid soil infertility by phosphogypsum[J]. Plant & Soil, 1990, 128(2): 127-134.
- [38] 叶厚专, 范业成. 磷石膏改良红壤的效应[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(2): 181-185.
- [39] 张敬夫, 刘金鑫, 张忠兰, 等. 粉煤灰、磷矿粉与鸡粪配施对果园酸性土壤修复效应及苹果产量品质的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(8): 82-85.
- [40] 张 力, 孙昕路, 张 莉. 禾康土壤改良剂在棉田次生盐碱地的改良效果[J]. 新疆农业科技, 2007(5): 13.
- [41] 刘继培, 张 扬, 李 飒, 等. 施用不同土壤改良剂对西瓜产量及品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2019(8): 98-101.
- [42] 刘文志, 李 鹏, 姜 巍, 等. 不同垄作条件下土壤改良剂对渍涝农田作物生长发育的影响[J]. 现代化农业, 2012(11): 18-20.
- [43] 孙 海, 张亚玉, 孙长伟, 等. 多功能微生物制剂对农田栽培参土壤养分状况的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 116-120.
- [44] 马 琨, 宋丽丽, 王明国, 等. 玉米秸秆还田对土壤丛枝菌根真菌群落的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(8): 2746-2756.
- [45] 曹 凯, 王建红, 张 贤, 等. 浙江油-稻轮作土壤肥力与作物产量特征[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(6): 947-949.

(责任编辑: 杨 林)