

不同利用年限设施栽培土壤金属元素含量的变化

湛润生¹,岳新丽²,韩志平¹,彭雪梅¹,陈明昌³,王润梅¹

(1. 山西大同大学生命科学学院,山西大同大学高寒区作物研究所,山西 大同 037009;

2. 山西省农业科学院高寒区作物研究所,山西 大同 037008;

3. 山西省土壤环境与养分资源重点实验室,山西省农业科学院农业环境与资源研究所,山西 太原 030006)

摘 要:以农田和露天菜地为对照,研究了晋北地区不同利用年限设施栽培土壤金属元素含量的变化。结果表明,由农田改为设施栽培菜地后,随着利用年限的增加,不同土层中 K、Ca、Mg、Al、Cd 和 Li 含量表现出“降低—升高—降低”的变化规律,Fe、Mn、Cu 和 Cr 含量则呈现“升高—降低—升高”的变化规律。进一步方差分析表明,不同处理之间,同一土层金属元素含量差异达显著水平($P < 0.05$)。表层土壤中 K、Na、Al、Fe、Mn 和 Cu 含量值均比第二次全国土壤普查时含量值高,而露天菜地和设施栽培土壤 Ca、Mg 含量差异不明显。依据中国土壤环境质量评价标准,当地设施栽培土壤 Cd、Cu 和 Cr 含量均没有超标,但土壤 Cd 含量偏高,整体分布在 $0.28 \sim 0.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的范围内,接近我国土壤环境质量Ⅱ级标准上限 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

关键词:设施栽培;利用年限;土壤;金属元素

中图分类号: X131.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)01-0213-05

Variations in metal elements contents of greenhouse soils with different vegetable growing years

ZHAN Run-sheng¹, YUE Xin-li², HAN Zhi-ping¹, PENG Xue-mei¹, CHEN Ming-chang³, WANG Run-mei¹

(1. College of Life Science, Institute of High Latitude and Cold Area Crops, Shanxi Datong University, Datong, Shanxi 037009, China;

2. Institute of High Latitude and Cold Area Crops, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Datong, Shanxi 037008, China;

3. The Key Laboratory of Soil Environment and Nutrient Resources of Shanxi Province, Institute of Agricultural Environment and Resource, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract: With cropland filed and open vegetable fields as control, the experiment was carried out to study the change of contents of K, Na, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cu, Cd, Cr, and Li in different layers (0 ~ 20, 20 ~ 40 cm) of greenhouse soils with six vegetable growing years (1, 4, 7, 11, 14 a, and 17 a) in northern Shanxi. The results indicated that K, Ca, Mg, Al, Cd and Li contents in greenhouse soils decreased during the first 4 years, then increased until 14th year, and decreased after that. Fe, Mn, Cu and Cr contents increased during the first four years, then decreased to the 11th year, and increased after that. The analysis of variance showed significant difference in minerals content of the same soil layer between different treatments. Contents of K, Na, Al, Fe, Mn, and Cu were higher than the natural background soil metal concentrations of northern Shanxi, whereas Ca and Mg showed no significant change. According to environmental quality standard for soil pollution, the contention of Cd, Cu, and Cr fell into the allowable range, while that of Cd was above the upper limit. In addition, Cd was within the range of $0.28 \sim 0.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, nearly approaching to the maximum threshold.

Keywords: greenhouse vegetable; growing years; soil; metal elements

近年来,我国设施蔬菜发展迅速,对于解决反季蔬菜供应和增加农民收入起到了重要的作用。然而由于设施栽培高度集约化生产,栽培设施内部的特殊环境条件,科学管理体系的缺失,畜禽废弃物^[1-2]和农用化学品^[3-4]所携带污染物大量释放。导致 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 和 Na^{+} 等盐离子在土体中累积,造

收稿日期:2013-04-25
基金项目:山西大同大学青年科研项目(2010-Q-15);山西大同大学高寒区作物研究所科研项目(2009-Y-14)
作者简介:湛润生(1979—),男,山西右玉人,硕士,讲师,主要从事土壤环境化学方面的研究。E-mail: zhanrsh0511@126.com。

成土壤次生盐渍化。过量的盐分累积会引起作物生理干旱,从而造成不同程度的减产,影响设施栽培产品的产量、品质和经济效益^[5-7]。除此之外,土壤中重金属元素如 Hg、Pb、Cd、Cr、As、Ni、Cu 和 Zn 累积,造成重金属含量超标。重金属是具有潜在危害的重要污染物,重金属污染会对土壤性质产生一定的负面影响,从而抑制作物生长发育,降低作物产量与品质,并最终危害人类的健康^[8-10]。

山西省是蔬菜生产发展较快的省份之一,截至 2009 年底设施蔬菜面积达到 8.64 万 hm^2 ^[11],其中晋北忻州、朔州、大同 3 市设施蔬菜种植面积在 2012 年初达 1.75 万 hm^2 ^[12]。但由于菜农在水肥管理上的盲目性,尤其是未经无害化处理的畜禽粪有机肥和磷肥大量施用,使得晋北地区设施土壤污染物累积的潜在风险加剧。本文利用实地调查配合采样分析的方法,对晋北地区设施栽培土壤金属元素含量变化规律及影响因素进行了系统研究,为该地区设施栽培的持续发展提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 采样地点及土壤施肥情况

试验采样地设在阳高县龙泉镇东关村和西北村,土壤属栗钙土。研究区域设施菜地由传统农田改建而成,单栋温室面积为 333 ~ 467 m^2 ,设施蔬菜年均产量 375 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。设施菜地每公顷年均施有机肥 2.25 $\times 10^5$ kg,磷酸二铵 750 ~ 850 kg,过磷酸钙 320 ~ 430 kg,硫酸钾 215 ~ 320 kg,以上肥料均作为基肥一次性施入。另外在蔬菜生长期施用冲施肥(成分包括 N、P、K 和中微量元素)3 500 ~ 5 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。露天菜地施有机肥 6.75 $\times 10^4$ ~ 9 $\times 10^4$ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷酸二铵 750 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,尿素 450 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷酸二氢钾 90 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。农田施有机肥 0 ~ 3.38 $\times 10^4$ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷酸二铵 750 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.2 采样方法

以邻近农田土壤(CK₁)和露天菜地土壤(CK₂)为对照,选择成土母质、作物类型和水肥管理模式一致,利用年限分别为 1、4、7、11、14、17 a 的设施栽培菜地土壤作为试验对象。CK₁、CK₂ 以及各不同年份设施栽培菜地土壤分别设置 3 个重复,每个采样点分 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 两个层次,按照“S”形 5 点取样法采集土样。取样全部结束后,将 3 个重复土样混合均匀,用“四分法”处理,最后剩余约 1.5 kg 带回实验室。剔除土样中石块、植物根茎等杂质后阴干,研磨过 0.149 mm 尼龙筛,装牛皮纸袋备用。

1.3 测定方法及数据处理

称取 0.5 g 土样置于微波消解罐中,用数滴超纯水湿润后,加入 6 ml 浓 HNO_3 (优级纯)、2 ml 浓 HF(优级纯)、2 ml 浓 HCl(优级纯),静置 4 h,盖上微波消解盖,放入微波消解仪中按照设定程序消解。消解结束后冷却,取出,移入 50 ml 容量瓶中,并把罐内壁和上盖用 5% 稀 HNO_3 溶液清洗,清洗溶液一起转移到容量瓶内,用 5% 稀 HNO_3 溶液定容,摇匀备用。并按上述操作过程,制备试剂空白溶液。用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP - AES, Prodigy, LEEMAN, USA)测定,每个样品平行测定 3 次。分析过程中加入 Fe 标准溶液(500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$),Mn 标准溶液(500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$),Cu 标准溶液(500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$),均购自国家环境保护总局标准样品研究所。数据采用 SPSS 18 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同利用年限设施栽培土壤金属元素含量的变化

从表 1 可以看出,不同利用年限设施栽培土壤金属元素含量差异达显著($P < 0.05$)水平。随着利用年限增加,设施栽培 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层 K、Ca、Mg、Al、Cd 和 Li 含量,呈现“降低—升高—降低”的变化规律,设施栽培 0 ~ 20 cm 土层 K、Ca、Mg、Al、Cd 和 Li 含量,4 a 时分别比 CK₁ 降低了 43.94%、70.81%、44.69%、48.06%、20.75% 和 70.41%,14 a 时增加了 8.53%、19.24%、4.52%、39.96%、52.95% 和 4.28%。两个层次土壤 Fe、Mn、Cu 和 Cr 含量,呈现出“升高—降低—升高”的变化规律,设施栽培 0 ~ 20 cm 土层 Fe、Mn、Cu 和 Cr 含量,4 a 时含量分别比 CK₁ 增加了 13.77%、9.39%、38.60% 和 27.60%,11 a 时降低了 1.90%、0.17%、8.15% 和 2.38%。说明由于种植模式、肥水管理模式以及土壤产出情况等的差异,使得不同利用年限设施栽培土壤元素与农田、露天菜地出现了不同的累积规律。

计算不同处理 0 ~ 40 cm 土层金属元素含量的变异系数发现,Na、Mn、Fe 的变异系数均在 5% 以下。K、Mg、Cu、Cd、Cr 的变异系数低于 5% 的分别为 4、4、6、6 个和 5 个,介于 5% ~ 10% 之间的分别有 4、4、2、2 个和 3 个。Ca、Al、Li 的变异系数低于 5% 的分别为 5、3 个和 4 个,介于 5% ~ 10% 之间的分别有 1、3 个和 2 个,介于 10% ~ 20% 之间的均为 2 个。这在一定程度上表明,K、Na、Ca、Mg、Al、Fe、Mn、Cu、Cd、Cr 和 Li 的含量在 0 ~ 40 cm 深度内分布较为均匀。

表 1 不同利用年限对设施栽培土壤金属元素含量的影响

Table 1 Effect of planting years on contents of metal elements in greenhouse vegetable soils

金属元素 Metal elements	土层深度 Soil depth /cm	农田 Farmland (CK ₁)	露天菜地 Open vegetable field(CK ₂)	栽培年限 Cultivation years/a					
				1	4	7	11	14	17
K/(g·kg ⁻¹)	0~20	83.21 b	65.71 d	76.04 c	46.65 f	60.10 e	66.15 d	90.31 a	61.74 e
	20~40	83.74 b	61.75 e	70.71 d	51.60 f	53.06 f	75.76 c	90.11 a	70.65 d
Na/(g·kg ⁻¹)	0~20	141.28 b	144.74 a	132.25 de	88.98 g	134.17 c	133.22 cd	130.83 e	124.18 f
	20~40	139.18 b	144.57 a	133.46 c	94.37 g	132.98 c	130.65 d	127.22 e	122.52 f
Ca/(g·kg ⁻¹)	0~20	110.89 a	49.57 f	63.75 d	32.37 h	39.51 g	51.76 e	78.44 b	70.47 c
	20~40	113.10 a	50.18 f	74.68 c	35.01 g	56.26 e	65.87 d	79.33 b	74.61 c
Mg/(g·kg ⁻¹)	0~20	9.10 a	7.59 c	6.51 de	5.03 f	6.34 e	6.64 d	8.69 b	7.62 c
	20~40	10.00 a	8.06 c	6.52 e	5.00 f	7.33 d	7.86 c	8.60 b	8.38 b
Al/(g·kg ⁻¹)	0~20	94.67 d	93.54 d	70.49 f	49.17 g	76.12 e	129.51 b	132.50 a	120.35 c
	20~40	103.08 d	99.47 e	86.99 f	63.09 h	82.46 g	145.16 b	157.74 a	137.48 c
Fe/(g·kg ⁻¹)	0~20	31.39 e	33.69 c	32.75 d	36.47 a	35.63 b	30.78 f	32.75 d	35.83 b
	20~40	30.73 f	33.97 c	31.63 e	38.22 a	33.43 cd	31.10 ef	33.08 d	35.10 b
Mn/(mg·kg ⁻¹)	0~20	737.55 f	781.35 c	773.22 d	806.45 b	754.88 e	736.62 f	804.82 b	853.92 a
	20~40	710.15 h	769.65 e	749.12 g	807.27 b	774.48 d	754.83 f	796.46 c	833.15 a
Cu/(mg·kg ⁻¹)	0~20	39.25 e	34.98 g	50.32 b	54.40 a	50.70 b	36.05 f	40.52 d	49.45 c
	20~40	45.82 c	36.95 f	46.35 c	55.25 a	43.32 d	37.48 f	42.05 e	53.48 b
Cd/(mg·kg ⁻¹)	0~20	0.35 f	0.35 e	0.36 d	0.28 g	0.35 f	0.38 c	0.52 a	0.43 b
	20~40	0.39 c	0.34 g	0.37 e	0.33 h	0.34 f	0.38 d	0.56 a	0.44 b
Cr/(mg·kg ⁻¹)	0~20	63.03 f	75.13 d	62.73 f	80.43 c	85.83 b	61.53 g	73.37 e	88.10 a
	20~40	66.67 e	72.17 d	63.80 f	90.70 a	77.93 c	65.17 ef	66.86 e	81.43 b
Li/(mg·kg ⁻¹)	0~20	424.20 b	224.07 e	220.43 e	125.53 g	233.60 d	337.50 c	612.05 a	185.50 f
	20~40	435.50 b	228.03 e	176.60 g	179.17 g	254.20 d	340.47 c	579.83 a	203.30 f

注:同行数据后标注不同小写字母表示多重比较差异显著($P<0.05$)。
Note: Data followed by different letters in the same line are significantly different at 5% level.

2.2 土壤环境质量评价

与第二次全国土壤普查时^[13],晋北地区栗钙土表层(0~20 cm)土壤金属元素含量(表 2)相比,当地农田、露天菜地和设施栽培表层土壤中 K、Na、Al、Fe、Mn、Cu 含量及农田土壤 Ca、Mg 含量明显升高,而露天菜地、设施栽培土壤 Ca、Mg 含量变化不明显(表 1)。相关研究表明,西红柿、黄瓜属于喜 Ca、Mg 作物,其中黄瓜 Ca 需求量超过了 K,居所有元素首位;而两种蔬菜对 Mg 的需求量与 P 相当^[14]。然而当地设施栽培中很少有针对性地施用 Ca、Mg 肥料,

造成设施栽培和露天菜地土壤中 Ca、Mg 含量,与第二次土壤普查结果相比上升不明显,同时显著低于农田土壤。依据中国土壤环境质量Ⅱ级标准($\text{pH}>7.5$, $\text{Cd}\leq 1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cu}\leq 100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cr}\leq 250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[12,15],当地设施栽培土壤金属元素含量均没有超标,但是土壤 Cd 含量值都偏高,保持在 $0.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右,14 a 时最高达 $0.56\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,明显高于 1990 年中国环境监测总站所报道的栗钙土 Cd 含量值 $0.070\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[16]。

表 2 栗钙土 0~20 cm 土层金属元素含量^[13]

Table 2 Contents of metal elements in surface layer of chestnut soil

金属元素 Metal elements	K /(g·kg ⁻¹)	Na /(g·kg ⁻¹)	Ca /(g·kg ⁻¹)	Mg /(g·kg ⁻¹)	Al /(g·kg ⁻¹)	Fe /(g·kg ⁻¹)	Mn /(mg·kg ⁻¹)	Cu /(mg·kg ⁻¹)
含量 Content	13.44	13.80	52.93	7.08	49.45	23.45	406.3	15.25

2.3 相关性分析

为研究各金属元素之间的相互关系,进一步对 11 种元素含量两两之间进行了相关性分析(表 3)。结果表明,K、Na、Ca、Mg、Al、Cd、Li 两两间呈正相关,Fe、Mn、Cu、Cr 两两间呈正相关,而 Fe、Mn、Cu、Cr 分别与 K、Na、Ca、Mg、Al、Cd、Li 两两间呈负相关。根据金属元素含量之间相关性,以及不同元素含量随

利用年限的变化规律(表 1),可以初步将 11 种金属元素元分为 2 大类,Ⅰ类:K、Na、Ca、Mg、Al、Cd 和 Li,Ⅱ类:Fe、Mn、Cu 和 Cr,它们在土壤中可能具有相似的来源或相近的释放规律。张淑香、余江、袁永强均有关于土壤金属元素含量相关的报道^[17-19],具体造成该地区设施栽培土壤金属元素含量相关的原因,有待进一步研究。

表 3 设施栽培土壤金属元素含量的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of soil metal elements contents in greenhouse soils

	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Cu	Cd	Cr	Li
K	0.509 *	0.793 **	0.762 **	0.642 **	-0.668 **	-0.267	-0.399	0.736 **	-0.631 **	0.838 **
Na	1	0.478	0.661 **	0.358	-0.694 *	-0.517 *	-0.714 **	0.211	-0.540 *	0.345
Ca		1	0.843 **	0.431	-0.641 **	-0.329	-0.234	0.446	-0.517 *	0.600 *
Mg			1	0.636 **	-0.587 *	-0.234	-0.487	0.557 *	-0.399	0.680 **
Al				1	-0.437	0.104	-0.472	0.805 **	-0.307	0.626 **
Fe					1	0.719 **	0.684 **	-0.235	0.916 **	-0.534 *
Mn						1	0.450	0.282	0.678 **	-0.238
Cu							1	-0.190	0.601 *	-0.479
Cd								1	-0.158	0.748 **
Cr									1	-0.453

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关, * 表示在 0.05 水平上显著相关。
Note: ** and *, significant correlation at probable levels of $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively.

3 讨 论

一般而言,0~40 cm 土层是我国设施栽培土壤的主要耕作层次。同时在该层次内,环境条件、利用程度与方式也较为一致^[20]。这可能是造成当地设施栽培土壤金属元素含量在 0~20 cm 和 20~40 cm 2 个土层之间区别不明显的主要原因。调查表明,在设施栽培场地建成初期,一般要将土壤深翻(深度可达 1 m 左右),由于底层土壤中金属元素含量很低,深耕将底层土壤翻到表层后,导致 1 年设施栽培土壤金属元素含量降低。随后设施蔬菜生产过程中,有机肥、化肥大量施用导致土壤中金属元素含量升高,而作物吸收和向下淋失则使得表层土壤中金属元素含量降低^[21]。本研究中,设施栽培土壤 K、Na、Ca、Mg、Al、Cd 和 Li 含量,在 0~4 a 降低,4~14 a 升高,14~17 a 除 Na 升高外,其余全部降低,符合前人的研究规律。Fe、Mn、Cu 和 Cr 含量,在 0~4 a 升高,4~11 a 降低,11~17 a 升高,这一点与前人的研究结果不一致^[20]。可能与当地下层土壤 Fe、Mn、Cu 和 Cr 含量偏高有关。任晓云等^[22]分析了山东省德州市 11 个县市区土壤剖面金属元素含量,结果表明,在 0~90 cm 耕地土壤剖面中,30~90 cm 土层 Cu 含量比 0~30 cm 土层含量高,同时 30~60 cm 土层

土壤 Cr 含量最高。
设施栽培土壤中金属元素含量主要受控于沉积物母质,同时人为活动也会影响到土壤中元素含量,其影响程度取决于人为输入土体的污染物的数量。张树清等^[1]研究表明,规模化养殖畜禽粪中富含 K、Ca、Fe、Mg、Na、Mn、Cu、Zn、Cr、As 等金属元素。当地设施栽培土壤每公顷年均施入约 2.25×10^5 kg 养殖场鸡粪、猪粪等畜禽粪便,如此大规模的有机肥施用,可能是本区域土壤金属元素含量升高的首要原因。
现代农业生产中化肥的应用,对土壤金属元素含量升高也起到了推动作用,其中磷肥表现最突出。磷肥生产原料磷矿石中主要杂质元素为 Fe、Al、Mg、As、Cd、Se、Cr、Hg 等,尤其是 Cd 含量较高,长期施用磷肥会导致土壤 Cd 含量升高^[23]。黄霞等^[24]研究表明,施用大量磷肥的设施土壤 Cd、Cr 含量显著高于露地土壤。张艳玲等^[25]研究了 4 类主要烟用肥料中重金属含量,结果表明磷肥中 Cr、Ni、Cu、As、Cd、Pb 最高。当地设施栽培中,过量施用过磷酸钙和磷酸二铵,土壤有效磷含量严重超标现象很普遍^[12]。磷肥施用提高了研究区域设施栽培土壤 Fe、Al、Mg、Cd、Cr、Cu 等元素的含量,尤其是 Cd,磷肥可能是造成本研究区域土壤 Cd 含量升高的主要原

因。因此在设施蔬菜生产中,减少磷肥施用量,同时加强畜禽粪肥、磷肥重金属含量的监控将可能对控制设施栽培土壤重金属含量起到积极作用。近年来,在当地设施蔬菜生产中钾肥肥效逐渐显现,硫酸钾和蔬菜冲施肥的施用对土壤 K 含量升高起到了积极作用^[26]。当地设施栽培土壤 Li 含量升高,可能与设施蔬菜生产中大量施用有机肥和种植作物有关^[27]。

4 结 论

本研究初步揭示了晋北地区设施栽培土壤金属元素 K、Na、Ca、Mg、Al、Fe、Mn、Cu、Cd、Cr 和 Li 含量随设施栽培土壤利用年限的变化趋势。随着利用年限增加,K、Ca、Mg、Al、Cd 和 Li 含量,呈现“降低 – 升高 – 降低”的变化规律;Fe、Mn、Cu 和 Cr 含量,呈现“升高 – 降低 – 升高”的变化规律。土壤环境质量评价表明,当地设施栽培表层土壤 K、Na、Al、Fe、Mn、Cu 含量值比第二次全国土壤普查时明显升高,同时土壤 Cd、Cu、Cr 含量均没有超过中国土壤环境质量Ⅱ级标准的限值,但所有处理土壤中 Cd 含量值偏高,应该引起重视。

参 考 文 献:

[1] 张树清,张夫道,刘秀梅,等.规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):822-829.

[2] 刘荣乐,李书田,王秀斌,等.我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析[J].农业环境科学学报,2005,24(2):392-397.

[3] Abdel-Haleem A S, Sroor A, El-Bahi S M, et al. Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental neutron activation analysis[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2001,55(4):569-573.

[4] 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.

[5] 姜伟,王建国,靳玉荣,等.设施土壤盐分变化规律及其相关分析研究[J].华北农学报,2010,25(2):200-205.

[6] 夏立忠,李忠佩,杨林章.大棚栽培番茄不同施肥条件下土壤养分和盐分组成与含量的变化[J].土壤,2005,37(6):620-625.

[7] 余海英,李廷轩,周健民.典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜

在的环境效应研究[J].土壤学报,2006,43(4):571-576.

[8] 段永惠,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.

[9] 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.

[10] Ahmad J U, Goni M A. Heavy metal contamination in water, soil, and vegetables of the industrial areas in Dhaka, Bangladesh [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010,166:347-357.

[11] 张振刚,白文斌,张俊珍.山西省设施蔬菜发展现状及可持续发展对策[J].山西农业科学,2011,39(7):761-763.

[12] 湛润生,岳新丽,韩志平,等.晋北地区不同种植年限设施栽培土壤养分含量的变化[J].干旱地区农业研究,2012,30(5):133-137.

[13] 刘耀宗,张经元.山西土壤[M].北京:科学出版社,1992.

[14] 葛晓光.菜田土壤与施肥[M].北京:中国农业出版社,2001.

[15] 国家环境保护局科技标准司.GB15618 – 1995.土壤环境质量标准[S].北京:中国标准出版社,1995.

[16] 邢光熹,朱建国.土壤微量元素和稀土元素化学[M].北京:科学出版社,2003.

[17] 张淑香,依艳丽,刘孝义.草河口地区土壤中重金属等金属元素的相互关系及其影响因素[J].土壤学报,1999,36(2):253-260.

[18] 余江,黄志勇,陈婷,等.福建省菜园土壤重金属的含量及其污染评价[J].土壤学报,2009,28(6):934-939.

[19] 袁永强,刘丛强.广西某地金属冶炼废水外溢对农田土壤的污染特征[J].环境化学,2011,32(11):3313-3317.

[20] 李德成,花建明,李忠佩,等.不同利用年限蔬菜大棚土壤中微量元素含量的演变[J].土壤,2003,35(6):495-499.

[21] Moolenaar S W, Beltrami P. Heavy metal balances of all Italian soil as affected by sewage-sludge and Bordeaux mixture applications[J]. Journal of Environmental Quality, 1998,27(4):828-835.

[22] 任晓云,肖传勇,董玉梅,等.土壤重金属元素有效态与活性相关分析研究[J].山东林业科技,2009,39(4):42-44.

[23] 高阳俊,张乃明.施用磷肥对环境的影响探讨[J].中国农学通报,2003,19(6):162-165.

[24] 黄霞,李廷轩,余海英.典型设施栽培土壤重金属含量变化及其风险评价[J].植物营养与肥料学报,2010,16(4):833-839.

[25] 张艳玲,张仕祥,杨杰,等.施肥对植烟土壤重金属输入的影响[J].烟草科技,2010,280(11):51-54,60.

[26] 周晓芬,杨军芳,冯伟,等.设施菜田土壤磷、钾养分积累状况与特点[J].华北农学报,2008,23(4):196-200.

[27] 阿依夏木·沙吾尔,贾海涛,米娜瓦尔·努尔艾合买提,等.草甸盐土改良过程中锂和铷分布和变化特征研究[J].新疆农业科学,2010,47(4):765-769.