

烟草中重金属的分布·影响及控制措施

赵明香, 保志娟 (云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201)

摘要 介绍了重金属在烟草中的分布, 包括烟草中重金属的吸收途径, 重金属在不同器官、生育期和叶位间的分布, 重金属在烟株内的形态分布、品种和地域因素对烟草累积重金属的影响。分析了重金属对烟草的影响, 包括对种子和叶肉细胞结构的影响、对烟草酶系统的影响、对烟草光合作用和碳氮代谢的影响、对生长发育及产质量的影响。最后从修复污染土壤、农艺措施、生物工程技术几方面提出了控制措施。

关键词 重金属; 烟草; 分布; 影响; 控制措施

中图分类号 TS41⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 0517–6611(2018)07–0030–03

Distribution, Influence and Control Measures of Heavy Metals in Tobacco

ZHAO Ming-xiang, BAO Zhi-juan (College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract The distribution of heavy metals in tobacco was introduced, including heavy metal absorption pathways in tobacco, distribution of heavy metals in different organs, growth stages and leaf positions, the distribution of heavy metals in tobacco plants, the effects of varieties and geographical factors on the accumulation of heavy metals in tobacco. The effects of heavy metals on tobacco were analyzed, including the effects on seed and mesophyll cell structure, the effects on tobacco enzyme system, the effects of photosynthesis and carbon and nitrogen metabolism on tobacco growth and development, yield and quality. Finally, the control measures were put forward from aspects of the remediation of contaminated soil, agronomic measures, and biological engineering technology.

Key words Heavy metal; Tobacco; Distribution; Influence; Control measure

重金属污染主要指 Hg、Cd、Pb、Cr 及类金属 As 等生物毒性显著的元素污染。其主要来源于“三废”及农药和化肥的大量施用等。重金属在长期积累过程中会伤害植物细胞膜, 影响细胞器的结构和功能, 使光合作用、呼吸作用、生理生化活动受影响, 从而影响植株的生长发育, 最终影响产质量^[1–2]。烟草是重要的经济作物和特殊的食品, 易吸收和富集重金属, 且重金属过量会严重影响其产质量。研究表明, 每支卷烟中的 As、Cd、Cr 和 Pb 可分别达 0.17、0.86、2.35 和 0.44 $\mu\text{g/g}$ ^[3]。当抽吸烟草成品时, 烟叶中重金属通过主流烟气以气溶胶或金属氧化物的形式进入人体, 危害人体健康^[4]。降低重金属危害首先是研究烟草对重金属元素的吸收和积累规律及重金属对烟草的影响, 从而采取有效措施进行遏制。对此, 笔者从重金属在烟草中的分布、对烟草的影响及烟草中重金属含量的控制措施 3 个方面进行了综述。

1 重金属在烟草中的分布

1.1 烟草中重金属的吸收途径 重金属在烟草中的吸收、积累或毒性程度是由总量、金属离子性质、形态、结合位点竞争、植物品种等多种因素决定。烟草吸收重金属途径大致可归纳为 2 条: 一是烟株根系从土壤中吸收重金属; 二是烟叶通过呼吸作用、光合作用等从大气中吸入重金属。普遍认为, 烟叶重金属的主要来源为途径一^[5]。大多数研究认为, 我国烟叶中的重金属元素以 Pb 和 Cd 为主^[6–8]。这可能是由于土壤中 Cd 污染更普遍, 烟草主要通过根细胞吸收土壤中的 Cd^[9]。烟草根部对 Cd 的吸收累积量与茎叶中 Cd 的含量有明显的正相关性, 不同烟草品种对土壤中 Cd 的富集系数及向茎叶迁移转化的能力(根茎比)有很大差异^[10]。土壤

酸度也会影响烟叶中重金属的富集, 若土壤 pH 越高, 烟叶中 Cd 和 Ni 含量越低, 且不同土壤 pH 烟草生长地间具有较大的差异性。此外, 土壤有机碳有时也会影响烟叶对重金属的吸收^[11–12]。

另外, Miele 等^[13]研究发现, 夏季降雨能够冲洗大气和中上部叶片上的重金属, 致使烟叶中 Cd 和 Pb 的含量下降, 他们认为烟叶重金属的主要来源为大气沉降。李义强等^[14]通过分析我国部分烟叶产区土壤和烟叶重金属现状也证明大气环境条件亦是影响烟叶富含金属元素的重要因素之一。

1.2 重金属在不同器官、生育期和叶位间的分布 重金属在烟草中的累积受土壤特性、外在环境因素、人为方面的影响, 不同重金属在烟草中的分布在不同生育期、器官和叶位中有很大差别。大多数重金属在烟草中多集中在根部, 其次是茎叶中^[2, 15–18]。在无外源 Hg 胁迫下, 烟草叶片吸收 Hg 显著高于根和茎, 但添加外源 Hg 时, 烟草 Hg 含量表现为根、叶大于茎, 且偏重叶储存^[2]。贺远等^[16]研究认为, 无外源 Cd 时, 各器官中 Cd 含量从大到小依次为根、茎、叶, 加入 Cd 后, 分布则变为叶大于根和茎。

生长初期烟叶中 Cd、Pb、As 含量高于收获期和中期, Cr 表现为在生长中期积累。烟株在中期吸收 Hg 最多, 其次为收获期, 初期吸收 Hg 最少^[2]。随着烟株生长, 从团棵期到现蕾期各器官中 Pb 含量呈先降低后升高趋势, 而现蕾期到成熟期根部 Pb 含量逐渐下降^[18]。

烟叶在成熟采收前, 叶位间 Cd 含量从大到小依次为下部叶、中部叶、上部叶, 积累规律为快速升高—快速降低—缓慢升高^[16]。中部叶的 Hg 含量在生育后期最高^[19]。常思敏等^[20]研究认为, 叶片与叶脉中的 As 含量从大到小依次为茎、上部叶脉、中部叶脉、上部叶片、中部叶片(下部叶脉)、下部叶片。

1.3 重金属在烟株内的形态分布 重金属的迁移、毒性与

基金项目 国家质检总局科技计划项目(2017QK191, 2013QK071)。
作者简介 赵明香(1994—), 女, 云南保山人, 硕士研究生, 研究方向: 烟草有害物质。* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事生物大分子和烟草分析及标准研究。
收稿日期 2017–11–25

元素形态有密切关系。元素形态一般分为物理形态(如溶解态、颗粒状和胶体态等)和化学形态(如元素的价态、结合态、聚合态及其结构等)。目前的研究多集中于化学形态方面,尤其是重金属元素的初级形态(不溶态和可溶态)和次级形态(无机态和有机态)分析^[21]。重金属难溶性结合态和自由态呈现一种相互制约的关系。雷丽萍等^[22]研究发现,耐 Cd 性烟草品种中难溶性 Cd 的磷酸盐结合态及 F_{NaCl} 的比例较敏感性品种高,说明根细胞束缚难溶性结合态时,降低了自由态向植株的迁移和转运,这可能正是植株本身对胁迫产生耐性的机制之一。李彦娥等^[23]也证实了这一观点,他们采用土培试验研究了烟草中的 Cd 形态分布,发现根中 F_{HAC} 分配比率占绝对优势,茎中 F_{HAC} 降低, F_{NaCl} 增加,而在叶中, F_{NaCl} 提取态占绝对优势。叶片中的 Cd 多富集在蛋白质周围,这也是烟草叶 Cd 含量高于根、茎,而受害症状较根轻的原因之一。但贺远等^[24]在 Cd^{2+} 的水培试验中发现,烟草根系中 Cd 以去离子水提取态为主,其次为醋酸提取态,叶片中 Cd 主要以醋酸结合态存在。Cd 处理浓度升高时,烟草中 Cd 由活性弱的化学形态向活性强的形态转化。李登科等^[25-26]研究发现,烟草中 Cr(VI) 的含量高于 Cr(III) 的含量,无机态的亚硒酸根与硒酸根含量较高,而有机态的硒中甲基硒代半胱氨酸含量相对较高。烟草中 As 含量低,且部分以低毒的二甲基砷酸和甲基砷酸形式存在^[27]。

另外,植株吸收重金属取决于金属离子在溶液中的游离态活度大小。减少植株对重金属的吸收可通过使用螯合剂 EDTA 等降低游离态离子的活度等途径^[28]。最近研究发现,植物螯合肽(PCS)及富含巯基的有机络合剂可以明显促进植株木质部的 Cd 向地上部分的运输,但这种再分配机制(根比)与烟草基因型差异及 Cd 浓度有很大关系^[11]。

1.4 品种和地域因素对烟草累积重金属的影响 不同烟草类型和品种吸收积累重金属的含量不同。香料烟较烤烟和白肋烟而言对 Cd 和 Pb 的吸收积累量低。烤烟中 As 含量比白肋烟高,但 Cd 和 Pb 含量比白肋烟低^[29]。蔡海林等^[30]研究发现,基因蛋白活性差异是导致不同烟草品种 Cd 积累差异的重要原因。但有研究者发现,地域差异、环境变化影响对重金属含量的差异比烟叶部位、品种造成的差异影响大。北方烟区的 Pb 和 Cd 含量低于南方烟区,可能是由于重金属在酸性土壤中溶解度高,导致离子有效性较高^[9]。

2 重金属对烟草的影响

2.1 对种子和叶肉细胞结构的影响 重金属对烟草种子的发芽势和发芽率影响存在剂量关系,不同重金属的影响阈值不同。在 Pb^{2+} 浓度为 100 mg/L 时无明显影响,之后发芽势和发芽率随着 Pb^{2+} 浓度的增加而降低,抑制作用逐渐加强^[1]。 Cd^{2+} 浓度大于 16 mg/L 时,烟草种子发芽率明显受到抑制^[31]。重金属对烟叶叶肉细胞的亚显微结构有较强的损伤和诱变作用,破坏烟草细胞膜选择透性机能、细胞内酶和代谢作用原有的区域性^[4]。高浓度 Cd^{2+} (50 mmol/m³) 可显著降低细胞的成活性^[32]。

2.2 对烟草酶系统的影响 重金属离子进入烟株后会与生

物大分子上的活性点位或非活性点位结合^[33],改变生物大分子(酶)的生理代谢功能,使生理活动受限。马新明等^[34]研究表明,ATP 酶活性随着 Cd^{2+} 浓度的升高而降低。在土壤中 Pb^{2+} 浓度为 150 mg/kg 时,烟草根与叶中的 ATP 酶活性达到最大,此后随着 Pb^{2+} 浓度的升高而逐渐降低。重金属胁迫下,活性氧自由基代谢失衡,MDA 含量上升,膜脂过氧化程度加剧;SOD 活性对重金属存在剂量效应,即低浓度促进,高浓度抑制,而 CAT 活性逐渐降低,POD 活性不断增加。土壤中 Pb 和 Hg 存在着一定的协同作用,共同对叶绿素和 POD 活性产生影响^[35]。

2.3 对烟草光合作用和碳氮代谢的影响 烟叶中的叶绿素含量、叶绿素 a/b 值会在重金属胁迫时明显降低,且光合结构受到一定损伤。Cd 能破坏光合色素的合成,引起光合速率降低,影响 PS II 活力,缩短有效光合作用时段^[36]。且重金属协同作用对光合作用的影响大于单一元素作用^[37]。重金属通过影响葡萄糖酶、淀粉酶等碳代谢相关酶的活性,最终影响糖类合成。Sigfridsson 等^[36]研究发现,Cd 会抑制 RuBP 羧化酶活性,导致糖含量降低。随着 Cr 浓度的升高,淀粉和可溶性糖含量呈明显下降趋势^[17]。重金属 Cd 和 Cr 能影响烟叶硝酸还原酶(NR)活性,减少氮的吸收及转运,引起氮代谢变化,最终影响烟草品质^[17,38]。

2.4 对烟草生长发育及产质量的影响 普遍认为,烟草的生长在受到重金属胁迫时,会表现出低促高抑的现象,不同重金属元素表现出不同的浓度临界点。Cd 浓度超过一定阈值时会使植株矮小,叶面积系数下降,且褪绿,叶片蒸腾拉力大幅减小,导致植株对营养元素的吸收能力下降,明显降低烟草植株体内 K、P、Ca 等矿物质含量^[39-40]。并且随着重金属浓度的增大,烟草中脯氨酸含量增加,直接影响蛋白质的含量变化^[41]。烟草根系的生长对重金属胁迫存在一定剂量关系,在一定范围内重金属可增加根重,超过一定范围,根尖损伤,根冠变短,根的生长和伸长变慢甚至停止,根长、鲜重和干重总趋势均下降^[42]。重金属胁迫还会影响植株根系分泌物种类和数量,进而使植物的解毒能力降低^[43]。

3 控制措施

3.1 对污染土壤进行修复 土壤重金属治理修复途径有 2 个:一是去除法,即将重金属从土壤中转移;二是稳定化,即改变土壤中重金属的形态和离子活度,降低毒性。目前,较有效的物理化学修复技术是施用土壤改良剂。常见的改良剂有无机改良剂(石灰、黏土矿物类、工业副产品类)、生物炭、有机肥、有益微生物制剂等。通过添加这些改良物可使植烟土壤中的环境发生变化,改变重金属价态和活性,减少生物可利用部分,降低其在烟草中的移动性和毒性。Adamu 等^[12]采用提高土壤 pH 的方法来降低烟叶中 Cd 和 Ni 的积累,但是该方法对 Pb 无影响。李玉磊等^[44]研究发现,使用纳米碳能降低土壤有效态 Cd 含量及烟叶中 Cd 含量。此外,也可以采用生物修复技术(植物修复、微生物修复和动物修复)等来降低土壤中的重金属含量^[45]。

3.2 农艺措施降低重金属含量 因不同类型、品种对重金

属的反应不同,可根据当地生态条件和田间管理技术选择对重金属具有高抗性、低积累性且优质的新品种进行种植。也可以采用间作或轮作方式,把烟草与另一种重金属吸附能力强的超富集植物一起进行种植。饶智等^[46]研究表明,在烟株旺长期,间作对土壤和烟叶中部分重金属含量的影响差异显著,间作青豆与甘薯控制 Hg 含量和间作红薯与青豆控制 Cd 含量的效果较好。

重金属会随着磷肥施入量的增大而增加,有研究表明其对主要重金属的贡献率高达 50% 以上^[47]。烟草专用肥中含有较多 Cr 和 As,天然硫酸钾镁肥和磷肥含有较高的 Cd^[48]。碳酸钙能显著减少烟草根、茎、叶中的 Cd 积累量^[49-50]。周乾^[51]研究表明,不同配方重金属营养剂能显著降低下部烟叶重金属 Pb、Cd、Cu 的含量。因此,掌握测土配方施肥、精准施肥、合理施肥对降低烟草中的重金属含量有重大意义。

3.3 生物工程技术的应用 应用生物技术降低重金属是一个重要的研究方向。利用烟草植物螯合肽合成酶(ntpcs1)对 Cd 和 As 具有耐受性的特点,人们已利用该酶开发转基因修复植物^[52-54]。利用不同基因型对重金属的积累与分配存在显著差异,可筛选对重金属有一定抗性的烟草新品种,但由于区域污染对烤烟重金属的积累影响更大,品种筛选和种植控制重金属含量的效果不佳。有研究表明^[9],通过生物技术改变烟草体内的代谢基因可控制烟草叶片的重金属含量,如利用转金属硫蛋白可以减少烟草对 Cd 的积累。土壤中的真菌及共生菌根对 Cd 的生物有效性有较大影响,如有些真菌的残体可以作为土壤中 Cd 的有效吸附剂,从而降低土壤 Cd 的有效性^[23]。金慧清等^[55]采用镰刀菌菌株 YCEF005 和棘壳孢菌菌株 YCEF191 等内生菌剂能显著减少烟叶中 Cd²⁺、As³⁺、Pb²⁺ 的含量。刘宏玉^[11]使用分离自烟草的 4 个株内生真菌菌株处理后,烟草叶片中的 Cd 含量下降 14.3% ~ 27.1%。目前,由于内生真菌处理烟苗的措施较复杂,该项技术还需要进行优化,才能向生产实际转化。

4 结语

烟草重金属是影响烟叶安全性的重要因素之一。目前,关于重金属对烟草的影响研究较多,但仍有很多领域需要进一步研究。

(1) 目前大部分研究集中在烟草部位、器官对重金属的吸收积累及剂量和效应之间的相互作用,关于烟草是如何吸收重金属及改变品质的分子机制和途径的研究甚少,如果清楚吸收分子机制,那么通过添加药物等阻断措施不失为一种很好的控制方法。

(2) 当前对重金属在烟株中的分布研究主要集中在烟叶中重金属的总量检测方面,但对形态分布和不同形态对烟草的影响和烟气转移的研究较少^[56],而且多数研究仅局限于 Cd。不同元素和重金属作用,可能会加强或减缓重金属对烟草的毒性,尤其对于有益元素和金属元素的联合作用研究也很少,这方面研究仍有待加强。

(3) 利用生物技术降低烟草中的重金属正在成为烟草减害研究中一个新的热门课题,但很多科研成果仅处于实

验室阶段,如何推广应用是亟待解决的问题。基因编辑技术是近年来发展起来的可以对基因组完成精确修饰的一种技术,它具有极其广泛的发展前景和应用价值。目前,该项技术在烟草中的应用不多,随着烟草基因研究工作的推进,利用基因编辑技术来控制烟草重金属污染问题将是一大研究热点。

参考文献

- [1] 肖艳霞. 几种重金属对烟草生长发育的影响[J]. 吉林农业, 2016, 49(4): 120.
- [2] 魏益华, 何俊海, 冯小虎, 等. 土壤重金属处理对烟草中 As、Cd、Hg 和 Pb 的累积与分布的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 22(1): 47-54.
- [3] CARUSO R V, O'CONNOR R J, STEPHENS W E, et al. Toxic metal concentrations in cigarettes obtained from U.S. smokers in 2009: Results from the international tobacco control (ITC) United States survey cohort[J]. International journal of environmental research and public health, 2014, 11(1): 202-217.
- [4] 郎思曼, 王龙宪, 许自成, 等. 烟草对重金属的吸收分布特征及影响因素研究综述[J]. 江西农业学报, 2012, 24(11): 93-99.
- [5] 张玉涛, 杨兴平, 李琳, 等. 重金属 Pb、Cr、Cd 对烟草生长的影响及其分布规律[J]. 南方农业学报, 2012, 43(11): 1697-1702.
- [6] 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, 39(11): 49-52, 57.
- [7] 陈丽娟, 周冀衡, 李强, 等. 镉对烟草的毒害及烟草抗镉机理研究进展[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(6): 93-97.
- [8] 余建飞, 彭军. 烟草对 Pd、Cd 的吸收分配与主要田间消减措施研究进展[J]. 现代农业科技, 2014(22): 197-198.
- [9] 曾德武, 李帆, 赵建武, 等. 烟草重金属污染及其防控措施研究进展[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(1): 127-132.
- [10] 雷丽萍, 陈世宝, 夏振远, 等. 烟草对污染土壤中镉胁迫的相应机制及影响因素研究进展[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(4): 87-93.
- [11] 刘宏玉. 烟草内生真菌多样性及促生和抗重金属菌株的筛选[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [12] 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]. Tobacco science, 1989, 33: 96-100.
- [13] MIELE S, OLIVIERI O, BARGIACCHI E. Monitoring and minimizing heavy metal contents in tobacco[C]//First results of a survey on Verona's Virginia bright tobacco in Italy. Kyoto: Agro-Phyto Groups, CORESTA Congress, 2001.
- [14] 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, 2007.
- [15] 徐照丽, 吴玉萍, 杨宇虹, 等. 不同重金属在烤烟中的累积分配特征研究[J]. 环境科学导刊, 2007, 26(1): 7-10.
- [16] 贺远, 刘海伟, 石屹, 等. 镉在烟草中的累积分配及其对烟草生长的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(2): 99-104.
- [17] 张华. 镉胁迫对烤烟生理特性和品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006.
- [18] 颜奕华, 郑子成, 李廷轩, 等. 烟草对土壤铅的吸收、转运及分配特征[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(11): 2151-2158.
- [19] 鲁黎明, 顾会战, 彭毅, 等. 烟草对重金属铅铬砷汞积累分配特性分析[J]. 华北农学报, 2013, 28(S1): 366-370.
- [20] 常思敏, 贾东坡, 田志强, 等. 不同施砷量对烤烟砷吸收、积累及分布的影响[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(5): 486-489.
- [21] 范允. 烟叶中重金属元素的形态分析研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [22] 雷丽萍, 刘彬, 陈世宝, 等. 不同烟草对 Cd 吸收的敏感性分布及烟草中 Cd 的结合形态[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(10): 1858-1864.
- [23] 李彦娥, 赵秀兰. 镉胁迫下不同品种烟草镉化学形态分布研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(16): 69-73.
- [24] 贺远, 吕耀印, 贾涛, 等. 烟草对镉的吸收积累特性及镉的化学形态分布[J]. 烟草科技, 2017, 50(2): 9-14.
- [25] 李登科, 范国樑, 姚鹤鸣, 等. HPLC-ICP-MS 联用技术用于烟草中铬的形态分析研究[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(2): 1-7.
- [26] 李登科, 范国樑, 叶鸿宇, 等. 高效液相色谱-电感耦合等离子质谱分析烟草中硒形态[J]. 分析科学学报, 2016, 32(6): 836-840.



图 13 火车工人检修雕塑

Fig. 13 Train workers maintenance

背景及基础,如展现地域性植物景观的群力丁香公园;以历史文化景观为地域心理文化的直接显示,如基于金源文化的雨阳公园,体现铁路文化的中东铁路公园。城市地域文化景观并不是某一个单独的片段或场景,而是一个动态的复杂综合体。在深入剖析景观文化要素之后,需要在庞杂多样的信息中分类梳理不同的景观文化类型,提取各个文化要素的主要特征,从而挖掘出人们自然景观的认知,唤起人们传承历史文化的意识,并将其最终沉淀为一种能代表地域特色的城市景观^[1]。

(上接第 32 页)

- [27] 张建平,刘秀彩,黄朝章,等.烟草及其制品中砷的形态分析[J].烟草科技,2013(6):53-56.
- [28] 罗春玲,沈振国.植物对重金属的吸收和分布[J].植物学通报,2003,20(1):59-66.
- [29] LUGON MOULIN N, MARTIN F, KRAUSS M R, et al. Survey on cadmium concentration in flue-cured, burley and Oriental tobacco (*Nicotiana tabacum*) leaves [C]. Kyoto: Agro-Phyto Groups, CORESTA Congress, 2005.
- [30] 蔡海林,李帆,曾维爱,等. *NtNramp1* 基因参与不同镉积累基因型烟草品种镉积累差异的功能解析[J].中国烟草学报,2017,23(4):84-91.
- [31] 王树会,王红珍.重金属镉对烟草种子发芽和出苗的影响[J].农业网络信息,2006(10):119-120.
- [32] FOJTOVA M, KOVARIK A. Genotoxic effect of cadmium is associated with apoptotic changes in tobacco cells[J]. Plant cell environment, 2000, 23(5):531-537.
- [33] 袁祖丽,马新明,韩锦峰,等.镉胁迫对烟草营养器官发育及矿物质元素的影响[J].河南科学,2005,23(5):679-682.
- [34] 马新明,李春明,刘海涛,等. Cd、Pb 污染对烤烟 ATP 酶活性及烟叶品质的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(2):708-712.
- [35] 严重玲,林鹏,王晓蓉.烟草叶片膜保护酶系统对土壤 Hg, Cd, Pb 胁迫的响应[J].实验生物学报,2002,35(2):170-174.
- [36] SIGFRIDSSON K G V, BERNÁT G, MAMEDOV F, et al. Molecular interference of Cd²⁺ with Photosystem II[J]. Biochimica et biophysica acta, 2004, 1659(1):19-31.
- [37] 陈鹏. Zn、Cd、Pb 在烟株内的积累及对烟草某些生理生化指标的影响[J].科技信息,2009(25):369-370.
- [38] 王海龙,李小平.重金属污染对烟草生理生化和结构的影响[J].楚雄师范学院学报,2006,21(9):39-45.
- [39] LÓPEZ-CLIMENT M F, ARBONA V, PÉREZ-CLEMENT R M. Effects of cadmium on gas exchange and phytohormone contents in citrus[J]. Biol Plant, 2011, 55(1):187-190.
- [40] WÓJCIK M, TUKIENDORF A. Glutathione in adaptation of *Arabidopsis thaliana* to cadmium stress[J]. Biologia plantarum, 2011, 55(1):125-132.
- [41] 张浩,陆宁,钱晓刚,等.不同类型土壤重金属胁迫对烟叶脯氨酸含量的影响[J].贵州农业科学,2014,42(1):127-131.
- [42] 贺远.烟草重金属镉的吸收累积规律及其影响机制研究[D].北京:中

4 结语

“地域不仅是一种文化形态,其本身就代表着文化”^[5]。在建造城市景观时,要考虑其气候环境、自然环境特色,同时还需要结合地方的历史文化、风俗习惯等,将具有传承、保护和重生等特征的地域性文化贯穿在城市景观的构建中,与市民的生活紧密融合,带动人们的参与性,增强人们的认知性,在游玩中感知历史、感受文化,具有一定的、文化传承的教育意义^[6-8]。

参考文献

- [1] 胡立辉,李树华,刘剑,等.乡土景观符号的提取与其在乡土景观中的应用[J].北京园林,2009,24(1):8-13.
- [2] 何晓晨.保定市公园地域特色研究[D].保定:河北农业大学,2013:5-8.
- [3] 李秀.文化传承视角下街道景观特色营造技术探索:以曲塘镇曲水路景观设计为例[J].小城镇建设,2017(5):81-86.
- [4] 陆翔,王其明.北京四合院[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [5] 杨宛迪.城市文化景观地域特色的探寻·保护·发展[D].天津:天津大学,2011:17-19.
- [6] 张莉.地域性文化在景观设计中的应用初探:以芜湖湖兹广场景观设计为例[J].辽宁广播电视大学学报,2015(1):97-98.
- [7] 王晶.地域性文化在景观中的运用与发展研究:以西安市为例[J].现代园艺,2013(2):122.
- [8] 孟晓惠,季嘉龙,徐进.地域性文化符号在景观设计中应用模式研究[J].科教文汇,2012(34):141-142.
- 国农业科学院,2014.
- [43] 包姣,韦惠琴,赵秀兰.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.
- [44] 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.
- [45] 郭亚利,刘锦华,王仕海.植烟土壤保育及改良技术的研究进展[J].贵州农业科学,2016,44(4):79-85.
- [46] 饶智,罗华元,杨应明,等.不同间作方式对烤烟生长及烟叶重金属含量的影响[J].安徽农业科学,2016,44(22):40-43.
- [47] 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,2010,43(11):51-54,60.
- [48] 武小净,李德成,庄云,等.山东省典型烟区烟叶重金属的外源调查[J].土壤,2013,45(3):513-516.
- [49] 晏哲,高志强,罗真华,等.不同钾肥对几种烟草吸收累积土壤镉的影响[J].环境化学,2016,35(9):1913-1920.
- [50] ZENG W A, LI F, ZHOU H, et al. Effect of calcium carbonate on cadmium and nutrients uptake in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) planted on contaminated soil[J]. Journal of environmental biology, 2016, 37(1):163-168.
- [51] 周乾.专用营养剂对烟草重金属含量的开发及应用研究[J].现代农业科技,2016(3):24-25.
- [52] SHUKLA D, KESARI R, MISHRA S, et al. Expression of phytochelatin synthase from aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. enhances cadmium and arsenic accumulation in tobacco [J]. Plant cell reports, 2012, 31(9):1687-1699.
- [53] BYOUNG D L, SEONGBIN H. Tobacco phytochelatin synthase (NtPCS1) plays important roles in cadmium and arsenic tolerance and in early plant development in tobacco [J]. Plant biotechnology reports, 2015, 9(3):107-114.
- [54] THAKUR S, SINGH L, WAHID Z A, et al. Plant-driven removal of heavy metals from soil: Uptake, translocation, tolerance mechanism, challenges, and future perspectives [J]. Environmental monitoring and assessment, 2016, 188(4):1-11.
- [55] 金慧清,程昌合,徐清泉,等.烟草内生真菌对烟草生长和烟叶重金属含量的影响[J].菌物学报,2017,26(2):187-193.
- [56] 周茂忠,张悠金,姚鹤鸣,等.卷烟主流烟气重金属迁移率与烟叶中重金属不同形态之间的关系研究[J].中国烟草学报,2017,23(2):1-12.