

我国菜田土壤重金属污染现状及检测技术分析

李 斌,陈 红,李 亮,郭文忠

(北京农业智能装备技术研究中心,北京 100097)

摘要:为解决我国菜田土壤污染问题,该文分析了园艺作物生产过程土壤重金属检测以及保障“菜篮子”产品可持续生产系统的重要意义。通过对我国东北、华北、南方、西部等地区的菜田重金属污染已有的调查研究工作进行综述,论述了我国菜田土壤重金属污染现状,并对污染总体情况、布局及趋势进行了分析;针对菜田土壤重金属含量的有效检测问题,介绍了现有重金属含量检测方法,并进行了现有常规及新型重金属检测手段的对比,提出了目前土壤重金属含量检测中面临的主要问题,为我国菜田园艺作物生产过程重金属污染检测和防治工作提供参考依据。

关键词:菜田;重金属污染;检测

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2014)04-0140-07

重金属是指比重(相对密度)大于5的金属

元素或其化合物,主要指汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)和类金属砷(As)等^[1-2]。有色金属矿山的开采、工业“三废”的排放、含重金属废弃物堆积、农业生产中的污水灌溉、农用化学药品的不合理使用等,都可导致有害重金属元素直接或间接进入园艺作物生产

收稿日期:2013-11-20

基金项目:北京市自然科学基金面上资助项目(6132009)

第一作者简介:李斌(1983-),男,博士,助理研究员,从事农田土壤重金属检测研究。E-mail:lib@nercita.org.cn。

通讯作者:郭文忠(1972-),男,研究员,从事设施农业蔬菜栽培研究。

效行政单元主要分两类,一类是省辖12地级市及一些县级市城市,这些城市土地相对效率较高的原因主要是经济条件好,基础设施基础好,建设用地的经济效率高;另一类是位于矿产资源、森林资源等自然条件丰富,且开发利用充分的行政单元。DEA无效行政单元主要位于城市规模较小,工业基础较为落后的区域。

参考文献:

[1] 曹允庚,贾凤梅.黑龙江省人口城市化与经济发展水平区际

格局研究[J].安徽农业科学,2012(6):3672-3674.

[2] 单志芬,毕涛,刘德方,等.发展规模经营提高耕地资源利用率——黑龙江省农村土地规模经营的调研[J].中国农业资源与区划,2010(1):1-7.

[3] 谢金星.优化建模与LINDO/LINGO软件[M].清华大学出版社,2011:343-348.

[4] 傅小徐.基于DEA江西省土地利用效率研究[D].南昌:江西师范大学,2011,19-39.

[5] 吴得文,毛汉英,张小雷,等.中国城市土地利用效率评价[J].地理学报,2011(66):1111-1112.

Study on Land Use Efficiency of Regional Pattern Based on DEA in Heilongjiang Province

CAO Yun-geng¹, LIANG Xin²

(1. Suihua College, Suihua, Heilongjiang 152061; 2. Heilongjiang Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150050)

Abstract: In order to improve land use efficiency of Heilongjiang province, using the data envelopment analysis (DEA) method, the land use efficiency of 77 counties (cities) were evaluated comprehensively. The results showed that pure technical use efficiency level of land was low, the average score was 0.920. Scale efficiency level was high, the average score was 0.975. The overall level of land use efficiency was high, the average score of comprehensive efficiency was 0.898. The land use of 33 administrative cells were DEA efficient, accounted for 42.85% of all cities in Heilongjiang province. Waste and unreasonable utilization of land resources were not common, but there were obvious regional properties in land use efficiency.

Key words: land use efficiency; DEA model; Heilongjiang

土壤^[3-4]。我国已经是世界园艺生产大国,由于在农业生产活动中,种植园艺作物的经济收益高,许多地区的从业者在园艺作物的生产过程中施用大量不合理的肥料,化肥投入不可避免地造成菜田土壤重金属含量的富集,对土壤环境、蔬菜生产以及通过食物链对消费者的身体健康都产生了不良影响。2012 年中央一号文件明确提出要狠抓“菜篮子”产品供给。抓好“菜篮子”,必须建好菜园子、管好菜摊子,这就需要运用先进的检测手段,保障“菜篮子”产品质量,建设“高产、优质、高效、生态、安全”的“菜篮子”产品生产系统。菜田土壤质量成为保障“菜篮子”产品可持续生产系统的重要前提。该文从我国菜田土壤质量污染问题出发,对我国菜田土壤重金属污染的现状、布局和趋势进行分析,并进行现有重金属检测手段的对比,总结指出目前土壤重金属含量检测手段面临的主要问题。

1 我国菜田土壤重金属污染现状

我国地域辽阔,各地菜田生产情况差别较大,各地专家学者对东北、华北以及我国南部、西部等地的菜田土壤重金属污染情况进行了调查研究工作。

1.1 东北地区

胡新萍^[5]于 2003 年对沈阳市市郊五区(新民市、新城子区、于洪区、东陵区和法库县)的菜田土壤重金属污染状况进行了调查监测和评价,结果表明,菜田土壤中重金属镉含量超标率为 4.9%、汞含量超标率为 1.1%。

于志民等^[6]为探索黑龙江省典型大棚土壤中重金属 Cu、Zn、Cd 的污染状况,在黑龙江五常市和肇东市选了 9 个大棚进行采样,对污染情况进行综合评价。结果表明,9 个大棚中的 7 个均有不同程度的 Cu、Zn、Cd 污染,所有大棚 Cd、Cu 含量均高于土壤标准背景值,其中 6 个棚 Cd 含量已经严重超标,高于三级标准,已形成严重污染态势。

刘洋等^[7]为探讨不同种植年限、不同土层土壤中重金属有效态含量,对辽宁省设施土壤及其相邻露地的 136 个样品进行采集,分层测定了 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤中有效态 As、Cd 和 Ni 的含量,并分析了影响其含量的因素。结果表明,设施土壤重金属有效态含量与其相邻露地土壤相比,各土层重金属有效态的含量均有所增加,且种

植年限与 3 种重金属有效态的平均增量呈正相关。设施土壤 pH 与有效态 As 呈正相关,与有效态 Cd 和 Ni 呈极显著负相关;有机质与有效态 As 和 Cd 均呈极显著正相关,而与有效态 Ni 仅在 20~40 cm 土层呈显著正相关。

1.2 华北地区

山东省是我国蔬菜第一大省。黄霞等^[8]采用野外调查采样和室内分析相结合的方法,对典型设施栽培地山东寿光的部分土壤重金属含量进行测定。结果表明,重金属 Cu、Cr、Pb 在设施栽培土壤耕层(0~20 cm)的含量达最大值,显著高于露地土壤;而设施栽培土壤中 Zn 和 Cd 的含量分别在 20~40 cm 和 40~60 cm 的土层达到最大值,其中 Zn 含量在 0~20 cm 和 60~80 cm 的土层显著高于露地土壤,Cd 含量在 0~20 cm,40~60 cm,60~80 cm 和 80~100 cm 的土层显著高于露地土壤。从不同使用年限设施栽培土壤中重金属含量变化看出,重金属在设施栽培 2~4 a 的土壤含量最高。对研究区设施栽培土壤重金属含量进行风险评估及分级发现,山东寿光设施土壤耕层主要受到重金属 Cd 的污染。陈建美等^[9]对青岛市主要蔬菜产地土壤重金属 Pb、Cd、Hg、As、Cr、Cu 和 Zn 的含量进行了调查分析。试验分别选取即墨市、莱西市和平度市所属的 8 个乡镇冬暖棚、拱棚和露地的蔬菜地开展,结果表明,青岛市主要蔬菜地土壤整体环境质量良好,也有镉元素超标情况,镉元素的污染主要集中在土壤的上层(0~20 cm),土壤重金属的污染指数莱西大于即墨大于平度,这可能与 3 个地区施肥量、施肥习惯、工矿企业生产状况及污染源不同等因素有关。

蔬菜生产是河北农业的三大主导产业之一。和爱玲等^[10]将河北省玉田县典型菜区作为试验示范区菜田对土壤重金属污染状况研究结果表明,菜田重金属的污染主要是 Cd 的污染,其二级超标率达到 88.1%。贡冬梅等^[11]对永年县典型蔬菜种植土壤重金属含量状况进行调查,结果表明永年县蔬菜土壤 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的平均含量均没有超过国家允许含量。另外,河北省污水灌溉区普遍存在重金属累积现象,以镉累积较为普遍。李雪梅等^[12]对天津郊区菜田土壤重金属污染现状进行评价,结果表明宁河、静海、宝坻、蓟县和武青菜田土壤的重金属污染均为二级,属于尚清洁水平,东丽、西青和津南菜田土壤的重金属污

染均为三级,属于轻度污染水平,北辰菜田土壤的重金属污染为四级,属于中度污染水平。由此说明天津市东丽、西青、津南和北辰等区的土壤重金属污染已经开始影响人类健康。

赵勇等^[13]对郑州市郊区3种不同灌溉方式农田土壤进行重金属(Hg、Cr、Cd、Pb、As、Cu、Zn)污染监测和蔬菜质量调查。结果表明,郑州市郊区的土壤均未超过GB15618-1995《土壤环境质量标准》二级标准限值,部分蔬菜已受到重金属的污染。土壤中的Zn、Cu、Cd、Cr污染与多数蔬菜的污染呈显著正相关,而Pb、Hg污染在多数蔬菜中均表现为与土壤污染无相关性。薄润香等^[14]选取太原市5个无公害蔬菜基地,分析温室土壤中重金属砷、汞、铅、镉、铬含量。结果表明,各基地土壤重金属As、Hg、Pb、Cd、Cr含量不一,但均符合有关标准,未出现超标现象;0~20 cm土层的重金属含量和单项污染指数高于20~40 cm土层,其中As的单项污染指数最高;3个无公害蔬菜基地表层土壤的综合污染指数接近警戒级,下层土壤尚属安全清洁状态。

黄绍文等^[15]对农田不同利用方式下北京、天津、河北和山东4个试区土壤重金属状况进行评价。结果表明,天津试区3种利用方式农田土壤重金属Cu、Zn、Cd、Pb和As含量均明显高于河北、山东和北京3个试区,4个试区露地菜田和大棚菜田土壤重金属Cu、Zn、Cd和Pb含量均有较粮田高的趋势。总体看来,天津和河北2试区露地菜田和大棚菜田、山东试区大棚菜田土壤处于重金属轻污染状况,北京试区3种利用方式农田、天津和河北2个试区粮田土壤处于重金属污染警戒级,山东试区露地菜田和粮田土壤居重金属安全级。其中北京、天津和河北3个试区2种利用方式农田和山东试区大棚菜田均处于Cd轻污染状况,山东试区露地菜田和粮田土壤Cd居污染警戒级,而4个试区3种利用方式农田土壤均未受到Cu、Zn、Pb、Cr、As和Hg的污染。

1.3 南方地区

方勇^[16]调查并研究了浙江金华市郊不同棚龄的设施大棚土壤中污染重金属的积累现状。结果表明,设施大棚中施用规模化养殖畜禽粪,使土壤重金属(Cr、Pb、Cu)含量随棚龄(0~8 a)增加而递增。5 a棚龄设施土壤有75%达污染警戒限水平,而棚龄8 a设施土壤100%都达到或超过了污染警戒限水平。在当前栽培管理条件下,设施

栽培导致重金属积累,设施土壤清洁使用的临界年限大约5 a。史静等^[17]以云南设施栽培面积最大的6个片区设施土壤为研究对象,分析了设施土壤中8种重金属元素的分布特征。结果表明,6大片区设施土壤中重金属元素的分布有差异,其中玉溪片区土壤Pb、Cu、Zn、As累积较多;呈贡片区主要土壤中Cr和Cd累积较多。云南设施土壤中Cd的污染程度较严重,已达轻度污染程度,且随着栽培年限延长污染加剧。高硯芳等^[18]调查了太湖地区温室蔬菜土壤中重金属Cr、Cd、Cu、Zn、Pb的全量和有效态含量。结果表明,不论是0~20 cm还是20~30 cm土层,各种重金属(Cr除外)全量含量均高于背景值;不论是全量还是有效态,在0~20 cm土层中含量基本上高于20~30 cm土层中含量。胡小玲等^[19]研究表明,珠海市地产蔬菜重金属污染比较严重,特别是镉元素的污染,可能存在重金属本底值高的问题,预示不容忽视工业废水、废气、废渣中的重金属对菜田的污染。

宋启道等^[20]调查了广东省20个市52个主要蔬菜产地土壤重金属含量。结果表明,156个蔬菜产地土壤样品中Cd、Hg、As和Cr的超标率分别为9.62%、3.85%、0.64%和0.64%,Pb未出现超标;8个蔬菜产地土壤重金属处于轻污染,13个蔬菜产地土壤重金属处于警戒限,其余蔬菜产地土壤重金属均在安全范围内。蔬菜产地土壤Cd污染最为普遍和严重,其次是Hg和As。珠江三角洲地区蔬菜产地土壤重金属含量普遍高于其它地区,粤西和粤北地区个别蔬菜产地土壤重金属超标。

黄功标^[21]对福建省23个城市46片主要常年蔬菜基地土壤采样分析,测定了53个土壤样品的pH及重金属Cd、Pb、Hg、As、Cr的含量水平。结果表明,土壤重金属含量超标污染因子依次为Hg、Cr、Pb,有14个调查土壤样品超标,不合格率为26.4%。

1.4 西部地区

章圣强等^[22]以甘肃省白银市日光温室土壤为研究对象,对土壤重金属Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn和Ni含量进行了测定。结果表明,大部分温室土壤Cd含量超过国家土壤环境质量三级标准。陆引罡等^[23]对贵州省贵阳市乌当、白云、花溪及清镇四个区域菜田土壤重金属Hg、Pb、As、Cd、Cr污染现状进行调查分析。结果表明,贵阳

市郊区菜田土壤重金属污染较严重,各调查区域间菜田土壤重金属污染有一定的差异。各区域 Hg、Cr、As 污染水平差异明显,Pb、Cd 污染差异不大。

佟洪金等^[24]对成都彭州市蔬菜基地土壤进行采样分析,结果表明该区土壤存在 Hg、Cd 污染,其污染程度达到国家规定的三级标准,属于轻度污染;Cu 在对照区大宝乡土壤中存在污染,属于轻度污染。通过对 5 个乡镇 28 个样点的评价分析发现,成都近郊蔬菜基地土壤已出现污染现象,大部分地区处于轻污染状态,蔬菜开始受到污染。

李其林等^[25]对重庆市近郊蔬菜地土壤进行了布点、采样,共采集土壤混合样品 30 个,并将 1999 年和 1989 年的数据进行了比较,评价结果表明,重庆近郊蔬菜地土壤重金属含量 Hg 含量变化不大,Pb 含量明显降低,Cd 和 As 含量明显增加。

从诸多调查中可以看出,我国各地菜田受到了不同程度的重金属污染,趋势在不断加重。总体来看,发达地区重金属污染较为严重,城郊区、近郊区与平原区蔬菜基地土壤中重金属含量高于丘陵区、中低山区,这是因为重金属污染在很大程度上是人类活动规律引起,污染原因与工矿污染有很大关系,人类对于化学农药、农用垃圾的使用也造成了土壤重金属的富集污染;重金属污染状况受各地蔬菜种植模式影响,一般大田种植对重金属污染影响不大,而设施农业发达地区由于土壤连作、环境相对密闭,造成重金属积累,污染相对严重;在现有的菜田重金属污染中,Cd 污染最为普遍和严重,其次 Cu、Zn、Cd、Hg 的含量东部地区菜田较高,Cr、Pb、As 的含量中部地区菜田较高,西部地区菜田土壤的重金属含量则普遍较低;从重金属污染的土层深度来看,大多污染集中在土壤表层 0~40 cm,随着土层深度的增加而污染程度减轻。

当前我国菜田重金属污染现状呈现加重趋势,随之带来的“菜篮子”产品品质安全问题令人担忧。在从菜田到餐桌的整个食物流通链中,如何运用先进的检测手段在“菜篮子”产品产地源头进行重金属含量的快速、高效检测,改善专家学者开展调查研究的检测手段,应该成为当前解决菜

田重金属污染的首要问题。调查工作的开展需要先进检测手段的有效支撑,这就要求检测技术在检测精度、检测安全、检测成本、检测效率等方面具有良好性能。

2 主要重金属检测方法和问题分析

2.1 主要重金属的检测方法

当前土壤重金属定性定量检测方法主要有光谱法、电化学分析方法以及新型检测技术等^[26]。光谱法是比较传统的方法,主要有原子吸收法(AAS)、原子荧光法(AFS)、电感耦合等离子体法(ICP)、X 荧光光谱(XRF)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)及紫外可见分光光度法(UV)等。在《中国土壤环境质量标准》(GB15618-1995)^[27]中,规定了用于土壤重金属检测的标准方法,主要是采用强酸消解后,通过光谱法进行重金属测量。电化学检测方法^[28]主要包括极谱法、电位分析法和电导分析法和伏安法等,检测速度较快,数值准确,在环境应急检测方面有较大的应用潜力,是目前较为流行的方法。除此之外,一些比较新的检测技术,如酶抑制法^[29]、免疫分析法^[30]、生物传感器法^[31]和太赫兹光谱法^[32-33]等,与生物学等相结合,相关学者也展开了探索研究,取得了一定的成果。

在现有土壤重金属检测技术中,光谱法能以较高灵敏度对多种环境样品中的重金属离子含量进行有效分析,被列为国家标准检测方法,该方法需要大型昂贵的仪器设备,其分析方法成本高,样品一般需要经过消解处理,程序复杂,分析时间长,考虑到测试工作的安全性,一般需要较为专业的工作人员进行测量,以上这些因素制约着该方法用于土壤重金属样品测量的普及应用,降低了菜田土壤重金属含量调查研究的工作效率;电化学分析方法借助汞膜、铋膜等修饰丝网印刷先进技术,对环境样品痕量元素的检测有较好的研究和应用,在进行土壤重金属离子检测方面具有一定的应用研究潜力,但土壤体系复杂,检测时采用普通浆料的电极极易受到诸如表面活性剂、有机物及大分子颗粒等污染物的影响,再加上土壤样品前处理中,需要进行土样消解,强酸的使用很可能造成土壤的二次污染,该方法仍需要进一步的改善。

表 1 中国土壤环境质量标准(GB15618-1995)选配分析方法(节选)
Table 1 Chinese standard methods for soil quality analysis(selected)

序号 No.	种类 Species	测定方法 Determination methods	检测范围/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Determination range	注释 Note
1	镉	土样经盐酸-硝酸-高氯酸(或盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸)消解后 (1)萃取-火焰原子吸收法测定 (2)石墨炉原子吸收分光光度法	0.025 以上 0.005 以上	土壤总镉
2	铜	土样经盐酸-硝酸-高氯酸(或盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸)消解后,火焰原子吸收分光光度法测定	1.0 以上	土壤总铜
3	铅	土样经盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸消解后 (1)萃取-火焰原子吸收法测定 (2)石墨炉原子吸收分光光度法测定	0.4 以上 0.06 以上	土壤总铅
4	铬	土样经硫酸-硝酸-氢氟酸消解后 (1)高锰酸钾氧,二苯碳酰二肼光度法测定 (2)加氯化铵液,火焰原子吸收分光光度法测定	1.0 以上 2.5 以上	土壤总铬

2.2 重金属检测技术中存在的问题

新型检测技术表现出较好的检测性能和应用前景,如太赫兹技术较新,样品光谱反应了丰富的太赫兹波段物理和化学信息,可进行重金属含量的定性定量建模研究,初步实验结果良好,和生物学相结合的检测手段也呈现良好的检测性能,但特异性抗体的制备比较困难,制约着该方法的应用。

2.2.1 检测精度问题 实验室条件下,一般运用大型光谱检测仪器进行重金属的定性定量检测,如原子荧光光谱仪、原子吸收分光光度计、电感耦合等离子体质谱仪和石墨炉等,可以达到较低的检测限,实现国家标准方法的测量,但检测设备价格昂贵,样品的前处理步骤繁琐,消耗时间较长;市场上出现的便携式重金属检测仪器,其检测限能够满足如铅、铜、镍等重金属的检测要求,但是对于镉等检测限较低的重金属元素,无法达到检测要求;对于电化学分析方法和新型检测技术,在理想状态下,检测精度一般可以达到,但是实际应用中,环境过于复杂,也受到传感器本身特性的影响,检测精度有待提高。

2.2.2 检测安全问题 光谱法检测过程中需要使用原子射线对样品进行高温处理,由于原子射线有较强的电离特性,可能对人体造成一定的危害,在操作前,使用者需要经过一定的操作安全培训;土壤中的重金属离子大部分是与土壤成分络合在一起,游离态含量很低,如用化学分析方法等进行痕量检测,需要首先对测试样品进行微波消解预处理,将重金属元素变成游离态,然后进行总

量的检测,在这一过程中,需要对测试样品进行强酸/强碱的消解,也会带来安全问题,如果检测工作在乡村一级农田基层环境监测服务站内进行,消解废液的回收处理不当也会带来环境的二次污染问题。

2.2.3 检测设备成本问题 根据土壤质量安全检测的国家标准,土壤样品的重金属含量检测一般依赖于大型的精密仪器,在实验室条件下完成。这些仪器本身价格昂贵,再加上相关的配套设备,如样品预处理设备等,造成了整套检测设备的成本非常高,大大限制了各地专家学者们借助国家标准检测手段开展菜田土壤重金属污染检测的调查研究和农业推广应用;现有的便携式重金属检测仪器价格一般也在 30 万元左右,成本仍然较高,其检测精度和检测种类也受到一定的限制,很难推广普及应用。

2.2.4 检测效率问题 从菜田采集批量土壤样品进行实验室条件下的大型检测仪器设备,是当前土壤重金属检测主要采取的检测模式。常规的检测方法是样品采集后,需要进行批量样品的前处理,操作流程相对繁琐,消耗时间长,重复性强,工作量大,测试项目多,所测结果数据量大,现阶段仍完全依靠大量的人工投入,缺乏相应的自动化/半自动化样品采集、预处理、测试设备和信息科技管理手段,极大地降低了检测效率,亟需先进科技的有效支撑来推动专家学者开展高效的菜田重金属污染调查研究工作。

3 结论

近年来,各地专家学者借助现有的重金属测

量手段开展了大量的菜田土壤重金属污染调查研究工作,结果表明,我国菜田重金属污染形势严峻,呈现不断加重趋势,许多发达地区已经严重超标,随之而来的“菜篮子”产品品质令人担忧,食品安全面临考验。在从菜田到餐桌的整个食物流通链中,从蔬菜生产源头出发,运用先进、高效的重金属检测手段,对菜田土壤重金属污染进行有效的摸底调查,应该成为当前解决菜田重金属污染的当务之急。然而,通过对当前重金属污染检测手段的分析表明,目前的检测手段存在精度、安全、成本、效率等多方面的问题,不足以有效支撑当前菜田重金属污染调查摸底工作。针对当前的菜田重金属污染形势,在现有技术基础之上,探索先进、高效、适用的土壤主要重金属含量检测方法,用于支撑当前我国“菜篮子”产品产地土壤重金属污染调查需求,是解决当前污染问题的首要问题和重要途径,值得不断推进。

参考文献:

- [1] 吕彩云. 重金属检测方法研究综述[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(10): 887-890.
- [2] 廖国礼, 吴超. 资源开发环境重金属污染与控制[M]. 湖南: 中南大学出版社, 2006.
- [3] 滕葭, 柳琪, 李倩, 等. 重金属污染对农产品的危害与风险评估[J]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [4] 郑国璋. 农业土壤重金属污染研究的理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [5] 胡新萍. 沈阳市郊蔬菜基地土壤中重金属污染状态[J]. 辽宁城乡环境科技, 2007, 27(4): 1-2.
- [6] 于志民, 沈光, 吕品, 等. 黑龙江省典型蔬菜大棚土壤重金属污染评价[J], 2012(5): 14-17, 40.
- [7] 刘洋, 张玉龙, 张玉玲, 等. 辽宁省设施土壤重金属 Cd、Ni、As 有效态含量[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(6): 1131-1134.
- [8] 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.
- [9] 陈建美, 蔡葵, 赵明, 等. 青岛蔬菜主产区土壤重金属污染调查及评价[J]. 山东农业科学, 2011(1): 63-67.
- [10] 和爱玲. 菜田土壤质量空间变异及养分精准管理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006.
- [11] 贡冬梅, 茹教华, 张国印, 等. 永年县典型蔬菜田土壤和蔬菜重金属含量状况研究[J]. 河北农业科学, 2008, 12(7): 88-90, 97.
- [12] 李雪梅, 王祖伟, 邓小文. 天津郊区菜田土壤重金属污染环境质量评价[J]. 天津师范大学学报, 2005(3): 69-72.
- [13] 赵勇, 李红娟, 孙治强. 郑州农区土壤重金属污染与蔬菜质量相关性探析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 126-130.
- [14] 薄润香, 樊文华, 王宏燕. 太原市 5 个无公害蔬菜基地温室土壤重金属含量的研究[J]. 山西农业科学, 2008, 36(9): 43-46.
- [15] 黄绍文, 金继运, 和爱玲, 等. 农田不同利用方式下土壤重金属区域分异与评价[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(B10): 540-548.
- [16] 方勇. 不同棚龄土壤重金属含量变化及污染评价[J]. 湖南农业科学, 2012(1): 58-61.
- [17] 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.
- [18] 高砚芳, 段增强, 邹恒福. 太湖地区温室土壤重金属污染状况调查及评价[J]. 土壤, 2007, 39(6): 910-914.
- [19] 胡小玲, 张瑰, 陈剑刚, 等. 珠海市蔬菜重金属污染的调查研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(8): 980-981.
- [20] 宋启道, 方佳, 王富华, 等. 广东省主要蔬菜产地土壤中重金属含量调查与评价[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(5): 91-93.
- [21] 黄功标. 福建省主要蔬菜基地土壤重金属污染状况调查与评价[J]. 农业环境与发展, 2005(4): 39-41.
- [22] 章圣强, 郭瑞英, 曹靖, 等. 白银市日光温室土壤养分累积特征[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4): 711-716.
- [23] 陆引罡, 王巩. 贵州贵阳市郊区菜园土壤重金属污染的初步调查[J]. 土壤通报, 2001(5): 235-237.
- [24] 佟洪金, 涂仕华, 赵秀兰, 等. 彭州市蔬菜基地土壤中重金属污染评价[J]. 西南农业学报, 2003, 16(S1): 122-125.
- [25] 李其林, 黄昀. 重庆市近郊区蔬菜地土壤重金属含量变化及污染情况[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 158-160.
- [26] 杨一刚. 食品中重金属元素检测方法的研究[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 31(18): 217-218.
- [27] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 《中国土壤环境质量标准》(GB15618-1995)[S]. 1995.
- [28] Kadara R O, Tothill L E. Resolving the copper interference effect on the stripping chronopotentiometric response of lead(II) obtained at bismuth film screen-printed electrode[J]. Talanta, 2005, 66: 1089-1093.
- [29] 柳畅先, 梁曦, 何进星. 酶催化动力学光度法测定镉[J]. 化学通报, 2008(5): 398-400.
- [30] Johnson D K. A fluorescence polarization immunoassay for cadmium[J]. Anal Chem Acta, 1999, 399: 161-172.
- [31] Darwish I A, Blake D A. One-step competitive immunoassay for cadmium ions; Development and validation for environmental water samples[J]. Analytical Chemistry, 2001, 73: 1889-1895.
- [32] Li B, Wang M H, Cao W. Research on heavy metal ions detection in soil with terahertz time-domain spectroscopy[C]. International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging, 2011: 66.
- [33] Li B, Wang M H, Wang N. Preliminary study on heavy metal detection in soil using terahertz Time-domain Spectroscopy[C]. 2011 ASABE Annual International Meeting, 2011: 3263-3279.
- [34] 姚会敏, 杜婷婷, 苏德纯. 不同品种芸薹属蔬菜吸收累积镉的差异[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 291-294.
- [35] 张国印, 王凌, 茹淑华, 等. 蔬菜种类和种植年限对土壤重

- 金属含量的影响[J]. 河北农业科学, 2006, 10(3): 10-15.
- [36] 费颖恒, 黄艺, 严昌荣, 等. 大棚种植对农业土壤环境的胁迫[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 243-247.
- [37] 刘云国, 黄宝荣, 练湘津, 等. 重金属污染土壤化学萃取修复技术影响因素分析[J]. 湖南大学学报, 2005, 32(1): 95-98.
- [38] 茹淑华, 孙世友, 王凌, 等. 蔬菜重金属污染现状防治措施[J]. 河北农业科学, 2006, 10(3): 88-91.
- [39] 杨苏才, 南忠仁, 曾静静. 土壤重金属污染现状与治理途径研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 549-552.
- [40] 骆永明, 滕应. 中国土壤污染退化状况及防治对策[J]. 土壤, 2006, 38(5): 505-508.
- [41] 戴军, 刘腾辉. 广州菜地生态环境的污染特征[J]. 土壤通报, 1995, 26(3): 102-104.
- [42] 房世波, 潘剑君, 成杰民. 南京市郊蔬菜地土壤中重金属含量的时空变化规律[J]. 土壤与环境, 2002, 11(4): 339-343.
- [43] 许宇飞. 沈阳市部分农田土壤重金属污染评价[J]. 农业环境与发展, 1998, 15(2): 21-24.
- [44] 许嘉琳. 陆地生态系统中的重金属[M]. 北京: 中国环境出版社, 2001.
- [45] 蒋先军, 骆永明等. 重金属污染土壤的植物修复研究[J]. 土壤, 2000(2): 71-74.
- [46] 李绍英. 环境污染与监测[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1992.
- [47] 中国环境监测总站. 土壤元素的近代分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [48] 严健汉. 环境土壤学[M]. 武汉: 华中师大出版社, 2001.
- [49] 邵孝侯, 邓光熹. 连续提取法区分土壤重金属元素形态的研究及应用[J]. 土壤与进展, 1994, 32(3): 40-45.
- [50] 王孝堂. 土壤酸度对重金属形态分配的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 103-107.
- [51] 张乃明. 土壤-植物系统重金属污染研究现状与展望[J]. 环境科学进展, 1998, 7(4): 30-33.
- [52] 王慎强, 陈怀满, 司友斌. 我国土壤环境保护研究的回顾与展望[J]. 土壤, 1995(5): 255-260.
- [53] 许学宏, 纪从亮. 江苏蔬菜产地土壤重金属污染现状调查与评价[J]. 农村生态环境, 2005, 21(1): 35-37.
- [54] 金立新, 侯青叶, 杨忠芳, 等. 四川德阳地区农田生态系统重金属健康风险评价[J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 47-56.
- [55] 罗厚枚, 王宏康. 用灰色聚类法综合评价土壤中重金属污染程度[J]. 北京农业大学学报, 1994, 20(2): 197-203.
- [56] 周宜开, 刘雯君. 土壤汞污染人群健康风险评价[J]. 湖北预防医学杂志, 2008, 19(1): 1-5.
- [57] 郭朝晖, 肖细元, 陈同斌, 等. 湘江中下游农田土壤和蔬菜的重金属污染[J]. 地理学报, 2008, 63(1): 3-11.

Current Status and Detection Technologies Analysis of Heavy Metals Pollution in Vegetable Fields

LI Bin, CHEN Hong, LI Liang, GUO Wen-zhong

(Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097)

Abstract: In order to solve the problem of soil pollution during vegetable production, the significance of detecting heavy metals pollution in soil during horticultural crops production was pointed out to ensure sustainable vegetable production. After reviewing the current research of heavy metals detection in vegetable fields at several regions in China such as the parts of northeast, north, south and west, the heavy metals pollution status in vegetable fields were expounded, the overview situation, layout and the trend of the soil pollutions in vegetable fields were analyzed. Aiming at the effective detecting problem of heavy metals content in vegetable fields, existing detection methods of heavy metals were introduced, the common and new heavy metals detection methods were compared. Then the major problems of heavy metals detection were summarized, so as to provide a reference for conducting detection and prevention of heavy metals pollution during process of horticultural crops production.

Key words: vegetable production fields; heavy metals pollution; detection