

植烟土壤酸化及改良技术研究进展

张东¹, 扈强², 杜咏梅¹, 付宪奎¹, 侯小东¹, 窦玉青¹, 刘新民^{1*}

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2. 广东中烟工业有限责任公司, 广州 510610)

摘要: 土壤酸化不利于烟草生长发育, 影响优质烟叶的形成。目前我国植烟土壤酸化问题严重, 且主要集中在南部主要产烟区。鉴于此, 笔者综述了引起土壤酸化的原因、土壤酸化的机理与危害, 土壤酸化对烟草生长发育, 产质量的影响以及改良土壤酸化的主要技术, 并就土壤酸化改良技术提出了建议。

关键词: 植烟土壤; 酸化; 改良技术

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119(2013)05-0113-06

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.05.023

Advances in Acidification and Improvement of Tobacco Planting Soil

ZHANG Dong¹, HU Qiang², DU Yongmei¹, FU Xiankui¹, HOU Xiaodong¹, DOU Yuqing¹, LIU Xinmin^{1*}

(1. Tobacco Research Institute of CAAS, Qingdao 266101, China;

2. China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510610, China)

Abstract: The soil acidification not only interferes with tobacco growth and development, but also retards the formation of quality tobacco leaves. At present, the problem of soil acidification in tobacco planting regions in Southern China is severe. In view of this, we summarize the causes of soil acidification, the mechanism of soil acidification, and risk of soil acidification on tobacco growth and development, yield and quality. Improvement technique on soil acidification is also proposed in this paper.

Keywords: tobacco planting soil; acidification; improvement

土壤酸化是指土壤中盐基离子被淋失而氢离子增加、酸度增高的过程, 此过程主要由自然因素和人为因素引起。在自然条件下, 此过程是缓慢且不显著的; 但近几十年来, 人为因素造成的土壤酸化问题日趋严峻, 严重危害土壤环境质量和作物的生长发育, 造成巨大的经济损失。近年来的研究表明, 我国土壤酸化已呈严重趋势。据统计, 上世纪 80 年代之后的 20 年内, 我国酸化土地面积已达到全国耕地面积的 40% 以上^[1]。2010 年 2 月 19 日世界级杂志《科学》上指出, 由于过量施用化肥的原因, 从上世纪 80 年代早期至今, 我国各地土壤的 pH 平均下降了 0.13~0.80 个 pH 单位; 李金成等^[2]对华南地区土壤酸化现状的研究中发现, 华南地区土壤 pH 较第二次土壤普查时下降了 0.2~0.5 个 pH

单位; 钟武云等^[3]发现湖南地区土壤 pH 在 2006—2010 年间从平均的 6.4 下降到 5.9, 其中最大的下降了 2.1 个单位; 文星^[4]等进一步研究发现湖南省耕地土壤酸化面积现已占全省面积的 72.6%, 同时还有进一步酸化的趋势; 李霖等^[5]对森林土壤定点分析得出, 我国中南部地区土壤也已达极酸水平。江泽普等^[6]对广西土壤研究发现, 广西地区土壤 pH 平均只有 4.83。

良好的土壤质量是作物生长的前提, 酸化土壤会对作物生长发育产生至关重要的影响。比如土壤酸化可以活化土壤中重金属离子^[7], 从而最终影响作物品质^[8]。徐丽等^[9]对长江三角洲土壤酸化地区造成水稻中 Gd 含量达到国家标准 2 倍以上而降低食用价值的研究也得出了相似的结论。此外研究还

作者简介: 张东, 男, 硕士研究生, 研究方向为土壤酸化对烟草产质量影响及改良技术。E-mail: 405265991@qq.com

*通信作者, E-mail: yc3280965@126.com

收稿日期: 2013-01-28

发现,作物长期处于较低土壤 pH 环境下会降低作物发芽率^[10]、增加作物病害的发生率^[11]等。

烟草生长同样对植烟土壤 pH 有严格的要求,一般在 5.5~6.5 的土壤较为宜。烟草工作者研究发现,土壤 pH 过低,则不利于烟草生长发育和烟叶品质的形成^[12-14]。近年来,我国产烟地区土壤酸化日趋严重,对产烟区土壤酸化的研究也越来越受社会各界的关注。尤开勋等^[15]对湖北省宜昌市烟区土壤进行分析得出,宜昌烟产区酸性土壤面积高达 76%以上。根据全国平衡施肥普查结果显示,我国主要植烟土壤中有很大一部分土壤 pH 低于烟草最适生长 pH,以南方烟产区为主,此类植烟土壤对烟草生长和优质烟叶的生成有不利影响^[16]。笔者在此主要评述土壤酸化对烟草生长、烟叶品质的影响及土壤酸化的改良技术。

1 土壤酸化

1.1 土壤酸化的原因

土壤酸化是土壤酸度由低变高、持续不断的自然过程。引起土壤酸化的原因有很多,主要分为自然因素和人为因素两类。自然因素包括:天然酸的形成引起土壤酸度增加,如动植物呼吸产生碳酸以及动植物残体分解产生的有机酸等^[17];自然多雨条件下,降水量大大超过蒸发量,土壤溶液中的盐基离子在强烈的淋溶作用下随渗透水下移,使土壤中易溶盐减少造成土壤酸化^[18]。自然因素引起土壤酸度变化的过程及其缓慢,但人为因素却大大的加速了土壤酸化的进程,主要包括:(一)酸雨的沉降。大量酸性气体,如二氧化硫和含氮化合物等的排放导致酸雨沉降增加^[19];(二)不恰当的农业措施。如大量化学肥料特别是生理酸性肥料的施用、施用量和使用方法不当或土壤中的碱性物质因农作物收获而带走等^[20-22],都会不同程度的加速土壤酸化的进程。

1.2 土壤酸化的机理

土壤酸化过程,本质就是氢离子增加、盐基离子较少、以及铝离子水解的过程。氢离子主要来源

于水的解离、碳酸的解离、有机酸的解离等过程,此外酸性沉降及生理酸性肥料的施用也是氢离子较为重要的来源过程。随着土壤中氢离子的增多,破坏了原有的盐基平衡,氢离子替代原土壤中的盐基离子,被置换下的盐基离子随着渗透水下降而移动减少。多雨条件下的淋溶作用也会引起盐基离子的降低。氢离子的附着不利于土壤胶体中铝氧八面体的稳定,过多氢离子存在的情况下会破坏铝氧八面体,造成活性铝离子的释放。游离的铝离子根据其水解程度会产生 1~3 个氢离子,进一步加剧土壤酸化的程度。

1.3 土壤酸化的危害

土壤酸化使土壤中盐基离子减少,造成土壤贫瘠,引起土壤肥力下降。土壤酸度提高还会降低于土壤中微生物和有关酶类活性^[23-24],从而不利于植物的生长发育;土壤酸化使土壤中 H^+ 增加,净电荷减少,造成钙、镁、钾等养分离子的吸附量显著减少,使植物在生长过程中易产生缺素症等症^[25];且随着土壤 pH 的降低,矿物结构和有机络合态的锰、铝等均被激活,从而使土壤中铝离子和锰离子的大量溶出,而作物的根系吸收锰和铝的主要分布区,且很少向地面部分转移,这就会造成根尖显著膨大,没有侧根和根毛,很多为死根,出现作物中毒现象^[10],造成作物的死亡(特别是果树类作物);土壤中重金属离子的溶出造成作物吸收大量可溶性重金属离子,降低农产品品质甚至会影响动物及人的健康^[5,26];此外,酸化土壤还可以增加作物病害的发生率^[27-28],最终影响作物产量。

2 土壤酸化对烟草产量的影响

2.1 土壤酸化对烟草生长的影响

土壤酸化对作物根系的正常生长发育影响较为显著。对于烟草而言,主要影响其根系的生长。研究中发现,烟草不同生育时期的根体积、干质量、根系吸收面积在根际 pH 从 7.5 下降到 4.5 的条件下都呈降低趋势^[12],此表明土壤 pH 低不利于烟株根系的生长发育。杨宇虹^[29]等人的研究结果同样证明

了上述观点,根际 pH 在 7.5~5.4 范围内,烟株根系生长良好。当根际土壤 pH 降低到 5.4 时,<3mm 的细根系重量有所减少,并与土壤 pH 之间表现出显著的相关性。综上所述研究,说明土壤 pH 对烟株生长有较为重要的影响,较低的土壤 pH 不利于烟株的正常生长发育,土壤酸化对烟株的生长会产生不利影响,不利于其根系生长发育,进而对烟株的生长表现出抑制的现象。

2.2 土壤酸化对产量的影响

烟田土壤酸化条件下,土壤中矿质元素含量会降低^[25],土壤微生物活性受抑制^[23-24],此不利于烟株生长,进而造成烟草减产;酸化条件有利于土壤有机质的分解转化为有效态的氮,但这些有效态氮可进一步转化为硝态氮,在多雨地区很容易造成氮素淋失。硝酸还原酶(NR)是烟株中 NO₃⁻还原的限速酶,与烟株氮素的吸收密切相关。有研究发现,土壤 pH 对 NR 活性有明显的影响,土壤酸化降低了烟叶中 NR 活性^[30],不利于烟株对氮素的吸收利用,从而不利于烟草产量的形成;pH 也是影响土壤中磷的有效性的重要因素,过高或过低都会加剧对磷的固定,pH 在 5.5~7.5,磷的有效性最高,而土壤酸化条件下,磷的有效性降低^[31],也不利于烟草经济产量的形成;研究还发现,烟田酸化会加剧烟草病害的发生率^[28],进而造成烟草减产。

余涛^[13]等研究发现,土壤中有效硼含量与土壤 pH 之间存在着正相关关系,当土壤 pH 由 4.5 上升至 8.5 时,有效硼占全硼含量百分率由 0.2 上升至 1.2%,而酸性土壤对硼的吸附力减弱,在高温多雨条件下,表现出较强的淋溶损失。而林跃平等^[14]进一步研究表明,试验条件下,硼等微量元素对烟草生长过程中株高、茎围、叶数、最大叶片长宽乘积、叶片厚度等,有着不同程度的影响。因此,烟田酸化会降低土壤中硼含量并最终影响到烟草的产量。

3 土壤酸化对烟草品质的影响

烟叶中主要化学成分的含量及比值,在很大程度上影响着烟草内在质量的优劣,烟草内在质量主

要包括烟叶内各种化学成分的数量和协调性、烟叶燃烧时的香气、吃味、劲头、刺激性等^[32]。烟叶中烟碱是影响卷烟劲头的主要因素,去除过高烟碱可提高烟草品质;香味成分与烟草感官质量呈正相关;烟叶总糖、还原糖含量与烟草品质成正比;蛋白质、总氮含量与烟草品质成反比^[33]。

早在 20 世纪 80 年代,学者就对土壤 pH 与烟叶质量的关系进行了研究。结果表明,土壤 pH 与烟叶外观质量、内在化学成分和评吸质量之间均存在着不同程度的关系^[34]。根据郭培国等^[35]研究,土壤 pH 在 6.5~7.5 范围内变化时,烤后烟叶的还原糖含量适中,保持相对稳定,而超出此范围,还原糖含量则明显升高;烤后烟叶中蛋白质含量在超出最适生长 pH 范围时,随土壤 pH 的变化而下降;烤后烟叶的总氮含量基本上是随 pH 的变化而下降。寇洪萍^[36]的研究结论与其较为一致:在 pH 7.5~4.5 的范围内,随土壤 pH 的下降,烟叶的烟碱含量增加。徐晓燕等^[37]的水培研究则发现营养液土壤 pH 在 5.5~7.5 的范围内,有利于烟叶香气物质的形成,烟叶的香气吃味较好。周俊^[38]研究也表明 pH 过低的土壤,烟叶中的烟碱含量有增加的趋势,糖碱比则趋于不协调。烟田酸化造成土壤 pH 下降,引起烟草内部化学成分含量及比例不协调,从而不利于烟草品质的形成。

此外,土壤酸化条件下,土壤溶液呈酸性,提高了土壤溶液中重金属离子的活化性,加剧了烟株对金属离子的吸收,造成烟叶中重金属离子的含量较高。而烤烟吸收过多铝离子将导致叶内细胞出现毒害,形成“黑色烟草”^[39]。高水平的铁、锰含量也被认为是导致“黑色烟草”和“灰色烟叶”的主要原因^[40]。

4 改良技术

对烟田酸化土壤的改良,主要从 2 个方面开展进行:一是改变施肥方式^[41];二是酸化土壤改良,提高其 pH。将土壤 pH 控制在适宜烟株生长的最适范围,为优质烟叶提供良好的土壤环境。

4.1 改变施肥方式

4.1.1 合理施肥 据调查统计,1978—2007年近30年中,我国化肥施用量增长了1400%以上^[42],氮肥的过量施用已成为造成我国农田土壤酸化的主要原因之一^[42]。因此,农田选择氮肥时应减少酸性或生理酸性肥料的施用,选择对土壤酸化影响小的尿素、碳酸氢铵类肥料^[43]。另外,要避免单一肥料施用,防止土壤营养失衡。应在施用氮肥的基础上注意增加钾肥,补充微量元素^[44]。此外,施肥时也不是量越多越好,应做到科学施肥,以减少对环境的污染。

4.1.2 施用有机肥 有机肥可以提高土壤对酸化的缓冲能力^[1],在分解过程中能同时形成腐殖质,为土壤微生物提供良好的生活条件,土壤微生物分泌的生物酶可以破开土壤胶体吸附的氢离子,减少酸性物质形成;有机肥还可提高土壤的吸附能力。因此,适当增施有机肥,可以提高土壤缓冲能力,使土壤pH在自然条件下不会因外界条件改变而剧烈变化。

4.2 改良酸化土壤

4.2.1 传统改良剂 传统改良剂除了生石灰(或石灰粉)以外,也包括近年来广泛使用的矿物及工业副产物。酸性土壤中施用石灰可以提高土壤pH,增加养分有效性,改变土壤理化性质。董昭皆等^[45]的实验表明,对土壤酸化十分严重的地块,每667m²施用石灰100~150kg,可以快速提高pH。施用石灰同样有利于烟叶质量的提高,适量施用石灰可使烟叶总氮/烟碱值、总糖/烟碱值降低,烟叶成分较为协调,评吸质量也有所提高^[46]。沸石、白云石、粉煤灰等改良剂在土壤酸化中也得到广泛应用。如沸石可以提高土壤对铵离子、磷酸根离子和钾离子等的吸附能力;烟田土壤中施入白云石粉,土壤pH明显提高,烟叶氯含量明显降低,还原糖含量、钾/氯值明显提高,烟叶品质及协调性得到了较大的改善^[47]。由于生石灰、白云石等与土壤反应较为缓慢,因此烟田施用前要筛匀筛细,移栽前1—2个月条施、翻耕。

4.2.2 新型改良剂 近年来,石灰炭,轻烧粉作为新型改良剂逐渐引起人们的重视。郑福丽等^[48]研究发现,在闲地土壤和酸化较为严重的土壤上,施用石灰炭与轻烧灰混合各半,且用量为1%时效果最好。此外,越来越多的高技术产品也开始应用到酸化土壤改良上。如:纳米羟基磷可以吸附土壤溶液中铜离子和锌离子^[49]。此外,微生物技术也可以对酸化土壤进行改良,郭秀珠等^[50]应用某种微生物肥料改良土壤,发现它可以很好地降低土壤酸性,提高土壤速效肥力。

4.2.3 农艺措施 适宜的农艺措施,也可以有效的对酸化土壤进行一定程度的改良。张国见等^[51]通过调查拉萨不同种植类型(种粮、露天种菜、温室种菜)对土壤酸化的影响时发现,减少灌溉用水量可以有效缓解土壤酸化进程;李志勇^[52]等研究发现,可以利用香樟混交来改良酸沉降区马尾林的酸化土壤;对酸化烟田而言,可以采用免耕覆盖秸秆栽培技术或地膜覆盖技术来延缓土壤酸化。

5 展望

据统计,我国主要植烟土壤中有超过20%的土壤pH低于5.5,其主要分布在南方主产区^[16]。近年来,对于植烟土壤酸化改良技术方面的研究越来越多,对酸化土壤的控制也取得了不同程度的效果。与国外研究相比,国内比较注重模拟酸雨沉降对土壤pH影响过程或室内试验的研究,但缺乏长期室外试验定位研究,导致国内对酸雨沉降和农业措施对土壤酸化的影响程度无法准确的进行定量的分析和描述。

目前国内对酸化土壤改良技术方面的研究,主要集中在利用化学改良剂对酸化土壤进行调节方面。随着研究的不断深入,此类改良技术的弊端也日渐明朗,例如:酸性土壤中施用石灰,短期内土壤pH会有明显提高,但长时间施用则会出现复酸化现象,加剧土壤酸化;长期施用石灰还会造成土壤肥力下降,形成“石灰板结田”^[53]。此外,矿

物、工业副产物本身就带有重金属离子，虽然量很少，但长期施用仍然会存在着污染环境的风险。

有鉴于此，在对酸化烟田进行改良时，应从以下几方面入手：(1) 使用化学改良剂时要配合其他碱性肥料，如草木灰、火烧土等^[54]。(2) 提倡烟田增施优质有机肥和生物肥。此类肥料可以为土壤微生物提供良好的生长环境，利用土壤微生物对酸化土壤颗粒进行改良，使改良更加稳定有效。(3) 注重研发新型改良技术。例如研发集物理、化学、生物联合的综合改良技术；此外，烟草工作者可以选育耐酸性较强的新型烟草品种等。总之，加强对酸化植烟土壤改良，有针对性的进行预防控制，对我国烟草行业的发展有重要意义。

参考文献

- [1] 成杭新, 严光生, 沈夏初, 等. 化学定时炸弹: 中国陆地环境面临的新问题[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(1): 68-73.
- [2] 李金成, 蔺中, 林和明, 等. 华南地区土壤退化现状与预防措施研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 329-331, 418.
- [3] 钟武云. 湖南耕地质量存在的主要问题及管理立法创新[J]. 土壤, 2009(3): 356-359.
- [4] 文星, 李明德, 涂先德, 等. 湖南省耕地土壤酸化问题集改良对策[J]. 湖南农业科学, 2013(1): 56-59, 60.
- [5] 李 霁, 刘征涛, 舒俭民, 等. 中国中南部典型酸雨区森林土壤酸化现状分析[J]. 中国环境科学, 2005, 25(增刊): 77-80.
- [6] 江泽普, 韦广泼, 蒙炎成, 等. 广西红壤果园土壤酸化与调控研究[J]. 西南农业学报, 2003, 16(4): 90-94.
- [7] 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.
- [8] 熊建军, 董长勋. pH 对水稻土 Cu²⁺静电吸附于专性吸毒的影响[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2008, 24(3): 309-312.
- [9] 徐莉, 骆永明, 滕应, 等. 长江三角洲地区土壤环境质量与修复研究——废旧电子产品拆解场地周边农田土壤酸化和重金属污染特征[J]. 土壤学报, 2009(5): 833-839.
- [10] 崔兴国. 小麦、玉米种子萌发对酸雨胁迫的响应[J]. 安徽农业科学, 2010(14): 7677-7678.
- [11] 李庆军, 林 英, 李俊良, 等. 土壤 pH 和不同酸化土壤改良剂对苹果果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 209-213.
- [12] 徐晓燕, 孙五三, 李章海, 等. 烤烟根系合成烟碱的能力及 pH 对其根系和品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(3): 315-319.
- [13] 余涛, 杨忠芳, 唐金荣, 等. 湖南洞庭湖区土壤酸化及其对土壤质量的影响[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 98-104.
- [14] 林跃平, 周清明, 王业建, 等. 影响烟草生长、产量和品质的因子的研究进展[J]. 作物研究, 2006(5): 490-493.
- [15] 尤开勋, 秦拥政, 赵一博, 等. 宜昌市植烟土壤酸化特点与成因分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 2737-2739.
- [16] 尹永强, 何明雄, 邓明军, 等. 土壤酸化对土壤养分及烟叶品质的影响及改良措施[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(1): 51-54.
- [17] 田仁生, 刘厚田. 酸性土壤中铝及其植物毒性[J]. 环境科学, 1990, 11(6): 41-45.
- [18] 王宁, 李九玉, 徐仁扣, 等. 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.
- [19] 李潇潇, 夏 强, 任 立, 等. 我国土壤的酸化及改良[J]. 现代园艺, 2011(9): 156.
- [20] 许中坚, 刘广深, 俞佳栋. 氮循环的人为干扰与土壤酸化[J]. 地质地球化学, 2002, 30(2): 74-78.
- [21] 邹长明, 高菊生, 王伯仁, 等. 长期使用含硫化肥对水稻土化学性质和水稻吸收微量元素的影响[J]. 安徽技术师范学院学报, 2004, 18(1): 19-25.
- [22] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(2008)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [23] 杨海儒, 宫伟光. 不同土壤改良剂对松嫩平原盐碱土理化性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 8715-8716.
- [24] 王富国, 宋琳, 冯艳, 等. 不同种植年限酸化果园土壤微生物学性状的研究[J]. 土壤通报, 2011(1): 46-50.
- [25] 王辉, 董元华, 李德成, 等. 不同种植年限大棚蔬菜土壤养分状况研究 [J]. 土壤, 2005, 37(4): 460-464.
- [26] 张永春, 汪吉东, 陈明星, 等. 长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 465-472.
- [27] 李庆军, 林 英, 李俊良, 等. 土壤 pH 和不同酸化土壤改良剂对苹果果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 209-213.
- [28] 魏国胜, 周恒, 朱杰, 等. 土壤 pH 值对烟草根茎部病

- 害的影响. 江苏农业科学, 2011 (1) : 140-143.
- [29] 杨宇虹, 冯柱安, 晋艳, 等. 烟株生长发育及烟叶品质与土壤 pH 的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37 (增刊) : 87-91.
- [30] 韩锦峰, 汪耀富. 烟草栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002. 128-129.
- [31] 王辉, 董元华, 李德成, 等. 不同种植年限大棚蔬菜土壤养分状况研究[J]. 土壤, 2005, 37 (4) : 460-464.
- [32] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [33] 韩富根. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [34] 李念胜, 王树声. 土壤 pH 与烤烟质量[J]. 中国烟草, 1986 (2) : 12-14.
- [35] 郭培平, 陈建国, 李荣华, 等. pH 值对烤烟根系活力及烤后化学成分的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33 (1) : 39-45.
- [36] 寇洪萍. 土壤 pH 对烟草生长发育及内在品质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 1999: 22.
- [37] 徐晓燕, 孙五三, 李章海, 等. 烤烟根系合成烟碱的能力及 pH 对其根系和品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31 (3) : 315-319.
- [38] 周俊. 关于降低烟叶焦油含量的技术性探索[J]. 广西烟草, 2002 (4) : 41-42.
- [39] Lecompte S B. Studies on black tobacco. . Statistical analysis of a field crop [J]. Conn Sta Bull 1944, 448 : 114-117.
- [40] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海: 上海远东出版社, 1991: 223, 23, 281.
- [41] 邓玉龙, 张乃明. 设施土壤 pH 与有机质演变特征研究[J]. 生态环境, 2006, 15 (2) : 367-370.
- [42] Liu K H, Fang Y T, Yu F M, et al. Soil acidification in response to acid deposition in three subtropical forests of subtropical China [J]. Pedosphere, 2010(3): 399-408.
- [42] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.
- [43] 范庆锋, 张玉龙, 陈重. 保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及 pH 的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23 (1) : 103-106.
- [44] Sun Y Q, Qian H, Duan L, et al. Effects of land use patterns on soil heavy metal contents [J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(1): 159-162.
- [45] 董昭皆, 肖忠义. 荣成市土壤酸化现状及改良措施[J]. 山东农业科学, 2009 (2) : 67-68.
- [46] 熊德中, 李春英, 黄光伟, 等. 施用石灰对福建低 pH 植烟土壤的效应[J]. 中国烟草学报, 1999(1) : 25-29.
- [47] 李昱, 何春梅, 林新坚. 施用沸石、白云石对植烟土壤及烟叶品质的影响[J]. 烟草科技, 2006(4) : 50-54.
- [48] 郑福丽, 谭德水, 林海涛, 等. 酸化土壤化学改良剂的筛选[J]. 山东农业科学, 2011 (4) : 56-58.
- [49] 崔红标, 田超, 周静, 等. 纳米羟基磷灰石对重金属污染土壤 Cu/Cd 形态分布及土壤酶活性影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30 (5) : 874-880.
- [50] 郭秀珠, 黄品湖, 冯惠英, 等. 微生物菌肥在芹菜上应用试验初报[J]. 蔬菜, 2004 (11) : 33-34.
- [51] 张国见, 周忠浩, 杜树汉, 等. 拉萨市不同种植类型对土壤酸化的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25) : 13784-13785.
- [52] 李志勇, 王彦辉, 于彭涛, 等. 马尾松和香樟的抗土壤酸化能力及细根生长的差异[J]. 生态学报, 2007(12) : 5245-5253.
- [53] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 等. 温室蔬菜栽培对土壤交换性盐基离子组成的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (6) : 78-81.
- [54] 赵美微, 塔莉, 李萍. 土壤重金属污染及其防治、修复研究[J]. 北方环境, 2007 (6) : 21.