

## 酸化对植烟土壤影响研究进展

孙敬国<sup>1</sup>, 李先豪<sup>2</sup>, 张鹏龙<sup>2</sup>, 孙光伟<sup>1</sup>, 何波<sup>3</sup>, 冯吉<sup>1</sup>, 李建平<sup>1</sup>, 陈振国<sup>1\*</sup>

(1.湖北省烟草科学研究院,湖北武汉 430030;2.湖北省烟草公司恩施州公司,湖北恩施 445400;3.湖北省烟草公司宜昌市公司,湖北宜昌 443700)

**摘要** 土壤退化已经成为限制土壤生产力的重要障碍因素,而酸化则是土壤退化的重要表现之一。综述了土壤酸化的成因以及酸化对土壤地力、土壤养分有效性和土壤碳氮代谢的影响,以期为植烟土壤酸化改良研究提供理论依据。**关键词** 酸化;植烟土壤;土壤地力;养分利用率;碳氮代谢

中图分类号 S156.6 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)02-0020-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.02.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Research Progress on Effect of Acidizing on Tobacco Planting Soil****SUN Jing-guo<sup>1</sup>, LI Xian-hao<sup>2</sup>, ZHANG Peng-long<sup>2</sup> et al** (1.Hubei Academy of Tobacco Science, Wuhan, Hubei 430030;2.Enshi Prefecture Company, Hubei Tobacco Company, Enshi, Hubei 445400)**Abstract** Soil degradation has become an important obstacle factor to limit soil productivity, and acidizing is one of the important manifestations of soil degradation. In this paper, the causes of soil acidizing and the effects of acidizing on soil fertility, soil nutrient availability and soil carbon and nitrogen metabolism were reviewed in order to provide theoretical basis for the study of soil acidizing and improvement of tobacco planting.**Key words** Acidizing; Tobacco planting soil; Soil fertility; Nutrient utilization; Carbon and nitrogen metabolism

土壤酸化是全球性的生态和农业问题,2017年十九大报告指出:“强化土壤污染管控和修复,加强农业面源污染防治”,把“土壤”二字直接写在党的报告中。2019中央一号文件《中共中央国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》再次聚焦“三农”,这是21世纪以来第16个指导“三农”工作的文件,意见继续强调发展生态循环农业,推进畜禽粪污、秸秆、农膜等农业废弃物资源化利用,扩大轮作休耕制度试点。酸化是土壤退化的重要因素之一,也是关系土壤可持续发展的重要环节,明确酸化对土壤的影响,是防止和扭转土壤酸化趋势的重要保障,同时也是开展酸化治理的必要前提。

**1 土壤酸化的成因**

目前,植烟土壤酸化比较认同的成因是内源酸化因子和外源酸化因子共同作用的结果。其中,内源酸化因子主要由土壤类型和烤烟连作积累的化感自毒物质所导致;外源酸化因子主要是在种植过程中人类主观活动所导致,包括种植制度的安排和施肥因素等。

内源酸化是作物在生产过程中不可避免的酸化现象。内源酸化因子中,土壤类型由于成土母质和土壤质地的差异,影响土壤有机质和土壤交换性阳离子的含量,加之雨水淋溶冲刷作用下,使盐基离子等流失,从而决定土壤对酸缓冲能力大小和土壤酸化程度;化感物质在连作过程处于不断积累趋势,而这些物质主要是有机酸和酚类物质,这些物质具有较强的络合能力及与阴离子竞争吸附点位的能力,而在其代谢过程中,会络合或消耗碱基离子,因此造成土壤酸化。

此外,土壤微生物活动分解有机质生成的有机酸和CO<sub>2</sub>以及土壤微生物的代谢活动产生的有机酸,均可导致土壤自然酸化<sup>[1]</sup>。

外源酸化主要通过人类活动所致,外源酸化加速了土壤酸化进程。当前,外源酸化因子主要包括种植制度和施肥措施。连作是种植制度表现之一,在连作过程中,由于作物吸收特性,必然造成土壤中某一种或某几种营养元素的亏缺<sup>[2]</sup>,同时会导致土壤酸化。在施肥措施中,施肥不平衡,偏施氮肥,少施甚至不施有机肥,特别是铵态氮肥的投入是最主要的酸化来源。含氮化肥的过量施用,造成了留在土壤中的根离子在硝化微生物的作用下发生硝化反应产生氢离子,从而导致土壤的酸化<sup>[3]</sup>。同时,施用氮肥后,作物的产量和生物量均增加,导致更多的碱性物质随作物的收获从土壤上移走,进一步加速土壤的酸化过程<sup>[3]</sup>。

**2 土壤酸化对土壤地力的影响**

据近年的调查结果,植烟土壤占到最适宜烤烟生长pH 5.5~6.5的比例不足40%。武陵秦巴生态区属亚热带地区,该片区土壤pH最适宜烤烟种植,土壤以黄棕壤、黄壤和红壤等为主,土壤脱硅富铁铝化严重,盐基离子淋失强烈,土壤自然酸化现象严重<sup>[4-5]</sup>,加之植烟区域由于生产条件的限制,处于长期连作状态,同时重视化学肥料的施用,忽略有机肥的使用,进一步造成植烟区土壤的酸化加剧、土传病害频发。

普遍认为,大量盐基离子的淋失、植物铝离子和锰离子积累是酸性土壤中限制植物及作物生长和发育的主要因素。铝毒害最具特征的症状是微摩尔浓度的Al<sup>3+</sup>就可以很快(几分钟)地抑制作物根的伸长生长<sup>[6]</sup>。研究表明,在根际pH从7.5下降至4.5的条件下,不同生育时期烟草的根体积、干重、根系吸收面积都呈降低趋势<sup>[7]</sup>。杨宇虹等<sup>[8]</sup>的研究结果佐证了上述观点:根际pH在7.5~5.4,烟株根系生长良好;当根际土壤pH降低至5.4时,烟株根系重量有所减少,并与土

**基金项目** 中国烟草总公司重点项目(110201902005);湖北省烟草公司科技项目(027Y2018-010)。**作者简介** 孙敬国(1981—),男,山西长治人,农艺师,博士,从事烟草营养及代谢研究。\*通信作者,高级农艺师,博士,从事烟草栽培及调制研究。**收稿日期** 2019-06-24; **修回日期** 2019-07-19

壤 pH 之间表现出显著的相关性。以上研究表明土壤 pH 对烟株生长有较为重要的影响, 较低的土壤 pH 不利于烟株根系的正常生长发育, 进而对烟株的生长产生不利影响, 表现出抑制烟株生长的现象。针对土壤 pH 低于烤烟最适宜生长范围, 采取的改土措施一般是施用生石灰、草木灰和白云石粉。魏国胜<sup>[9]</sup>对湖北烟区酸化土壤改良的研究表明在强酸性土壤中施用石灰后明显促进了烟叶的生长。张东<sup>[10]</sup>通过对重庆植烟区酸化土壤的改良后同样发现, 单施或混施石灰、草木灰和白云石粉后显著改善烤烟农艺性状, 烟株成熟期长势较好, 株高、有效叶数、各部位最大叶长、叶宽均显著高于对照组烟株长势; 降低气候病、花叶病、黑胫病等当地主要病害发生率; 推测其原因可能是由于改良酸化土壤能改善土壤环境, 提高土壤 pH, 使植烟土壤 pH 达到优质烟叶生产要求; 稳定土壤微生物群落, 细菌、真菌、放线菌数量显著增加。

生物质炭是近几年兴起的一个酸性土壤改良研究热点, 由于其有高度稳定的碳结构, 使之在土壤中可以保留几百年到上万年, 不仅可以长期提升土壤的有机质, 而且可以缓解温室效应<sup>[11]</sup>。生物炭属碱性, 研究表明, 生物炭可以提高土壤的 pH<sup>[12]</sup>, 其原因: 一方面生物炭含有较多的盐基离子, 这些盐基离子以碳酸盐或者氧化物的形式而存在, 碳酸盐或者氧化物会与氢离子发生中和反应; 另一方面, 生物炭中含有一些含氧有机官能团, 在土壤中会发生质子化作用<sup>[13]</sup>。生物炭有较多的孔隙, 自身容重比土壤小, 因此可以减小土壤的容重, 而且较大的比表面积和较高的离子交换量增加土壤的持水量以及土壤的吸附能力。官恩娜<sup>[14]</sup>研究表明生物炭除了对土壤理化性状 (pH、土壤容重、持水量) 的改良外, 对烟草黑胫病菌也有一定的抑制作用。另有研究表明, 施用生物炭可以提高土壤酶活性, 但过多的生物炭输入反而会减少土壤中微生物的数量<sup>[15]</sup>。

强还原土壤灭菌法是 21 世纪初日本和荷兰科学工作者受水旱轮作土壤具有更强抗病性这一现象的启发而建议的一种强还原土壤消毒法 (reductive soil disinfestation, RSD), 又称厌氧土壤消毒法 (anaerobic soil disinfestation, ASD) 或生物土壤消毒法 (biological soil disinfestation, BSD)<sup>[16-17]</sup>。该方法的核心是通过大量施用易分解的有机物料, 灌溉、覆膜阻止空气扩散进入土壤, 在短时间内创造强烈的土壤还原状况, 达到杀灭土传病原菌的目的<sup>[18]</sup>。研究表明, 严重酸化到 pH 为 4.35 的大棚蔬菜地土壤, 经过强烈还原处理后, pH 均大幅度提高, 随有机物料施用量的增加而升高, 最高可达 6.49<sup>[19]</sup>。同时, RSD 处理时有些有机物料在分解过程中可以释放一些对土传病原菌有致死效果的生物活性物质<sup>[20-21]</sup>, 在我国也已成功地用于防控香蕉枯萎病、花卉和蔬菜连作诱发的土传病害, 但在烟草上的引用还鲜见报道。

酸化土壤的改良过程由外源物质的添加引起 pH 的改变, 可能涉及一系列的物理化学变化, 因此要充分考虑到土壤养分状况的变化。以生石灰为例, 可能引起土壤板结, 以及土壤中磷、钾等有效性的变化, 可能对烟草生长产生一定的

影响, 因此要予以重视。另外草木灰和生物质炭可能增加土壤供钾能力, 因此也要予以正确的评价。而强还原土壤灭菌法在改变土壤氧化还原电位的同时, 也会引起土壤 pH 的变化, 是否可以发挥对土壤酸化和土传病害的双控及改良亟需进一步研究。

### 3 土壤酸化对土壤养分有效性的影响

正常作物生长对肥料种类及吸收量有一定的需求, 土壤酸化必定导致一些元素的亏缺, 从而导致作物的抗逆性及品质下降, 而作物连作是土壤酸化重要因子之一。

连作是导致土壤酸化的主要内源因子之一, 酸化导致土壤速效养分含量的下降。于广武等<sup>[22]</sup>在大豆连作研究中指出, 随着大豆连作年限增加, 土壤中速效 K、速效 N、有效 Zn 和有效 B 含量降低, 引起大豆的发育不良; 连作也导致了土壤中植物所需中、微量元素得不到供应, 致使作物出现缺素症<sup>[23]</sup>; 有研究表明, 花生连作 1 年后, 碱解氮、速效钾和速效磷含量显著下降, 连作 3 年后, 钾素下降了 16.7%, 磷素下降了 61.3%, 土壤连作在导致养分亏缺的同时, 也引起土壤 pH 的变化<sup>[24]</sup>; 同时, 随连作年限增加, 土壤出现明显变酸的趋势, 并且变酸程度逐渐扩大<sup>[25-26]</sup>。

连作在导致土壤速效养分含量降低的同时, 还引起作物对养分吸收率的下降。有研究表明, 连作 6 季后, 灰岩黄壤上种植的烟株氮、磷、钾吸收量分别比第 1 季降低了 64.58%、72.57%、51.48%<sup>[27]</sup>。连作时间越长, 土壤酸化越趋严重, 土壤养分利用率越低。邓阳春等<sup>[27]</sup>试验结果显示, 土壤有效养分的大幅度增加总体上发生在烤烟大幅度减产之后, 施入土壤的养分持续不变, 但烟株生长受到抑制, 养分吸收减少; 施入土壤的养分量大于吸收量, 但每次施肥又不能降低施肥量。刘方等<sup>[28]</sup>研究表明, 在优质烟区的施肥条件下, 烤烟长期连作后土壤有效养分出现不同程度的积累, 其大小顺序为 P>S>K>Mg>Ca。

综上所述, 大量学者对土壤中磷、钾的吸收利用进行了研究, 并取得了很多成果, 但关于土壤酸化与养分生物有效性的提高, 研究资料相对较少。因此通过土壤酸化改良, 促进土壤养分调控, 改善根际微环境和有机质, 从而促进土壤氮、磷、钾生物有效性的提高迫在眉睫。

### 4 土壤酸化对土壤碳氮代谢的影响

土壤有机碳和全氮既是衡量土壤肥力水平的重要指标, 也是土壤碳库和氮库的重要组成部分, 同时也是土壤微生物活动所必需的能源, 驱动着各种元素在土壤内部以及与外界系统进行生物地球化学循环。碳氮代谢则是协调土壤有机碳和全氮的重要生理过程, 其协调程度不仅关系土壤地力的肥效, 同时也直接影响到作物品质的优劣。只有土壤中碳氮代谢平衡协调, 才能促进土壤微生物的生长, 增强微生物活性。

在种植过程中, 由于种植制度及施肥措施的差异, 导致土壤碳、氮循环的不平衡<sup>[29]</sup>, 以及碳、氮投入增加导致土壤不足以缓冲土壤 pH 的下降, 从而引起土壤酸化<sup>[30]</sup>。土壤碳氮比是影响土壤有机物矿化过程及生物固持过程的重要因

素,是评价土壤质量水平的一个重要的指标<sup>[31]</sup>。同时,碳氮比也是衡量土壤碳、氮营养平衡状况的指标,更能全面地阐述土壤碳氮变化的特点<sup>[32]</sup>。在一定范围内(<25:1),土壤碳氮比的增加可以促进土壤微生物的活动,而当碳氮比>25时则限制微生物的活性,因此,研究改善土壤C/N对于土壤施肥及土壤地力的提高具有重要的意义<sup>[33]</sup>。

有机碳含量高时,全氮含量也高,从而使C/N趋于稳定,并且C/N值稳定程度对于土壤性状和作物生长具有重要的意义<sup>[34]</sup>。王伯仁等<sup>[35]</sup>对红壤长期不同施肥下(CK、N、NP、NPK、NPKM等)土壤碳氮比的研究发现,相同层次土壤碳氮比无显著的差异性。齐雁冰等<sup>[36]</sup>研究发现,秸秆还田、增施有机肥或减少无机氮肥,可以保证土壤的碳氮平衡,对减少氮的流失和保护环境具有积极的意义。长期不同施肥处理对土壤原状土碳氮比的影响是一个缓慢的过程,但对土壤不同组分的碳氮比有较大的影响。闫德智等<sup>[37]</sup>研究发现,单施化肥使土壤轻组有机质及颗粒有机质的碳氮比显著下降,而增施秸秆后土壤活性组分的碳氮比没有下降,这主要是由于施肥处理对土壤氮组分的影响比碳组分更大,从而使土壤活性组分的碳氮比下降<sup>[38]</sup>,Wander等<sup>[39]</sup>认为碳氮比的下降主要是因为土壤有机质中活性组分碳的损失引起的。芦思佳等<sup>[40]</sup>对黑土不同施肥下的碳氮比研究发现,CK处理的碳氮比最高,NPKM处理的碳氮比最低,并且不同组分的碳氮比从大到小依次为轻组、原状土、重组;活性组分的碳氮比易受施肥和环境的影响,而耐分解(重组)组分的碳氮比相对的稳定,因此,探究改善土壤碳氮比的变化特性对于维持土壤氮库的稳定及指导土壤地力的提升都具有重要的意义。

## 5 小结

综上所述,明确土壤酸化成因、酸化对植烟土壤地力、养分有效性和土壤碳氮代谢的影响,有助于借鉴目前已有的成熟的酸化改良技术,进行田间研究并优化相关参数、研发化学和生物学的酸化改良技术,对提升植烟土壤地力、实现烟田土壤持续健康发展具有重要的意义。

## 参考文献

- [1] 王存龙,郑伟军,王红晋,等.山东烟台环境介质中重金属元素富集特征及与酸化土壤的关系[J].岩矿测试,2012,31(2):361-369.
- [2] 郑良永,胡剑非,林昌华,等.作物连作障碍的产生及防治[J].热带农业科学,2005,25(2):58-62.
- [3] 徐仁扣,COVENTRY D R.某些农业措施对土壤酸化的影响[J].农业环境保护,2002,21(5):385-388.
- [4] 李庆远.中国红壤[M].北京:科学出版社,1983.
- [5] 熊毅,李庆远.中国土壤[M].2版.北京:科学出版社,1990.
- [6] KOCHIAN L. Identification and validation of heavy metal and radionuclide accumulating terrestrial plant species[R]. Ithaca, NY: Office of Scientific & Technical Information Technical Reports, 1995.
- [7] 陈晓燕,孙五三,李章海,等.烤烟根系合成烟碱的能力及pH值对其根系和品质的影响[J].安徽农业大学学报,2004,31(3):315-319.
- [8] 杨宇虹,冯柱安,晋艳,等.酸性土壤的烟株生长及烟叶产量调控研究[J].云南农业大学学报,2004,19(1):41-44.
- [9] 魏国胜.植烟土壤酸化机理及调控技术研究[D].北京:中国农业科学院,2014.
- [10] 张东.重庆烟区植烟土壤酸化现状及改良措施研究[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [11] LEHMANN J.A handful of carbon[J].Nature,2007,447:143-144.

- [12] VAN ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. Plant and soil, 2010, 327: 235-246.
- [13] 戴中民.生物炭对酸化土壤的改良效应与生物化学机理研究[D].杭州:浙江大学,2017.
- [14] 官恩娜.生物质炭对土壤理化性质、烤烟生长及烟草黑胫病的影响[D].北京:中国农业科学院,2016.
- [15] 陈懿,陈伟,林叶春,等.生物炭对植烟土壤微生态和烤烟生理的影响[J].应用生态学报,2015,26(12):3781-3787.
- [16] MOMMA N, KOBARA Y, UEMATSU S, et al. Development of biological soil disinfestations in Japan[J]. Applied microbiology and biotechnology, 2013, 97(9): 3801-3809.
- [17] KATASE M, KUBO C, USHIO S, et al. Nematicidal activity of volatile fatty acids generated from wheat bran in reductive soil disinfestation[J]. Nematological research, 2009, 39(2): 53-62.
- [18] 蔡祖聪,张金波,黄新琦,等.强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究[J].土壤学报,2015,52(3):469-476.
- [19] 朱同彬,孟天竹,张金波,等.强还原方法对退化设施蔬菜地土壤的修复[J].应用生态学报,2013,24(9):2619-2624.
- [20] KIRKEGAARD J A, WONG P T W, DESMARCHELIER J M. *In vitro* suppression of fungal root pathogens of cereals by Brassica tissues[J]. Plant pathology, 1996, 45(3): 593-603.
- [21] LARKIN R P, GRIFFIN T S. Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures[J]. Crop protection, 2007, 26(7): 1067-1077.
- [22] 于广武,许艳丽,刘晓冰,等.大豆连作障碍机制研究初报[J].大豆科学,1993,12(3):237-243.
- [23] 邹耀湘,梁智,张计峰,等.红枣氮磷钾及微肥配合施用效果研究[J].新疆农业科技,2009(4):69-71.
- [24] 封海胜,张思苏.花生连作对土壤及根际微生物区系的影响[J].山东农业科学,1993(1):13-15.
- [25] 喻敏,余均沃,曹培根,等.百合连作土壤养分及物理性状分析[J].土壤通报,2004,35(3):377-379.
- [26] 张辰露,孙群,叶青.连作对丹参生长的障碍效应[J].西北植物学报,2005,25(5):1029-1034.
- [27] 邓阳春,黄建国.长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响[J].植物营养与肥料科学,2010,16(4):840-845.
- [28] 刘方,卜通达,何腾兵.连作烤烟土壤养分变化分析[J].贵州农学院学报,1997,16(2):1-4.
- [29] HELYAR K R, PORTER W M. Soil acidification, its measurement and the processes involved[M]//ROBSON A D. Soil acidity and plant growth. Sydney: Academic Press, 1989.
- [30] HAYNES R J. Soil acidification induced by leguminous crops[J]. Grass and forage science, 1983, 38: 1-11.
- [31] 向艳文,郑圣先,廖育林,等.长期施肥对红壤水稻土水稳性团聚体有机碳、氮分布与储量的影响[J].中国农业科学,2009,42(7):2415-2424.
- [32] 张世文,黄元仿,苑小勇,等.县域尺度表层土壤质地空间变异与因素分析[J].中国农业科学,2011,44(6):1154-1164.
- [33] 孙文义,邵全琴,刘屹远,等.三江源典型高寒草地坡面土壤有机碳变化特征及其影响因素[J].自然资源学报,2011,26(12):2072-2087.
- [34] 徐明岗,张文菊,黄绍敏.中国土壤肥力演变[M].2版.北京:中国农业科学技术出版社,2015.
- [35] 王伯仁,李冬初,蔡泽江,等.长期不同施肥对红壤碳氮储量的影响[J].土壤通报,2011,42(4):808-811.
- [36] 齐雁冰,黄标,顾志权,等.长江三角洲典型区农田土壤碳氮比值的演变趋势及其环境意义[J].矿物岩石地球化学通报,2008,27(1):50-56.
- [37] 闫德智,王德建.长期施用化肥和秸秆对活性有机质组分的影响[J].土壤,2008,40(3):407-411.
- [38] GRAHAM S, DAS G K, HIDVEGI R J, et al. Chest radiograph abnormalities associated with tuberculosis: Reproducibility and yield of active cases[J]. International journal of tuberculosis & lung disease, 2002, 6(2): 137-142.
- [39] WANDER M, MAGDOFF F, RAY R W. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function[M]//MAGDOFF F, WEIL R R. Soil organic matter in sustainable agriculture. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004: 67-102.
- [40] 芦思佳,韩晓增,尤孟阳,等.施肥对黑土密度分组中碳、氮的影响[J].水土保持学报,2011,25(2):177-180.