

我国主产烟区灌溉水中重金属含量调查及环境质量评价^①

武小净^{1,2}, 李德成^{1*}, 石屹³, 马兴华³, 刘海伟³

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 3 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266101)

摘要:为摸清我国主产烟区的烟田灌溉水中的重金属含量情况, 从全国五大烟区的 13 个主要植烟省的种烟县市采集了 151 个灌溉水样, 其中河渠水样 111 个, 雨水水样 14 个, 水库水样 5 个, 地下水样 21 个, 测定分析了其重金属 Hg、As、Cd、Cr、Cu、Pb 的含量。结果表明: 我国主要烟区灌溉水中重金属含量 Hg 含量为 0(未检出, 下同)~0.61 μg/L, 平均为 0.17 μg/L; As 含量为 0~8.16 μg/L, 平均为 0.98 μg/L; Cd 含量为 0~0.58 μg/L, 平均为 0.03 μg/L; Cr 含量为 0~7.29 μg/L, 平均为 0.46 μg/L; Cu 含量为 0~7.50 μg/L, 平均为 1.54 μg/L; Pb 含量为 0~10.13 μg/L, 平均为 2.60 μg/L。均低于相应的国家限量标准。水库水样综合质量指数最高, 为 0.20, 北方烟区灌溉水样综合质量指数最高, 为 0.18。综合来看, 我国烟区灌溉水环境质量目前均处于清洁水平。

关键词: 重金属; 灌溉水; 烟田

中图分类号: X-759

As、Cd、Cr、Hg、Pb 等重金属早在 1990 年就被列入 Hoffmann 的烟草有害成分清单^[1], 而 2010 年国产 13 个品牌卷烟 Pb、As 和 Cd 等重金属含量超过加拿大产香烟 3 倍以上的报道更是加重了人们对我国烟草重金属关注^[2]。

灌溉水中重金属是农作物体内的重金属的外源之一^[3-4], 因此了解烟田的灌溉水中重金属含量并采取积极措施对其进行控制削减, 将有助于在一定程度上减少烟叶中重金属含量。但国内对灌溉水中重金属含量的研究主要集中在食用农产品以及中草药上^[5-14], 而对烟田灌溉水中重金属含量的研究甚少, 仅马啸等^[15]分析了重庆主产烟区降水和地表水中的重金属含量。对全国尺度的烟田灌溉水中重金属含量的系统研究尚未见报道。为此本研究采集了全国北方、东南、黄淮、西南和长江中上游五大烟区不同类型的灌溉水样, 调查分析了重金属 As、Cd、Cr、Cu、Hg 和 Pb 含量, 并对其重金属环境质量进行了评价, 旨在全面反映国家尺度上烟田灌溉水中重金属含量情况, 为烟区进一步掌控灌溉水质量提供指导。

1 材料与方法

1.1 五大烟区气候概况

北方烟区主要包括辽、吉和黑, 大陆性季风气候, 日照充足, 雨量适宜, 年降水量 400~800 mm, 60% 集中在 7—9 月, 主要为旱烟; 东南烟区主要包括闽、赣、粤、皖南、湘东南、鄂东, 属湿润气候, 气候温暖, 降水量充沛, 年降水量 1 260.1~1 873.6 mm, 65%~82% 集中在 4—9 月, 多为烟-稻轮作; 黄淮烟区主要包括鲁、豫、皖北, 暖温带半湿润半干旱气候, 年降水量 480~800 mm, 黄河以南降水量大于 650 mm, 黄河以北的绝大部分地区年降水量都不足 650 mm, 主要为旱烟; 西南烟区主要包括滇、黔、川西南和川南, 桂西北, 大部为亚热带湿润季风气候, 云南南部部分地区属热带季风气候, 水分资源颇丰, 气候较为湿润, 年降水量大部分为 1 000 mm 左右或以上, 主要为旱烟, 部分烟稻轮作; 长江中上游烟区主要包括渝、川东和川北、鄂西、湘西、陕南, 鄂西年降水量为 960~1 600 mm, 湘西年降水量为 1 200~1 700 mm, 陕南年降水量为 700~1 200 mm, 其中 70% 集中在 3—8 月份, 多为烟-稻轮作^[16]。

基金项目: 国家烟草专卖局特色优质烟叶开发重大科技专项低危害烟叶开发项目[110201101006(TS-06)]资助。

* 通讯作者(dcli@issas.ac.cn)

作者简介: 武小净(1987—), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: 2010103030@njau.edu.cn

1.2 样品采集

2011年6—9月在全国五大烟区的13个主要植烟省的种烟县市,于大田栽培灌溉期间(一般为团棵期—旺长期)采集灌溉水样,主要采自北方烟区辽宁的宽甸和凤城、吉林的汪清和黑龙江宁安;东南烟区安徽的宣州和东至,江西的信丰,湖南桂阳、江华和凤凰,福建的永定和泰宁;黄淮烟区山东的

临朐、蒙阴、费县、五莲、莒县、诸城,河南的灵宝和襄城;西南烟区云南的南涧、江川和罗平,贵州的遵义和贵定;长江中上游烟区湖北的宣恩和房县、陕西的旬阳。根据各市县的烟区分布和灌溉条件,合计采集灌溉水样151个,其中,河渠水样111个、雨水14个、水库水5个、机井地下水21个(表1)。

表1 我国主要烟区灌溉水样类型及数量
Table 1 The sample types and amounts of irrigation water in tobacco-planting areas of China

| 地区 | 河渠水 | 雨水 | 地下水 | 水库水 | 合计 |
|----------------|-----|----|-----|-----|-----|
| 北方烟区(黑、吉、辽) | 23 | 0 | 5 | 0 | 28 |
| 东南烟区(皖、赣、湘、闽) | 44 | 0 | 0 | 0 | 44 |
| 黄淮烟区(鲁、豫) | 23 | 0 | 12 | 5 | 40 |
| 长江中上游烟区(鄂、湘、陕) | 9 | 12 | 0 | 0 | 21 |
| 西南烟区(滇、黔) | 12 | 2 | 4 | 0 | 18 |
| 合计 | 111 | 14 | 21 | 5 | 151 |

采样方法为:在每个植烟市县,依据地貌地形、成土母质、土地利用类型、烟田常年长势,确定5~10个典型烟田,找到灌溉水源进行水样采集,地表水(河渠和水库水)用清洁和干燥的1L的PVC塑料瓶,在水深20~50cm深度采集水体,不搅动水底的沉积物;机井地下水(地下水水位一般在20~30m)采集为先开机放水几分钟,然后在取水处采样;雨水采集整个降雨过程的综合水样。所有水样加入硝酸调节pH到1~2,以防止重金属的水解沉淀或器壁表面上吸附以及抑制生物的活动。用记号笔在塑料瓶上标注样品编号,并尽快带回实验室测定分析。

1.3 灌溉水样品测定

灌溉水样测定在国家计量认证合格单位进行。Hg和As:加50%盐酸溶液和硫脲-抗坏血酸混合溶液进行预处理,采用原子荧光分光光度法测定,测定所用的设备为:原子荧光光谱仪(型号为AF-610D2)。Cu、Pb、Cr和Cd:加硝酸和高氯酸进行消煮,采用ICP-MS法测定。测定所用的设备为:ICP-MS(美国Agilent Technologies公司,型号为7700x)。

1.4 评价标准和方法

采用国家环境保护行业标准HJ332-2006^[17]中推荐的旱作农产品灌溉水的评价方法与相关标准进行评价(各类重金属的评价标准值见表2;评价分级见表3)。

表2 灌溉水质量评价指标限值($\mu\text{g/L}$)
Table 2 Limits of quality evaluation index for the irrigation water

| 项目 | 总汞 | 总砷 | 总铜 | 总锌 | 总铅 | 六价铬 | 总镉 |
|------|----|-----|-------|-------|-----|-----|----|
| 浓度限值 | 1 | 100 | 1 000 | 2 000 | 200 | 100 | 10 |

注:国家限量标准单位为mg/L,但由于样品的重金属测定值太低,因此表中测定值和国家限量标准的单位均以 $\mu\text{g/L}$ 表示。烟叶为旱作,国家限量标准按旱地计。

表3 农产品灌溉水环境质量分级划定
Table 3 Grades for environment quality of irrigation water for agricultural products

| 环境质量等级 | 灌溉水各单项或综合质量指数 | 等级名称 |
|--------|---------------|------|
| 1 | ≤ 0.5 | 清洁 |
| 2 | 0.5~1.0 | 尚清洁 |
| 3 | > 1.0 | 超标 |

灌溉水中的重金属Hg、Cd、As、Cr和Pb属于严格控制项目,Cu属于一般控制项目。采用样本超标率、单项质量指数和综合质量指数进行灌溉水质量

评价,计算方法分别为:

样本超标率(%) = (超标样本总数/监测样本总数)×100%

单项质量指数 = 单项实测值/单项标准值

各环境要素综合质量指数 =

$$\sqrt{(\text{最大单项质量指数})^2 + (\text{平均单项质量指数})^2} / 2$$

2 结果与讨论

2.1 灌溉水整体情况

表4列出了我国主要烟区灌溉水重金属的含

表 4 我国主要烟区灌溉水重金属的含量状况($\mu\text{g/L}$)及质量评价

Table 4 The contents of heavy metals in irrigation water of tobacco-planting areas in China and quality evaluation of the irrigation water

| 项目 | 范围/平均值 | 超标率 | 单项质量指数 | 综合质量指数 | 等级 |
|----|-------------|-----|--------|--------|----|
| Hg | 0~0.61/0.17 | 0 | 0.17 | 0.13 | 清洁 |
| As | 0~8.16/0.98 | 0 | 0.01 | | |
| Cu | 0~7.50/1.54 | 0 | 0.00 | | |
| Pb | 0~10.13/2.6 | 0 | 0.01 | | |
| Cr | 0~7.29/0.46 | 0 | 0.00 | | |
| Cd | 0~0.58/0.03 | 0 | 0.00 | | |

注：各重金属最小值均未检出，按 0 处理，下表同。

量状况及质量评价结果。Hg 含量为 0 ~ 0.61 $\mu\text{g/L}$ (未检出，按 0 计，下同)，平均为 0.17 $\mu\text{g/L}$ ；As 含量为 0 ~ 8.16 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.98 $\mu\text{g/L}$ ；Cd 含量为 0 ~ 0.58 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.03 $\mu\text{g/L}$ ；Cr 含量为 0 ~ 7.29 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.46 $\mu\text{g/L}$ ；Cu 含量为 0 ~ 7.50 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 1.54 $\mu\text{g/L}$ ；Pb 含量为 0 ~ 10.13 $\mu\text{g/L}$ ，平均为 2.60 $\mu\text{g/L}$ 。可以看出，我国主要烟区灌溉水的重金属含量均低于灌溉水质量评价指标限值，超标率均为 0；各指标单项质量指数和综合质量指数均小于 0.5，

均为 1 级，属清洁水平。

2.2 灌溉水类型分析

表 5 是测定出不同类型灌溉水的重金属含量，可以看出，河渠水的重金属含量最高，最高含量分别为 Hg 0.61、As 8.16、Cu 7.50、Pb 10.13、Cr 7.29 $\mu\text{g/L}$ 和 Cd 0.58 $\mu\text{g/L}$ 。但除 Hg 的最高含量超过限量标准的 50% 外，其余重金属的最高含量都远低于限量标准。不同类型的灌溉水样中，均有部分或全部样品未检测到 Cd。

表 5 我国烟区不同类型灌溉水重金属含量($\mu\text{g/L}$)统计及质量评价

Table 5 The contents of heavy metals in different types of irrigation water in tobacco-planting areas in China and quality evaluation

| 重金属 | 河渠水($n=111$) | | 雨水($n=14$) | | 水库水($n=5$) | | 地下水($n=21$) | |
|--------|----------------|------|------------------|------|------------------|------|---------------|------|
| | 范围/平均值 | 单项质量 | 范围/平均值 | 单项质量 | 范围/平均值 | 单项质量 | 范围/平均值 | 单项质量 |
| Hg | 0~0.61/0.17 a | 0.17 | 0.10~0.24/0.17 a | 0.17 | 0.09~0.47/0.28 a | 0.28 | 0~0.34/0.16 a | 0.16 |
| As | 0~8.16/1.01 a | 0.01 | 0.14~2.43/0.93 a | 0.01 | 0~2.40/0.93 a | 0.01 | 0~2.90/0.86 a | 0.01 |
| Cu | 0~7.50/1.45 a | 0 | 0.81~3.58/1.79 a | 0 | 1.84~2.93/2.42 a | 0 | 0~4.55/1.66 a | 0 |
| Pb | 0~10.13/2.49 a | 0.01 | 1.73~6.97/3.02 a | 0.02 | 1.05~7.18/3.65 a | 0.02 | 0~8.91/2.65 a | 0.01 |
| Cr | 0~7.29/0.55 a | 0.01 | 0.00~0.69/0.13 a | 0 | 0.18~0.74/0.42 a | 0 | 0~1.12/0.22 a | 0 |
| Cd | 0~0.58/0.01 a | 0.01 | 0 | - | 0~0.10/0.01 a | 0.01 | 0~0.21/0.01 a | 0.01 |
| 综合质量指数 | 0.13 | | 0.12 | | 0.20 | | 0.11 | |

注：表中同行数据小写字母相同表示不同类型灌溉水间差异未达到显著水平($P>0.05$)，下表同。

从所测重金属元素的平均含量来看，水库水中 Hg、Cu 和 Pb 平均含量最高，分别为 0.28、2.43 和 3.65 $\mu\text{g/L}$ ，依次为最低含量的 1.8、1.7 和 1.5 倍。河渠水中 As 和 Cr 平均含量最高，分别为 1.01 和 0.55 $\mu\text{g/L}$ ，依次为最低含量的 1.2 和 4.2 倍；Cu 和 Pb 含量最低，分别为 1.45 和 2.49 $\mu\text{g/L}$ 。地下水中 Hg 和 As 含量最低，分别为 0.16 和 0.86 $\mu\text{g/L}$ ；雨水中 Cr 和 Cd 含量最低，Cr 的含量为 0.13 $\mu\text{g/L}$ ，所有雨水样品中均未检测到 Cd。不同类型灌溉水之间的重金属含量差异不显著。

不同灌溉水样品的单项质量指数和综合质量指数均小于 0.5，属于清洁水平，由高到低排序为：水库水>河渠水>雨水>地下水。

2.3 不同烟区灌溉水分析

表 6 为五大烟区灌溉水的重金属含量统计结果。五大烟区所采水样均包括河渠水类型，从平均含量来看，北方烟区 As、Cu 和 Pb 含量最低，平均值依次为 0.53、1.18 和 1.60 $\mu\text{g/L}$ ；Hg 含量最高，为 0.26 $\mu\text{g/L}$ ，是最低含量的 2.2 倍。黄淮烟区 Hg 含量最低，平均值为 0.12 $\mu\text{g/L}$ ；As、Cu、Pb 和 Cd 含量最高，依次为 1.25、2.21、4.79 和 0.08 $\mu\text{g/L}$ ，分别为最低含量的 2.4 倍、1.9 和 3 倍。西南烟区 Cr 含量最高，平均值为 0.80 $\mu\text{g/L}$ ，是最低含量的 4.7 倍。长江中上游烟区 Cr 含量最低，平均含量为 0.17 $\mu\text{g/L}$ 。北方烟区和长江中上游烟区所有河渠水样中均未检测到 Cd。

表6 不同烟区灌溉水重金属含量($\mu\text{g/L}$)统计及质量评价
Table 6 The contents of heavy metals of irrigation water in different tobacco-planting areas of China and quality evaluation

| 烟区 | 水样 | Hg | As | Cu | Pb | Cr | Cd | 综合质量指数 |
|---------|-----|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-------------|--------|
| 北方烟区 | 地下水 | 0.15~0.25/0.19 | 0.53~2.90/1.46 | 0.49~2.28/0.98 | 1.92~2.66/2.23 | 0 | 0 | 0.18 |
| | 河渠水 | 0.17~0.41/0.26 | 0~1.71/0.53 | 0~3.98/1.18 | 0~3.22/1.60 | 0~2.20/0.57 | 0 | |
| 东南烟区 | 河渠水 | 0~0.61/0.16 | 0~8.16/1.15 | 0.16~6.27/1.18 | 0~5.14/1.64 | 0~4.82/0.65 | 0~0.58/0.03 | 0.12 |
| 黄淮烟区 | 河渠水 | 0~0.27/0.12 | 0~6.69/1.25 | 0.65~4.55/2.21 | 0.85~10.13/4.79 | 0~1.20/0.37 | 0~0.12/0.08 | 0.11 |
| | 水库水 | 0.09~0.47/0.28 | 0~2.40/0.93 | 1.84~2.93/2.43 | 1.05~7.18/3.65 | 0.18~0.74/0.42 | 0~0.10/0.07 | |
| 西南烟区 | 地下水 | 0~0.34/0.15 | 0~2.53/0.49 | 0.65~4.55/2.42 | 1.71~8.91/3.49 | 0~1.12/0.30 | 0~0.11/0.06 | 0.10 |
| | 河渠水 | 0~0.31/0.14 | 0~3.62/1.13 | 0.22~7.50/1.65 | 0~8.91/3.14 | 0~7.29/0.80 | 0~0.47/0.06 | |
| | 雨水 | 0.19~0.19/0.19 | 0.37~0.51/0.44 | 0.98~2.11/1.54 | 2.50~3.63/3.06 | 0~0.06/0.03 | 0 | |
| 长江中上游烟区 | 地下水 | 0.01~0.23/0.12 | 0.14~2.32/1.23 | 0~0.65/0.22 | 0~1.95/0.66 | 0~0.98/0.25 | 0~0.21/0.06 | 0.13 |
| | 雨水 | 0.10~0.24/0.16 | 0.14~2.43/1.01 | 0.81~3.58/1.83 | 1.73~6.97/3.01 | 0~0.69/0.15 | 0 | |
| | 河渠水 | 0.11~0.35/0.20 | 0~1.46/0.77 | 0.65~3.09/1.21 | 0.89~4.27/2.14 | 0~0.63/0.17 | 0 | |

地下水样来自北方烟区、西南烟区和长江中上游烟区，从平均含量来看，北方烟区 Cr 和 Cd 含量最低，均未检出；Hg 和 As 含量最高，分别为 0.19 和 1.46 $\mu\text{g/L}$ 。长江中上游烟区 Hg、Cu 和 Pb 含量最低，依次为 0.12、0.22 和 0.66 $\mu\text{g/L}$ ；Cd 含量与西南烟区一样为最高，平均值均为 0.06 $\mu\text{g/L}$ 。西南烟区 As 含量最低，为 0.49 $\mu\text{g/L}$ ，Cu、Pb 和 Cr 含量最高，分别为 2.42、3.49 和 0.30 $\mu\text{g/L}$ 。

降雨样品主要采自西南烟区和长江中上游烟区。从平均含量来看，西南烟区 Hg、Pb 含量较高，分别为长江中上游烟区的 1.2 倍和 1 倍；长江中上游烟区 As、Cu 和 Cr 含量较高，分别为西南烟区的 2.3、1.2 和 2.4 倍。并且所有雨水样品中均未监测到 Cd。

水库样品主要采自黄淮烟区，所测重金属元素 Hg、As、Cu、Pb、Cr 和 Cd 的平均值依次为 0.28、0.93、2.43、3.65、0.42 和 0.07 $\mu\text{g/L}$ ，均远远低于限量标准。

总体上看，河渠水中，北方烟区 Hg 含量最高，黄淮烟区 As、Cu、Pb 和 Cd 含量最高，西南烟区 Cr 含量最高。地下水中，北方烟区 Hg 和 As 含量最高，长江中上游烟区 Cd 含量与西南烟区一样最高，西南烟区 Cu、Pb、Cr 含量最高，但均远远低于限量标准。

五大烟区灌溉水样品的单项质量指数和综合质量指数均小于 0.5，属于清洁水平，由高到低排序为：北方烟区>长江中上游烟区>东南烟区>黄淮烟区>西南烟区。

2.4 讨论

本次调查的五大烟区各省县市不同类型灌溉水中重金属含量都低于国家限量标准。我国主要烟区灌溉水重金属环境质量均属于清洁水平，这样的结果并不意外，我国烟叶产区均在偏远的山区，山清水秀，

碧水蓝天，烟区基本没有污染型的工矿企业，一些地区的灌溉水为当地居民的生活用水。

不同类型灌溉水重金属综合质量指数的对比中发现，水库水综合质量指数最高，这可能与养殖户在库中投放饲料中含有重金属添加剂等有关^[18]。河渠水中重金属含量较雨水高的原因是其为地表水，受外界影响较大，与生活排污和肥料及农药的施用有关^[19]。重金属通过矿山开采、金属冶炼加工、化工废水的排放、农药化肥的滥用、生活垃圾的弃置等人为污染及地质侵蚀、风化等天然源形式进入地下水中^[20]，但由于烟区附近没有污染源，故地下水综合质量指数最低。

不同烟区灌溉水重金属综合质量指数的对比中发现，北方烟区综合质量指数最高，这可能是因为东北属于老工业区，污染物排放量较大^[21]，地表水容易受到污染，并且所采水样有些河段位于城市的下游，可能其易受城市污水的影响。西南烟区综合质量指数最低，因为西南烟区均处于人烟稀少、以农业生产为主的区域，人为污染相对较轻。

将本研究西南烟区黔滇与重庆地区相应的研究结果相比^[16]，可以发现，黔滇地表水中重金属含量普遍高于重庆地区，但降雨中绝大部分重金属低于重庆地区，地表水中前者的 As、Cd、Cr、Cu、Hg 和 Pb 分别是后者的 28.8、20.0、16.1、330.0、3.7 和 241.5 倍，降雨中前者的 As、Cd、Cr、Cu、和 Pb 分别是后者的 58.7%、0.1%、0.1%、49.0% 和 25.8%（但 Hg 是后者 9 倍多）。原因可能是黔滇是我国重要的矿产资源区，土壤重金属背景普遍高于重庆^[22]，土壤中重金属可能会进入地表水。而重庆则属于我国西南工业重镇，也是酸雨较为严重的地区^[23]。

3 结论

1) 我国主要烟区灌溉水中重金属含量均低于限量标准,属于清洁水平。

2) 不同类型灌溉水样品综合质量指数由高到低排序为:水库水>河渠水>雨水>地下水。

3) 不同烟区灌溉水样品的综合质量指数由高到低排序为:北方烟区>长江中上游烟区>东南烟区>黄淮烟区>西南烟区。

致谢:在本研究的采样过程中得到了各省、地、市、县烟叶公司及相关人员的大力协助和支持,谨此一并致谢!

参考文献:

- [1] Hoffmann D, Hecht SS. Advances in tobacco carcinogenesis[A]//Cooper CS, Grover PL. Chemical Carcinogenesis and Mutagenesis. Vol. 94 of Handbook of Experimental Pharmacology[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1990: 63-102
- [2] 文静,彭海星.烟草重金属超标:外企机会还是戒烟机会[J].产业观察,2010(10):22-23
- [3] 张艳玲,周汉平.烟草重金属研究概述[J].烟草科技/烟草化学,2004(12):20-27
- [4] 牟树森.环境土壤学[M].北京:农业出版社,1993
- [5] 刘苹,魏建林,于淑芳,杨力.山东省蔬菜产地灌溉水重金属环境质量分析与评价[J].安徽农业科学,2010,38(23):12 663-12 665
- [6] 罗子娟,陈小帆.广东省出口蔬菜种植基地灌溉水质量分析[J].华中农业大学学报,2005,24(3):315-319
- [7] 郭岩,李新民.汕头市菜篮子种植基地灌溉水及土壤中重金属调查[J].光谱仪器与分析,2005(2):8-11
- [8] 张晓虎,何军,周春生,张晓伟.商洛市部分农产品生产基地农田灌溉水质量评价[J].陕西农业科学,2007(6):152-153
- [9] 刘磊,陈铭达,和文龙.上海市某有机农场土壤·灌溉水环境中重金属含量分析与评价[J].安徽农业科学,2008,36(24):10 652-10 653
- [10] 石卉,黄惠来,文建辉.桂林市某蔬菜种植基地重金属污染调查及分析[J].环境科学与技术,2007,30(7):43-45
- [11] 孙丙寅,刘淑明,苏少林.陕西凤县无公害花椒园环境质量评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(3):111-115
- [12] 梁俊,赵政阳,王雷存.陕西白水县无公害苹果园环境质量评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(8):13-17
- [13] 王海波.五味子 GAP 基地环境质量评价[J].河北农业科学,2007,11(6):58-59
- [14] 陈乾平,白隆华,董青松.毛鸡骨草种植基地环境质量评价[J].时珍国医国药,2009,20(1):26-28
- [15] 马啸,杨志敏,李云平,陈玉成.重庆市主产烟区重金属污染背景特征分析[J].三峡环境与生态,2010,3(3):23-29,59
- [16] 王彦亭,谢剑平,李志宏.中国烟草种植区划[M].北京:科学出版社,2010
- [17] 国家环境保护总局.食用农产品产地环境质量评价标准(HJ 332-2006)[S].北京:中国环境科学出版社,2006
- [18] 郭洁,张海荣.饲料添加剂中重金属的污染及其防治措施[J].畜牧兽医杂志,2010,29(6):98-103
- [19] 张庆利,史学正,黄标,于东升,王洪杰, Karin B, Ingrid O.南京东郊蔬菜种植基地地表水氮、磷、重金属含量及影响因素[J].农村生态环境,2004,20(4):56-59
- [20] 崔祥琨,孙坤.地下水污染与预防[J].科技信息,2009(25):341
- [21] 王玉丰,董旭.辽宁省无公害农产品生产要求、现状及对策[J].土壤通报,2003,34(4):370-373
- [22] 国家环境保护总局/中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990
- [23] 徐晓华,徐光来.基于 GIS 的中国酸雨控制区酸雨空间分布特征研究[J].石家庄学院学报,2014,16(3):77-83

Study on Heavy Metal Contents and Environment Quality of Tobacco Irrigation Water in China

WU Xiao-jing^{1,2}, LI De-cheng^{1*}, SHI Yi³, MA Xing-hua³, LIU Hai-wei³

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*; 2 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*; 3 *Institute of Tobacco, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao, Shandong 266101, China*)

Abstract: In order to understand the backgrounds of heavy metal contents in tobacco irrigation water in China, 151 irrigation water samples, with 111, 14, 5 and 21 were river and canal water, rain water, reservoir water and groundwater, were collected from 26 tobacco-planting areas in 13 provinces, and the contents of heavy metals of Hg, As, Cd, Cr, Cu and Pb were measured. The results showed that the contents of Hg, As, Cd, Cr, Cu and Pb were 0–0.61, 0–8.16, 0–0.58, 0–7.29, 0–7.50 and 0–10.13 ug/L and with averages of 0.17, 0.98, 0.03, 0.46, 1.54 and 2.60 ug/L respectively, which were all lower than the corresponding national limitations; The comprehensive water quality index was highest in reservoir water (0.20) and in north China (0.18). In summary, the environment quality of tobacco irrigation water in China now is at the clean and safe level.

Key words: Heavy metal; Irrigation water; Tobacco fields