

重金属及砷复合污染对烟叶吸收积累 镉、汞、铅和砷的影响

刘芳¹ 刘永军³ 肖桢林¹ 孟德仁¹ 袁术峰¹ 李永忠² 文国松²

(1、云南省曲靖市烟草公司师宗分公司 云南 师宗 655700;

2、云南农业大学 云南 昆明 6502011;

3、云南省曲靖市烟草公司 云南 曲靖 655000)

摘要 本文通过烤烟外源重金属污染这一措施开展了不同重金属处理对烟叶重金属残留的影响研究。结果表明：在低浓度处理时，烟叶重金属残留量表现出下部叶>中部叶>上部叶的规律，随复合处理浓度的增加，上部烟叶重金属残留量所占比例逐渐增大，而中部烟叶重金属残留量所占比例逐渐减小，下部烟叶重金属残留量所占比例基本不变。

关键词 重金属 砷 复合污染 烟叶 残留

多年来烟草重金属残留量、迁移及控制一直是广大烟草科技工作者关注的热点问题，研究证实，吸烟已成为烟民一些重金属的主要来源之一，镉尤其如此^[1-2]，甚至有人提出可以将镉作为环境烟气的评价指标^[3]。烟叶对重金属吸收有它的规律性，烟草是镉的积累种，成熟烟株中，镉几乎在烟叶中平均分布，根中最低，在烟草各器官中的积累顺序为叶或茎>根>种子，铅则以根中最高，下部叶最低，其积累序列为根>茎>叶，进一步说明烟草是镉污染的敏感作物，而对铅不敏感。放射自显影显示，镉在叶片中的分布以主脉最多，侧脉次之，叶肉部分最少。铅能增加烟草根系中镉的含量和比例，但能降低镉在叶片中的积累^[4-5]。随着耕地环境的日益变化，土壤中重金属残留存在种类多样化，为此开展不同重金属处理对烟叶重金属残留及土壤性状的影响意义重大，为了解各重金属相互作用规律、烟叶在不同重金属污染状态下重金属残留规律及环境镉、汞、铅和砷污染防治提供理论依据，为烟叶重金属残留限量标准的制定及烟叶生产可持续发展提供技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

本试验供试品种为 K326，试验于 2006 年 2 月~11 月进行，试验地选择在云南农业大学试验农场，土壤为红壤土，土壤农化性状见表 1。

表 1 供试土壤性状

Tab.1 Agrochemical Properties of Soil Used for Trail

pH	有机质 %	As mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Cd mg/kg
6.7	6.48	12.99	0.18	40.90	0.20

1.2 试验设计

本试验采用随机区组设计，17 个处理，3 次重复，51 个小区，共计烟株 2040 棵。各处理重金属浓度配制情况见表 2。

表 2 各处理重金属添加浓度 (mg/kg)

Tab.2 The ions concentration of heavy metal under all treatment series

重金属组合	浓 度			
Cd+Hg+Pb	10+10+100	30+30+100	50+50+100	100+100+100
Cd+Hg+As	10+10+10	30+30+20	50+50+40	100+100+80
Hg+Pb+As	10+100+10	30+300+20	50+500+40	100+1000+80
Cd+Pb+As	10+100+10	30+300+20	50+500+40	100+1000+80
CK	0+0+0			

各处理以浇灌的形式分两次进行，第一次于 2007 年 6 月 7 日进行，第二次于 2007 年 7 月 27 日进行。按照优质烤烟生产技术进行大田管理。待烟叶成熟，分下、中、上部叶依次采摘烘烤（按优质烤烟烘烤程序烘烤）。烤后分处理和部位保存烟样，进行烟叶重金属含量测定。

1.3 测试项目及方法

烟叶铅、镉含量采用干灰化，加入等量的硝酸溶解硝化，原子吸收分光光度法分别按照 GB/T 5009.12、GB/T 5009.15 标准测定；烟叶汞含量采用硝酸、硫酸消解，冷原子吸收法，按 GB/T 5009.17 标准测定；烟叶砷含量采用二乙基二硫代氨基甲酸银比色法，按 GB/T 5009.11 标准测定。

2 结果与分析

2.1 重金属及砷复合污染对烟叶吸收积累镉的影响

如图 1 所示，各处理烟叶镉残留量普遍表现出：下部叶>中部叶>上部叶的趋势，其中下部叶镉残留最大、最小残留量分别为 13.57 mg/kg、1.40 mg/kg，中部叶镉残留量在 0.62~3.18 mg/kg 之间变化，上部叶镉残留量在 0.26~2.85 mg/kg 范围内。17 个处理中，组合 Cd+Hg+As 中不同部位烟叶镉残留量呈现出不规律变化，在低浓度情况下：下部叶>上部叶>中部叶，在高浓度情况下：下部叶>中部叶>上部叶。说明在镉、汞、砷污染同时存在时，低浓度组合的处理可能在一定程度促进上部叶的生长，重金属镉离子易从中部烟叶转移到上部烟叶，而随着处理浓度的增加中部叶与上部叶镉残留量差距越来越小，直到中部叶镉残留量大于上部叶镉残留量。Cd+Hg+As 处理和 Cd+Hg+Pb 处理中，镉、汞污染同时存在时各部位烟叶镉残留量较其它处理对应部位镉残留量都要小，可能与镉、汞之间存在竞争关系有关。Cd+Pb+As 处理中，当镉、铅、砷污染同时存在时，下部叶镉残留量占烟叶总镉残留量的比重明显增大，低浓度处理时：下部叶>中部叶>上部叶，随着组合浓度的增大上部烟叶镉残留量逐渐增大，而中部叶镉残留量基本保持不变。可能是在高浓度组合处理情况下，烟叶生长前期受到很大影响，随着生长发育的成熟，上部烟叶逐步表现出生长优势，可移动的镉离子从土壤中通过根系的吸收直接运输并在上部叶中积累，从而导致上部叶镉残留量逐渐增加。所有处理中部烟叶镉残留量均大于对照中部烟叶镉残留量，说明烤烟中部烟叶镉残留量随土壤中有效镉浓度的增加而有不同程度的增加。

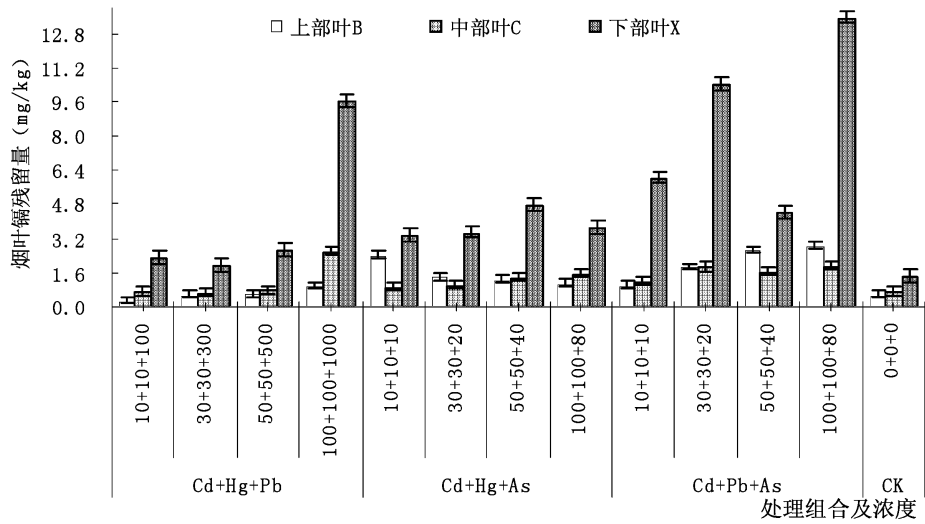


图 1 不同组合处理各部位烟叶镉残留量

Fig.1 The tobacco leaves Cd residues of different density of different treat

2.2 重金属及砷复合污染对烟叶吸收积累汞的影响

如图 2 所示，上部烟叶汞残留量与对照相比，对照汞残留量为 0.12 mg/kg，处理 Cd+Hg+As (50+50+40) 残留量为 0.01 mg/kg，比对照下降 91.67%，其它处理上部叶汞残留量在 0.13~0.78 mg/kg 范围内。对照上部烟叶汞残留量占烟叶汞残留量 9%，其它处理上部叶汞残留量占烟叶汞残留量在 1%~25% 范围之间。当汞、铅、砷污染同时存在时，随着处理浓度的增加，上部叶汞残留量所占的比例逐渐变小，可能是处理浓度增加影响烟株营养成分的运输和积累，导致烟株上部叶生长发育受到限制，土壤中高浓度的汞离子无法保持向烟株上部迁移。

各处理中部烟叶汞残留量与对照相比，Cd+Hg+Pb 处理中，当处理浓度很低 (10+10+100) 或者是很高 (100+100+1000) 的情况下中部烟叶汞残留量比对照中部叶汞残留量分别高出 64.51% 和 151.6%，所占比例分别为 34% 和 40%，而在处理浓度介于两者之间时，中部烟叶汞残留量分别只占 7% 和 9%。Cd+Hg+As 处理中，随着处理浓度的增加中部叶汞残留量先增加然后逐步下降，当处理浓度组合为 (10+10+10) 时中部叶汞残留量占 4%，当处理浓度达到 (100+100+80) 时，中部叶汞残留量占 3%，可能是处理浓度低时烟株前期长

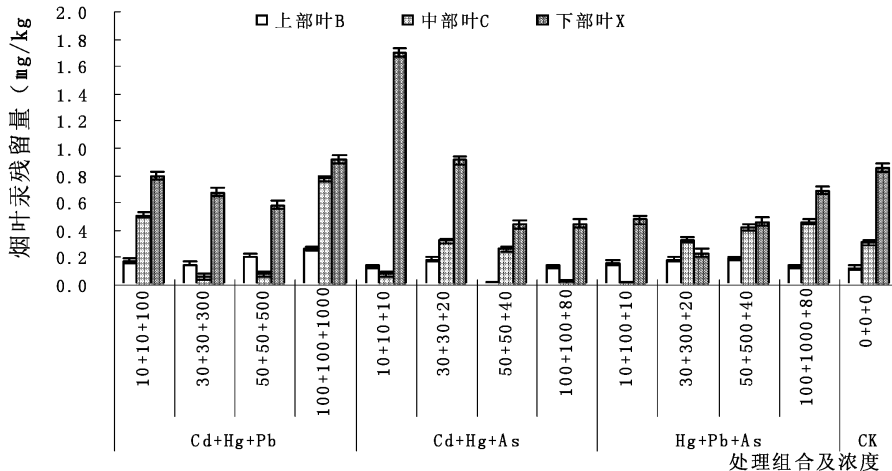


图 2 不同组合处理各部位烟叶汞残留量

Fig.2 The tobacco leaves Hg residues of different density of different treat

势旺盛，有效态汞离子绝大部分积累在下部叶，而处理浓度高时，前期长势较差后期长势有所好转，但土壤中汞离子转化成为螯合态难以被烟株吸收导致整株汞残留总量降低。Hg+Pb+As 处理中，随着处理浓度的增加中部烟叶汞残留量逐渐增加。

各处理下部烟叶汞残留量所占比例最大，说明汞离子不易在烟株中迁移，在广大烟区尤其是植烟环境中汞含量较高时，有必要打去外观品质低劣的脚叶。对照下部烟叶汞残留量为 0.86 mg/kg，所占比例为 67%，与对照相比，所有处理中在处理浓度较低或较高的情况下下部烟叶汞残留量都较大，所占比例最大达到 89%，最小为 31%。当镉、汞污染同时存在时下部烟叶汞残留量在 0.44~1.70 mg/kg 范围内，而铅污染也同时存在时下部烟叶汞残留量在相对集中的 0.58~0.92 mg/kg 范围内，说明铅与镉、汞污染存在竞争关系。

2.3 重金属及砷复合污染对烟叶吸收积累铅的影响

烟叶重金属残留中，铅残留量是最大的，卷烟中含铅量大约在 3~12 μ g/支，可吸入人体的铅约为 1.2~4.8 μ g/支。生物整体半排期 5 年左右，吸入的铅经肺泡弥散进入血液循环，一般有 25%~30%被吸收进入体内⁶。如图 3 所示，对照处理上、中、下部烟叶铅残留量分别为 1.78 mg/kg、3.41 mg/kg、94.95 mg/kg，依次占铅残留总量的 2%、3%、95%。与对照相比，Cd+Hg+Pb 处理中，不同部位铅残留量变化规律为：下部烟叶>中部烟叶>上部烟叶，随着处理浓度的增加，各个部位铅残留量先增加再减小。当处理浓度为 (10+10+100) 时，上、中、下部烟叶铅残留量分别为 1.97 mg/kg、3.20 mg/kg、11.10 mg/kg，分别占铅残留总量的 12%、20%和 68%；处理浓度为 (30+30+300) 时，上、中、下部烟叶铅残留量分别为 2.38 mg/kg、3.64 mg/kg 和 16.15 mg/kg，占铅残留总量的比例分别为 11%、16%和 73%；处理浓度增加为 (50+50+500) 时，上、中、下部烟叶铅残留量分别为 1.74 mg/kg、4.04 mg/kg、19.70 mg/kg，占铅残留总量的比例分别为 5%、11%和 84%；当处理浓度进一步增加为 (100+100+1000) 时，烟株长势低劣，尤其在第一次污灌后 7 天，下部烟叶开始发黄，该浓度处理中上、中、下部烟叶铅残留量分别为 2.28 mg/kg、9.42 mg/kg、17.50 mg/kg，分别占铅残留总量的 8%、32%和 60%。数据表明烟叶铅残留主要集中在下部烟叶，但各处理下部烟叶铅残留量远低于对照下部烟叶铅残留量，可能是土壤中原有的有效铅在外来镉、汞污染的情况下失去了活性而不易被烟株吸收；在低浓度范围内，随着处理浓度的增加上部烟叶和中部烟叶铅残留所占的比例逐渐降低，而下部烟叶铅残留所占的比例逐渐增大，在高浓度处理 (100+100+1000) 时中部烟叶铅残留所占的比例增加到 32%，下部烟叶铅残留所占的比例下降到 60%。

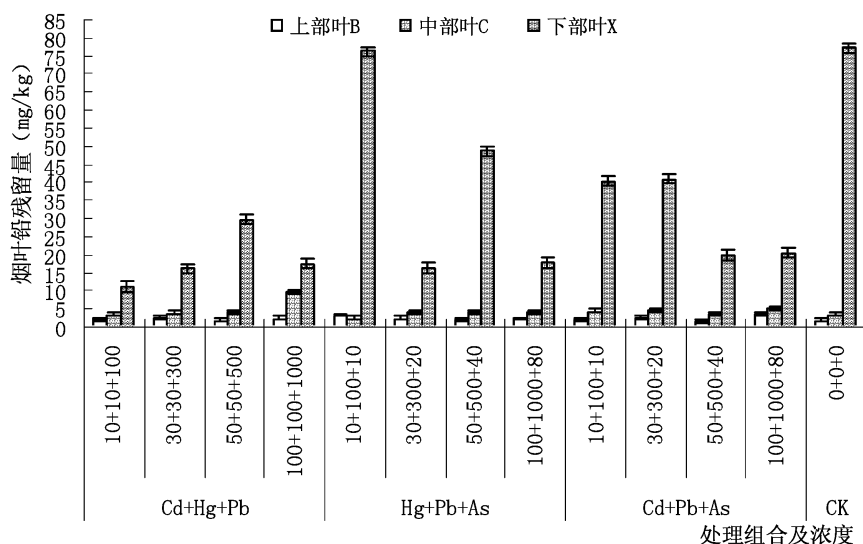


图 3 不同组合处理各部位烟叶铅残留量

Fig.3 The tobacco leaves Pb residues of different density of different treat

Hg+Pb+As 处理中, 处理浓度为 (10+100+10) 时, 上、中、下部烟叶铅残留量分别为 3.18 mg/kg、2.26 mg/kg、76.10 mg/kg, 占铅残留总量的比例分别为 4%、3%和 93%, 与对照比较接近; 处理浓度为 (30+300+20) 时, 上、中、下部烟叶铅残留量分别为 2.23 mg/kg、4.00 mg/kg、16.40 mg/kg, 占铅残留总量的比例分别为 10%、18%和 72%; 处理浓度增加到 (50+500+40) 时, 上、中、下部烟叶铅残留量分别为 1.86 mg/kg、3.91 mg/kg、48.65 mg/kg, 占铅残留总量的比例分别为 3%、7%和 89%; 当处理浓度增加达到 (100+1000+80) 时, 上、中、下部烟叶铅残留量分别为 3.12 mg/kg、3.89 mg/kg、17.85 mg/kg, 占铅残留总量的比例分别为 9%、16%和 75%; 与对照相比, 各处理浓度各部位烟叶铅残留量变化不大, 说明在汞、铅、砷污染同时存在时对不同部位烟叶铅残留量影响不明显, 汞、砷污染对土壤中铅离子存在的形式影响较大。

Cd+Pb+As 处理中, 当镉、铅、砷污染同时存在时, 随着处理浓度的增加上部烟叶铅残留量占铅残留总量的比例依次上升, 分别为 4%、5%、6%、12%, 中部烟叶铅残留量占铅残留总量的比例也逐渐增大, 依次为 9%、9%、14%、17%, 而上部烟叶铅残留量占铅残留总量的比例逐渐降低, 分别为 87%、86%、80%、71%。可能是随着处理浓度的增加, 下部烟叶中铅残留逐步向中、上部烟叶迁移, 而在烟叶生长后期土壤中铅离子不能通过烟株根系而被烟株吸收。说明在镉、铅、砷污染同时存在时对中、下部烟叶铅残留量的影响巨大, 尤其是对中部烟叶铅残留量产生的影响, 势必导致中、下部烟叶化学品质严重下降, 不仅影响烟叶的可利用性不会极大地影响人类的身体健康。

2.4 重金属及砷复合污染对烟叶吸收积累砷的影响

对照处理中, 上、中、下部烟叶 As 残留量分别为 0.67 mg/kg、0.83 mg/kg 和 1.37 mg/kg, 占砷残留总量比例分别为 23%、29%、48%, 说明砷污染贯穿整个烟叶生长发育期, 烟叶砷残留量按照下部叶>中部叶>上部叶规律排列。

如图 4 所示, 与对照相比, Cd+Hg+As 处理中, 镉、汞、砷污染同时存在, 随着处理浓度的增加上部烟叶砷残留量先降低再逐步增加, 中、下部烟叶砷残留量表现出无规律性, 中部烟叶砷残留量依次为 0.35 mg/kg、0.28 mg/kg、0.39 mg/kg 和 0.45 mg/kg, 分别比对照中部烟叶砷残留量降低 57.8%、66.3%、53.0%和 45.8%, 下部烟叶砷残留量依次为 1.26 mg/kg、1.72 mg/kg、1.36 mg/kg 和 1.48 mg/kg, 分别比对照下部烟叶砷残留量增加-8.03%、25.55%、-0.73%和 8.03%, 变化幅度在-8.03%~8.03%之间, 说明镉、汞污染降低中部烟叶对砷的吸收, 而随着处理浓度的增加下部烟叶砷残留量无明显变化。

Hg+Pb+As 处理中, 烟叶砷残留量表现出明显的规律性: 下部叶>中部叶>上部叶。随着浓度的增加, 中部烟叶砷残留量依次降低, 分别为 1.10 mg/kg、0.77 mg/kg、0.77 mg/kg 和 0.69 mg/kg, 所占比例也逐渐降低, 依次为 37%、32%、32%和 28%; 上部烟叶砷残留量依次为 0.23 mg/kg、0.26 mg/kg、0.22 mg/kg 和 0.27 mg/kg 分别比对照上部烟叶砷残留量下降 65.67%、61.19%、67.16%和 59.70%。说明汞、铅污染可以降低上、中部烟叶对砷的吸收, 而增加下部烟叶对砷的积累。

Cd+Pb+As 处理中, 随着处理浓度的增加上部烟叶砷残留量依次为 0.30 mg/kg、0.66 mg/kg、0.70 mg/kg 和 0.65 mg/kg, 与对照相比除 (10+100+10) 组合上部烟叶砷残留量下降 55.22%以外, 其它处理无明显变化; 中部烟叶砷残留量依次为 0.85 mg/kg、0.91 mg/kg、0.83 mg/kg 和 0.76 mg/kg, 与对照相比增加 2.41%、9.63%、0%、-8.43%; 除 (50+500+40) 组合下部烟叶砷残留量增加 21.17%以外, 其它处理下部烟叶砷残留量都有不同程度的降低; 各处理上、中、下部烟叶所占比例与对照也十分相近。在镉、铅、砷污染同时存在, 低浓度 (10+100+10) 处理时, 增加中部烟叶砷残留量所占的比例, 随着处理浓度的增加, 各部位烟叶砷残留量所占比例无明显变化。

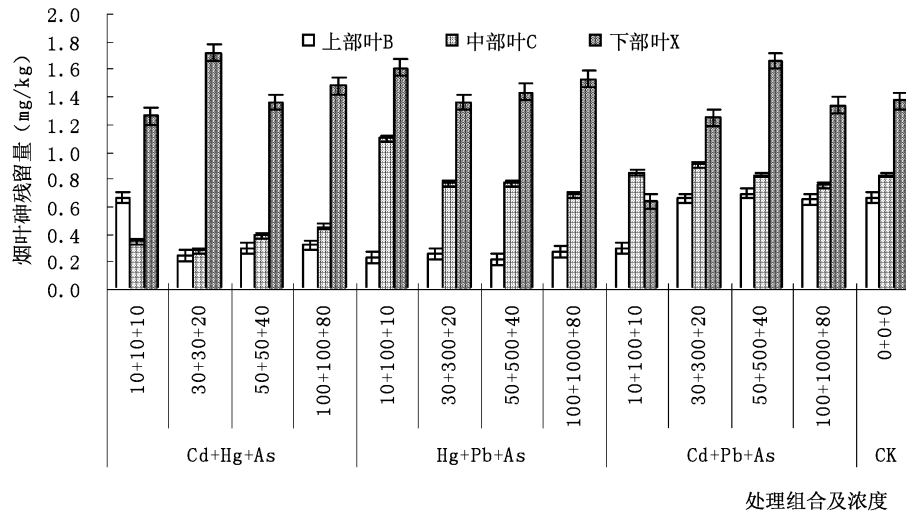


图4 不同组合处理各部位烟叶砷残留量

Fig.4 The tobacco leaves As residues of different density of different treat

3 讨论

烟叶各部位重金属残留量因处理浓度和处理组合不同而有很大差异，下部叶镉残留变化范围为 1.40 mg/kg~13.57 mg/kg，中部叶镉残留量在 0.62~3.18 mg/kg 之间变化，上部叶镉残留量在 0.26~2.85 mg/kg 范围内。

镉污染情况下，上部烟叶镉残留量均有不同程度升高。当镉、汞污染同时存在时，下部烟叶汞残留量在 0.44~1.70 mg/kg 范围内，而铅污染也同时存在时，下部烟叶汞残留量在相对集中的 0.58~0.92 mg/kg 范围内，说明铅与镉、汞污染存在竞争关系。

当镉、汞、铅污染同时存在时，烟叶汞残留量表现出明显的规律：下部叶>中部叶>上部叶，且表现出：随着处理浓度的增加，上部烟叶铅残留量占铅残留总量的比例先增加再降低，中部烟叶铅残留量占烟叶铅残留总量的比例先下降再增加，而下部烟叶铅残留量占烟叶铅残留总量的比例先急剧上升再猛烈下降。

当镉、汞、砷污染同时存在时，随着处理浓度的增加上部烟叶砷残留量先降低再逐步增加，中、下部烟叶砷残留量表现出无规律性，汞、铅污染可以降低上、中部烟叶对砷的吸收，而增加下部烟叶对砷的积累，在镉、铅、砷污染同时存在，低浓度（10+100+10）处理时，增加中部烟叶砷残留量所占的比例，随着处理浓度的增加，各部位烟叶砷残留量所占比例无明显变化。

加强对广大烟区土壤、水源重金属含量的调查与评价，加强对有机肥等烟草农用物质重金属监测力度，合理使用农药对降低烟叶重金属残留起到至关作用，为我国烟叶生产可持续发展提供技术保障。

参考文献

- [1] Bush P G, Mayhew T M, Abramovich D R, et al. A quantitative study on the effect of maternal smoking on placental morphology and cadmium concentration[J]. Placenta, 2002, 21 (2~3): 247~256.
- [2] dell, Omo M, Piccinini R, Gambelunghe A, et al. Blood cadmium concentrations in the general population

of Umbria, central Italy [J]. *Sci. Total Environ.* 1999, 226 (1): 57~64.

[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] 李素英. Pb、Cd、Zn 单元素及其不同组合污染对烟草品质的影响[D]. 云南大学硕士论文, 1988.

[5] Delpiano L, Abet M, Sorrentino C, et al. Lead uptake and distribution in plantlets of different tobacco varieties in vitro exposed to lead[C]. *Agro. -Phyto. Groups*, CORESTA Congress, 2001.

[6] 沈晓明, 赵薇. 美国、日本和国产香烟中铅含量的比较[J]. *广东微量元素科学*, 1998, (6): 54~55.

Effect of combined contaminations of different heavy metal and arsenic on cadmium, hydrargyrum, plumbum and arsenic uptake by flue-cured tobacco leaves

Liu Fang¹ Li Yongzhong² Wen Guosong²

(1. Shizong Tobacco Company of Yunnan Province, Shizong 655700, China;

2. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: This article studied that the effect of different concentrations and combinations of heavy metals on the quality of soil and the effects on heavy metal residues of flue-cured tobacco leaves. The results showed that: in low concentration, the heavy metal residue of flue-cured tobacco leaves measured the law of the bottom leaf>central leaf>top leaf, the proportion of heavy metal residue of top leaf increased gradually followed the increase of compound concentration, the proportion of tobacco heavy metal residue of central section reduced gradually little, the proportion of bottom tobacco heavy metal residue did not changed basically.

Keywords: heavy metal; arsenic; combined contaminations; tobacco leaves; residue