

喀什市蔬菜基地土壤重金属含量及其生态风险评价

查向浩¹, 张文河¹, 易海艳^{2,3}, 林 宁¹, 董 菲¹

(1. 喀什大学 化学与环境科学学院, 新疆 喀什 844000; 2. 新疆维吾尔自治区教育厅叶尔羌绿洲生态与生物资源研究重点实验室, 新疆 喀什 844000; 3. 喀什大学 生命与地理科学学院, 新疆 喀什 844000)

摘要:为更好地预防无公害蔬菜基地重金属污染,采集了喀什市蔬菜基地表层土壤样品,重点对疏勒县、五里桥、远方市场和四十二团等四处蔬菜基地土壤中 Cu、Cr、Pb、Zn 等 4 种重金属含量进行了测定和分析。采用了单因子污染指数法、综合污染指数法和潜在生态风险系数法对其污染状况进行评价。结果表明:喀什市这 4 个主要的蔬菜基地土壤环境质量处于清洁水平,所测定的土壤重金属 Cu 元素含量超标,土壤受到轻度污染。土壤中各金属潜在风险系数按平均值大小依次是 Cu> Cr> Pb> Zn。土壤中重金属 Cu 的变异程度比其它金属元素大,达到中等程度的变异。综合潜在生态风险系数(RI)也表明这 4 个蔬菜基地土壤属于轻度危害。

关键词:蔬菜基地;土壤重金属;风险评价

中图分类号:X53 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)06-0037-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.06.0037

土壤是农业生产活动中最重要的、稀缺的不可再生资源,随着喀什市城市化水平的不断提高,

城市面积和人口规模不断增大,城市郊区耕地数量不断减少,土壤质量也面临潜在的污染风险。目前,学者从不同的角度对蔬菜土壤重金属进行了研究,曾希柏研究的菜地土壤重金属中以 Zn 含量最高,其次是 Cr,再次是 Cu^[1]。王登启对山东寿光市典型设施蔬菜栽培区域的土壤重金属分布特征与生态风险做了详实的研究^[2]。区域环境

收稿日期:2016-04-20
基金项目:喀什大学青年专项资助项目[(13)2480]和教育部本科专业综合改革试点资助项目(ZG0548)
第一作者简介:查向浩(1981-),男,河南省长葛市人,硕士,讲师,从事干旱区生态过程与可持续性研究。E-mail:zhaxianghao@163.com.

Effect of Nitrogen Forms on the Photosynthesis of Tomato Under Alternate Partial Root-zone Irrigation

ZHANG Long-fei, SHU Liang-zuo

(School of Life Science, Huaibei Normal University/Key Laboratory of Plant Resources and Biology of Anhui Province, Huaibei, Anhui 235000)

Abstract: The effect of nitrogen forms(ammonium-N and nitrate-N) on the photosynthesis, the content of chlorophyll, biomass and water use efficiency of tomato under alternate partial root-zone irrigation(conventional irrigation, alternate partial root-zone irrigation and fixed partial root-zone irrigation) were analyzed in a split-root experiment. The results showed that compared with the nitrate-N treatment, ammonium-N promoted net photosynthetic rate, water use efficiency of tomato in seeding stage under alternate partial root-zone irrigation in one alternate cycle. Under the same nitrogen form, the net photosynthetic rate and biomass were significantly higher in APRI treatment than that of the conventional irrigation, but the transpiration rate was lower than that of conventional irrigation. In one alternate cycle, the net photosynthetic rate and chlorophyll content of tomato leaves decreased. The experimental results suggested that the APRI(alternate partial root-zone irrigation) treatment with the ammonium-N supply would be better option for the growth and water use efficiency of tomato in seeding stage, in regarding to biomass, photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency.

Keywords: alternate partial root-zone irrigation; nitrogen forms; biomass; photosynthetic rate

的差异性导致不同的环境土壤重金属含量、分布、变异程度都不相同。土壤重金属含量的多少不但与土壤溶液 pH 有关,还与土壤本身的性质如有机质含量有关,柴世伟和孙花分别对广州郊区农业土壤、湖南农田土壤做了这方面的研究^[3-4]。有关新疆地区尤其是南部新疆地区的蔬菜地土壤重金属的研究相对较少,主要集中在新疆以北的地区,研究内容基本以矿区土壤、农田土壤为主^[5-6]。有研究表明喀什市郊区土壤已受到金属元素 Pb 的轻度污染^[7]。喀什市农田土壤中重金属元素 Cd 含量略高,土壤受到轻度污染^[8]。有必要对喀什市郊区耕地土壤重金属元素的赋存含量等状况开展探讨与评价,以满足城市人口对绿色蔬菜的正常需求,并确保喀什市无公害蔬菜基地建设的顺利进行。随着菜园土壤种植历史的延长,土壤熟化程度的增加,重金属元素 Zn、Cu、Pb 的含量有明显增高的趋势^[9],这将对人们的食品安全带来严重的危害。此次对喀什市蔬菜基地土壤重金属元素含量的调查和评价,旨在为无公害蔬菜基地重金属元素的污染预防和建设提供指导依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

喀什市位于新疆西南 N39.41°~40.27°,E71.83°~76.33°,属于喀什噶尔河流域,坐落在喀什噶尔三角洲中上部。整体地形北高南低,最高点 1 515 m,最低点 1 260 m,城区的平均海拔高度为 1 289 m。气候类型属暖温带大陆性干旱气候,全年降水量少、年蒸发量大、热量丰富、无霜期长,年平均气温在 11.4~11.7℃。荒漠和半荒漠的生态环境下发育了以棕漠土、棕钙土、绿洲黄土等为主的地带性土壤。水资源以高山冰雪融水和地下水为主。

1.2 土壤样品的采集与处理

2014 年 5 月,在喀什市及市区周围重点选择了 4 个产量较大的蔬菜基地作为研究对象,分别为疏勒县、五里桥、远方市场、四十二团。采取梅花式布点,采样深度为表层土壤 0~20 cm,每个样品点周围采集 4~5 个平行样,组成一个混合样,再用四分法分出 1 kg 土样,贴注标签。同时用集思宝 GPS 对每个样点进行定位。去除所采样品中的石块、沙砾、杂草后平铺在纸上自然晾干。样品呈半干状态时把土块压碎,平铺成薄层,放置阴凉处,使其自然风干,并做好防止土壤样品受到污染的相关措施。将风干的土样碾碎成细土

后反复按四分法取样,然后取出 100 g 的土样待用。随后用瓷研钵研磨,将研磨后的样品依次通过 60 目和 100 目的标准筛。将过筛后的样品充分均匀混合,装入自封袋中以备分析使用。

1.3 方法

1.3.1 分析方法 土壤样品重金属含量分析方法:土壤 pH 变幅范围在 6.66~7.39 和 6.50~7.50。采用四酸法对土壤样品进行消解。经过盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸煮消后,过滤、保存。使用 ICP-OES(Perkinelmer-Optima8200)火焰原子吸收光谱法测定元素 Cu、Cr、Zn;石墨炉原子吸收光谱法测定金属元素 Pb;采用玻璃电极法测定土壤 pH。试验的全过程进行质量控制,称取土壤样品时准确到 0.000 1 g;试验所用试剂均为优质纯,试验用水均为超纯水。

1.3.2 污染评价方法 采用单因子污染指数法、综合污染指数法、潜在生态风险评价法对喀什市蔬菜基地土壤重金属进行评价。

①土壤单因子污染指数

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中: P_i 为土壤中污染物 i 的单因子污染指数; C_i 为土壤中污染物 i 的实测浓度($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); S_i 为污染物 i 的评价标准($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。 $P_i \leq 1$ 表示未污染; $1 < P_i \leq 2$ 表示轻度污染; $2 < P_i \leq 3$ 表示中度污染; $P_i > 3$ 表示重度污染。

综合污染指数 $P_{\text{综}}$ 的计算方法采用内梅罗污染指数进行计算,公式:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ave}}^2 + P_{\text{max}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中 P_i 综合污染指数, P_{ave} 采样点污染元素单项污染指数 P_i 的平均值, P_{max} 采样点污染元素单项污染指数 P_i 的最大值,当土壤 $P_{\text{综}} \leq 0.7$ 为安全, $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1$ 为警戒限, $1 < P_{\text{综}} \leq 2$ 为轻度污染, $2 < P_{\text{综}} \leq 3$ 为中度污染, $P_{\text{综}} > 3$ 为重度污染。

②潜在生态风险评价

潜在生态风险指数法是瑞典科学家 Hakanson 提出的一种应用沉积学原理评价重金属污染及生态风险的方法,是目前国际上评价土壤(沉积物)重金属生态风险的先进方法之一^[10],其优点在于综合考虑了重金属含量及重金属的生态效应、环境效应和毒理学的叠加效应,定量地划分出重金属的潜在风险程度^[11-12],区域中单个重金属的潜在风险系数公式为:

$$E_r^i = T_i \times P_i \tag{3}$$

式中: P_i 为重金属 i 的污染因子; T_i 为重金属的毒性系数,各重金属毒性系数取值为 Cu(5)、Zn(1)、Pb(5)、Cr(2)。

区域中多个重金属的综合潜在风险系数公式为:

$$RI = \sum_{j=1}^n E_r^j \tag{4}$$

RI 是各单一重金属元素的潜在生态危害指数之和,其分级标准见表 1。

表 1 土壤重金属的潜在风险分级标准

Table 1 Classification standard of potential ecological risk of heavy metals in soils

Potential ecological risk	轻度 Mild	中度 Moderate	较强 Strong	很强 Verystrong	极强 Extremely strong
E_r^i	<40	40~80	80~160	160~320	≥320
RI	<50	50~300	300~600	600~1200	>1200

1.3.3 数据处理及分析 本文采用 Excel2010 和 SPSS16.0 两种软件进行数据的统计分析和处理。

2 结果与讨论

2.1 土壤重金属含量

表 2 显示的是喀什市 4 个主要的蔬菜基地土壤重金属含量的描述性统计数据,所检测的土壤重金属元素 Cu 含量数据中出现了两个极值,Zn 元素出现了一个极值(见图 1 中黑点)。其中 Cr 浓度范围为 52.20~90.40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 69.46 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;Cu 浓度范围为 31.70~140.10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 47.09 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,相比

郊区土壤,元素 Cu 的含量明显增大^[10];Pb 的浓度范围 24.30~28.30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 26.78 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;Zn 的浓度范围 68.80~141.00 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值 88.36 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。元素 Zn、Cr 的平均值比较大,应与本地土壤背景高有直接的关系^[11]。

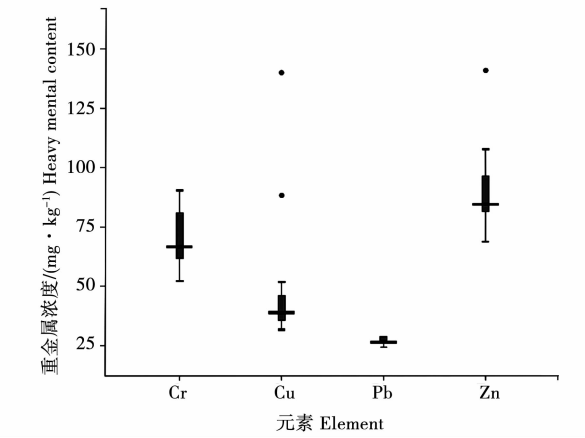


图 1 土壤重金属含量箱图

Fig. 1 The box map of heavy mental content

各个金属元素的变异系数在 5.2%~51.9%,属于中等变异。表明这几种元素在土壤中分布不均匀,受人为活动比较显著。例如灌溉^[12]、施肥、种植制度和对土地的管理措施等。其中,金属 Cu 的变异程度相对其它 3 种元素比最大,这除了与人为活动有关外,自然原因也是其中一个因素,研究表明本地土壤中 Cu 的背景值的变异系数相对其它元素也是最大^[11]。土壤重金属含量数据进行 Q-Q 图检验表明,只有重金属 Cu 呈正态分布,是一条向右偏,坡度比较陡的正态曲线。

表 2 喀什市蔬菜基地土壤重金属含量的描述统计

Table 2 Descriptive statistics of heavy metals in vegetable base soils of Kashgar city

项目 Items	平均值±标准差/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Averages±SD	最小值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Min	最大值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Max	变异系数/% CV	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	标准值 Standard value
Cr	69.46±1.18	52.20	90.40	16.9	0.33	-1.17	200
Cu	47.09±2.44	31.70	140.10	51.9	3.24	11.24	100
Pb	26.78±1.40	24.30	28.30	5.2	-0.37	-0.764	300
Zn	88.36±1.59	68.80	141.00	17.9	1.84	5.36	250

2.2 蔬菜基地土壤重金属污染评价

2.2.1 重金属单因子污染指数评价及综合污染指数评价 根据我国土壤环境质量和喀什市蔬菜基地土壤重金属含量的测定值,通过公式(1)

和(2)进行单因子污染指数及综合污染指数计算(见表 3)。从表 3 中可以看出,蔬菜基地土壤重金属单因子污染指数 $\text{Cu} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Pb}$ 。从单因子平均值和分级情况看,土壤中 Cu 元素超标,

土壤受到轻度的污染。其它 3 种(Cr、Zn、Pb)金属元素相对在安全范围内。通过公式(2)计算内梅罗综合污染指数的结果 $P_{综}$ 小于 0.7 也表明,喀什市蔬菜基地土壤重金属含量都在安全范围内。数据表明相对其它 3 种金属元素,Cu 的变异系数最大约为 52%属于中等变异。

表 3 喀什市蔬菜基地重金属污染指数统计数据分析

Table 3 Analysis on statistical data of pollution index for heavy metals in vegetable base soils of Kashgar city				
项目 Items	Cr	Cu	Pb	Zn
最小值 Min	0.26	0.32	0.08	0.28
最大值 Max	0.45	1.40	0.09	0.56
全区平均值±标准差 Averages±SD	0.34±0.059	0.40±0.244	0.09±0.005	0.30±0.063
变异系数/% CV	17.1	51.9	5.6	17.8
综合污染评价 $P_{综合}$	0.57			

2.2.2 潜在生态风险评价 通过将土壤单因子污染指数 P_i 和重金属毒性系数代入公式(3)和(4)得到表 4 所示结果,即土壤单因子潜在生态风险系数和综合潜在生态风险系数 RI。由此可知,4 种土壤重金属元素的潜在生态风险系数 E_i^p 范围分别为:Cr(0.52~0.90)、Cu(1.56~7.00)、Zn(0.28~0.56)和 Pb(0.40~0.47)。平均值依次为:0.69、2.35、0.45 和 0.35。参照表 4 所示,这 4 种重金属的潜在危害系数 E_i^p 都低于 40,表明它们的潜在危害程度较低,属于轻度污染。土壤中各金属潜在风险系数按平均值大小依次是 $Cu>Cr>Pb>Zn$ 。综合潜在风险系数 RI 的平均值为 3.84,处于轻度危害水平。除元素 Cu 的变异系数为 52%,属于中等变异外,其它各元素的潜在生态变异系数都比较低,属于低等变异。由此可知喀什市这 4 个主要的蔬菜基地土壤重金属潜在风险属于轻度。

表 4 喀什蔬菜基地土壤重金属潜在生态风险评价结果

Table 4 Evaluation results of the potential ecological risk of heavy metals in vegetable base soils of Kashgar city					
项目 Items	潜在生态风险系数 E_i^p				综合潜在生态风险系数 RI
	Cr	Cu	Pb	Zn	
最大值 Max	0.90	7.00	0.47	0.56	8.66
最小值 Min	0.52	1.56	0.40	0.28	3.06
平均值±标准差 Averages±SD	0.69±0.118	2.35±1.222	0.45±0.023	0.35±0.063	3.84±1.539
变异系数/% CV	17.12	52.00	5.20	17.90	40.00
污染程度 Pollution degree	低	低	低	低	轻度

3 结论

喀什市蔬菜基地土壤重金属 Cr、Cu、Pb、Zn 平均含量分别为 69.46、47.09、26.78、88.36 $mg\cdot kg^{-1}$ 。4 个元素的变异系数在 5.2%~51.9%,属于中等变异。元素 Cu 的变异系数最大,在土壤中的分布不均。Cr 的平均含量相对偏高。

通过土壤单因子污染指数和综合污染指数分析表明 $Cu>Cr>Zn>Pb$ 。土壤中 Cu 元素超标,土壤受到轻度的污染。综合污染指数表明基地土壤处于安全范围内。土壤单因子潜在生态风险系

数可知 4 种土壤重金属元素的潜在生态风险系数按平均值大小依次是 $Cu>Cr>Pb>Zn$ 。可知 Cu 的潜在危害较大。综合潜在风险系数 RI 的平均值为 3.84,处于轻度危害水平。除元素 Cu 的变异系数为 52.00%,属于中等变异外,其它各元素的潜在生态变异系数都比较低,属于低等变异。

参考文献:

[1] 曾希柏,李莲芳.中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J].中国农业科学,2007(11):2507-2517.

[2] 王登启.设施菜地土壤重金属的分布特征与生态风险评价研究[D].泰安:山东农业大学,2008.

- [3] 柴世伟,温琰茂,张云霓,等. 广州郊区农业土壤重金属含量与土壤性质的关系[J]. 农村生态环境, 2004(2):55-58.
- [4] 孙花,谭长银,黄道友,等. 土壤有机质对土壤重金属积累、有效性及形态的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2011(4):82-87.
- [5] 王晓军. 新疆昌吉典型地区几种土壤重金属元素含量分布及污染评价[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2011.
- [6] 姚峰,包安明,古丽·加帕尔,等. 新疆准东煤田土壤重金属来源与污染评价[J]. 中国环境科学, 2013(10):1821-1828.
- [7] 王晶,殷飞,王志强. 喀什市城市道路表层土壤中铅含量的分析及评价[J]. 喀什师范学院学报, 2011, 32(3):32-35.
- [8] 莫治新,王楚含. 新疆喀什市农田土壤重金属特征分析[J]. 广东微量元素科学, 2015, 22(9):7-10.
- [9] 张民,龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J]. 土壤学报, 1993, 33(1):85-93.
- [10] 徐争启,倪师军,庾先国,等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2):112-115.
- [11] 唐庆丽,程金平,高昊旻,等. 上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价[J]. 环境科学, 2013, 34(4):1340-1344.
- [12] 甘国娟,刘伟,邱亚群,等. 湘中某冶炼区农田土壤重金属污染及生态风险评价[J]. 环境化学, 2013, 32(1):132-138.

Heavy Metal Contents and Ecological Risk Assessment of the Vegetable Base Soils in Kashgar City

ZHA Xiang-hao¹, ZHANG Wen-he¹, YI Hai-yan^{2,3}, LIN Ning¹, DONG Fei¹

(1. College of Chemistry and Environmental Science, Kashgar University, Kashgar, Xinjiang 844000; 2. The Key Laboratory of Ecology and Biological Resources in Yarkand Oasis at Colleges and Universities Under the Department of Education of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashgar, Xinjiang 844000; 3. College of Biologic and Geographical Science, Kashgar University, Kashgar, Xinjiang 844000)

Abstract: In order to prevent the pollution by heavy metal of vegetable base, the contents of heavy metals in surface soil samples were collected in vegetable base in Kashgar city. There were four vegetable bases were considered including Shule county, Wuliqiao, Yuanfang Market and Sishiartuan. Four heavy metals such as Cu, Cr, Pb, Zn and the contamination of heavy metals in soils was assessed with single-factor pollution index method, Nemerow comprehensive pollution index method and potential ecological harm index method. The results indicated that all vegetable base soil environmental quality were clean level whereas heavy metals Cu content over standard. Soil were slight pollution by metal Cu. The rank of average Nemerow comprehensive pollution index of four heavy metals in the vegetable base soil was $Cu > Cr > Pb > Zn$. The coefficient of variation (CV) of the metal Cu was higher than others which means belonged to intermediate variation. Comprehensive potential ecological harm index showed that the four vegetable base soil were in slight harm degree.

Keywords: vegetable base; soil heavy metal; risk assessment

《黑龙江农业科学》2017 年征稿启事

《黑龙江农业科学》是由黑龙江省农业科学院主管、主办的国内外公开发行的综合性农业科技期刊,被中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中国生物学文献数据库、中文科技期刊数据库等收录。月刊,每月 10 日发行。

主要栏目有遗传育种、生物技术、耕作栽培、土肥·资环·能源、植物保护、畜牧兽医·水产、园艺园林、质量安全、食用菌·中草药·微生物、草业、加工贮藏·产业化、农经·农教·管理、农业工程·信息技术、综述、科普园地等以及各类广告业务宣传。

本着择优纳新的原则,对各类省部级和国家级专项科研基金资助项目的论文,以及已获省部级以上科技奖励的科研项目论文,优秀博士、硕士论文将予以优先录用,对于时效性强和具有重大指导意义的文章可适当提前刊登。

本刊唯一投稿邮箱 www.haasep.cn 电话:0451-86668373

编辑部地址:哈尔滨市南岗区学府路 368 号《黑龙江农业科学》编辑部

邮编:150086