DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2018.02.39

再生水滴灌土壤中砷(As)时空分布规律试验研究

裴 亮[1,2], 廖晓勇[2,3]

(1.中国科学院 地理科学与资源研究所,陆地水循环及地表过程重点实验室,北京 100101;
2.中国科学院 地理科学与资源研究所,环境损害与污染修复北京市重点实验室,北京 100101;
3.中国科学院 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘 要: 为研究再生水中污染物 As 在土壤中迁移转化规律,以地下水滴灌为对照,对生长季内大棚蔬菜进行再生水滴灌试验研究,分析探讨了再生水滴灌后 7 天内土壤不同深度中 As 积累分布和运移情况。结果表明:滴灌后第 1 天,土壤表层 As 浓度最大,滴灌后第 3 天 100 cm 深度处 As 浓度最大,表层土壤 As 浓度略有降低,第 5 天到第 7 天,各层土壤 As 浓度接近,80~120 cm 处浓度最大,深度低于 120 cm 时 As 浓度随深度增加而略降低。生长季内及生长季后土壤 As 随着灌水次数增加而变化,具体情况为,表层土壤 As 蓄积增加,土壤深度 80~120 cm 处 As 增加较少,200 cm 处 As 浓度减小。因此,适当浓度再生水滴灌情况下,土壤深层 As 浓度符合《土壤环境质量标准》的标准限值,适当浓度的再生水滴灌不会造成 As 污染。

关键词: 再生水滴灌; 砷; 时空分布规律; 土壤; 蔬菜生长季

中图分类号:X131.3; X53 **文献标识码**: A **文章编号**: 1672-643X(2018)02-0236-04

Experimental study on spatial and temporal distribution regularity of arsenic in soil under the drip irrigation with reclaimed water

PEI Liang[1,2], **LIAO Xiaoyong**[2,3]

(1. *Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*, 2. *Beijing Key Laboratory of Environmental Damage Assessment and Remediation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*, 3. *Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*)

Abstract: To study the migration and transformation of pollutants As in soil, reclaimed water drip irrigation experiments were conducted during the growth of greenhouse vegetables, using underground water irrigation as the contrast treatment. The distribution and migration of As accumulation in different depths of soil in 7 days after drip irrigation were analyzed. The results showed that: on the first day after drip irrigation, the As concentration in the soil surface was the highest, and the As concentration at the depth of 100 cm was the highest on the third day after drip irrigation. The As concentration in the surface soils slightly decreased. From the fifth day to the seventh day, the concentration of As at the depth of 80 – 120 cm is the highest, while the As concentration decreases slightly with the depth of the As at the depth of less than 120 cm. With the increase of irrigation frequency, the accumulation of As in surface soil increased during the growing period and after the growing period, but the amount of 80 – 120 cm soil increased less and the concentration of 200 cm decreased. The proper concentration of reclaimed water drip irrigation condition, soil deep layer As concentration in line with soil environmental quality standard limits, the proper concentration of reclaimed wastewater irrigation will not cause pollution of As.

Key words: reclaimed water droplet irrigation; arsenic; spatial and temporal distribution regularity; soil; vegetable growing period

收稿日期:2017-09-28; **修回日期**:2017-10-24

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0800900); 国家自然科学基金项目(51109197); 国家科技支撑计划课题(2012BAD08B02,2013BAC02B02)

作者简介:裴 亮(1982-),男,江苏南京人,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事水沙环境风险分析与控制研究。

采用经过处理的再生水进行蔬菜滴灌是当前热点研究之一[1-2],国内外的相关研究非常多[3-6]。国内的李中阳等[3]、齐学斌等[4]以及国外的 Morillo 等[2]、Al Kuisi 等[1]、Gwenzi 等[5]和 Oron 等[7]对污染物随再生水进入土壤进行了初步研究。近些年对土壤植物系统中重金属在再生水灌溉情况下的迁移转化及作用的研究也较多[4-5,8]。由于再生水采用滴灌灌水,频率、强度、灌溉水量与普通灌溉方式大相径庭,所以水及水中物质在土壤里的时空分布也与传统灌溉方式不同。还有再生水污染物种类繁多,其中重金属对作物生长及环境影响极大,尤其 As,Cd 等不但影响作物产量还对作物安全性有影响,绝不能忽视,所以研究土壤重金属时空分布规律是急需的[8-9]。在前期再生水循环利用研究[10-13]的基础上,采用不同浓度再生水对照地下水进行滴灌,进行蔬菜生长季内土壤重金属 As 时空分布规律的研究。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

研究区地处湖北十堰山区,该区域的地理及自然情况见参考文献[10-13],本研究在该区域大棚中进行,采用自然温度,极端温度 -13.2℃,最高温度 41℃,常年平均温度 15.3℃,试验地土壤主体为沙壤土,1.52~1.73 g/cm^3 的容重。由于试验地近几年采用生活污水灌溉,土壤汞和镉有略微超标。

1.2　试验布置

本研究课题组文献[10-13]里有类似试验设计,试验在 2016 年 10 月 2 日到 12 月 5 日萝卜的生长季内进行。垄作方式,垄肩宽 80 cm,两垄中心间距 180 cm,垄高 15 cm,垄上 2 行植物中间设一条间距 20cm、滴头流量 2.7 L/h 的滴灌带,在植物种植前,每亩施复合肥 10 kg。再生水水质为当地生活污水浓度的 20%,每种蔬菜的试验采用 5 个处理,每个处理 3 个重复,每个试验小区为 3.5 m×3.5 m,灌水中根据农田灌溉水质标准 GB5084-2005[15]中重金属限值控制重金属的浓度(不超过限值 2 倍)。5 个处理分别为 A1(全再生水滴灌)、A2(再生水与地下水按照 1∶1 混合滴灌)、A3(再生水与地下水按照 1∶2)、A4(再生水与地下水按照 1∶4 混合)和地下水滴灌处理 E。

灌溉采用 1.2 m 高处的蓄水桶滴灌,每个处理 3 个重复放置一个容积240 L 的水桶,灌水前需将地下水和再生水按照处理中要求的比例加入水桶。每个处理中的每个重复小区的土壤下方 20 cm 处安装 1 个水势负压计,根据蔬菜的灌溉经验[10-11],确定灌水方案,当水势负压计显示土壤水势低于 -25 kPa 时开始灌水,每次灌水量为 5 mm。萝卜生长季内共灌水 5 次,共 25 mm。

1.3　采样及测定项目及方法

每次灌水后第 1 天、第 3 天、第 5 天、第 7 天,取土样进行重金属测定,在取样深度为 0~200 cm 的土层内每隔 20 cm 进行取样,选取 10 个深度土壤进行分析,,分析标准见参考文献[14-15],再生水水质情况及再生水滴灌小区处理情况见表 1、2。

表 1　水质情况　　mg/L

测定项目	铅	铜	镉	镍	锌	铬	汞	砷	pH
地下水	0.0040	0.007	0	0.008	0.022	0.021	0	0	7~8
生活污水	0.0044	0.125	0.0036	0.071	0.414	0.045	0.0131	0.98	6~9
再生水	0.0280	0.038	0.0018	0.034	0.087	0.021	0.0066	0.47	6~9

表 2　再生水滴灌试验 5 个处理

序号	处理	灌溉水配比
1	A1	再生水滴灌
2	A2	再生水与地下水 1∶1
3	A3	再生水与地下水 1∶2
4	A4	再生水与地下水 1∶4
5	E	地下水滴灌

1.4　样品配置及处理方法

再生水为十堰市污水厂二级出水经过简易过滤后和地下水混合进行配置而成。取样后的土壤先放置风干后置于烘箱中烘至 110℃干燥为止,随后磨碎,通过前处理(消解等过程)后开始化学分析测试。砷的测定采用荧光原子分光光度法[16]。

2　结果分析

2.1　再生水首次滴灌后土壤剖面重金属 As 运移分布情况

从图 1 中第 1、3、5、7 天数据可以看到,首次灌水后第 1 天、第 3 天、第 5 天、第 7 天,对蔬菜土壤剖面采样进行重金属 As 含量测定,发现重金属 As 在灌水第 1 天,在表面土壤(0~20 cm)中含量最高,

随深度降低浓度降低;第 3 天开始,表面浓度略微降低,深层浓度逐渐增加;到第 5 天、第 7 天时,As 主要在土壤 80 ~ 120 cm 深度处积累,0 ~ 80 cm 深度处无明显差异,80 ~ 120 cm 深度处重金属含量突增,浓度最高,120 ~ 180 cm 深度处重金属含量逐渐降低。

这是因为再生水滴灌灌水量较小、流速较小、时间较短,重金属很少被淋洗到深土层及地下径流中,且有一部分重金属在渗水后期,随毛管上升到一定位置,最终大部分维持在表层及 80 ~ 120 cm 处,第 7 天时,180 cm 处 As 浓度较第 5 天也有所减少,说明淋洗及毛管孔隙上升作用使深层 As 产生一定运移,具体趋势如下图 1 所示。

2.2 生长季内土壤 As 浓度变化情况

图 1 中看出 As 在一次灌水作用下第 1、3、5、7 天的 As 变化规律。整个作物生长季内要灌水多次,本节主要对作物整个生长季土壤 As 的运移积累情况进行分析研究。生长季内 As 的变化情况如图 2 所示。

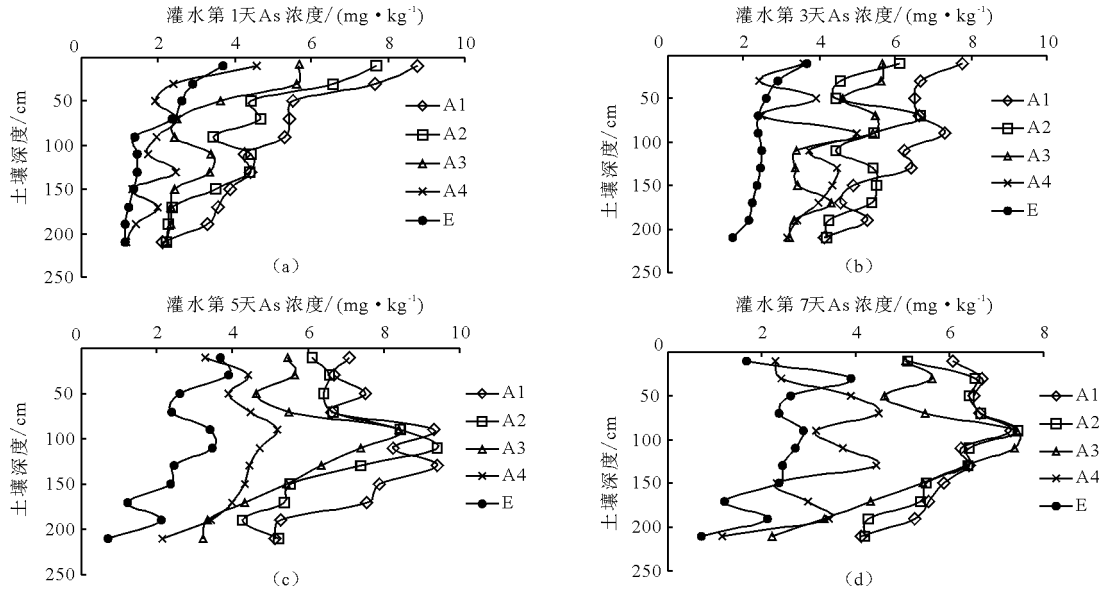


图 1 首次滴灌后土壤剖面 As 分布情况

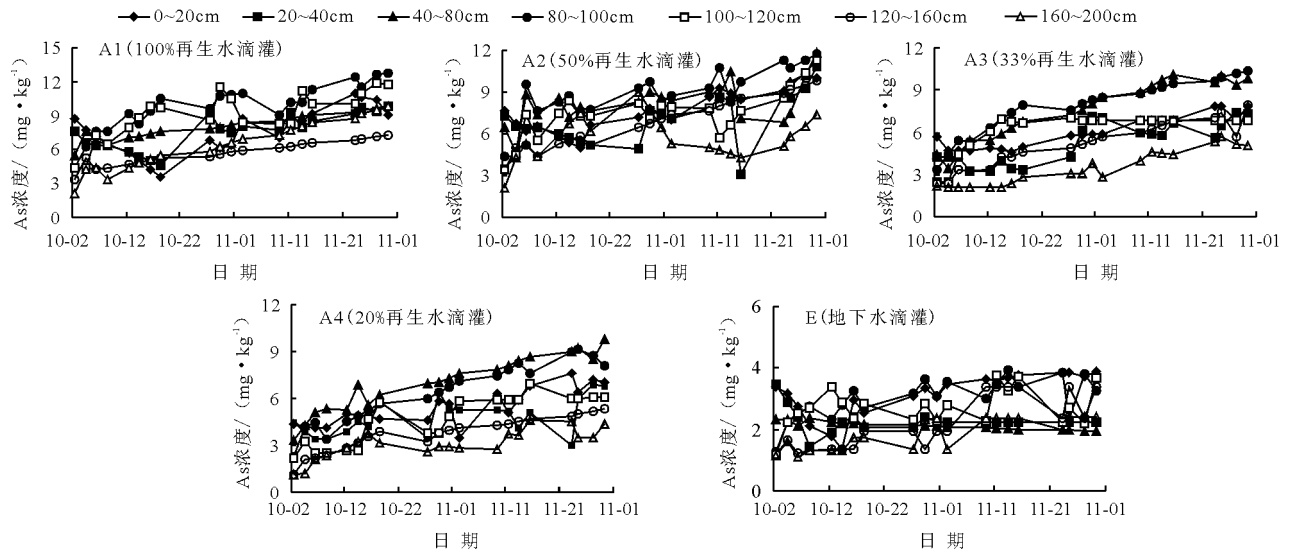


图 2 2016 年生长季内土壤重金属 As 分布运移情况

对各次滴灌后第 1、3、5、7 天分别测定 As 在各层土壤中浓度变化。图 2 中,生长季内对每个处理及重复的土壤表层各层进行采样测试,可以看出,再生水滴灌(A1、A2、A3、A4 处理)过程里,随着时间的延长、灌水次数增加,土壤中蓄积的 As 浓度是增加的,但增加较缓慢。随着再生水浓度降低,蓄积 As 的浓度也降低。地下水滴灌(E 处理)过程中,As 蓄积趋势不明显,和再生水滴灌曲线比较,为较为平缓的曲线。可能是因为土壤和地下水本底的 As 在多频率、小流量的滴灌下,土壤浅层 As 淋洗速度快

于蓄积速度,作物本身对 As 也有一定吸附吸收作用。同样,在每次灌水第 1、3 天,表层 As 浓度略微降低,80 ~ 120 cm 处浓度略增加,120 cm 以下处浓度缓慢降低;第 5、7 天,As 主要在 100 cm 左右聚集,120 cm 以下处 As 浓度逐渐降低。这与图 1 规律较接近,说明单次滴灌灌水停后,深层土壤重金属浓度差及毛管作用会使重金属盐分在土壤中随水调节至趋于平衡状态。生育期结束后,As 的最终蓄积情况如图 3 所示,地下水灌溉条件下,20 cm 和 80 ~ 100 cm 处,As 蓄积较多;再生水灌溉条件下,从 20 到 120 cm 过程中,As 蓄积量增加,其中 80 ~ 100 cm 处 As 含量随深度增加较少,100 到 200 cm 过程中,As 含量逐渐降低。

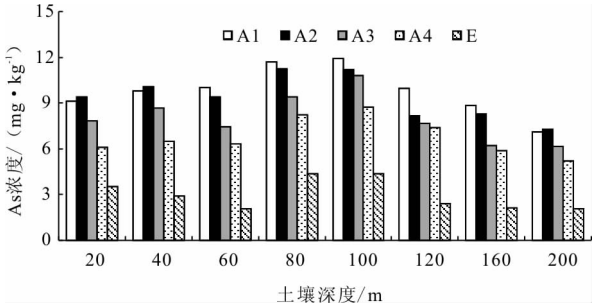


图 3　土壤各层 As 蓄积情况

3　结　论

(1) 以地下水滴灌为对照,在蔬菜大棚对生长季萝卜进行再生水滴灌试验研究,分析研究了再生水滴灌后 7 天内土壤不同深度中重金属 As 时空分布变化情况。结果表明:滴灌后第 1 天,表层土壤 As 浓度最大,滴灌后第 3 天 100 cm 深度处 As 浓度最大,表层土壤 As 浓度略有降低,第 5 天到第 7 天,各层土壤 As 浓度接近,80 ~ 120 cm 处浓度最大,深度低于 120 cm 时 As 浓度随深度增加而降低。

(2) 全生长季内土壤 As 随着灌水次数增加而变化,具体情况是表层土壤 As 蓄积增加,土壤深度 80 ~ 120 cm 处 As 增加较少,200 cm 处 As 浓度减小。当再生水滴灌条件下,再生水和深层土壤中 As 浓度符合土壤和灌溉水的标准限值[14 - 15]。

(3) 生育期结束后,As 的最终蓄积情况为:地下水灌溉条件下,20 cm 和 80 ~ 100 cm 处,As 蓄积较多;再生水灌溉条件下,从 20 到 120 cm 过程中,As 蓄积量随深度增加,其中 80 ~ 100 cm 处 As 含量随深度增加幅度较小,100 到 200 cm 过程中,As 含量逐渐降低。因此用经过一定程度处理的适当浓度再生水进行滴灌造成 As 污染概率极小。

参考文献:

[1] AL KUISI M, ALJAZZAR T, RUDE T, et al. Impact of the use of reclaimed water on the quality of groundwater resources in the Jordan Valley, Jordan[J]. Clean - Soil, Air, Water, 2008,36(12):1001 - 1014.

[2] MORILLO E, ROSABAL A, UNDABEYTIA T, et al. Long - term impacts of wastewater irrigation on Cuban soils[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2007,71(4):1292 - 1298.

[3] 李中阳, 齐学斌, 樊向阳,等. 再生水灌溉对黑麦草生长及重金属分布特征的影响[J]. 中国农村水利水电, 2013(3):85 - 87.

[4] 齐学斌, 李 平, 樊向阳, 等. 再生水灌溉方式对重金属在土壤中残留累积的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008,16(4):839 - 842.

[5] GWENZI W, MUNONDO R. Long - term impacts of pasture irrigation with treated sewage effluent on nutrient status of a sandy soil in Zimbabwe[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2008,82(2):197 - 207.

[6] WANG Qi, LIU Yingjie, ZHOU Dequan, et al. Effect on greenland soil physical and chemical properties irrigated by reclaimed water for short - term and long - term [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011,25(5):74 - 80.

[7] ORON G, CAMPOS C, GILLERMAN L, et al. Wastewater treatment renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities[J]. Agricultural Water Management, 1999,38(3):223 - 234.

[8] 严 兴,罗 刚,曹 健,等. 污水处理厂再生水灌溉对土壤中重金属污染的试验研究[J]. 中国农学通报,2014,30(36):226 - 231.

[9] 赵忠明,陈卫平,焦文涛,等. 再生水灌溉对土壤性质及重金属垂直分布的影响[J]. 环境科学,2012,33(12):4094 - 4099.

[10] 裴 亮,周 翀,梁 晶,等. 再生水滴灌对作物品质和产量的影响研究——以菠菜为例[J]. 节水灌溉,2013(7):7 - 9.

[11] 裴 亮,孙莉英,张体彬. 再生水滴灌对蔬菜根际土壤微生物的影响研究[J]. 中国农村水利水电,2015 (11):39 - 42.

[12] 裴 亮,张体彬,梁 晶,等. 再生水滴灌土壤中氮素的动态变化规律[J]. 河海大学学报(自然科学版),2013,41(1):70 - 74.

[13] 裴 亮,刘荣豪,薛 铸,等. 再生水滴灌作物生育期内土壤中氮素动态变化规律研究[J]. 水利水电技术,2013,44(10):34 - 36 + 40.

[14] 国家环境保护局,国家技术监督局. GB15618 - 1995 土壤环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,1995.

[15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB5084 - 2005 农田灌溉水质标准[S]. 北京:中国质检出版社,2005.

[16] 张明月,于宝勒,商博东,等. 再生水灌溉的农作物中重金属含量的检测[J]. 职业与健康,2014,30(24):3571 - 3573 + 3579.