

卷烟重金属残留及其防控研究进展

易艳梅, 张帆, 张春霞 (长沙环境保护职业技术学院, 湖南长沙 410004)

摘要 卷烟中的重金属是继烟碱、焦油和农药残留之后的另一危害因子, 关系到吸烟者的安全, 与之相关的控制技术是近年来广大学者研究的热点。从卷烟中重金属离子来源及影响因子分析入手, 综述国内外卷烟重金属残留控制方面的研究进展, 讨论我国当前卷烟重金属残留控制领域存在的不足及今后研究重点。

关键词 卷烟; 重金属残留; 防控技术

中图分类号 TS41⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)10-0042-04

Advance in Cigarette Heavy Metal Residues and Its Controlling Measures

YI Yan-mei, ZHANG Fan, ZHANG Chun-xia (Changsha Environmental Protection College, Changsha, Hunan 410004)

Abstract The heavy metal in cigarette is another hazard factor in addition to nicotine, tar and pesticide, and related to smoking safety. The control technology of heavy metal residues in cigarette is becoming a hot spot in the research of many scholars in recent years. In this article, the source of heavy metal elements in cigarette and the influencing factors of heavy metal accumulation in tobacco and cigarette were analyzed. Then, research advances on current control methods in recent years were reviewed. Some problems and tendency of heavy metal residues research in China were also presented.

Key words Cigarette; Heavy metal residue; Controlling technology

烟叶是一种特殊商品, 优质、适产、高效是其生产指导方针。世界卫生组织关于吸烟与健康的问题提出, 意味着对卷烟的安全性和烟叶质量要求更高。研究表明, 烟草中的重金属, 是继烟碱、焦油和农药残留之后的另一危害因子^[1-2], 它们通过人们对卷烟的抽吸随着主流烟气进入人体而产生一定的潜在危害^[3]。卷烟重金属残留已经是世界性问题, 吸烟成为烟民遭受某些重金属危害的重要途径之一。为此, 卷烟重金属污染受烟草企业与政府部门的普遍关注, 与之相关的控制技术成为近年来广大学者研究的热点。角度不同, 研究的侧重点不一, 大体围绕“卷烟重金属污染的预防”和“卷烟重金属残留的消减”两大主题进行, 现将相关研究进展总结如下。

1 卷烟中重金属的来源研究

资料显示, 卷烟中的重金属有两大来源, 一是来自卷烟加工所用烟用材料带来的重金属残留, 二是出自烟草种植过程中对来自土壤、肥料、农药和大气中重金属的吸收, 并以后者为主。

1.1 烟用材料中的重金属 烟用材料指除烟丝外, 用以加工卷烟或包装卷烟所采用的各类物质, 包含卷烟纸、烟用丝束、烟用包装材料、烟用香精等。它们作为卷烟产品加工中不可缺少的组成部分, 对卷烟安全性起着一定的保证作用, 但其本身的安全性也将直接影响卷烟的质量。早在十几年前, 我国就有不少学者对卷烟材料中的重金属含量进行检测, 主要针对烟用香精和卷烟用纸的重金属成分及含量而开展^[4-5], 其中颜料和填料是造成卷烟用纸重金属污染的重要来源^[6], 也不排除卷烟纸纸浆材料受大气环境影响在其生长阶段就已经受到重金属污染。另外烟用胶黏剂也被检测到

含有少量铅^[7]。

1.2 烟叶生产中的重金属引入 大量研究表明, 烟叶生产中对重金属引入是引起卷烟重金属残留的重要因素, 而重金属污染植烟土壤又是导致烟叶中重金属含量显著增加的主要原因。另外, 受重金属污染的大气、水体也通过各自的途径进入烟草植株进而对烟叶造成污染。

据中国科学院应用生态研究所报道, 我国有近2 000万 hm²耕地受 Cd、As、Cr、Pb 等重金属污染, 约占总耕地面积的 20%, 但植烟耕地面积在其中所占的比例尚不清楚。目前, 人们对烟草土壤重金属安全评价大体上是针对具体植烟区进行。王树会^[8]对 79 个云南主要植烟区土壤中重金属和有机氯农药残留进行分析, 发现云南烟区所调查土壤的 Pb 含量皆未超过土壤环境质量 2 级标准, 土壤样本 Cd、Hg、As 含量超标率达 7.5%、6.3% 和 2.5%。但贵州省毕节地区岩溶环境下的烟草土壤显示出轻度-中度 Cd 污染^[9]; 杨杰等^[10]研究表明, 有 8 种重金属在湖北环神农架地区烟田存在不同程度的富集, 其中 As、Pb、Zn、Cd、Ni 富集更为明显; 李义强等^[11]的调查较为全面, 从部分重点烟叶产区(包括山东临沂、河南三门峡、四川攀枝花、福建三明、陕西安康和贵州)取土壤和对应烟叶样品进行重金属检测, 研究土壤重金属含量与烟叶重金属污染间的关系, 发现烟叶 Cd 含量直接受土壤 Cd 水平的影响, 土壤 As 水平与烟叶 As 含量存在一定的相关性, 但土壤中的 Hg、Pb、Cr、Cu 含量与它们在烟叶中的富集几乎无关。有关原料烟叶与植烟土壤中有效态重金属含量的正相关性在 Matsi 等^[12]的研究中得到证实。

烟草种植中的农业外源物(肥料、农药、灌溉水)因可能存在重金属输入被列入烟草重金属污染源的考察中。张艳玲等^[13]研究 16 种肥料对烟草土壤重金属的输入及对烟草重金属污染的影响, 发现大多数肥料都对土壤重金属有一定的输入, 只是贡献程度及贡献的重金属种类略有不同。有资料证明, 一些集约化畜禽养殖场产出的粪肥重金属富集现象严

基金项目 湖南省教育厅高等学校科研项目“重金属钝化剂的筛选及烟草除污专用肥的研制”(11C0016)。

作者简介 易艳梅(1968—), 女, 湖南怀化人, 教授, 博士, 从事农业污染土壤生物修复研究。

收稿日期 2017-12-25

重^[14]。磷肥中的重金属受产地影响较大,来自美国和摩洛哥的进口磷肥,Cd含量分别达4.0~100.0 mg/kg和10.0~24.0 mg/kg,显著高于我国磷肥中的Cd含量(0.1~2.9 mg/kg)。含As、Pb等重金属农药的施用会导致土壤相关污染加重。采用重金属污染的水灌溉,同样会使土壤重金属含量增加^[15]。另外,受工矿业、交通扬尘中部分重金属污染的大气也以颗粒沉降和降水形式对烟叶安全造成不良影响^[16],有国外学者研究认为烤烟叶片Pb和Cr的含量与降雨量呈正相关^[17]。

2 烟叶重金属残留的影响因素

2.1 产地环境

有关产地环境的安全性及烟草重金属残留之间的相关性研究已在前文阐述,但仅局限于含量之间。事实上,与烟草重金属残留相关的除了与土壤的重金属含量有关外,还与土壤中其他环境因子有关,如土壤理化性质、有机质等,其中土壤理化性质被认为是影响土壤重金属生物吸收有效性的最重要因子。有资料证明,土壤酸度与烟叶Cd、Hg含量显著负相关,与烟叶Pb含量极显著负相关,所以提高偏酸性土壤的pH能起到降低烟叶中Cd、Pb和Hg积累的效应,但对烟草Cr吸收影响不大^[18-19];据汤浪涛等^[20]报道,土烟叶中铅、铬的累积量与土壤有机质显著正相关,原因可能是提高作为交换态Pb、Cd重要来源之一的有机结合态Pb、Cd含量,但烟叶中铬含量则主要受土壤速效氮的正面影响,但其机理尚不清楚。另外黄爽等^[21]研究发现土壤黏粒质量分数影响植物对Cd的吸收,土壤类型不同,植物各器官对Cd的累积规律不同。另外,与Cd存有相似物理、化学性质的一些土壤金属阳离子,如Ca、K、Co、Cu、Ni及Pb等,它们通过作用土壤胶体对Cd的解吸关系而在某种程度上影响土壤Cd的植物可吸收性。有研究表明,土壤中Cd在烟草作物中的富集量明显受土壤阳离子交换量(CEC)的负面影响^[22-23]。

2.2 烟草品种

烟叶重金属残留还、烟草类型及品种有关。张艳玲等^[24]以我国烟叶主产地2004年产的497份烤烟和17份白肋烟为研究材料,比较烤烟与白肋烟品种中Pb、Cd、As的含量,发现白肋烟Pb、Cd的含量比烤烟高,As在2类烟中的含量高低则正好相反,并认为对于Pb、Cd、As而言,土壤生态因子和土壤元素背景值对烤烟重金属积累远大于品种。鲁黎明等^[25]通过田间试验比较红大、云97、云203和中烟103这4个烟草品种对Pb、Cd、Cr、As和Hg5种重金属元素的富集能力,发现不同品种烟草在重金属积累能力上各有千秋,其中中烟103对Pb的富集能力较强,红大对Cd和Cr的富集能力最强,分别达0.91mg/kg和1.95mg/kg,但4个品种间对As的累积力变异小,对Hg的富集能力品种间差异不明显,且都很小。刘晓^[26]用2种基因型不同的烟草品种*Nicotina tabacum* L. var. Xanthi(烤烟型)和*Nicotina tabacum* L. var. Guiyan11(香料型)作材料,研究2个品种在Cd处理土壤中对Cd的吸收差异,发现地上部分吸Cd量在品种间存在极显著差异,Guiyan11地上部分富集Cd能力明显高于Xanthi。另外,获得哺乳动物金属硫蛋白的转基因烟株叶片中Cd含

量大幅度减少^[27]。

2.3 重金属间的交互作用

烟草土壤的重金属污染往往不是单一的,它们通过拮抗或协同影响烟草对其他重金属的积累和分配。党锋等^[28]发现烟叶富集Cd量会因土壤Zn含量的上升而趋于下降。但贺远^[29]则认为只有土壤Cd和Zn都是低浓度时,Zn才表现出对Cd的拮抗,如果两者都较高,因Cd对Zn的竞争性,烟草根部吸收Cd的量反而随着Zn浓度的提高而增大。王学锋等^[30]研究表明,Pb、Cu、Zn、Mn重金属元素的共存对Cd在烟草中的富集有协同效应。此外,米艳华等^[31]研究Cd+Pb复合处理下的烟草,其根、茎吸收的Cd高于单独Cd处理的,即Pb协同烟草吸收Cd。与此同时,还发现土壤中Mn元素对Pb在烟草植株的积累也有协同作用。但刘芳等^[32]研究认为,Cd+Hg+As复合处理的不同部位烟叶Cd累积量并未呈现规律性;但Cd、Hg、Pb共同污染土壤,烟叶Hg富集量表现出一定规律性,Hg、Pb污染可以使上、中部烟叶对As的吸收降低,但增加As在下部烟叶中的累积量。

3 卷烟重金属残留的防控研究

通过以上对卷烟重金属来源及烟叶重金属污染影响因子的分析发现,卷烟重金属残留控制必须在烟草种植和卷烟加工两大环节进行,一是在源头上控制重金属的进入,二是消减重金属对烟草的污染,即预防和控制相结合。

3.1 卷烟重金属残留的源头控制

植烟土壤、农业生产资料及卷烟加工烟用材料是卷烟重金属残留的三大来源,所以相关的研究及管理措施也是围绕3个方面进行。如针对土壤重金属污染对卷烟重金属残留的影响,认为在规划环节就要对烟田土壤进行健康体检,规避土壤重金属背景值较高的区域,同时保护现有安全烟田环境,切断重金属污染废水与烟田灌溉用水联系;由于在烟草生产中广泛使用的烟草专用肥、饼肥及天然硫酸钾镁肥都被证明含有一定量的重金属,它们的非合理施用在很大程度上增加烟田土壤重金属累积风险。因此,我国烟草总公司在2013年先后发布从烟用肥料、烟用农药到烟草包衣的3个强制性标准,明确规定Hg、As、Pb、Cr、Ni和Cd等重金属在三大商品中的限量要求。

同时,为了减少卷烟在加工环节受到重金属污染,我国烟草行业标准YC 171—2002对烟用接装纸中的As和Pb的最大限量做了明确的规定($As \leq 1.0 \text{ mg/kg}$, $Pb \leq 5.0 \text{ mg/kg}$);在QB/T 1506—2004规定,烟用香精香料的重金属最大限量为40 mg/kg,As最大限量为3 mg/kg。

3.2 烟草重金属残留的消减研究

烟草行业发展与安全耕地存在的矛盾,因此,烟草的种植很难完全避开重金属污染耕地,开展烟草重金属残留的相关消减技术研究成为实现烟草安全生产的重要途径,目前的研究主要基于对植烟土壤的重金属生物有效性控制和农艺措施的调节。

3.2.1 植烟土壤重金属活性调节

烟草生长过程中对土壤重金属的积累,不仅取决于土壤中各重金属含量,而且还受其生物有效性影响。其中与土壤阴离子的结合沉淀、黏土矿物的吸附作用、土壤有机质的络合被认为是影响土壤重金属

化学行为的最主要因素,所以它们也成为人们进行土壤重金属活性调节的重要研究对象。Adamu等^[33]的研究认为,烟叶Cd和Ni富集的最主要影响因子是土壤酸碱性,土壤pH与Cd、Ni在烟叶中的富集量显著负相关。Naidu等^[34]通过对Cd污染土壤施用碱性物质如石灰(750 kg/hm²),取得减少15%土壤Cd有效态含量的效果。姜超强等^[35]在强碱性植烟土壤施用硫磺0.2~0.3 kg/m²,可显著降低烟叶Pb含量,但对As、Cd和Hg含量影响不显著。招启柏等^[36]通过向烟草土壤耕层添加黏土矿物、有机肥和活性炭等化学物质达到对Cd和Pb的固定,从而抑制烤烟对Cd和Pb的吸收;李玉磊等^[37]研究发现纳米碳能较好地减少土壤中植物可吸收态Cd含量和烟草叶片中Cd富集量。

包姣等^[38]研究认为,3种低分子量有机酸(酒石酸、柠檬酸、草酸)皆可使土壤pH下降,从而增加土壤Cd的生物有效量,但对于烟草地上部分积累Cd的影响则因有机酸的种类、用量和土壤的性质而异。酒石酸在中性土壤中对烟叶积累Cd无显著作用,在酸性土壤中如用量达到62.5 mmol/kg才有显著提高烟叶积累Cd的能力;柠檬酸在用量为31.25 mmol/kg时,其提高烟叶Cd积累则基本不受土壤酸碱性影响;而草酸在酸性土壤时,用量对其增加烟叶Cd吸收力影响甚微。由此可见,低分子有机酸对土壤重金属的活性提高是有条件的,在某个用量下甚至可以作为降低烟草Cd残留的方法。中国专利涉及一种降低Cd污染土壤所产烟叶中Cd含量的方法,即将腐殖酸水溶液(20~30 g/L)在当季烟株移栽前7~15 d按6 000~9 000 L/hm²添加到酸性土壤中,可使烟草中的Cd明显得以降低^[39]。所以因有机肥矿化过程中会分解产生低分子量有机酸和腐殖酸就认为利用有机肥改良重金属污染土壤存在一定风险的观点有待商榷。对于有机肥施用的安全性,人们可能更多地需要关注其本身重金属污染风险。

近年来,微生物作为植烟土壤的一种新型重金属改良剂逐步进入了人们的视野。华建峰等^[40]试图通过施用光合细菌来改善砷污染土壤烟叶的安全性未取得成功。AM真菌可以通过自身代谢改变土壤pH^[41-42],致使根际土壤(非)重金属形态及移动性,生物有效性发生变化,从而影响宿主植物对其吸收而受到关注。Hua等^[43]研究发现,接种AM真菌处理的根际土壤pH、土壤水溶性As含量、烟草中的As吸收量都比对照处理低。但在华建峰等^[44]的苗期试验中,接种AM菌只有在高As处理下才对烟草植株有明显的降As吸收力。但王玲^[45]研究认为,AM菌表现出较强的降低烟草积累Pb、Cd的能力,并与牛粪具有协同作用。AM菌根在不同研究中呈现出不同的结果,可能与AM菌种类、烟草品种、重金属种类有关。Janouskova等^[46]研究5种AMF对3个烟草品种Cd吸收的影响,结果发现AMF使1个品种增加,2个品种降低。因此,应用AM菌来调节植烟土壤的重金属活性,须谨慎而行。

3.2.2 烟草栽培的农艺调节。烟草重金属残留高低受烟草品种影响,人们一方面通过比较不同品种烟草中重金属残留

量发现高抗性低吸收的烟草品种,但成效不是很大。同时又借用生物技术开发新品种,如利用农杆菌介导法获得金属硫蛋白基因(MT基因)的重组烟株,其根系、茎对Cd吸收量提高,但烟叶Cd含量下降;由于烟草是一种奢侈品,考虑到产品的安全性,这种转基因烟草的种植还仅停留在实验室中。

打顶为烟草栽培的必要环节,可消除顶端优势,改变烟株的物质代谢中心,该变化有可能对植株积累重金属产生影响。陈庆园等^[47]发现初花打顶正常留叶对叶部Cd、Pb、Cr(下部叶和中部叶)有一定的调控效应。植烟土壤受Cd、Pb、Cr和Hg复合污染下,Cd、Pb和Hg在烟株内的累积量随叶位的上升而提高,但烟株内的Cr含量则呈相反的态势。同时,在大田受Cd、Pb、Hg和Cr等重金属复合污染下,覆膜处理的烟田土壤中4种重金属的含量均高于裸露处理的,不覆膜栽培的烟株下部叶和中部叶重金属含量降低,而覆膜栽培的烟株上部叶重金属累积量少,是否因为两者间与重金属吸收相关酶的活性差异导致还未可知^[48]。何莲等^[49]研究表明,外源ABA(脱落酸)的施用可改变烟草植株在Cd胁迫下(50 μmol/L)对Cd的转运系数,提高烟叶的安全性。

有机农业以一种清洁农业生产方式被引入到烟草种植中。实践证明,烟草有机种植模式是控制卷烟原料重金属的有效途径之一。多年连续种植后,不论是烟叶还是卷烟,其Pb、Cr、Cd的含量都呈下降态势^[50]。

4 总结与展望

卷烟重金属残留既受客观因素的制约,又受人为主观因素的影响。近年来,随着烟草行业对卷烟安全性重视程度的加大,关于卷烟重金属防控相关研究较多,但仍有很多领域值得深入研究。比较各类烟草重金属消减技术,其中栽培高抗性、低残留烟草品种最为简便,并不会产生生态风险,但目前筛选研究进程缓慢。另外,对各类土壤改良剂的研究一般都停留在单种改良剂的应用上,其修复效果受土壤类型和重金属种类限制较多,并且目前的改良剂剂型不利于回收,如果环境条件突然发生改变(比如南方酸雨)有可能造成其吸附的重金属大量解吸,从而使烟草安全性失去保证。因此,今后应以土壤类型和重金属污染特点为基础,根据不同改良剂的作用机理开发新型复合型改良剂,同时对改良剂的稳定性及稳定条件进行深入研究,满足烟草安全生产的要求。

参考文献

- [1] BUSH P G, MAYHEW T M, ABRAMOVICH D R, et al. A quantitative study on the effects of maternal smoking on placental morphology and cadmium concentration [J]. *Placenta*, 2000, 21(2/3): 247-256.
- [2] 杜雪晴. 卷烟主流烟气中多环芳烃、有机氯农药和重金属研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2006.
- [3] WU D, LANDSBERGER S, LARSON S M. Evaluation of elemental cadmium as a marker for environmental tobacco smoke [J]. *Environ Sci Tech*, 1995, 29(9): 2311-2316.
- [4] 廖惠云, 张映, 庄亚东. 烟用香精中重金属铅和砷的分析研究[J]. *中国烟草学报*, 2008, 14(4): 8-12.
- [5] 刘宇欣, 闫向阳, 李咏梅, 等. 卷烟烟丝及辅材中重金属元素的分析及分布特征[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2016, 39(2): 251-255.
- [6] 赵宝珍, 韩云辉, 王兴国. ICP-AES法测定水松纸颜料中10种元素[J]. *中国公共卫生*, 1998(10): 612-613.

- [7] 张灵辉,杨东亚,刘少民.微波消解-石墨炉原子吸收法测定烟用胶粘剂中的铅含量[J].畜牧与饲料科学,2010,31(2):10-11.
- [8] 王树会.云南烟区主要植烟土壤环境质量调查与评价[J].农业环境科学学报,2006,25(S2):579-581.
- [9] 谢运球,罗志鹏,孟天友,等.毕节岩溶区坡耕地烟草镉安全评价研究[J].农业环境科学学报,2011,30(5):886-892.
- [10] 杨杰,陈江华,曹仕明,等.环神农架地区植烟土壤重金属评价及其富集特征[J].中国烟草学报,2009,15(1):31-34.
- [11] 李义强,李成富,许立峰,等.我国部分烟叶产区土壤和烟叶重金属现状及相关性研究[C]//中国烟草学会2006年学术年会论文集.北京:中国烟草学会,2006.
- [12] MATSI T, TSOTSOLIS N, BARBAYIANNIS N, et al. Heavy metal and trace element levels in soils, irrigation waters and five tobacco types. Results of a 4 year survey study of the main tobacco areas of Greece and north Italy [C]. [s. l.]: Agro Phyto Groups, CORESTA Congress, 2002.
- [13] 张艳玲,张仕祥,杨杰,等.施肥对植烟土壤重金属输入的影响[J].烟草科技,2011(11):51-54,60.
- [14] 朱恩,王寓群,林天杰,等.上海地区畜禽粪便重金属污染特征研究[J].农业环境与发展,2013,30(1):90-93.
- [15] 陈新明,蔡焕杰,孙爱华,等.污水灌溉后土壤重金属汞和砷积累变化规律及对番茄的影响[J].土壤学报,2007,44(5):831-837.
- [16] 郁建桥,王霞,温丽,等.高速公路两侧土壤、气态颗粒物和树叶中重金属污染相关性研究[J].中国农业科技导报,2008,10(4):109-113.
- [17] MIELE S, OLIVIERI O, BARGIACCHI E. Monitoring and minimizing heavy metal contents in tobacco: First results of a survey on Verona's Virginia bright tobacco in Italy [C]. [s. l.]: Agro Phyto Groups, Coresta Congress, 2001.
- [18] 潘文杰,姜超英,唐远驹,等.烤烟铅镉含量及其与环境的关系[J].土壤,2007,39(3):369-374.
- [19] 王绍坤,程昌新,罗华元,等.土壤重金属处理对烤烟烟叶中 Pb, Cr, Cu, As, Cd 和 Hg 的分布与累积的影响[J].烟草化学,2013(1):39-41.
- [20] 汤浪涛,周冀衡,张一杨,等.曲靖烟区烤烟铅、铬、汞含量及其与土壤环境因子的相关性[J].烟草科技,2010(7):53-57.
- [21] 黄爽,张仁铎,张家应,等.土壤理化性质对吸附重金属镉的影响[J].灌溉排水学报,2012,31(1):19-22.
- [22] MALISSIONVAS N, KATSALIROU E. Influence of soil properties on heavy metal concentrations in soil and their uptake from tobacco plants [C]. [s. l.]: Agro Phyto Groups, CORESTA Congress, 2001.
- [23] GHNAYA T, SLAMA I, MESSEDI D. Effects of Cd^{2+} on K^+ , Ca^{2+} and N uptake in two halophytes *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*: Consequences on growth [J]. Chemosphere, 2007, 67(1):72-79.
- [24] 张艳玲,尹启生,周汉平,等.中国烟叶铅、镉、砷的含量及分布特征[J].烟草科技,2006(11):49-52.
- [25] 鲁黎明,顾会战,彭毅,等.不同品种烟草对重金属积累的动态差异[J].贵州农业科学,2013,41(4):40-43.
- [26] 刘晓.不同品种烟草忍耐镉的机制研究[D].重庆:西南大学,2007:22-24.
- [27] WAGNER G J. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health[J]. Advance in agronomy, 1993, 51:173-212.
- [28] 党锋,江荣风,夏立江. Cd、Zn 处理对烤烟生长和烟株 Cd 含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2):713-717.
- [29] 贺远.烟草重金属镉的吸收积累规律及其影响机制研究[D].北京:中国农业科学院,2014.
- [30] 王学锋,师东阳,刘淑萍,等. Cd - Pb 复合污染在土壤-烟草系统中生态效应的研究[J].土壤通报,2007,38(4):737-740.
- [31] 米艳华,陆琳,邹炳礼,等.土壤-烤烟系统重金属复合污染交互作用及其相关分析[J].江西农业学报,2012,24(1):154-157.
- [32] 刘芳,刘永军,肖桢林,等.重金属及砷复合污染对烟叶吸收积累镉、汞、铅和砷的影响[C]//西南西北片区第十四次烟草学术研讨会.西平:中国烟草学会,青海省烟草学会,2007.
- [33] ADAMU C A, MULCHI C L, BELL P F. Relationships between soil pH, clay, organic matter and CEC and heavy metal concentration in soils and tobacco [J]. Tob Sci, 1989, 33:96-100.
- [34] NAIDU R, KOOKANA R S, SUMNER M E. Cadmium sorption and transport in variable charge soils [J]. Environ Qual, 1997, 26:602-617.
- [35] 姜超强,沈嘉,郭卢,等.硫磺对碱性植烟土壤烤烟生长及烟叶重金属含量的影响[J].中国烟草科学,2013,34(5):47-51.
- [36] 招启柏,朱卫星,胡钟胜,等.改良剂对土壤重金属(Cd、Pb)的固定以及对烤烟生长影响[J].中国烟草学报,2009,15(4):26-32.
- [37] 李玉磊,梁太波,王宝林,等.纳米碳对重金属镉和铜的吸附特性及对烟草吸收重金属的影响[J].烟草科技,2016,49(1):1-7.
- [38] 包姣,韦惠琴,赵秀兰,等.低分子量有机酸强化烟草修复镉污染土壤的适用性研究[J].水土保持学报,2012,26(2):265-270.
- [39] 张艳玲,张仕祥,王健伟,等.一种降低镉污染土壤所产烟叶中镉含量的方法:CN201110237311.6[P].2012-03-21.
- [40] 华建峰,冯有智,蒋倩,等.砷污染土壤中施用光合细菌对烟草生长和砷吸收的影响[J].中国农学通报,2010,26(6):275-280.
- [41] LI X L, CHRISTIE P. Changes in soil solution Zn and pH and uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal red clover in Zn^{2+} -contaminated soil [J]. Chemosphere, 2001, 42(2):201-207.
- [42] 王发园,林先贵,尹睿.不同施铜水平下接种 AM 真菌对海州香薷根际 pH 的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(6):922-925.
- [43] HUA J F, LIN X G, YIN R, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on arsenic accumulation by tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) [J]. J Environ Sci, 2009, 21(9):1214-1220.
- [44] 华建峰,林先贵,蒋倩,等. AM 真菌对烟草砷吸收及根际 pH 的影响[J].生态环境学报,2009,18(5):1746-1752.
- [45] 王玲.丛枝菌根真菌对烟草重金属残留的影响[D].新乡:河南科技大学,2013.
- [46] JANOU ŠKOVÁ M, VOŠÁTKA M, ROSSI L, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on cadmium accumulation by different tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) types [J]. Applied soil ecology, 2007, 35:502-510.
- [47] 陈庆园,商胜华,陆宁.不同打顶方式对烤烟吸收重金属的影响[J].中国烟草学报,2011,17(2):49-53.
- [48] 陈庆园,商胜华,陆宁.覆膜栽培对烤烟重金属含量的影响[J].烟草科技,2010,45(6):68-72.
- [49] 何莲,李达,钱猛,等.2个烟草品种对镉的耐性差异及外源脱落酸对镉积累的影响[J].南京农业大学学报,2014,37(5):75-80.
- [50] 李正兵,郭怡卿,欧阳文,等.有机种植方式对卷烟原料质量安全性的影响[J].西南农业学报,2012,25(3):826-830.

科技论文写作规范——标点符号

标点符号按照 GB/T 15834—2011 执行,每个标点占 1 格(破折号占 2 格)。外文中的标点符号按照外文的规范和习惯。外文字母、阿拉伯数字、百分号等并列时,其间用“,”不用顿号“、”。注意破折号“——”、一字线“—”(浪纹线“~”)和短横线“-”的不同用法。破折号又称两字线或双连划,占 2 个字身位置;一字线占 1 个字身位置,短横线又称半字线或对开划,占半个字身位置。破折号可作文中的补充性说明(如注释、插入语等),或用于公式或图表的说明文字中。一字线“—”(浪纹线“~”)用于表示标示相关项目(如时间、地域等)的起止。例如 1949—1986 年,北京—上海特别旅客快车。参考文献范围用“-”。短横线用于连接词组,或用于连接化合物名称与其前面的符号或位序,或用于公式、表格、插图、插图、型号、样本等的编号。外文中的破折号(Dash)的字身与 m 宽,俗称 m Dash,其用法与中文中的破折号相当。外文的连接符俗称哈芬(hyphen)。其中,对开哈芬的字身为 m 字身的一半,相当于中文中范围号的用法;三开哈芬的字身为 m 字母的 1/3,相当于中文中的短横线的用法。