



设施蔬菜土壤重金属含量的测定及潜在生态风险研究

董志超,程全国,李 晔,王浩东,赵梦竹

(沈阳大学 区域污染环境生态修复重点实验室,辽宁 沈阳 110044)

摘要:为深入研究设施蔬菜土壤中的重金属情况,通过采集辽宁省沈阳市周边地区设施农业农田土样及相应的地下水样品,分析了农田土壤中重金属含量的积累及对地下水污染程度以及潜在的生态风险。结果表明:土壤有机质平均值 2.46%,硝态氮为 75.87~91.49 mg·kg⁻¹,速效磷为 22.30~28.95 mg·kg⁻¹,速效钾为 54.51~125.90 mg·kg⁻¹,硝态氮、速效磷和速效钾在设施土壤中出现了大量的累积,并且随着种植年限的增加,累积强度增大;设施农业区土壤尚未发生重金属污染超标现象;但棚内土壤重金属明显较高,设施农业区供试土壤样品镉均接近了临界值 1 mg·kg⁻¹,设施农业区灌溉用浅层地下水,重金属含量和部分营养盐的含量均低于国家地下水环境质量标准,但硝酸盐和亚硝酸盐含量偏高。铅含量较高,潜在生态风险达到中等。分析得出大量使用家禽粪便和含钙镁磷肥等复合肥导致土壤重金属的积累,并且随着种植年份的增加容易导致区域地下水富营养化。为有效地降低环境风险,建议适当降低施肥量,种植抗重金属污染能力较强的蔬菜。

关键词:设施农业区;土壤重金属;地下水;生态风险

近年来国家设施栽培发展迅速,其栽培面积已超过 100 万 hm²。但随着设施栽培面积的增加及栽培年限的增长并且设施管理出现的问题导致设施土壤产生一系列障碍问题,对设施农业的可持续发展产生阻碍^[1]。重金属污染严重影响土壤机制,从而抑制作物生长发育、降低作物产量与品质,并最终危害动物和人类的健康;导致土壤中重金属含量增高的原因一般有施肥、农药、污灌以及农用薄膜残留等^[2]。大量施用的家禽粪便和含钙镁磷肥等成分的复合肥中均含有一定的重金属元素,这可能是引起蔬菜大棚土壤中重金属元素含量增加的主要原因^[3]。目前的研究中关于设施栽培菜地是否存在重金属污染问题的研究报道较少^[4]。因此,本研究对辽宁省周边地区设施农田土壤重金属污染及地表水影响状况进行了分析,通过对农田土样及相应的地下水样品进行抽样调查,并进行相应的环境质量评价,以期明确设施农业中土壤的重金属污染状况及对地下水影响提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

采样地点位于辽宁省沈阳市周边地区某设施

农业基地,采样区域分为 3 个,S 设施农业区包含 13.33 hm² 温室及 20 hm² 冷棚区,以种植黄瓜为主;W 设施农业区包含 26.67 hm² 温室及 40 hm² 冷棚区,以种植黄瓜为主;D 设施农业区包含 33.33 hm² 温室及 33.33 hm² 冷棚区,以种植豆角为主。土壤类型均为黄棕壤,土壤组成为粘土。

1.2 方法

1.2.1 土壤样品采集 棋盘式布点的方法在棚内随机采集 5 点,混合后作为供试土壤样品,采样过程中严格避免与金属器具的接触,以免污染土壤样品,样品深度为 0~20 cm。

1.2.2 地下水样品采集 采集棚内灌溉用浅层地下水,确定采样点要求种植体系成片分布,且水样与土壤采样点分布在相同区域,建立对应关系。采样时先抽水数分钟,抽出水管中停滞的水和杂质后再取样并装入 150 mL 聚乙烯瓶中立即固定,封存后待测。

1.2.3 土壤样品肥力测定 采集的土样过 5 mm 筛,混匀后,分别采用电位测定法、分光光度法和火焰光度法测定 pH、硝态氮、速效磷及速效钾。

1.2.4 地下水样品无机离子含量测定 水样中无机阴离子 F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻ 的测定采用离子色谱仪(Techcomp IC1010)进行。

1.2.5 样品重金属含量测定 采集的土样经风干研磨过 1.00 和 0.25 mm 筛后,装入小塑料袋备用。土壤样品的基本理化性质分析参照中国土

收稿日期:2018-06-24

第一作者简介:董志超(1993-),男,在读硕士,从事环境可持续发展与规划研究。E-mail:651221819@qq.com。

通讯作者:程全国(1966-),男,博士,教授,博导,从事环境可持续发展与规划研究。E-mail:chengqg2011@163.com。

壤学会提供的方法。每个样品取 1 g 左右经 HCl—HNO₃—HF—HClO₄ 消解。

采集的水样预处理后,取 100 mL 水样在电热板上加入 HNO₃—HClO₄ 消解。

供试样品分别采用原子吸收分光光度计(VARIAN SpectrAA-220)测定总镉(Cd,石墨炉原子吸收分光光度法,GB/T17171-1997)、总铅(Pb,石墨炉原子吸收分光光度法,GB/T17171-1997)、总铜(Cu,火焰原子吸收分光光度法,GB/T17138-1997)、总锌(Zn,火焰原子吸收分光光度法,GB/T17138-1997)[5]。

1.2.6 数据分析 采用 Excel 2013 和 SPSS 18.0 进行进行数据统计分析。

1.2.7 潜在生态风险评价 土壤重金属污染评价方法有很多,本文主要选取潜在生态风险指数法对该区域重金属污染做出评价。生态风险指数法是由瑞典科学家 Hakanson 根据重金属性质及周围环境因素,从沉积学角度提出的[6]。公式如下:

$$C_j^i = \frac{C_i}{C_n}$$
$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i$$
$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i$$
$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n (T_r^i \times C_f^i)$$

表 1 供试土壤样品土壤肥力的测定

Table 1 Determination of soil fertility in test soil samples

编号 No.	pH	有机质/% Organic matter	硝态氮/(mg·kg ⁻¹) Nitrate nitrogen	速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Aavailable potassium	Cd/ (mg·kg ⁻¹)	Cu/ (mg·kg ⁻¹)	Pb/ (mg·kg ⁻¹)	Zn/ (mg·kg ⁻¹)
S	6.11	2.59	75.87	28.95	71.96	0.96	9.45	100.34	233.75
D	6.13	2.38	91.49	26.25	54.51	0.94	5.35	163.20	198.35
W	6.47	2.42	76.19	22.30	125.90	0.87	10.65	168.05	230.55

2.2 设施蔬菜供试灌溉用浅层地下水重金属含量分析

对设施农业区供试灌溉用浅层地下水重金属含量进行取样分析,如表 2 所示,3 个设施农业区供试水样,pH6.90~7.38,河水酸碱度接近中性适合灌溉用水,与地下水环境质量标准(GB/T 14848-93) 进行比较,供试样品中 Pb、Cd、Cu 和 Zn 含量都达到地下水质量标准,适合农业灌溉用水的要求。

式中, C_j^i 为某重金属的单因子污染指数; C_i 为土壤中重金属的实测含量; C_n 为重金属的参比值; C_d 为多种重金属的污染指数之和; E_r^i 为单项重金属潜在生态风险污染指数; T_r^i 为单项重金属毒性影响系数; RI 为区域多因子潜在生态风险指数。

RI 的生态风险程度分级标准为:

$RI \leq 150$ 属于轻微风险, $150 < RI \leq 300$ 属于中等风险, $300 < RI \leq 600$ 属于较强风险, $600 < RI \leq 1200$ 属于很强风险, $RI > 1200$ 属于极强风险[7]。

2 结果与分析

2.1 设施蔬菜土壤肥力及重金属含量分析

如表 1 所示,3 个取样区土壤肥力存在细微的差异,土壤样品属中等肥力的占绝大多数,土壤有机质平均值 2.46%,硝态氮为 75.87~91.49 mg·kg⁻¹,速效磷为 22.30~28.95 mg·kg⁻¹,速效钾为 54.51~125.90 mg·kg⁻¹,处于中上等水平。重金属含量,Cd 含量范围为 0.87~0.94 mg·kg⁻¹;不同区域 Cu 和 Zn 含量差别较大,D 区域含量最低分别为 5.35 和 198.35 mg·kg⁻¹,S 与 W 区差别不大,Cu 分别为 9.45 和 10.65 mg·kg⁻¹,Zn 分别为 233.75 和 230.55 mg·kg⁻¹;Pb 含量 S 区最低,为 100.34 mg·kg⁻¹。

表 2 供试灌溉水样品重金属含量的测定

Table 2 Determination of heavy metal content in tested irrigation water samples

编号 No.	pH	Cd/ (mg·L ⁻¹)	Cu/ (mg·L ⁻¹)	Pb/ (mg·L ⁻¹)	Zn/ (mg·L ⁻¹)
S	6.900	0.003	0.701	0.050	0.714
D	7.080	0.003	0.206	0.040	0.585
W	7.380	0.003	0.244	0.091	1.089

2.3 设施蔬菜供试灌溉用浅层地下水无机阴离子含量分析

对设施农业区供试灌溉用浅层地下水无机阴离子含量进行取样分析,如表 3 所示,结果表明,氟化物在 S 设施农业区检出,磷酸根除 W 设施农

业区检出,其它均未检出。其它无机阴离子检测含量与地下水环境质量标准(GB/T 14848-93) 进行比较,硫酸盐均低于二级标准,氯化物和硝酸盐低于三级标准。对于亚硝酸盐的检测过程中,部分设施农业区其亚硝酸盐含量高于三级标准。

表 3 供试灌溉水样品离子色谱数据

Table 3 Ion chromatography data of test irrigation water samples						(mg·L ⁻¹)
编号 No.	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃	NO ₂	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
S	0.505	141.160	5.416	0.070	8.767	/
D	/	87.390	3.670	0.046	5.099	/
W	/	240.550	10.441	0.144	66.148	1.813

“/”表示未达到检出线。
‘/’ indicates that the value has not reached the checkout line.

2.4 潜在生态风险分析

测试区域参比值选取自然背景值,其中 Cd 为 0.2 mg·kg⁻¹,Cu 为 35 mg·kg⁻¹,Pb 为 35 mg·kg⁻¹,Zn 为 100 mg·kg⁻¹。重金属毒性影响系数参照 HaKanson 的研究结果,4 种重金属毒性影响系数为 Cd(30)>Cu(5)=Pb(5)>Zn(1)。3 个测试区域潜在生态风险指数为 S 为 162;D 为 167;W 为 158。均属于中等风险态势。由于 Pb 含量值较高并且在潜在生态风险指数中贡献值最大导致整体达到中等风险。

3 结论与讨论

对供试样品进行检测后,结果表明,测试区土壤肥力与重金属含量与辽宁省气象部门发布的《2009 年辽宁省农田土壤养分评价报告》进行对比,硝态氮作为植物可直接吸收利用的养分,其含量较高。速效磷含量相对较高,达到丰富等级。土壤 pH 为中性土壤,利于作物生长。土壤有机质含量丰富。设施农业保护地蔬菜主要通过施用农家肥,少数施加复合肥,随着种植年限增加对土壤有机质含量影响不大,而 N、P、K 随着年限增加呈现较大的差异。在对设施蔬菜土壤重金属含量进行测定过程中,土壤中重金属 Pb、Cd、Cu、Zn 的含量都有所累积,明显高于土壤环境质量标准(GB 15618-1995)中的自然背景值,其中 Cd 的含量明显较高,接近保障农林业生产和植物正常生长的土壤临界值。

测试浅层地下水表明供试水样已经存在着一

定的累积,表现为 Cd、Cu 低于国家地下水质量标准规定的三级标准,但部分样品中锌,铅稍高于三级标准,适当处理后可作为生活饮用水。农田和大棚灌溉水井中有些样品处于达标警戒状态,无严重超标现象,说明随着设施农业的大规模发展,大量施肥可以导致浅层地下水中重金属存在着一定的累积,应提高警惕,保护地下水环境。

对于浅层地下水无机阴离子的测定表明设施蔬菜的种植已经对地下水造成了污染,由于大量施氮肥,从而使灌溉水中硝态氮含量存在着一定的累积,随着设施农业的发展,种植年限的增加,污染会有加重的趋势。

土壤中的重金属积累,通常有施肥、农药、污灌以及农用薄膜残留等因素。但研究地区目前水体重金属存在着一定的累积,但含量均较低,且设施农业生产对农药限制非常严格,因此灌溉和农药并非导致本地区大棚土壤中重金属含量升高的根本原因。而大量施用的家禽粪便和含钙镁磷肥等复合肥中均含有一定的重金属元素,这可能是引起蔬菜大棚土壤中重金属元素含量增加的主要原因,并且可能造成地下水体的富营养化,即地下水硝态氮的含量增加^[8-9]。随着设施农业的大规模发展,大量施肥可以导致农田土壤中重金属的大量累积,尽管各种元素的变化趋势,但从整体上来看,主要以含量增加为主。就土壤有效养分而言,高含量的 Cu、Zn 也可能造成土壤富集影响蔬菜生产。

高产高效是目前菜农追求的目标,但如何把高产与环境保护有机协调是设施农业生产中的一个难点。大量发展设施农业严重的施肥问题以及由此带来的一系列环境问题是目前应该解决的问题。而解决这些问题的唯一出路只能是控制肥料的用量,做到施肥与灌溉以及蔬菜栽培技术的合理结合。

参考文献:

- [1] 段永蕙,史静,张乃明,等.设施土壤重金属污染物累积的影响因素分析[J].土壤,2008,40(3):469-473.
- [2] 袁丽金,巨晓棠,张丽娟,等.设施蔬菜土壤剖面氮磷钾积累及对地下水的影 响[J].中国生态农业学报,2010,18(1):14-19.
- [3] 张春燕,王学锋,王建玲,等.新乡市水源地土壤重金属含量特征及其对地下水的影 响[J].生态学杂志,2007,26(9):1355-1358.

- [4] 高伟,朱静华,高宝岩,等.天津市设施蔬菜不同种植年限土壤及地下水养分特征[J].华北农学报,2010,25(2):206-211.
- [5] 刘苹,杨力,于淑芳,等.寿光市蔬菜大棚土壤重金属含量的环境质量评价[J].环境科学研究,2008,21(5):66-71.
- [6] 秦鱼生,喻华,冯文强,等.成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价[J].生态学报,2013,33(19):6335-6344.
- [7] 麦麦提吐尔逊·艾则孜,阿吉古丽·马木提,艾尼瓦尔·买买提.新疆焉耆盆地辣椒地土壤重金属污染及生态风险预警[J].生态学报,2018,38(3):1075-1086.
- [8] 杨治平,张建杰,张强,等.山西省保护地蔬菜长期施肥对土壤环境质量的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(2):667-671.
- [9] 史静,张乃明.云南设施土壤重金属分布特征及污染评价[J].云南农业大学学报,2010,25(6):862-867.

Determination and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Soils of Vegetable Greenhouse

DONG Zhi-chao, CHENG Quan-guo, LI Ye, WANG Hao-dong, ZHAO Meng-zhu

(Key Laboratory of Regional Environment and Eco-Remediation, Ministry of Education, Shenyang University, Shenyang 110044, China)

Abstract: In order to further study the heavy metals in vegetable soils, this paper analyzed the accumulation of heavy metal content in farmland soils and the degree of groundwater pollution and potential ecological risks by collecting soil samples of agricultural farmland and corresponding groundwater samples in the surrounding areas of Shenyang city, Liaoning province. The results showed that the average of organic fertilizer in soil was 2.46%, nitrate nitrogen was 75.87-91.49 mg·kg⁻¹, available phosphorus was 22.30-28.95 mg·kg⁻¹, and available potassium was 54.51-125.90 mg·kg⁻¹. Nitrate nitrogen, available phosphorus and available potassium were heavy cumulated in soil of greenhouse vegetable. With the planting age increasing, the cumulative intensity was increased. The concentration of heavy metal pollution in the soil of facilities agricultural regions had been accumulated and obviously higher near to the soil quality standard of our country. The concentration of Cd was close to 1 mg·kg⁻¹ value, part of shallow groundwater in facilities agriculture irrigation, the heavy metal content and nutrient content were lower than the state groundwater environmental quality standards, the concentration of nitrate and nitrite content had higher than background value. The potential ecological risk was moderate due to the high Pb content. The analysis showed that the use of a large number of compound fertilizers such as poultry manure and calcium-magnesium-phosphorus fertilizers led to the accumulation of heavy metals in the soil, and it was easy to lead to regional eutrophication with the increase of planting years. In order to reduce the environmental risk effectively, it is suggested to reduce the amount of fertilizer and plant vegetables with strong resistance to heavy metal pollution.

Keywords: facilities agricultural region; heavy metal in soil; groundwater; ecological risk