

不同种植年限和施肥量对日光温室土壤锌累积的影响

王 俊^{1,2}, 郭 颖^{1,2}, 吴 蕊^{1,3}, 史 奕¹, 陈 欣¹

(1.中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点实验室,辽宁 沈阳 110016; 2.中国科学院研究生院,北京 100049;
3.沈阳建筑大学,辽宁 沈阳 110168)

摘 要:以辽宁省沈阳市郊某黄瓜生产基地较为常见的 5 a、2 a 和 1 a 温室大棚作为研究对象,对表层土壤(0~10、10~20、20~40 cm)进行分析,探讨不同种植年限和施肥条件下温室土壤锌的累积情况及其来源。结果表明,不同种植年限的温室土壤锌含量均未超过国家土壤环境质量一级标准($Zn \leq 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),其中种植年限为 5 a 的温室土壤锌含量最高,达到 $47.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤锌含量随土壤深度的增加呈下降趋势,而且与温室种植年限呈极显著正相关($P < 0.01$),与土壤有机质呈极显著正相关($P < 0.01$)。通过设置不同有机肥施肥处理(0、10、20、40 和 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的田间小区试验发现,所有年限温室土壤锌含量都高于对照(1 a 温室施 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥处理除外),并且随着施肥量的增加而增加,说明有机肥是蔬菜温室土壤锌累积的重要来源。

关键词:有机肥;温室土壤;重金属;锌

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)01-0089-06

Effects of Different Planting Years and Organic Manure Fertilization on Zn Accumulation in Greenhouse Soil

WANG Jun^{1,2}, GUO Ying^{1,2}, WU Rui^{1,3}, SHI Yi¹, CHEN Xin¹

(1.Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2.Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Shenyang Architectural University, Shenyang 110168, China)

Abstract: Soil samples (0~10, 10~20 and 20~40 cm) were collected from a greenhouse having been planted with cucumber for 1, 2, and 5 years in Shenyang suburb to explore the effects of different planting years and organic manure fertilization on Zn accumulation in soil, and to identify the source of the Zn. The results showed that under the condition of no organic manure fertilization, the Zn content in the soils with different planting years in greenhouse did not surpass the Chinese Environmental Quality Standard for Soils (GB 15618—1995) (SEPAC, 1995) ($Zn \leq 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), being the highest ($47.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in the soil planted for 5 years. The soil Zn content had a decreasing trend with soil depth, and had significant positive correlations with planting year ($P < 0.01$) and soil organic matter content ($P < 0.01$). After organic manure fertilization (10, 20, 40, and $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), the Zn content of soils with different planting years was higher than the contrast, except the soil planted for 1 year and applied with $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ of organic manure, and increased with increasing fertilization rate, suggesting that the Zn accumulation in greenhouse soil was mainly attributed to organic manure.

Keywords: organic manure; greenhouse soil; heavy metal; zinc

锌是动植物生长所必需的微量元素^[1],一旦进入生物体的量超过其允许范围后,必然会对其生长发育等产生毒性作用和药害作用^[2-3]。依据重金属对陆地生物健康危害作用大小,锌属于中等毒性的重金属,一

般植物含锌量为 $10 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。当植物含锌量 $> 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,就会发生锌中毒,抑制光合作用,减少 CO_2 固定,改变细胞膜渗透性等^[4-6]。土壤中的锌除来自岩石母质外,还可能来自大气沉降、农用污泥、垃圾、农用化学品、铅锌矿尾砂等,因此,锌是农业科学和环境科学研究中广泛关注的金属元素之一^[7-8]。

长期以来,土壤一直是重金属污染重要的汇,尤其是农业土壤,由于家禽粪便、化肥、农药等的不合理使用都会对土壤造成污染^[9],通过农作物的富集作用,沿着食物链危害人体健康。温室土壤常处于半封闭状

收稿日期:2008-03-18

基金项目:国家科技支撑计划(2007BAD89B03);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCXZ-YW-N-037)

作者简介:王 俊(1982—),男,博士研究生,主要从事农业生态系统重金属污染的研究。E-mail:mikewangjun@163.com

通讯联系人:陈 欣 E-mail:chenxin@iae.ac.cn

态下,温湿度高,水分蒸发量大,缺少雨水淋洗,土地利用频度高^[10-13],菜农往往只考虑增产,普遍存在施肥过多、杀虫剂和杀菌剂使用不合理等问题^[14]。有关菜地土壤重金属状况的研究一般偏重于露天菜地,而蔬菜保护地土壤中重金属状况的研究甚少^[15],虽然近年有关这方面的报道逐渐增多^[13,15-16],但缺少较为系统、更具针对性的研究,因此,本文以辽宁省新民市大民屯黄瓜种植期的土壤为例,通过设置不同的施肥处理,研究不同种植年限温室土壤中锌含量变化及其可能来源,采取有效防治措施,以期为该地区及类似地区蔬菜温室土壤健康可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域和试验设计

研究地点位于辽宁省新民市大民屯黄瓜生产基地。该区域是沈阳最大的蔬菜生产基地,截至 2006 年底,蔬菜种植面积已经发展到 0.93 万 hm^2 ,其中棚菜 0.33 万 hm^2 ,年蔬菜产量达 10 亿 kg,发展大规模温室蔬菜生产已有 10 余年历史,已成为国内外知名的现代化农业产业化大基地,在温室蔬菜生产方面具有很好的代表性。研究地点土壤类型为耕型淤黄壤质草甸土。试验所选择的蔬菜温室分别建于 2002 年、2004 年和 2005 年,种植年限分别是 5 a、2 a 和 1 a。实地调查后,从不同使用年限的温室中选择 3 个利用程度和管理措施等方面尽可能一致的蔬菜温室作为研究对象,总共选了 9 个大棚作为试验用地,除对照(CK)外,每个蔬菜大棚设置 4 个有机肥处理,分别是 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (M1)、 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (M2)、 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (M3)、 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (M4),每个处理化肥施入量一致,设 3 个重复,黄瓜移苗后的追肥措施依据当地常规方法和用量。在施入底肥前采集土壤和有机肥样品并对锌的含量作调查。2007 年 6 月黄瓜拔秧时采集土壤样品。

1.2 样品处理和分析方法

在每个温室的试验小区内随机选择 3 点,按 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 3 个深度采集混合土样。土样均匀混合后用四分法从中选取 1 kg 土壤作为混合样品。土样在室内风干,去除杂物,过 100 目尼龙网筛。土壤样品采用王水-高氯酸消煮^[17],参照国家标准分析方法^[18],石墨炉-原子吸收光谱仪测定锌。

土壤样品有机碳采用 TOC-5000A 型固体有机碳分析仪测定;全 N 采用凯氏蒸馏法测定;全 P 采用酸溶-钼锑抗比色法测定;有效磷用碳酸氢钠法测定;速效钾采用乙酸铵提取法测定;土壤 pH 值用酸度计法

测定(水土比 2.5:1)^[17,19]。供试土壤 0~40 cm 土层的主要化学性质见表 1。

表 1 供试土壤的主要化学性质

Table 1 Principal chemical properties of tested soil

项目	1 a 温室	2 a 温室	5 a 温室
土壤 pH	7.51±0.05	7.40±0.27	7.18±0.28
有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	16.94±1.12	18.81±0.68	19.63±1.17
全 N/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.09±0.21	1.01±0.22	1.33±0.38
全 P/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.55±0.12	0.85±0.29	1.46±0.51
速效 P/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	26.94±9.80	40.56±15.42	60.50±20.06
土壤容重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.34±0.16	1.33±0.17	1.29±0.15
全量 Zn/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	37.90±5.11	45.23±5.61	47.17±8.23

1.3 数据处理

数据的方差分析和相关分析均是采用 SPSS13.0 软件完成的,文中各图均表示了多次重复实验的算术平均值和标准误差。

2 结果与讨论

2.1 不同使用年限土壤锌累积情况

在本研究的 9 个温室中,5 a 棚土壤锌的平均含量最高,达到 $47.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其次为 2 a 棚的 $45.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,该地区的蔬菜温室尚未发生重金属污染,均达到国家土壤环境质量的一级标准($\text{Zn} \leq 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),低于沈阳市土壤背景值($59.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。总体而言,沈阳市郊温室土壤中锌已经出现累积现象,应引起一定重视。除 1 a 温室表层土壤锌的含量低于裸地土壤外,种植年限为 2 a 和 5 a 的温室土壤锌的含量分别比裸地土壤增加 3.8%和 13.0%,而且随着土层深度的增加,土壤中全锌含量均呈下降趋势(图 1)。方差分析表明,不同种植年限及不同土层深度之间锌含量差异均极显著($P < 0.01$)。表层土壤锌含量与温室种植年限的相关系数达到 0.907**,呈极显著正相关($P < 0.01$)。李见云等^[20]对沈阳市郊不同种植年限温室土壤重金属含量的调查也表明,Zn 含量随温室种植年限的增加有一定增加。杜慧玲等^[21]的研究表明,温室土壤中重金属元素的含量与温室种植年限呈极显著正相关。随着耕地历史的延长,表层土壤中的重金属含量呈增加趋势,其中以 0~10 cm 层次的锌含量最高,向下递减^[22],因此人为影响是导致农用土壤重金属累积的重要原因^[23-25]。尤其是有机肥、复合肥和微量元素肥的大量使用,也可能会导致蔬菜温室土壤重金属含量升高^[14,26]。有机肥的大量使用造成土壤有机质含量

随温室棚龄的延长呈极显著增加趋势 ($P<0.01$) (表 1), 土壤有机质与锌含量的相关系数为 0.727**, 呈极显著正相关 ($P<0.01$)。土壤有机质的含氧功能团如羧基、酚羟基和羰基等能够与金属氧化物、金属氢氧化物及矿物的金属离子发生金属-有机配合作用, 形成化学和生物学稳定性不同的金属-有机配合物, 从而增加了土壤对锌的吸附。表 2 对温室土壤锌含量和有机肥累计施用量的回归模型估计和检验结果再次表明, 土壤锌含量与有机质含量呈现出一定的数量关系, 三次方程模型的复相关系数 ($R^2=0.992$) 最大, 可以用来预测温室土壤锌的含量。

2.2 不同施肥处理土壤锌累积情况

在本研究的 5 种施肥条件下, 处理 4 土壤锌的含量最高, 所选 9 个蔬菜温室中, 土壤锌含量都随着有

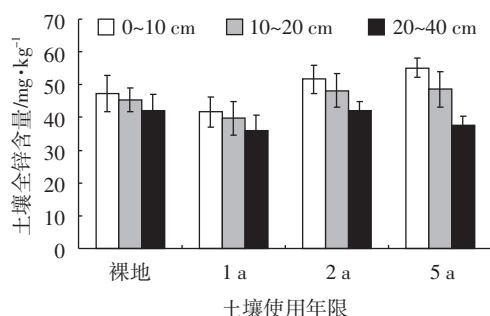


图 1 温室不同使用年限土壤锌含量趋势图

Figure 1 The trend of Zn concentration in greenhouse soils under vegetable cultivation for different years

机肥施用量的增加呈增加趋势, 其中以 0~20 cm 层次的变化趋势较明显, 20~40 cm 层次锌含量无明显规律性变化, 随土壤深度的增加表现出递减趋势 (图 2)。当施肥量增加至 40 t·hm⁻² 时, 2 a 棚土壤锌含量显著高于对照 ($P<0.05$), 5 a 棚也有类似的现象。除 1 a 棚外, 其余棚龄土壤锌的含量均高于不施肥处理, 其中施肥对 2 a 棚的影响较大, 土壤锌含量范围是 42.87~57.09 mg·kg⁻¹, 极差达到 14.22 mg·kg⁻¹ (表 3)。结合表 2 和图 2 可以看出, 无论蔬菜温室种植年限为多少, 土壤锌含量都高于对照 (1 a 温室 M1 除外), 并且随着施肥量的增加而增加, 说明有机肥是蔬菜温室土壤锌累积的重要来源; 在中低量有机肥施入条件下, 土壤锌含量与对照相比虽有一定增加但差异不显著, 只有在高有机肥施入 (即 M4) 条件下土壤锌才会显著积累 ($P<0.05$), 处理 4 有机肥施用量与当地常规田间施肥量相当, 因此应当采取一定的改良措施, 以期实现绿色食品生产的长期可持续发展。卢东等^[27]对华东典型地区农业土壤重金属的调查结果表明, 以施用鸡粪等有机肥为主的农业土壤中, Zn, Cu 等重金属的含量明显高于以施用化肥为主的土壤。其主要原因是有机肥中常含有一定量的重金属, 一些饲料厂和养殖场普遍使用含有锌、铜等微量元素的添加剂^[21], 以防止一些常见禽畜疾病、促进生长和提高禽蛋产量, 这些元素在粪中的排泄量占 95.0% 以上^[28-30], 而且大多数饲料和粪便中含有较高含量的锌^[31]。该研究小区

表 2 温室土壤锌含量与有机肥累计用量的回归模型估计和检验

Table 2 The curve estimation and test between the concentration of Zn in greenhouse soil and the accumulative content of organic fertilizers

曲线模型	回归方程	相关系数 (r)	F 检验值	复相关系数 (R^2)
线性方程	$Y=0.076x+34.766$	0.941	46.360**	0.885
二次方程	$Y=-0.001x^2+0.212x+26.177$	0.973	44.244**	0.947
三次方程	$Y=4.58E-006x^3-0.003x^2+0.519x+14.234$	0.996	170.007**	0.992
对数方程	$Y=11.810\ln(x)-10.733$	0.982	159.831**	0.964
幂函数方程	$Y=13.112x^{0.259}$	0.974	109.874**	0.940

注: 表中样本数均为 9, ** 为极显著。

Note: Number of samples in this table is 9, ** means difference is significant at the 0.01 level.

表 3 不同施肥处理表层土壤锌平均含量 (mg·kg⁻¹)

Table 3 Mean values of Zn content under different fertilizations (mg·kg⁻¹)

种植年限	对照 CK	处理 1 M1	处理 2 M2	处理 3 M3	处理 4 M4
1 a	42.15b±6.30	41.83b±4.36	44.26ab±9.34	46.47ab±10.23	49.20a±9.62
2 a	42.87c±4.00	45.74c±11.52	48.62bc±9.95	53.77ab±10.78	57.09a±9.92
5 a	52.17b±9.28	54.67ab±11.15	56.19ab±9.36	57.31a±10.13	57.44a±10.15

注: 同一行不同小写字母表示 LSD 检验差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercases in a row mean significant differences ($P<0.05$) by LSD test.

所用鸡粪锌含量为 $207.29 \sim 479.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 参照有关国际标准^[31-35], 出现了一定程度的超标现象, 长期大量使用这类有机肥将导致温室菜园土壤锌的累积^[36]。

2.3 其他外源污染源及影响因素分析

土壤中重金属含量的增加受多种因素的影响, 一般主要可以分为自然源和人类活动源。温室土壤常处于半封闭状态下, 温湿度高, 水分蒸发量大, 缺少雨水淋洗^[10-12], 因此, 生物有机肥、化肥和复合肥、含锌农药及地膜的使用等人为因素也许会导致温室土壤锌的累积。1 a 温室和 5 a 温室不施有机肥处理(即 CK),

土壤 0~40 cm 锌的平均含量分别为 $42.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $52.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 3), 与种植黄瓜前土壤锌平均含量 $37.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $47.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 相比(表 1), 分别增加 11.2% 和 10.6% ($P < 0.05$), 说明在不施用有机肥的情况下, 还有其他外源污染物进入土壤, 如施用过磷酸钙、含锌微量元素肥和含锌农药(如代森锌)都会使土壤锌含量升高^[37-39], 本研究的 9 个蔬菜温室均不同程度地使用过上述含锌农用化学品, 但土壤锌含量仍符合国家土壤环境质量的一级标准($\text{Zn} \leq 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。此外, 农户在改露天大田为蔬菜大棚前, 一般要对土壤进行深翻处理(深度可达 1 m 左右), 由于底层土壤中微量元素含量很低^[2], 底土被翻耕成表土, 这是导致 1 a 棚土壤锌量略低于裸地的原因之一(图 1)。作物吸收和灌溉所引起的向下淋失通常也可以导致土壤表层锌含量的差异^[40-41]。

3 结论

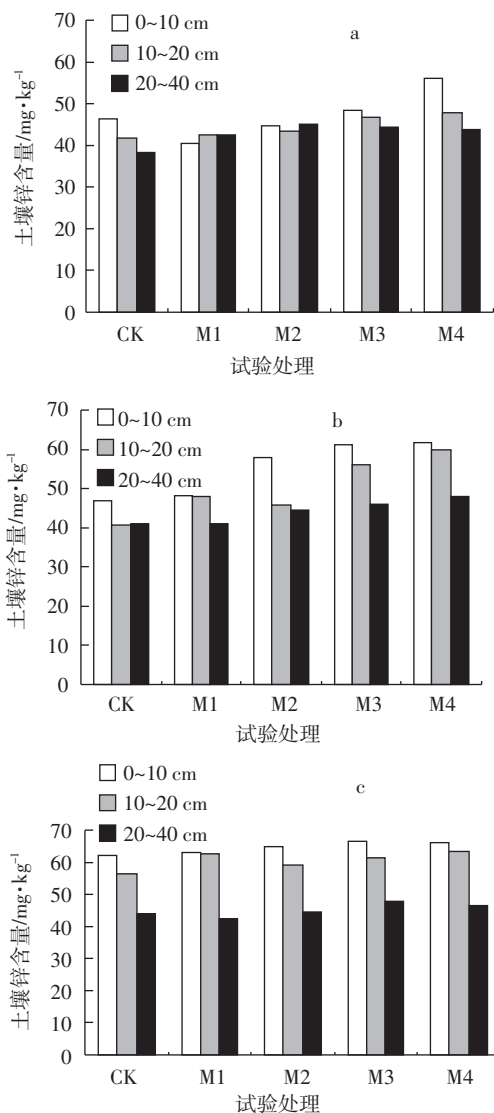
通过对沈阳市郊不同种植年限和施肥量条件下土壤锌含量的研究表明, 土壤锌含量已经出现一定的累积趋势。

(1) 温室土壤锌含量随种植年限的增加而增加, 并且随土壤深度的增加表现出递减趋势。不同种植年限及不同土层深度之间锌含量差异均极显著 ($P < 0.01$)。表层土壤锌含量与温室种植年限的相关系数达到 0.907^{**} , 呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。

(2) 无论蔬菜温室种植年限为多少, 土壤锌含量都会随着施肥量的增加而增加, 在中低量有机肥施入条件下, 土壤锌含量与对照相比虽有一定增加但差异不显著, 只有在高有机肥施入(即 M4)条件下土壤锌才会显著累积 ($P < 0.05$)。试验处理 4 有机肥施用量与当地常规田间施肥量相当, 因此, 应当采取一定的改良措施, 以期实现绿色食品生产的长期可持续发展。

(3) 除有机肥外, 施用过磷酸钙、含锌微量元素肥和含锌农药(如代森锌)都会使土壤锌含量升高。1 a 温室和 5 a 温室不施有机肥处理(即 CK), 土壤 0~40 cm 锌的平均含量分别为 42.15 和 $52.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与种植黄瓜前土壤锌平均含量 37.90 和 $47.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 相比, 分别增加 11.21% 和 10.60% ($P < 0.05$)。此外, 耕作方式、灌溉和植物吸收也可造成土壤锌含量的差异。

(4) 虽然沈阳市郊温室土壤中锌已经出现累积现象, 但尚未发生重金属污染, 符合国家土壤环境质量的一级标准要求 ($\text{Zn} \leq 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 低于沈阳市土壤背景值 ($59.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。



(a. 1 a 温室土壤锌含量; b. 2 a 温室土壤锌含量; c. 5 a 温室土壤锌含量)
(a. Zn content in 1-year greenhouse soil; b. Zn content in 2-year greenhouse soil; c. Zn content in 5-year greenhouse soil)

图 2 不同施肥条件下土壤锌含量趋势图

Figure 2 The trend of Zn content in the soil under different fertilizations

参考文献:

- [1] 陈怀满, 林玉锁, 韩凤祥, 等. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- CHEN Huai-man, LIN Yu-suo, HAN Feng-xiang, et al. Heavy metal pollution in soil-plant system[M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [2] Tyler G, Balsberg P A M, Bengtsson G, et al. Heavy metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates: A review [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1989(47): 189-225.
- [3] 孟紫强, 刘静玲, 花日茂, 等. 生态毒理学原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- MENG Zi-qiang, LIU Jing-ling, HUA Ri-mao, et al. Principles and methods of ecotoxicology[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [4] 黄昌勇, 李保国, 潘根兴, 等. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- HUANG Chang-yong, LI Bao-guo, PAN Gen-xing, et al. Soil [M]. Beijing: Chinese Agriculture Science Press, 2000.
- [5] 李学垣. 土壤化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- LI Xue-yuan. Soil chemistry[M]. Beijing: High Education Press, 2001.
- [6] Patra M, Bhowmik N, Bandopadhyay B, et al. Comprison of merury lead and arsenic with respect to genotoxic effects on lant systems and the development of genetic tolerance[J]. *Environ Exper Botany*, 2004(52): 199-223.
- [7] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- China National Environmental Monitoring Center. The background concentrations of soil elements in China [M]. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1990.
- [8] LIN Yu-pin, TENG Tung-po, CHANG Tusn-kuo. Multivariate analysis of soil heavy metal pollution and landscape pattern in Changhua country in Taiwan[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 62(1): 19-35.
- [9] Alloway B J. Heavy metal in soil(2nd)[M]. New York: Blackie Academic & Professional, London Glasgow, Weinheim, 1995.
- [10] 梁银丽, 陈志杰, 徐福利, 等. 黄土高原设施农业中的土壤连作障碍[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 134-136.
- LIANG Yin-li, CHEN Zhi-jie, XU Fu-li, et al. Soil continuous cropping obstacles in facility agriculture on loess plateau[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2004, 18(4): 134-136
- [11] 黄毅, 张玉龙. 保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 212-216.
- HUANG Yi, ZHANG Yu-long. The soil degradation problem in greenhouse and control countermeasures[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 212-216.
- [12] Jiang Y, Zhang Y G, Chen L J. Status of fertilizer input and it's influence on the qualities of farm produce and environment in Shenyang, China[C] // Ji L—Z, et al. Fertilizer, food security and environmental protection—fertilizer in the third millennium—12th world fertilizer congress. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 515-523.
- [13] 姜勇, 梁文举, 张玉革. 温室蔬菜栽培对土壤 DTPA 浸提态铁锰铜锌含量的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1184-1187.
- JIANG Yong, LIANG Wen-ju, ZHANG Yu-ge. Influence of vegetable cultivation in greenhouse on DTPA extractable soil Fe, Mn, Cu and Zn[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(6): 1184-1187.
- [14] 郭文龙, 党菊香, 吕家珑, 等. 不同年限蔬菜大棚土壤性质演变与施肥问题的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 85-89.
- GUO Wen-long, DANG Ju-xiang, LU Jia-long, et al. Soil properties and fertilization in vegetable greenhouse at different ages[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(1): 85-89.
- [15] 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 De-cheng, LI Zhong-pei, ZHANG Tao-lin, et al. Contents of heavy metal elements in soils of vegetable greenhouse different in age[J]. *Rural Eco-Environment*, 2003, 19(3): 38-41.
- [16] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 等. 蔬菜保护地土壤 DTPA 浸提态铁锰铜锌含量状况研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 700-703.
- JIANG Yong, ZHANG Yu-ge, LIANG Wen-ju, et al. Status of DTPA-extractable Fe, Mn, Cu and Zn contents in vegetable in greenhouse soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(6): 700-703.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国科学出版社, 1999.
- LU Ru-kun. Chemical analysis of soils and agriculture[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [18] GB/T 17138—1997. 土壤质量铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法[S].
- GB/T 17138—1997. Soil quality—Determination of copper, zinc—Flame atomic absorption spectrophotometry[S].
- [19] 刘光嵩, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- LIU Guang-song, JIANG Neng-hui, ZHANG Lian-di, et al. Soil physical and chemical analysis & description of soil profiles[M]. Beijing: Standards Press of China, 1996.
- [20] 李见云, 侯彦林, 王新民, 等. 温室土壤剖面养分特征及重金属含量演变趋势研究[J]. 中国农业生态学报, 2006, 14(7): 43-45.
- LI Jian-yun, HOU Yan-lin, WANG Xin-min, et al. Profiles characteristics of available nutrients and heavy metal concentrations in greenhouse soils[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(7): 43-45.
- [21] 杜慧玲, 冯两蕊, 郭平毅, 等. 土壤重金属元素含量与大棚使用年限的相关性研究[J]. 山西农业科学, 2006, 34(3): 56-59.
- DU Hui-ling, FENG Liang-rui, GUO Ping-yi, et al. Correlationship between the heavy metal contents in soil and cultural time at greenhouse[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2006, 34(3): 56-59.
- [22] 张民, 龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量和分布[J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 85-93.
- ZHANG Min, GONG Zi-tong. Contents and distribution of some heavy metal elements in the vegetable cultivated soils in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(1): 85-93.
- [23] Zhou Z Y, Fan Y P, Wang M J. Heavy metal contamination in vegetables and their control in China[J]. *Food Rev Int*, 2000, 16(2): 239-255.
- [24] Wang Q, Dong Y, Cui Y, et al. Instances of soil and crop heavy metal contamination in China[J]. *Soil and Sediment Contamination*, 2001, 10(5): 497-510.

- [25] 吴新民, 李恋卿, 潘根兴, 等. 南京市不同功能城区土壤中重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的污染特征[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 105-111.
WU Xin-min, LI Lian-qing, PAN Gen-xing, et al. Soil pollution of Cu, Zn, Pb and Cd in different city zones of Nanjing[J]. *Environmental Science*, 2003, 24(3): 105-111.
- [26] 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.
LIU Rong-le, LI Shu-tian, WANG Xiu-bin, et al. Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 392-397.
- [27] 卢 东, 宗良纲, 肖兴基, 等. 华东典型地区有机农业与常规农业土壤重金属含量的比较研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 742-747.
LU Dong, ZONG Liang-gang, XIAO Xing-ji, et al. A comparison of heavy metals concentration in soils of organic and conventional farming in typical regions of eastern China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1): 742-747.
- [28] 邢廷铎. 畜牧业生产对生态环境的污染及其防治 [J]. 云南环境科学, 2001, 20(1): 39-43.
XING Ting-xian. Animal husbandry production pollution[J]. *Yunnan Environment Science*, 2001, 20(1): 39-43.
- [29] 闰秋良, 刘福柱. 通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染[J]. 家畜生态, 2002, 23(3): 68-70.
RUN Qiu-liang, LIU Fu-zhu. Reduction environmental pollution of animal production by adjustment of nutrition[J]. *Ecology of Domestic Animal*, 2002, 23(3): 68-70.
- [30] McBride M B, Spiers G, et al. Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS [J]. *Soil Sci Plant Anal*, 2001, 32(1&2): 139-156.
- [31] Nicholson F A, Chambers B J, William s J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. *Bioresource Technology*, 1999(70): 23-31.
- [32] Verdonck O, Szmidt R A K. Compost specifications[J]. *Acta Horticulture*, 1998(469): 169-177.
- [33] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). "Guidelines for Compost Quality"[M]. part 1. 1995.
- [34] Agriculture Canada. "Metal Concentrations in Processed Sewage and By-products"[R]. Trade Memorandum T-4-93. January 2, 1991. 3.
- [35] Brinton W F. Compost quality standard & guidelines [R]/Final report. Woods and research laboratory Inc. Dec. 2000. Prepared for New York State Association of Recyclers.
- [36] 高 明, 车福才, 魏朝富, 等. 长期施用有机肥对紫色水稻土铁锰铜锌形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 11-17.
GAO Ming, CHE Fu-cai, WEI Chao-fu, et al. Effect of long-term application of manures on forms of Fe, Mn, Cu and Zn in purple paddy soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizers Science*, 2000, 6(1): 11-17.
- [37] 郭观林, 周启星. 中国东北北部黑土重金属污染趋势分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 2004, 21(3): 386-392.
GUO Guan-lin, Zhou Qi-xing. Contaminative trends of heavy metals in phaeozem of Northeast China[J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2004, 21(3): 386-392.
- [38] 汪 洪, 刘新宝, 杨 清, 等. 锌肥对作物产量、籽粒锌及土壤有效锌含量的后效[J]. 土壤肥料, 2003, 6(1): 3-9.
WANG Hong, LIU Xin-bao, YANG Qing, et al. Effect of fertilization on grain weight of winter wheat[J]. *Soil and Fertilizer*, 2003, 6(1): 3-9.
- [39] 黄泽春, 宋 波, 陈同斌, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜的锌含量及其健康风险评估[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 439-448.
HUANG Ze-chun, SONG Bo, CHEN Tong-bin, et al. A survey of zinc concentrations in vegetables and soils in Beijing and their health risk[J]. *Geographical Research*, 2006, 25(3): 439-448.
- [40] 刘 铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996.
LIU Zheng. Trace element of Chinese soil[M]. Nanjing: Phoenix Science Press, 1996.
- [41] Moolenaar S W, Beltrami P. Heavy metal balances of an Italian soil as affected by sewage sludge and Bordeaux mixture applications[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27(4): 828-835.