

网络出版时间:2013-03-27 15:49

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130327.1549.016.html>

设施菜地和露天菜地的土壤重金属含量及累积特征

楚纯洁^{1,2}, 王章涵¹, 周金凤³, 彭舜磊⁴, 杨风岭⁴

(1 平顶山学院 资源与环境科学学院, 河南 平顶山 467000; 2 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

3 南京大学 化学化工学院, 江苏 南京 210093; 4 河南省林业厅 低山丘陵区生态修复重点实验室, 河南 平顶山 467000)

[摘要] **【目的】**比较分析不同种植年限的设施菜地和露天菜地土壤重金属的污染特征, 为菜地管理及土壤重金属污染治理提供科学依据。**【方法】**以豫西洪积平原洪庄杨乡附近的露天菜地和设施菜地土壤为研究对象, 大田土壤为对照, 以种植年限(0~4, 5~9, 10~19, ≥ 20 年)为采样依据, 测定 8 种土壤重金属(Cu、Zn、Cr、Ni、Pb、Cd、As、Hg)的含量, 并运用地累积指数和内梅罗指数, 对研究区设施菜地和露天菜地的土壤重金属含量及其累积特征进行综合分析。**【结果】**①2 类菜地土壤重金属 Cu、Ni、Pb、Cd 和 Hg 含量存在不同程度的超标, 而大田对照土壤除 Ni 外, 其他各重金属含量均不超标; 除 Ni 元素外, 露天菜地和设施菜地土壤重金属含量均具有随种植年限增加而增大的趋势, 而露天菜地则由于易受外界条件影响而在总体增大趋势之下呈现一定的波动性。②露天菜地和设施菜地土壤均存在 Pb、Hg、Cd 的累积污染, 其程度大小均为 $Hg > Cd > Pb$, 且随种植年限的增加累积污染程度增大。③露天菜地和设施菜地土壤均达到了重金属强度污染水平, 且均随种植年限的增加而呈加重态势, 露天菜地土壤重金属综合污染指数较设施菜地高。**【结论】**研究区菜地土壤已产生不同程度的重金属累积污染, 露天菜地和设施菜地具有大致相似的污染特征, 累积污染均随种植年限增加而加重, 但外源性因素对露天菜地重金属污染的影响更广泛。

[关键词] 菜地; 土壤重金属; 污染特征; 豫西洪积平原

[中图分类号] S158.1

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2013)04-0125-08

Contents and accumulation characteristics of heavy metals in open and protected vegetable soils

CHU Chun-jie^{1,2}, WANG Zhang-han¹, ZHOU Jin-feng³,
PENG Shun-lei⁴, YANG Feng-ling⁴

(1 College of Resources and Environmental Science, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China;

2 College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 3 School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China; 4 The Key Laboratory of Ecological Restoration in Hilly Areas, Forestry Department of He'nan Province, Pingdingshan, He'nan 467000, China)

Abstract: **【Objective】**The comparative analysis of heavy metal contaminations in open and protected vegetable lands with different planting years was conducted to improve management of vegetable lands and prevention of metal pollution in soil. **【Method】**Open and protected vegetable soils on alluvial plain at Hongzhuangyang village in western Henan province were taken as research material and the soil from field was used for comparison. Based on cultivation years including four groups: 0 to 4 years, 5 to 9 years, 10 to 19 years and ≥ 20 years, the concentrations of Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, As and Hg were analyzed. Heavy metal contents and their accumulation characteristics for open and protected vegetable soils were evaluated using geo-accumulation index and Nemerow integrated index. **【Result】**① The concentrations of Cu, Ni, Pb,

[收稿日期] 2012-07-02

[基金项目] 国家林业公益性行业科研专项资助项目(201004044); 平顶山学院河南省生态学重点学科资助项目

[作者简介] 楚纯洁(1978—), 男, 河南叶县人, 讲师, 博士, 主要从事生态环境演变与治理研究。E-mail: zzfccj@163.com

Cd and Hg in both open and protected vegetable soils exceeded the standards to different extents, while the concentrations of all metals except Ni in soil from field did not. Except Ni, the amounts of heavy metals became higher as the planting years increased. However, the concentrations of some heavy metals in open vegetable fields showed certain fluctuation due to external influence. ② Concentrations of Pb, Hg and Cd accumulated in both open and protected vegetable soils in an order of $Hg > Cd > Pb$. Furthermore, the degrees of accumulation pollution increased with the increase of planting years. ③ The concentrations of heavy metals in both open and protected vegetable fields reached the pollution level of strong. At the same time, the pollution levels had an aggravation tendency as the increase of planting years. The integrated pollution index of open vegetable land was higher than that of protected vegetable land. 【Conclusion】 Vegetable soils in studied area have produced accumulation pollution of heavy metals. The open vegetable land and protected vegetable land present similar pollution characteristics, and the accumulation pollution aggravates with the increase of planting years. However, exogenous factors play a more extensive role on heavy metal pollution in the open vegetable land.

Key words: vegetable land; soil heavy metals; accumulation pollution; alluvial plain in western Henan province

菜地是与人类健康密切相关的一种土地利用方式,菜地土壤基本性质与重金属含量的变化,能在一定程度上反映出菜地土壤物质的输入与迁移状况^[1]。目前,菜地土壤性质变化及重金属污染已日益引起人们的重视^[2-5],设施菜地环境问题也逐渐受到更多的关注。近年来,设施蔬菜产业发展迅猛,设施蔬菜的生产已打破了蔬菜生产的季节性限制,通过人为控制小气候,可以使蔬菜在较适宜的环境下常年生产并达到高产,对促进农业增效、农民增收、繁荣农村经济发挥了重要的作用。在取得高收益并改善人们生活的同时,因设施菜地的特殊覆盖结构,使其具有常年高温、高湿、无降水淋洗及高施肥、高产出、超强度利用等特点^[6],从而导致土壤板结、盐分积累等,使得土壤理化性质发生了改变^[7]。设施土壤中出现的酸化板结、盐渍化、养分失调、重金属累积、微生物区系改变等障碍问题日益突出^[8]。有关菜地土壤重金属的研究,一般多偏重于普通露天菜地,而对设施菜地土壤重金属的研究较少^[9-12],尤其有关露天菜地与设施菜地的比较研究则更少^[13]。河南省为我国农业大省,蔬菜地是河南省重要的土地利用方式之一。近几十年来,河南省蔬菜生产发展迅速,大量的粮田被用于蔬菜生产,但至今对这一地区的菜地土壤环境状况还缺乏系统的研究。本试验以河南省西部洪积平原菜地土壤为研究对象,分析了不同种植年限的设施菜地和露天菜地的土壤重金属污染特征,以了解该区域菜地土壤的环境风险状况,为重金属污染土壤的治理与修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

叶县位于河南省西部,为沙河、汝河及湛河交汇的洪积平原,属淮河北上游干支流沙颍水系,地理坐标为 $N33^{\circ}21' \sim 33^{\circ}46'$, $E113^{\circ}02' \sim 113^{\circ}37'$ 。该区域西南高东北低,由第二地貌台阶边坡向第三地貌台阶过渡,呈阶梯状降低。除浅山、丘陵区外,平原占据了县境中部和东北部地域,属山前洪积型。该区域属暖温带半干旱季风气候区,四季分明,年均无霜期 214 d,年均气温 14.9°C ,年均降水量 794.6 mm。土壤主要有黄棕壤、砂姜黑土、潮土等土类。浅山区成土母质含有石英砂岩等多种母岩和风化程度低的坡积物与残积物;丘岗和平原区多为第四纪下属性黄土;平原上有片状湖相沉积物分布,土层深厚,潜在肥力大;沿河地带冲积层明显,成土母质为河流冲积物。洪庄杨乡为叶县辖乡,位于县境东北部,海拔 80 m 左右。研究区区位分布如图 1 所示。

1.2 样品采集与分析

供试土壤取自洪庄杨乡小庄村的菜地和观上村的农田,被沙、汝、湛河环抱,相距均不超过 2 km,西距平顶山市区 8 km。取样区域地势较低,1975 年因沙河决口,洪水冲淤而成平地,成土母质为湖相沉积物,土壤属潮土类型。小庄村农田长期以种植蔬菜为主,而毗邻的观上村农田则长期以种植花生、小麦为主。根据蔬菜种植年限,分设施菜地、露天菜地以及农田对照 3 个采样单元,前 2 个单元均取 0~4, 5~9, 10~19 和 ≥ 20 年 4 个种植年限(每个种植

年限分别取 3 个土样),每个样均按 5 点采样法采集土壤表层(0~15 cm)混合样。其中设施菜地取样

12 个,露天菜地取样 12 个,大田对照取样 3 个,共计 27 个样。

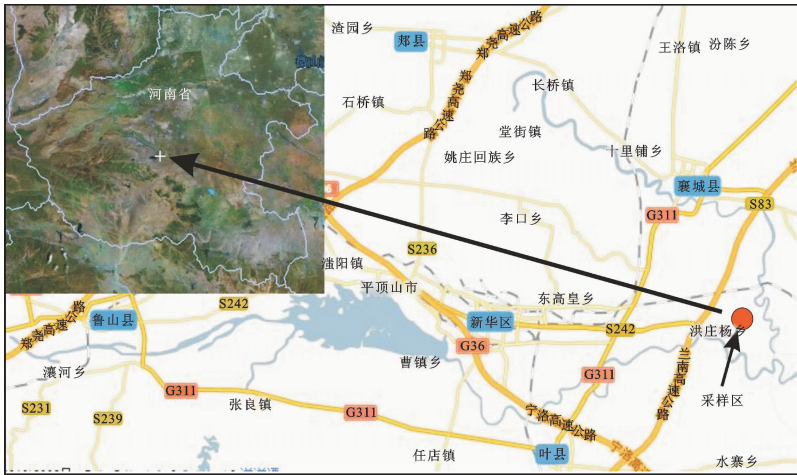


图 1 研究区的区位分布
Fig. 1 The location of study areas

土样在室温下自然风干后,拣去植物残体与石砾,磨细过孔径 2 mm 尼龙筛,混匀;然后通过“四分法”取样约 5 g,继续研磨,使之全部通过孔径 0.149 mm 土壤筛,用于土壤重金属含量的测定。本研究选取了对土壤环境及人体健康危害较大的 8 种重金属元素(Cu、Zn、Cr、Ni、Pb、Cd、As、Hg)进行分析。其中 Cu、Zn 依据 GB/T 17138—1997 测定,Cr、Ni 依据 GB/T 17137—1997 和 GB/T 17139—1997 测定,Pb、Cd 依据 GB/T 17141—1997 测定,As、Hg 依据 GB/T 17134—1997 和 GB/T 17136—1997 测定。在测定过程中,试剂全部采用优级纯,采用空白样、平行双样及加入国家标准土壤样品进行质量控制,测定结果符合精度要求^[14]。

1.3 土壤重金属污染评价方法

1.3.1 地累积指数法 地累积指数(I_{geo})是 20 世纪 60 年代晚期在欧洲发展起来的、广泛用于研究沉积物及其他物质中、反映重金属污染程度的定量指标。该指数不仅反映了重金属分布的自然变化特征,而且可以判断人为活动对环境的影响,是区分人为活动影响的重要参数^[15]。其计算公式如下:

$$I_{geo} = \lg(C_n / 1.5 B_n) \tag{1}$$

式中: C_n 为元素 n 在沉积物或土壤中的含量; B_n 是指沉积岩中的地球化学背景值测定含量;常数 1.5,主要是考虑各地岩石的岩性差异可能会引起背景值的变动而取的系数。地累积指数分级标准为: $I_{geo} < 0$,表示无污染(0 级); $0 \leq I_{geo} < 1$,表示无污染到中度污染(1 级); $1 \leq I_{geo} < 2$,表示中度污染(2 级); $2 \leq$

$I_{geo} < 3$,表示中度污染到强污染(3 级); $3 \leq I_{geo} < 4$,表示强污染(4 级); $4 \leq I_{geo} < 5$,表示强污染到极强度污染(5 级); $I_{geo} \geq 5$,表示极强度污染(6 级)。

1.3.2 土壤综合污染评价 土壤污染综合评价采用内梅罗(N. L. Nemerow)综合指数法,计算公式为^[16]:

$$P_N = \sqrt{(P_{i,average}^2 + P_{i,max}^2) / 2}, \tag{2}$$
$$P_{ij} = C_{ij} / S_i$$

式中: P_N 为综合污染指数, $P_{i,average}$ 和 $P_{i,max}$ 分别为平均单项污染指数和最大单项污染指数, P_{ij} 为第 j 个采样点重金属元素 i 的单项污染指数, C_{ij} 为第 j 个采样点重金属元素 i 的实测浓度, S_i 为重金属元素 i 的评价标准。污染分级标准依据土壤环境监测技术规范(HJ/T 166-2004)进行,即 $P_N \leq 0.7$ 为清洁(安全,Ⅰ级); $0.7 < P_N \leq 1.0$ 为尚清洁(警戒限)(Ⅱ级); $1.0 < P_N \leq 2.0$ 为轻度污染(Ⅲ级); $2.0 < P_N \leq 3.0$ 为中度污染(Ⅳ级); $P_N > 3.0$ 为强污染(Ⅴ级)。

2 结果与分析

2.1 菜地土壤重金属含量特征

2.1.1 不同类型菜地土壤 对供试土样重金属含量进行数理统计,结果见表 1。由表 1 知,设施菜地土壤重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、As 含量的变幅、平均值、标准差、变异系数均大于露天菜地和大田对照,露天菜地 Cr、Ni 含量变幅、平均值、标准差、变异系数与设施菜地相近,而露天菜地的 Hg 含量则高于

设施菜地,但 2 种菜地土壤中 Cr、Ni、Hg 含量平均值均高于大田对照。

分别与中国土壤元素背景值(潮土)和河南省土壤元素背景值相比,设施菜地和露天菜地土壤重金属 Cu、Ni、Pb、Cd 和 Hg 平均含量均存在不同程度的超标,而 Zn、Cr、As 含量则不超标;相比之下,大田对照土壤重金属 Cu、Zn、Cr、Cd、As、Hg 平均含量低于中国土壤元素背景值,表明大田对照土壤中

这 6 种重金属未超标,只有 Ni 平均含量与中国土壤元素背景值相比超标,Pb 含量则与中国土壤元素背景值相近。进一步比较发现,大田对照土壤 Zn、Cr、Cd 和 As 平均含量均低于河南省土壤背景值(与前述有着相似的规律),而 Cu、Pb 和 Hg 平均含量则与河南省土壤背景值相近,只有 Ni 含量高于河南省土壤背景值。由此可以看出,大田对照土壤除 Ni 外,其余重金属元素均不存在超标现象。

表 1 设施菜地和露天菜地土壤重金属含量的统计特征					
Table 1 Statistics of heavy metal concentrations in open and protected vegetable soils					
土地类型 Type	指标 Index	Cu	Zn	Cr	Ni
设施菜地 Protected vegetable land	变幅/(mg·kg ⁻¹)	20.0~62.0	31.0~81.7	44.0~70.0	31.7~45.5
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	32.019	48.990	54.410	37.703
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	11.986	17.445	8.473	4.433
	变异系数/%	37.4	35.6	15.6	11.8
露天菜地 Open vegetable land	变幅/(mg·kg ⁻¹)	20.4~41.0	27.6~67.9	43.6~72.7	30.8~44.1
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	27.989	43.885	58.011	38.504
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	6.210	11.658	9.581	4.300
	变异系数/%	22.2	26.6	16.5	11.2
大田对照 Field control	变幅/(mg·kg ⁻¹)	17.7~21.3	31.4~36.2	41.6~47.8	33.2~43.3
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	19.782	33.970	44.044	37.065
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	1.872	2.406	3.256	5.466
	变异系数/%	9.5	7.1	7.4	14.7
中国土壤元素背景值(潮土) ^[17] Background values of alluvial soil elements in China		24.1	71.1	66.6	29.6
河南省土壤元素背景值 ^[18] Background values of soil elements in Henan province		20	62.5	63.2	27.4

土地类型 Type	指标 Index	Pb	Cd	As	Hg
设施菜地 Protected vegetable land	变幅/(mg·kg ⁻¹)	27.3~79.0	0.1~0.3	3.8~10.0	0.03~0.23
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	52.651	0.180	6.148	0.109
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	16.093	0.089	2.206	0.064
	变异系数/%	30.6	49.7	35.9	58.2
露天菜地 Open vegetable land	变幅/(mg·kg ⁻¹)	31.0~70.3	0.1~0.3	3.9~9.6	0.047~0.218
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	52.336	0.171	5.942	0.127
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	12.919	0.077	2.174	0.058
	变异系数/%	24.7	45.0	36.6	45.7
大田对照 Field control	变幅/(mg·kg ⁻¹)	19.9~25.4	0.04~0.1	3.7~4.0	0.02~0.03
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	22.370	0.060	3.872	0.027
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	2.778	0.020	0.158	0.005
	变异系数/%	12.4	33.6	4.1	16.9
中国土壤元素背景值(潮土) ^[17] Background values of alluvial soil elements in China		21.9	0.103	9.6	0.047
河南省土壤元素背景值 ^[18] Background values of soil elements in Henan province		22.3	0.065	9.8	0.025

2.1.2 不同种植年限菜地土壤 对不同种植年限菜地土壤重金属含量进行统计,结果见图 2。由图 2 可以看出,露天菜地和设施菜地土壤重金属含量随种植年限不同具有大致相似的变化特征,但也存在着一些差异。设施菜地土壤除 Ni 元素之外,其他 7 种重金属元素含量均随种植年限的增加呈增大的趋势,这与相关研究结果一致^[19],其原因主要与长期

耕种、过量施肥、喷洒农药等而不注重土壤的翻耕与轮作有关^[20]。露天菜地中除 Ni 元素之外,As、Cu、Zn、Cd 和 Hg 元素含量随种植年限的延长呈增加的趋势,而 Pb 和 Cr 虽有波动(在 5~9 年内出现小幅峰值),但其含量总体随种植年限增加而增大。2 类菜地土壤 Ni 含量随种植年限呈波动性变化,没有明显的上升或下降趋势,而且 Ni 含量在 2 类菜地中的

波动范围较接近,说明土壤 Ni 具有一定的输入与输出动态平衡特征。相比之下,设施菜地土壤重金属含量随种植年限的延长而增加的趋势较显著,而露天菜地土壤部分重金属含量则在总体上升趋势之下呈现一定的波动性,这主要是因为设施菜地土壤长期处于“高温、高湿、高复种指数、高施肥量、无降水淋洗”等特殊环境条件下^[6],土壤重金属累积受外界

条件影响较小;而露天菜地则可能与菜农定期进行土壤翻耕和蔬菜轮作以及施肥量变化等有关^[21-22],并受降雨淋洗等外界气象条件影响较大,这在一定程度上影响了重金属累积在土体中的再分配,以致于不同种植年限菜地土壤重金属累积呈现出与设施菜地有差异的小幅波动性增长特征。

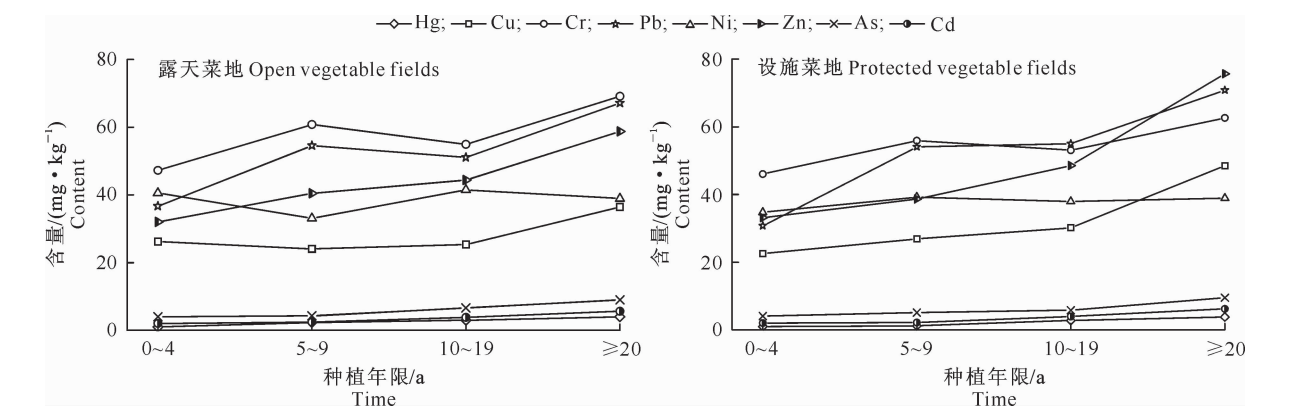


图 2 不同种植年限设施菜地和露天菜地土壤重金属含量的比较
为了增加图形对比的直观性,Hg 和 Cd 含量均乘以 20

Fig. 2 Comparison of heavy metal contents in open and protected vegetable soils with different cultivation years
To better show the changing patterns, contents of Hg and Cd were multiplied by 20

2.2 不同种植年限菜地土壤重金属累积污染特征

通过与表 1 中各重金属元素中国土壤元素背景值(潮土)和河南省土壤元素背景值的比较,并结合

地累积指数的含义,选取河南省土壤元素背景值为评价标准,利用式(1)计算各重金属元素的地累积指数,结果见表 2。

表 2 不同种植年限设施菜地和露天菜地土壤重金属的地累积指数

Table 2 Geo-accumulation indexes of heavy metals in open and protected vegetable soils with different cultivation years									
土地类型 Type	种植年限/年 Time	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As	Hg
设施菜地 Protected vegetable land	0~4	-0.42	-1.50	-1.05	-0.25	-0.13	-0.04	-1.85	0.25
	5~9	-0.16	-1.28	-0.77	-0.08	0.68	0.19	-1.52	0.72
	10~19	0.00	-0.95	-0.84	-0.13	0.71	1.05	-1.35	1.86
	≥20	0.66	-0.31	-0.61	-0.08	1.07	1.66	-0.62	2.33
	平均值 Average	0.02	-1.01	-0.82	-0.14	0.58	0.72	-1.34	1.29
露天菜地 Open vegetable land	0~4	-0.20	-1.56	-1.01	-0.02	0.12	0.00	-1.90	0.45
	5~9	-0.33	-1.23	-0.64	-0.32	0.69	0.28	-1.80	1.57
	10~19	-0.26	-1.09	-0.79	0.01	0.60	0.93	-1.17	1.95
	≥20	0.27	-0.69	-0.46	-0.08	1.00	1.51	-0.71	2.38
	平均值 Average	-0.13	-1.14	-0.73	-0.10	0.60	0.68	-1.40	1.59

由表 2 可知,露天菜地和设施菜地土壤各重金属元素的累积状况相似,其中所有种植年限的土壤 Zn、Cr、Ni、As 元素的地累积指数均小于或近似于 0,说明这 4 种元素不存在污染累积,但这 4 种元素的地累积指数随种植年限延长总体呈增大的特点,反映出人为活动对该 4 种元素具有一定影响。Cu

元素只有在种植年限≥20 年时,其地累积指数才大于 0,且累积污染程度较轻(1 级)。2 类菜地土壤 Pb、Hg、Cd 元素均存在不同程度的累积污染,而且随种植年限的增加,地累积指数均总体呈现出递增的趋势;对于相同种植年限的露天菜地和设施菜地,土壤 Pb、Hg、Cd 元素累积污染程度也近似相同,其

中 Pb 和 Cd 累积污染程度最高达到中度污染(2 级),而 Hg 累积污染程度最高达到中强度污染(3 级)。

由以上分析可知,研究区 2 类菜地土壤主要存在 Pb、Hg、Cd 元素的累积污染,且累积污染程度由大到小均为 $Hg > Cd > Pb$,其中 Hg 元素累积污染程度最高,平均达到中度污染,而 Cd、Pb 元素平均累积污染程度较轻。设施菜地土壤 Cu 元素虽然只有轻微的累积污染,但仍值得警惕。产生这一结果的原因主要应归结为工业活动所引起的大气干湿沉降、喷洒农药、施肥等因素。最近的一些研究表明,大气沉降已经成为全球范围内土壤表层重金属的来源,甚至远离工业和人为活动的地区也不能幸免^[23-24]。从工业污染源来说,Hg 元素的工业来源主要是各种化工、电子、造纸类等企业^[25],而且 Hg 元素的排污方式大部分是通过大气排放,其中,燃煤设备是大气中汞最重要的人为污染源,进入大气中的汞可进行长距离的传输^[26-27]。研究区附近的平顶山市是我国重要的煤炭资源型城市,市区北部和东部分布着多座矿山、煤炭洗选、能源化工等企业,而这类企业往往导致多种重金属元素的积累,使企业对周围土壤存在复合污染的可能性^[28]。因此,长期工业活动所产生的 Hg 排放,可通过长距离传输和沉降而造成周围农业用地的累积污染。城市工业释放的 Cd 易以气溶胶以及大气飘尘的形式实现较大尺度的迁移^[29],这也是研究区菜地土壤 Cd 污染的来源之一,但由于受工业性质及元素大气迁移活动性影响,与 Hg 元素相比,大气沉降所引起的 Cd 污染程度相对较轻^[26]。农药及化肥的施用是导致研究区菜地土壤 Pb、Hg、Cd 污染的另一主要因素^[30]。以 Hg 元素为例,据文献报道^[31],市售氮肥 Hg 含量达到 0.094 mg/kg,磷肥 Hg 含量达到 0.052 mg/kg,钾肥 Hg 含量达到 0.207 mg/kg,复合肥 Hg 含量达到 0.903 mg/kg,而菜地施肥频繁,远高于大田作物,而且施肥种类以复合肥和钾肥为主,故菜地土壤中 Hg 含量较高。研究区菜地土壤 Pb 污染主要受农药、化肥施用的影响,而由工业活动产生的 Pb 对其影响较弱,故与 Hg 相比,Pb 累积污染较轻。

2.3 菜地土壤重金属的综合污染特征

为了更客观地反映研究区土壤重金属的污染状况,分别采用河南省土壤背景值和大田对照作为评价标准,采用式(2)计算各样点土壤重金属的综合污染指数,结果见图 3。由图 3 可知,无论采用哪种评价标准,2 类菜地土壤重金属污染的综合污染指数

非常接近,这说明本研究以菜地周边大田土壤作为对照进行分析是科学合理的。由图 3 可以看出,2 类菜地土壤重金属综合污染指数随种植年限延长呈增大趋势,20 年后达到了强度污染水平(V 级),而且露天菜地土壤重金属综合污染指数相对设施菜地要高。其原因主要在于,虽然 2 类菜地的主要污染元素相似,且主要集中于 Pb、Hg、Cd 元素,但由于综合污染指数不仅考虑了各污染物的平均污染状况,同时也兼顾了某种污染物的最大水平,即某种污染物含量出现最大值时,也会对评价区域的土壤环境质量有很大贡献,产生严重危害。在本研究中,露天菜地土壤重金属 Hg 元素的累积污染程度均大于设施菜地(表 2),故在 2 类菜地土壤中,Hg 元素对大多数样点的污染贡献也最大。由图 3 可以看出,2 类菜地土壤重金属综合污染水平随种植年限增加而呈加重态势。其中 0~4 年的菜地均处于轻度污染(Ⅲ级);5~9 年的设施菜地土壤达到中度污染(Ⅳ级),而露天菜地土壤则达到了强度污染(V 级),并且随着种植年限增加,污染程度进一步加重。

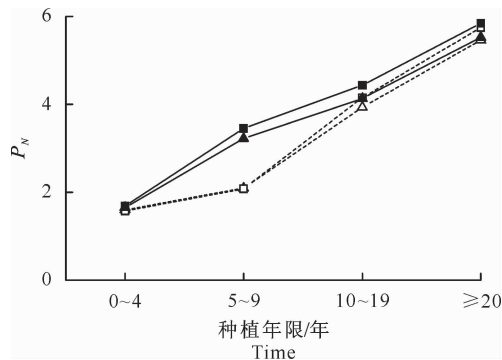


图 3 不同种植年限设施菜地和露天菜地土壤重金属的综合污染指数

--△-- 设施菜地(大田对照为评价标准);
--□-- 设施菜地(河南背景为评价标准);
—▲— 露天菜地(大田对照为评价标准);
—■— 露天菜地(河南背景为评价标准)

Fig. 3 Integrated indexes of soil heavy metals in open and protected vegetable soils with different cultivation years

--△-- Protected vegetable fields taking the field values as standard;
--□-- Protected vegetable fields taking He' nan backgrounds as standard;
—▲— Open vegetable fields taking the field values as standard;
—■— Open vegetable fields taking He' nan backgrounds as standard

3 结 论

1)设施菜地和露天菜地土壤重金属 Cu、Ni、Pb、Cd 和 Hg 含量存在不同程度的超标,而大田对照土壤除 Ni 外,Cu、Zn、Cr、Pb、Cd、As、Hg 的含量均不超标。

2)除Ni元素外,设施菜地和露天菜地土壤重金属含量均随种植年限的增加呈增大的趋势,其中露天菜地重金属元素含量易受外界条件的影响,总体呈现出一定的波动性。

3)设施菜地和露天菜地土壤均存在Pb、Hg、Cd的累积污染,其累积污染程度由大到小均为 $Hg > Cd > Pb$,且随种植年限的增加累积污染程度增大。

4)2类菜地土壤均达到了重金属强度污染水平,且均随种植年限增加而呈加重态势,其中露天菜地土壤重金属综合污染指数较设施菜地高。

总之,研究区菜地土壤已产生不同程度的重金属累积污染,露天菜地和设施菜地具有大致相似的污染特征,累积污染均随种植年限的增加而加重,但外源性因素对露天菜地重金属污染的影响更广泛。

[参考文献]

- [1] 万红友,周生路,赵其国.不同种植年限菜地土壤基本性质和重金属含量变化[J].河南农业科学,2006(11):79-82.
Wan H Y, Zhou S L, Zhao Q G. Variation of basic property and heavy metal contents in vegetable soils with different planting years [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2006(11): 79-82. (in Chinese)
- [2] Mapanda F, Mangwayana E N, Nyamangara J, et al. The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in harare, zimbabwe agriculture [J]. Ecosystems & Environment, 2005, 107(23): 151-165.
- [3] Cao Z H, Huang J F, Zhang C S, et al. Soil quality evolution after land use change from paddy soil to vegetable land [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26(2): 97-103.
- [4] 杜新民,吴忠红,张永清,等.不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究[J].水土保持学报,2007,21(2):78-80.
Du X M, Wu Z H, Zhang Y Q, et al. Study on changes of soil salt and nutrient in greenhouse of different planting years [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(2): 78-80. (in Chinese)
- [5] 李艾芬,章明奎.浙北平原不同种植年限蔬菜地土壤氮磷的积累及环境风险评价[J].农业环境科学学报,2010,29(1):122-127.
Li A F, Zhang M K. Accumulation and environmental risk of nitrogen and phosphorus in vegetable soils with different plantation history in northern Zhejiang [J]. Journal of Agro-environment Science, 2010, 29(1): 122-127. (in Chinese)
- [6] 黄锦法,曹志洪,李艾芬,等.稻麦轮作田改为保护地菜田土壤肥力质量的演变[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):19-25.
Huang J F, Cao Z H, Li A F, et al. Soil fertility quality evolution after land use change from rice-wheat rotation to plastic film covered vegetable [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(1): 19-25. (in Chinese)
- [7] 史春余,张夫道,张俊清,等.长期施肥下设施蔬菜地土壤养分变化研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):437-441.
Shi C Y, Zhang F D, Zhang J Q, et al. Change of soil nutrients under greenhouses under long-term fertilization condition [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(4): 437-441. (in Chinese)
- [8] 邓玉龙,张乃明.设施土壤pH值与有机质演变特征研究[J].生态环境,2006,15(2):367-370.
Deng Y L, Zhang N M. Soil pH and organic matter in greenhouse [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2006, 15(2): 367-370. (in Chinese)
- [9] 李德成,李忠佩,张桃林,等.不同使用年限蔬菜大棚土壤重金属含量变化[J].农村生态环境,2003,19(3):38-41.
Li D C, Li Z P, Zhang T L, et al. Contents of heavy metal elements in soils of vegetable greenhouses different in age [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2003, 19(3): 38-41. (in Chinese)
- [10] 伊田,梁东丽,王松山,等.不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(7):111-117.
Yi T, Liang D L, Wang S S, et al. Effect of different cultivation years on nutrients accumulation and environmental impacts of facilities cultivation soil [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2010, 38(7): 111-117. (in Chinese)
- [11] 杜连凤,张维理,武淑霞,等.长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探[J].植物营养与肥料学报,2006,12(1):133-137.
Du L F, Zhang W L, Wu S X, et al. Influence of planting age of greenhouse vegetable on soil quality degradation in Yangtze delta area [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(1): 133-137. (in Chinese)
- [12] 王俊,郭颖,吴芯,等.不同种植年限和施肥量对日光温室土壤锌累积的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(1):89-94.
Wang J, Guo Y, Wu X, et al. Effects of different planting years and organic manure fertilization on Zn accumulation in greenhouse soil [J]. Journal of Agro-environment Science, 2009, 28(1): 89-94. (in Chinese)
- [13] 李树辉,李莲芳,曾希柏,等.山东寿光不同农业利用方式下土壤铬的累积特征[J].农业环境科学学报,2011,30(8):1539-1545.
Li S H, Li L F, Zeng X B, et al. Characteristics of chromium accumulation in soils under different agricultural utilization pattern in Shouguang of Shandong province, China [J]. Journal of Agro-environment Science, 2011, 30(8): 1539-1545. (in Chinese)
- [14] 中国环境监测总站,南京市环境监测中心站. HJ/T166-2004 土壤环境监测技术规范[S].北京:中国标准出版社,2004.
The Central Station of Environmental Monitoring of China, The Central Station of Environmental Monitoring in Nanjing. Technical standard HJ/T166-2004 for soil environmental mo-

- nitoning [S]. Beijing: China Standard Press, 2004. (in Chinese)
- [15] 贾振邦,周 华,赵智杰,等. 应用地积累指数法评价太子河沉积物中重金属污染 [J]. 北京大学学报:自然科学版,2000,36(4):525-530.
Jia Z B,Zhou H,Zhao Z J,et al. The application of the index of geo-accumulation to evaluate heavy metal pollution in sediments in the Benxi section of the Taizi River [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis,2000,36(4):525-530. (in Chinese)
- [16] 叶文虎. 环境质量评价学 [M]. 北京:高等教育出版社,1996:118-158.
Ye W H. Environmental quality assessment [M]. Beijing: Higher Education Press,1996:118-158. (in Chinese)
- [17] 中国环境监测总站主编. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.
The Central Station of Environmental Monitoring of China. The background values of soil elements in China [M]. Beijing:China Environmental Science Press,1990. (in Chinese)
- [18] 邵丰收,周皓韵. 河南省主要元素的土壤环境背景值 [J]. 河南农业,1998(10):29.
Shao F S,Zhou H Y. Soil environmental background values of main elements in Henan province [J]. Agriculture of Henan, 1998(10):29. (in Chinese)
- [19] 薛延丰,石志琦. 不同种植年限设施地土壤养分和重金属含量的变化特征 [J]. 水土保持学报,2011,25(4):125-130.
Xu Y F,Shi Z Q. Characteristics of soil nutrient and heavy metal content with the different years of cultivation [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2011,25(4):125-130. (in Chinese)
- [20] 白玲玉,曾希柏,李莲芳,等. 不同农业利用方式对土壤重金属累积的影响及原因分析 [J]. 中国农业科学,2010,43(1):96-104.
Bai L Y,Zeng X B,Li L F,et al. Effects of land use on heavy metal accumulation in soils and source analysis [J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(1):96-104. (in Chinese)
- [21] 王丽平,章明奎. 不同来源重金属污染土壤中重金属的释放行为 [J]. 环境科学研究,2007,20(4):134-138.
Wang L P,Zhang M K. Release behaviors of heavy metals from polluted soils with heavy metals of different sources [J]. Research of Environmental Sciences,2007,20(4):134-138. (in Chinese)
- [22] 任顺荣,邵玉翠,高宝岩,等. 长期定位施肥对土壤重金属含量的影响 [J]. 水土保持学报,2005,19(4):96-99.
Ren S R,Shao Y C,Gao B Y,et al. Effects of long-term located fertilization on heavy-metal content of soil [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(4):96-99. (in Chinese)
- [23] Nriagu J O. Human influence on the global cycling of trace metals [J]. Palaeogeography,Palaeoclimatology and Palaeogeology:Global and Planetary Change Section,1990,82:113-120.
- [24] Hernandez L,Probst A,Probst J L,et al. Heavy metal distribution in some French forest soils:Evidence for atmospheric contamination [J]. The Science of the Total Environment, 2003,312:195-219.
- [25] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染 [M]. 北京:科学出版社,1996.
Chen H M. Heavy metal pollution in soil-plant system [M]. Beijing:Science Press,1996. (in Chinese)
- [26] Lin C J,Pehkonen S O. The chemistry of atmospheric mercury:A review [J]. Atmospheric Environmental,1999,33:2067-2079.
- [27] 方凤满,王起超. 土壤汞污染研究进展 [J]. 土壤与环境, 2000,9(4):326-329.
Fang F M,Wang Q C. A review on the studies on mercury pollution of soil [J]. Soil and Environmental Sciences,2000,9(4):326-329. (in Chinese)
- [28] 邵学新,黄 标,孙维侠,等. 长江三角洲典型地区工业企业的分布对土壤重金属污染的影响 [J]. 土壤学报,2006,43(3):397-404.
Shao X X,Huang B,Sun W X,et al. Effect of industrial distribution on soil heavy metal accumulation in a typical area of the Yangtze River delta [J]. Acta Pedologica Sinica,2006,43(3):397-404. (in Chinese)
- [29] 郑袁明,罗金发,陈同斌,等. 北京市不同土地利用类型的土壤镉含量特征 [J]. 地理研究,2005,24(4):542-548.
Zheng Y M,Luo J F,Chen T B,et al. Cadmium accumulation in soils for different land uses in Beijing [J]. Geographical Research,2005,24(4):542-548. (in Chinese)
- [30] 楚纯洁,马建华,朱玉涛. 不同级别城镇土壤重金属污染状况比较分析:以郑州市、中牟县和韩寺镇为例 [J]. 地球与环境, 2009,37(4):395-404.
Chu C J,Ma J H,Zhu Y T. Comparison of heavy metal contaminations in different ranking urban soils:A case study of Zhengzhou,Zhongmu and Hansi,Henan,China [J]. Earth and Environment,2009,37(4):395-404. (in Chinese)
- [31] 王起超,麻壮伟. 某些市售化肥的重金属含量水平及环境风险 [J]. 农村生态环境,2004,20(2):62-64.
Wang Q C,Ma Z W. Heavy metals in chemical fertilizer and environmental risks [J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2004,20(2):62-64. (in Chinese)