

我国土壤酸化研究概述

王文娟, 杨知建*, 徐华勤 (湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128)

摘要 目前土壤酸化引起土壤肥力低下、有毒重金属含量高, 严重影响地上农作物的生长发育, 制约国家粮食安全、农田和农业的可持续发展。从土壤酸化的成因及危害、国内外研究现状等方面进行论述, 提出改良酸化土壤的方法。

关键词 土壤酸化; 酸毒害; 酸雨; 改良措施

中图分类号 S153.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)08-054-03

Overview of Soil Acidification Research in China

WANG Wen-juan, YANG Zhi-jian*, XU Hua-qin (Agricultural School of Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128)

Abstract Currently soil acidification lead to low soil fertility, high toxic heavy metals, seriously affect the growth of crops in the ground, restrict the sustainable development of national food security, farmland and agriculture. The causes and hazards, domestic and foreign research status were elaborated, methods for improving soil acidification were put forward.

Key words Soil acidification; Acid poisoning; Acid rain; Improvement measures

土壤酸化是土壤质量退化中一个重要方面, 实质是土壤因自然因素和人为因素导致盐基性阳离子减少, 氢、铝离子增加, 土壤 pH 降低, 有毒金属离子活性增大的过程^[1]。我国土壤酸化具有面积大、分布广、酸化程度高和危害大等特点。据统计, 我国酸化土壤面积达 2 亿 hm^2 , 约占全国总面积的 23%, 主要分布在长江以南广大地区, 多数集中于广东和广西(两广)、福建、台湾、江西、湖南和湖北(两湖)、云南、贵州、浙江、安徽、四川、江苏与西藏南面等 14 个省区^[2-3]。以土壤类型来分, 可划为华中和华南的红壤地带和四川、贵州、云贵高原的黄壤地带两区。这些地区酸化土壤的 pH 多数在 5.5 以下, 严重的 pH 甚至小于 4.5, 并且这种酸化的程度和面积仍在增加。土壤酸化导致土壤中营养元素流失, 有毒重金属化合物的溶解度增加, 肥力降低, 土壤结构变差, 影响地上作物生长发育, 已严重地制约我国的粮食安全、农田和农业可持续发展^[4]。如今, 土壤学、农学及作物学等相关领域的专家和教授纷纷将土壤酸化作为重大课题来进行研究。笔者主要对土壤酸化成因和危害、国内外研究进展及土壤酸化改良措施等方面进行综述, 旨在为我国土壤酸化的治理提供理论参考。

1 土壤酸化的国内外研究进展

研究表明, 当 $3.0 < \text{pH} < 4.0$ 的酸雨淋溶土壤时, 土壤中的营养元素明显淋失; 当酸雨的 pH 小于 3.0 时, 元素的淋失速度会大大加快, 即快速导致土壤酸化。目前, 国内外对土壤酸化方面的研究工作主要集中在酸雨的成因和监测、酸雨的危害、土壤淋溶模拟试验等方面^[5]。

赵静等^[6]研究表明, 威海市文登梨园的土壤 pH 介于 4.06~6.59 之间, 其中 40% 以上被调查样品土壤是极强酸性和强酸性的。王见月等^[7]研究表明, 山东省果园种植基地中以棕壤为主的胶东地区的土壤酸化最为严重, 其中招远果园

土壤酸性最强, 平均 pH 达 4.22; 栖霞、文登、蓬莱和莱西等地的果园土壤均呈现强酸性, pH 依次为 4.69、4.86、5.14 和 5.26。董昭皆等^[8]研究表明, 荣成市近年来果树苦痘病、粗皮病加重的原因是果园土壤已被严重酸化。2006 年测得土壤 pH 平均为 5.0, 比 1982 年减低了 1.5。赵全桂等^[9]研究证实, 当前招远市有 60% 以上的农田土壤 $\text{pH} < 5.5$, 土壤酸化较严重; 土壤酸化造成该地区土壤中微量元素的缺乏和某些重金属超标, 制约了生产的发展。叶优良等^[10]调查烟台苹果发生粗皮病时发现, 70%~75% 的果园土壤呈酸性、微酸性 ($\text{pH} < 6.5$); 土壤 $\text{pH} < 6.5$ 利于锰还原, 因而增加土壤锰的有效性。田文杰等^[11]运用三维荧光技术研究模拟酸雨淋溶下紫壤淋出液中溶解性有机质组分与酸度、淋溶量的关系时, 发现在酸雨淋溶初期紫壤中溶解性有机质大量淋失, 且随酸度加大, 有机质淋失率也增大。张倩等^[12]研究发现, 江苏省典型茶园土壤 pH 的降低速率与土壤中有有机质总量呈 0.01 水平显著负相关。张勇等^[13]在模拟酸雨条件下研究酸雨对北亚热带天然次生林土壤呼吸的影响, 发现只有高强度模拟酸雨 ($\text{pH} 2.5$) 才显著抑制土壤呼吸作用。朱雪竹等^[14-15]研究发现, 酸雨并未显著影响中性和酸性土壤农田系统平均暗呼吸速率, 雨水 pH 的降低仅抑制酸性土壤农田系统暗呼吸。

Guo 等^[16]研究表明, 1980 年以来我国南方酸性红壤和黄壤酸化程度日益加强, 其中粮食和经济作物区的 pH 分别降低了 0.23、0.30; 虽然北方的潮土钙离子浓度高, 但已出现大面积酸化现象, 该地区的粮食及经济作物区的 pH 也分别下降了 0.27、0.58。Blake 等^[17]于 1991 年调查洛桑试验站 Geescroft Wildernes 的表土, 发现 pH 为 3.8, 较 1883 年降低了 4.2; ParkGrass 的表土 pH 则降到 4.2, 然而在 1876 年该地区表土的 pH 为 5.2。Roem 等^[18]在研究荒地和草地群落上的土壤酸化时发现, 土壤酸化程度与植物物种多样性有极显著的相关性关系。

2 土壤酸化的原因

2.1 自然条件下的土壤酸化 自然酸化是农业生产中不可避免的现象。土壤中的盐基性离子本身就较易淋失, 因此淋

基金项目 国家自然科学基金项目(31100382); 湖南省科技支撑计划项目(2012NK3077)。

作者简介 王文娟(1982-), 女, 湖南郴州人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤生态学。*通讯作者, 教授, 博士, 从事草坪科学与工程、牧草栽培、生态学等方面的研究。

收稿日期 2015-01-27

溶过程实质就等同于酸化过程。另外,天然降雨中会有一些碳酸和硝酸,土壤中微生物与植物根系代谢过程中也会产生一定量的碳酸。土壤有机质分解会带来少数有机酸和腐殖酸。部分地区土壤中硫化铁矿物氧化会产生硫酸。所以,土壤酸化是土壤形成过程中的自然现象。该现象在热带亚热带湿润地区表现得特别明显。但是,一般这种自然酸化速率十分缓慢。

2.2 人为活动影响下的土壤酸化 随着现代工业的高速发展和人们生活水平的不断提高,人为活动大大加速了土壤酸化的速率,主要包括酸雨和不当的农业措施等。

2.2.1 酸雨。酸雨又称酸沉降,是指 pH 小于 5.6 的大气降水,主要包括湿沉降(酸雨、酸雪、酸雾、酸霜)和干沉降(SO_2 、 NO_x 、HCl 等气体酸化性物)。酸沉降主要由于现代生活工业中所用的煤、石油和天然气燃烧及汽车尾气排放中产生的 SO_2 等硫和氮化合物,经扩散或重力作用等过程降落到地面。我国长江以南在内的广大东北亚地区已成为继欧洲和北美以外的第三大酸雨区^[19-21],具有区域性强、频率高及酸性强等特征。据资料显示,自 20 世纪 90 年代以来,我国华中酸雨区已成为全国酸雨污染最严重的地区,其中的典型代表城市有长沙、株洲、赣州和南昌等。该中心区年均降水 pH 大多低于 4.0,酸雨频率最高达 90%^[22]。邱栋梁等^[23-24]研究都发现酸雨对龙眼落果及果实品质、六年生东魁杨梅的生理生化特征均能产生严重影响。

2.2.2 不当的农业措施。不当的农业措施包括农业生产中大量施用化学肥料尤其是铵态氮肥的使用、不当的施肥量和施肥方式、连作和种植致酸作物等。硫酸铵、氯化铵等生理酸性肥料导致土壤酸化的原理是铵根离子氧化后被作物吸收,致使土壤中氢离子和铝离子含量增加,土壤 pH 降低。赵其国^[25]在江西进行红壤盆栽试验中发现,施用硫酸钾、硫酸铵等肥料都会不同程度地加大红壤的酸度。Summner 等^[26-27]研究发现,施用氮肥等不当的农业措施引起的土壤酸化作用比酸沉降要大 20 倍以上。据中国农业年鉴统计,截至 2007 年我国农田氮肥用量已达 3.26×10^7 t,较 1981 年增长 191%^[28]。

据报道,农作物生长结实过程中会大量吸收土壤中的盐基离子,尤其是同一土壤常年种植单一作物,盐基离子长期通过秸秆和籽粒带走又得不到补充,致使土壤离子失衡和 pH 降低。这是造成土壤酸化的重要原因。连作及单作豆科植物时其根系在生长过程中会分泌一些酸性物质,导致土壤 pH 下降,随着时间的延长,酸化趋势也一并加剧^[29]。

3 土壤酸化的危害

近年来,土壤酸化给土壤理化性质带来颠覆性的影响,使得作物根系生长的根本条件变差,进一步影响作物品质和产量。在我国南方酸雨区,土壤酸化已然是限制农业生产和影响环境质量的“元凶”。

3.1 土壤 pH 的降低 土壤酸化必然造成土壤 pH 的下降。土壤 pH 的降低会打破许多原本存在于土壤溶液中的化学平衡。如,土壤酸化会产生大量分子态硫化氢(对植物有毒),

导致离子态硫化物浓度的降低。土壤酸化后大量 H^+ 进入植物根细胞细胞质,使 pH 下降,酶活性降低,生物自由基积累及膜脂过氧化作用加剧,引起细胞解体和细胞的亚显微结构破坏,从而影响植株生长发育及品质^[30]。

3.2 土壤中活性铝的溶出及有毒金属元素的活化 铝占地壳质量的 7.1%。它是土壤中最丰富的金属元素。土壤中的铝能以多种化学形态存在,其比例主要取决于土壤溶液的 pH^[31-32]。当土壤溶液 pH < 5 时, Al^{3+} 离子居多;当 $5 < \text{pH} < 6$ 时, $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ 离子浓度升高;当 pH > 6 时,多数以可溶性铝离子的形态存在。土壤铝的溶出是指随土壤 pH 的降低促使原本在土壤中以离子态形式牢固地吸附在土壤的交换点或黏土颗粒上的铝从这些交换点或黏土颗粒上脱落的过程^[33]。当土壤溶液中活性铝离子浓度超过植物根系耐受限度时,根系表现出短小、畸形卷曲和脆弱易断现象,其生长明显受阻,引起植株生长不良。铝离子与土壤胶体的结合能力远强于土壤中其他盐基性离子,因此对钙、镁、钾等植物生长所需养分离子的吸附量会显著减少,让它们在进入土壤溶液后遭受淋失,造成土壤养分贫瘠。这在我国南方红壤多雨地区表现尤为突出。

土壤酸化在导致 pH 下降的同时,也引起锰、铬、铜、铅、镉和锌等有毒重金属离子的溶解度升高^[24]。郭朝晖等^[35]研究表明,随着 pH 的下降,土壤中镉、铜及锌等重金属离子的释放强度显著增大。谢思琴等^[36]研究表明,当 pH < 4.0 时,这些有毒重金属离子的含量会升高得更明显。若高浓度的有毒重金属元素常年沉降和积累在土壤中,则土壤必定会成为有毒性的环境介质,影响作物的生长,危害人类身体健康。

3.3 土壤中微生物与酶活性的降低 土壤中各种养分的转化与循环都离不开微生物和酶的催化作用。然而,酸性土壤抑制了这些有专一效应的微生物和酶活性。土壤酸化能改变土壤微生物种群,使得嗜酸性细菌含量增加,有益微生物数量减少,如土壤酸化能减少分解有机质及其蛋白质的微生物类群芽孢杆菌、极毛杆菌和有关真菌的数量,破坏营养素的良性循环,造成作物减产。一些科学家预测我国南方省的大豆因土壤 pH 下降而减产达 2 万 t,造成的经济损失每年约达 1 400 万元^[37]。

4 土壤酸化的改良策略

酸化土壤的改良应从多方面入手,采取综合措施,即在控制源头——酸雨的基础上应用改良剂、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方式来缓解土壤酸化,提高土壤肥力。

4.1 酸雨的控制 酸雨已成为我国土壤酸化重要的外源。因此,降低酸沉降最根本的办法就是采用新型的环保能源或高效农业废弃物处理技术减少二氧化硫、氧化亚氮等污染物在日常生活生产中的排放。

4.2 改良剂的应用 传统酸性土壤改良剂多为石灰或石灰石粉。该改良剂易使土壤表层土的酸度降低,还能引起土壤耕层交换性钙离子数量增加、镁与铝水化氧化物的沉淀,降低土壤溶液中镁离子的活度^[38-39]。过于频繁地施用石灰会

使土壤复酸程度增强,因此施用石灰改良还应配合其他碱性肥料如草木灰和火烧土等^[40]。

除传统酸性土壤改良剂外,人们还发现某些矿物和工业废弃物也能改良土壤酸度,如白云石、磷石膏、粉煤灰、磷矿粉和碱渣等矿物和制浆废液污泥等工业废弃物。王文军等^[41]在研究白云石改良酸性黄红壤试验结果表明,在酸性黄红壤中施入一定量的白云石降低了土壤交换性铝离子含量,提高了土壤pH和交换性钙、镁离子的浓度,显著提高地上作物产量。

生物改良主要指运用绿肥和土壤中一些动物来改良酸性土壤。胡衡生等^[42]研究表明,种植格拉姆柱花草三五年后的土壤中重要营养元素均大幅度增加,而且随着种植年限增长,土壤肥力增幅越大。在芒果园中养殖蚯蚓的试验结果指明,蚯蚓能通过取食土壤中有机物料后产生的蚯蚓粪明显降低土壤酸度,促进根系对养分的吸收^[43]。

4.3 实施测土配方施肥和优化种植制度 目前,化学氮肥在我国施用量高但利用率异常低。这是土壤酸化中最主要因素之一。在现实生产实践中,应根据土壤肥力背景值和作物生长需氮的规律实施测土配方施肥来减少土壤中氮素残留,防止土壤酸化。另一方面,可以通过优化耕作模式即水旱轮作、轮作和间作套种等栽培模式减缓土壤酸化速度。

4.4 增施优质有机肥和推广秸秆还田 增施优质有机肥、生物有机肥和发酵腐熟的土杂肥,提高土壤肥力,缓解土壤酸化;大力提倡推广秸秆还田,增加土壤有机质,改变土壤结构,提高土壤缓冲酸性能力;多运用喷灌、滴灌等节水技术进行科学灌溉,减少大水漫灌引起土壤淋溶。张晓海等^[44]同样研究发现,对长期施用化肥的烟地,施用小麦和玉米秸秆均能提高土壤中微生物的数量。果园地里种植白三叶草能高效提高土壤有机质含量,肥田沃土,实现土地的种养结合,对果业生产节本增收和提质增效具有重要意义^[45]。

参考文献

- 王敬华,张效年,于天仁. 华南红壤对酸雨敏感性的研究[J]. 土壤学报,1994,31(4):348-354.
- 邹恒福. 不同土壤改良剂对酸性土壤化学性质影响的研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学,2004:3-26.
- 易杰祥,吕亮雪,刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究[J]. 华南热带农业大学学报,2006,12(1):23-27.
- 李潇潇,复强,任立,等. 我国土壤的酸化及改良[J]. 现代园艺,2011(9):156.
- 杨志芳,余涛,唐金荣,等. 湖南洞庭湖地区土壤酸化特征及机理研究[J]. 地学前缘,2006,13(1):105-112.
- 赵静,沈向,李欣,等. 梨园土壤pH与其有效养分的相关性[J]. 北方园艺,2009(11):5-8.
- 王见月,刘庆花,李俊良,等. 胶东果园土壤酸度特征及酸化原因分析[J]. 中国农学通报,2010,26(16):164-169.
- 董昭皆,王建荣. 荣成市果园土壤肥力状况调查[J]. 落叶果树,2008(6):26-28.
- 赵全柱,卢树富,吴德敏,等. 施肥投入对招远农田土壤酸化及养分的变化的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(1):301-305.
- 叶优良,张福锁. 苹果粗皮病与锰含量的关系[J]. 果树学报,2002,19(4):219-222.
- 田文杰,何绪文,黄擎,等. 模拟酸雨淋溶条件下紫壤淋液液中溶解性有机质的三维荧光特性[J]. 环境化学,2011,30(11):1844-1850.
- 张倩,宗良纲,曹丹,等. 江苏省典型茶园土壤酸化趋势及其制约因素研究[J]. 土壤,2011,43(5):751-757.
- 张勇,王连喜,陈书涛,等. 模拟酸雨对北亚热带天然次生林土壤呼吸的影响[J]. 中国环境科学,2011,31(9):1541-1547.

- 朱雪竹,黄耀,杨新中. 模拟酸雨对不同土壤有机碳和作物秸秆分解的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(2):480-484.
- 朱雪竹,张高川,李辉. 模拟酸雨对不同pH值土壤农田系统暗呼吸的影响[J]. 环境科学,2009,30(10):2866-2871.
- GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science,2010,327:1008-1009.
- BLAKE L, GOULDING K W T, MOTT C J B, et al. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodland and grass at Rothamsted Experimental Station UK [J]. European Journal of Soil Science,1999,50:401-412.
- ROEM W J, BERENDSE F. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities[J]. Biological Conservation,2000,92:151-161.
- FAN H B, HONG W, MA Z, et al. Acidity and chemistry of bulk precipitations, throughfall and stemflow in a Chinese fir plantation in Fujian, China [J]. Forest Ecology and Management,1999,122:243-248.
- 樊后保. 世界酸雨研究概况[J]. 福建林学院学报,2002,22(4):371-375.
- 王文兴,丁国安. 中国降水酸度和离子浓度的空间分布[J]. 环境科学研究,1997,10(2):1-6.
- 田贺忠,陆永棋,郝吉明,等. 中国酸雨和二氧化硫污染控制历程及进展[J]. 中国电力,2001,34(3):51-57.
- 邱炼梁,刘星辉. 模拟酸雨对龙眼落果及果实品质的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):68-69.
- 刘建福. 模拟酸雨对杨梅生理生化特征的影响[J]. 中国农学通报,2007,10(23):110-113.
- 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.
- SUMNER M E. Acidification[M]//LAL R, BLUM W H, VALENTINE C, et al. Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science. Boca Raton, New York: CRC Press,1998:213-218.
- BARAK P, JOBE B O, KRUEGERA R, et al. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin [J]. Plant and Soil,1997,197:61-69.
- 农业部. 中国农业统计年鉴. 1982-2008[M]. 北京:中国农业出版社,1982-2008.
- ZHOU L L, CAO J, ZHANG F S, et al. Rhizosphere acidification of faba bean, soybean and maize [J]. Science of the Total Environment,2009,407:4356-4362.
- VAN RENSBURG L, KRUEGER G H J, KRUEGER H. Assessing the drought-resistance adaptive advantage of some anatomical and physiological features in *Nicotiana tabacum* [J]. Canad Bot,1994,72(10):1445-1454.
- 傅柳松,吴杰民,杨影,等. 模拟酸雨对浙江省主要土壤类型土壤铝溶出规律研究[J]. 农业环境保护,1993,12(3):114-119.
- 戎秋涛,杨春茂,徐文彬,等. 模拟酸雨对浙江东北部红壤盐基离子和铝的淋失影响研究[J]. 环境科学学报,1997,17(1):32-38.
- KAZUO SATO. Acidity neutralization mechanism[J]. Water, Air and Soil Pollution,1996,88:313-329.
- 王力军,青长乐,牟树森. 模拟酸雨对土壤化学及蔬菜生长的影响[J]. 农业环境保护,1993,12(1):17-20.
- 郭朝晖,黄昌勇,廖柏寒. 模拟酸雨对污染土壤中Cd、Cu和Zn释放及其形态转化的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1547-1550.
- 谢思琴,周德智,顾宗濂,等. 模拟酸雨下土壤中铜、镉行为及急性毒性效应[J]. 环境科学,1991,12(2):24-28.
- 中国林业学会. 酸雨与农业[M]. 北京:中国林业出版社,1989:17-25.
- 王敬国. 植物营养的土壤化学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1995:92-103.
- 孟赐福,水建国,傅庆林,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.
- 章明奎. 中性肥料对侵蚀红壤的土壤溶液酸度及大麦生长的影响[J]. 浙江农业科学,1995(5):225-228.
- 王文军,郭熙盛,武兵,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.
- 胡衡生,潘泽. 格拉姆柱花草对土壤改良作用的研究[J]. 广西师院学报:自然科学版,1994(1):57-61.
- 顾训明,薛进军,崔芳. 养殖蚯蚓对芒果园土壤理化性质的影响[J]. 福建果树,2007(2):24-27.
- 张晓海,邵丽,张晓林. 秸秆及土壤改良剂对植烟土壤微生物的影响[J]. 西南农业大学学报,2004,24(2):169-172.
- 侯广太,燕志晖,曹儒. 果园种植白三叶对土壤理化性状的影响与研究[J]. 北方园艺,2008(12):103-105.