

上海崇明地区蔬菜中 Pb、Cd 污染评价和微生物特征分析*

殷山红^{1,2} 姚春霞^{1,3#} 唐 伟⁴ 李亚辉^{1,5} 杨海峰¹ 张 菊² 叶少丹¹

(1.上海市农业科学院农产品质量标准与检测技术研究所,上海 201403;

2.聊城大学环境与规划学院,山东 聊城 252059;3.上海市设施园艺技术重点实验室,上海 201403;

4.上海市崇明区食用农产品监测中心,上海 202150;5.上海海洋大学食品学院,上海 201306)

摘要 为了解上海崇明地区蔬菜安全卫生情况,于 2017—2018 年采集崇明地区 4 类蔬菜共 113 个样品,测定并分析蔬菜中重金属 Pb、Cd 含量和食源性致病微生物金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、沙门氏菌(*Salmonella*)和单核细胞增生李斯特氏菌(*Listeria monocytogenes*)检出状况,另外对蔬菜中重金属进行污染评价及健康风险评估。结果表明:崇明蔬菜中 Pb 和 Cd 含量均低于《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2017)中的限值。Pb 在蔬菜中含量冬季显著低于秋季,4 类蔬菜中 Pb 和 Cd 含量均值表现为叶菜类>根茎类>茄果类>瓜类。通过计算蔬菜中重金属的健康风险得知,4 类蔬菜中成人和儿童的 Pb 和 Cd 的重金属暴露风险指数均小于 1,无明显健康风险,但儿童的 Pb 和 Cd 的重金属暴露风险指数大于成人。在 113 个蔬菜样品中,食源性致病微生物沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌均无检出,金黄色葡萄球菌检出 5 株,检出率为 4.42%。其中叶菜类检出率 3.75%,根茎类检出率 6.67%,茄果类 11.11%,瓜类无检出。秋季金黄色葡萄球菌的检出率高于冬春两季。

关键词 上海崇明 蔬菜 重金属 污染 微生物

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2020.02.019

Assessment of Pb and Cd pollution and microbial characteristics in vegetables in Chongming District of Shanghai YIN Shanhong^{1,2}, YAO Chunxia^{1,3}, TANG Wei⁴, LI Yahui^{1,5}, YANG Haifeng¹, ZHANG Ju², YE Shaodan¹. (1. Institute for Agro-Product Quality Standards and Testing Technologies, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403; 2. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng Shandong 252059; 3. Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201403; 4. Shanghai Chongming Edible Agricultural Product Monitoring Center, Shanghai 202150; 5. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract: In order to understand the safety and health situation of vegetables planted in Chongming District of Shanghai, a total of 113 vegetable (four kinds) samples were collected from 2017 to 2018, in which Pb and Cd were analyzed and foodborne pathogens *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* were detected. In addition, the pollution of heavy metals and health evaluation were performed in vegetables. The results showed that the contents of Pb and Cd were lower than the vegetable limit values in "National food safety standard maximum levels of contaminants in foods" (GB 2762-2017), respectively. There were significant differences in Pb concentrations of vegetables between autumn and winter which were higher in winter than autumn. The concentrations of Pb and Cd in different kinds of vegetables were followed a sequence of leafy vegetables>roots ones>solantherum ones>melon ones. By calculating the health risk of heavy metals in vegetables, the hazard quotient (HQ) of Pb and Cd in the four types of vegetables were less than 1 for adults and children, and there were no significant health risks. But children have higher HQ for Pb and Cd than adults. Five *Staphylococcus aureus* (detection rate of 4.42%) were isolated, but *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* were not detected in 113 vegetable samples. Among them, the detection rate of *Staphylococcus aureus* was 3.75% in leafy vegetables, 6.67% in roots ones and 11.11% in solantherum ones, 0 in melon ones. The detection rate of *Staphylococcus aureus* in autumn was higher than winter and spring.

Keywords: Chongming District of Shanghai; vegetable; heavy metal; contamination; microorganism

随着中国经济快速发展,蔬菜的质量安全日益 引起大众的关注。有研究发现,重金属在土壤中积

第一作者:殷山红,女,1993 年生,硕士研究生,研究方向为有机肥、土壤和农产品重金属污染。* 通讯作者。

* 上海市科技兴农项目(沪农科创字[2019]第 3-1 号);上海市科委项目(No.17712400800、No.15391912200);崇明区科委攻关项目(No. CKS2018-12)。

累、富集,容易迁移到蔬菜中,而且不易去除^[1]。《全国土壤污染调查公报》显示,全国耕地土壤点位超标率为19.4%^[2]。对上海蔬菜农田土壤来说,近20年来重金属累积的污染物主要为Hg、Cd和Zn^[3]。自2002年起,上海为改善耕地质量,大力推广有机肥技术,对土壤中重金属的累积产生一定影响。已有研究发现,崇明土壤重金属含量较高的区域主要集中在中部地区^[4];交通干线两侧农田土壤中Pb和Cd含量均高于崇明土壤背景值,其蔬菜中Pb含量也超出无公害食品标准^[5]。此外,在全球范围内,因食用含致病菌污染的蔬菜而使人致病的案例时有发生,其中不乏严重案例^[6],2010年8—9月,英格兰和苏格兰发生至少73例巴雷利沙门氏菌(*Salmonella Bareilly*)病例,这一疫情与人们食用被细菌污染的豆芽有关。目前对上海崇明地产鲜食蔬菜中致病微生物的污染状况未见监测报道,但对我国杭州、内蒙古、徐州等地区的蔬菜产品进行污染致病微生物的检测结果表明,生食蔬菜类产品中食源性致病菌的污染状况存在一定的差异,部分产品中可检出金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、单核细胞增生李斯特氏菌(*Listeria monocytogenes*)和沙门氏菌(*Salmonella*)等食源性致病菌^[7-9]。

崇明是上海市区蔬菜的主要供应地,目前还没有对崇明地产鲜食蔬菜重金属和致病菌污染方面进行过文献报道。本研究通过对崇明部分蔬菜基地内蔬菜进行采样,分析了蔬菜中重金属Pb和Cd的含量及致病微生物分布的特征,并对蔬菜中重金属污染状况进行评价,同时评估蔬菜消费给当地居民带来的健康风险,以期对崇明蔬菜的健康食用提供基础资料与科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2017年9月至2018年4月期间,对上海崇明24家蔬菜基地进行蔬菜样品的采集(见图1)。样品采集主要针对叶菜类、根茎类、茄果类和瓜类4类蔬菜,采集当季的时令蔬菜品种,包括青菜(*Brassica chinensis* L.)、生菜(*Lactuca sativa*)、鸡毛菜(*Brassica chinensis* L.)、西红柿(*Solanum lycopersicum* L.)、黄瓜(*Cucumis sativus* L.)、萝卜(*Raphanus sativus* L.)、青椒(*Capsicum annuum* L.)等共113个样品。

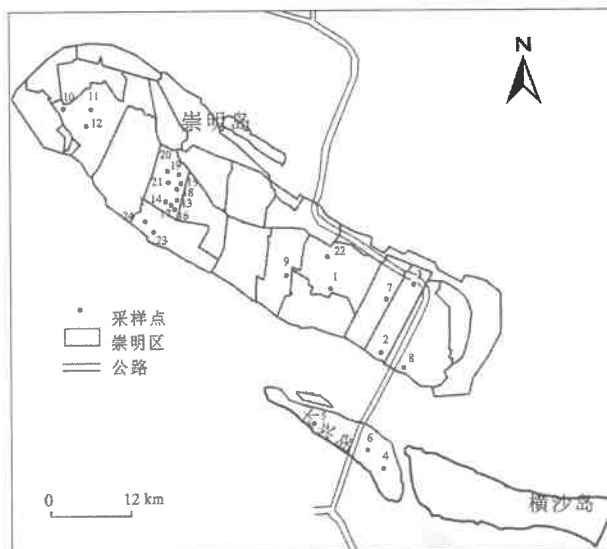


图1 采样点分布

Fig.1 Distribution of sampling sites

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

现场采集蔬菜运回实验室后分为清洗和不清洗两批,需清洗蔬菜样品用清水清洗,并采用蔬菜破碎机打为鲜样,于-4℃冷冻保存,该处理样品用于重金属Pb和Cd检测。未清洗蔬菜样品在无菌操作环境下进行致病微生物的检测。

1.2.2 样品测定

重金属检测:参照《食品安全国家标准 食品中铅的测定》(GB 5009.12—2017)和《食品安全国家标准 食品中镉的测定》(GB 5009.15—2014)进行。每批样品检测均做3个空白和3个平行样。分析过程中Pb、Cd采用地球物理地球化学勘查研究所的国家标准物质豆角成分分析物质(GBW10021(GSB—12))来控制蔬菜样品消解及测定方法的精密度和准确度,Pb、Cd含量的相对标准偏差均小于8%,方法回收率为95%~104%。

微生物检测:主要培养基和试剂配置参照《食品安全国家标准 食品微生物检验 培养基和试剂要求》(GB/T 4789.28—2013),沙门氏菌、金黄色葡萄球菌和单核细胞增生李斯特氏菌检测方法分别参照《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》(GB 4789.4—2016)、《食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验》(GB 4789.10—2016)、《食品安全国家标准 食品微生物学检验 单核细胞增生李斯特氏菌检验》(GB 4789.30—2016)。

1.3 评价标准

以《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB

2762—2017)中 Pb、Cd 的限值作为蔬菜中 Pb、Cd 的最大安全限值,并采用单因子污染指数法评价分析上海崇明地区蔬菜中重金属污染状况。单因子污染指数 ≤ 1 ,表示无污染; $>1\sim 2$,表示轻微污染; $>2\sim 3$,表示轻度污染; $>3\sim 5$,表示中度污染; >5 ,表示重度污染。

同时,采用因蔬菜摄入而产生的重金属平均日摄入量^[10-11]的计算公式来探究居民因食用蔬菜而引起的健康风险。计算公式如式(1)、式(2)所示:

$$CDI = (C \times I \times 10^3) / BW \quad (1)$$

$$C \times I = \sum (c_i \times D_i \times F_d) \quad (2)$$

式中:CDI 为重金属通过蔬菜进入人体的平均日摄入量, $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$;C 为蔬菜中重金属质量浓度, mg/kg ;I 为接触率, kg/d ;BW 为体重, kg ,按成人 61.52 kg,儿童体重 21.58 kg 计算^[12]; c_i 为 i 类蔬菜的重金属平均质量浓度, mg/kg ; D_i 为每日对 i 类蔬菜的食用量, kg/d ,中国人均蔬菜的成人日食用量为 0.274 kg/d,儿童日食用量为 0.180 kg/d^[13]; F_d 为蔬菜鲜质量折算为干质量的比例,计算公式见参考文献[14]。

根据美国环境保护署(USEPA)^[15]和世界卫生组织(WHO)^[16]推荐评价有毒污染物的参考暴露剂量(RfD , $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$),Pb 和 Cd 的 RfD 分别为 3.5、1.0 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,并以 HQ 来表示由蔬菜摄入引起的重金属暴露风险指数。计算公式如式(3)所示:

$$HQ = CDI / RfD \quad (3)$$

$HQ < 1$ 表示相关暴露人群没有明显的风险; $HQ \geq 1$ 表示相关暴露人群存在健康风险, HQ 越大,说明对人体带来的健康风险越大。

1.4 数据分析

用 Excel 2003、SPSS 18.0 软件处理分析实验所

得数据,并对相关数据进行单因素方差分析。

2 结果与讨论

2.1 蔬菜重金属含量特征

2.1.1 不同季节蔬菜的重金属含量特征

如表 1 所示,不同季节蔬菜中 Pb 的检出率均在 50%以上(Pb 检出限为 0.75 $\mu\text{g}/\text{kg}$),秋季蔬菜检出率最高,为 82.69%。方差分析表明,秋季蔬菜中 Pb 含量显著高于冬季蔬菜($P < 0.05$),冬季蔬菜中 Pb 含量均值最小,为 5.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$,但其最大值高于春季蔬菜。Cd 在不同时期的蔬菜中的检出率均为 100.00%,含量均值总体表现为春季 $>$ 冬季 $>$ 秋季,不同季节蔬菜中 Cd 含量的最大值表现与均值具有较好的一致性。与北京蔬菜设施基地蔬菜样品相较,研究区蔬菜中 Pb、Cd 含量均值均低于该地区研究结果,可见崇明地区蔬菜质量相对较为安全。

根据 WILDING^[18]对变异系数程度的划分,由表 1 可知,本研究中秋、冬和春季蔬菜中 Pb 和 Cd 含量均为高度变异(变异系数 $>36\%$),说明研究区内 Pb 和 Cd 含量的分布具有较大的空间差异性,可能与采样点的地域分布较为分散有关。

2.1.2 不同种类蔬菜的重金属含量特征

由表 2 可知,不同种类蔬菜中 Pb 检出率表现为叶菜类 $>$ 瓜类 $>$ 茄果类 $>$ 根茎类;Cd 的检出率为 100.00%;根据 GB 2762—2017 中所规定的蔬菜 Pb、Cd 限值,本研究区内蔬菜中 Pb 和 Cd 含量均低于限值;叶菜类蔬菜 Pb、Cd 含量均值高于其他 3 类蔬菜。综合来看上海崇明地产鲜食蔬菜中重金属含量表现为叶菜类 $>$ 根茎类 $>$ 茄果类 $>$ 瓜类,与吴燕明等^[19]对湖南某矿区蔬菜中重金属含量的调查结

表 1 不同时期蔬菜中 Pb、Cd 质量浓度¹⁾
Table 1 Concentrations of Pb and Cd in vegetables in different periods

项目	秋季(样品数为 52)		冬季(样品数为 23)		春季(样品数为 38)	
	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
平均值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	12.7a	8.7	5.9b	11.5	8.5ab	17.1
最大值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	59.6	33.5	38.8	40.9	27.9	44.2
最小值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	ND	0.5	ND	0.7	ND	0.4
检出率/%	82.69	100.00	52.17	100.00	73.68	100.00
标准偏差/ $(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	13.0	8.3	9.8	9.4	8.6	12.4
变异系数/%	102.19	95.10	164.58	81.72	101.70	72.22
北京蔬菜设施基地蔬菜中的质量浓度/ $(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	45.4	39.1				

注:1) ND 表示低于检出限,同一元素均值后标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),表 2 同;北京蔬菜设施基地蔬菜中的质量浓度引自文献[17]。

表2 不同种类蔬菜的 Pb、Cd 质量浓度
Table 2 Concentrations of Pb and Cd in different types of vegetables

项目	叶菜类(样品数为 80)		茄果类(样品数为 9)		根茎类(样品数为 15)		瓜类(样品数为 9)	
	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
平均值/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.9a	14.5a	5.3a	7.3b	5.7b	8.8b	4.0b	1.0b
最大值/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	59.6	44.2	26.4	11.8	35.7	38.0	9.4	3.3
最小值/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	ND	1.1	ND	1.2	ND	1.4	ND	0.4
检出率/%	81.25	100.00	55.56	100.00	46.67	100.00	66.67	100.00
标准偏差/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.8	11.0	8.5	4.3	10.2	8.7	3.4	0.9
变异系数/%	99.16	75.86	160.38	58.90	178.95	98.86	85.00	90.00
GB 2762—2017 中限值 ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	300	200	100	50	200	100	100	50

果具有较好的一致性。刘雪芳等^{[20]151}研究表明,叶菜类中 Pb 的含量高于其他种类蔬菜,与本研究相一致,原因可能与叶菜类吸附土壤、农药及大气中 Pb 有关。黄朝冉等^[21]对重庆蔬菜重金属特征的研究发现,叶菜类蔬菜中 Cd 含量显著高于其他类蔬菜,这与本研究结果一致性较好。

本研究 4 类蔬菜中 Pb、Cd 含量均表现为高度变异(变异系数 $>36\%$),具有较大的空间差异性。方差检验发现,Pb 在叶菜类蔬菜中的含量与根茎类和瓜类蔬菜存在差异,且达到显著性水平($P<0.05$),与茄果类蔬菜含量之间无显著差异性($P>0.05$)。叶菜类蔬菜中 Cd 含量显著高于茄果类、根茎类和瓜类蔬菜($P<0.05$),茄果类、根茎类和瓜类蔬菜之间差异不显著($P>0.05$),这验证了叶菜类蔬菜对重金属的富集能力较强的研究结果^[22]。

2.2 蔬菜重金属污染评价及健康风险评估

研究中所有样品 Pb、Cd 均未污染(单因子污染指数 ≤ 1),评价结果为优良,表明本研究区域内蔬菜质量较好。此外,经数据统计分析发现,4 类蔬菜(叶菜类、根茎类、茄果类、瓜类)中 Pb 的单因子污染指数均值分别为 0.040、0.057、0.053、0.040,Cd 的单因子污染指数均值分别为 0.073、0.088、0.147、0.020,由此得到 4 类蔬菜重金属 Pb 和 Cd 污染指数

的排序,分别为根茎类 $>$ 茄果类 $>$ 叶菜类 $=$ 瓜类,茄果类 $>$ 根茎类 $>$ 叶菜类 $>$ 瓜类,与刘雪芳等^{[20]151}的调查结果一致性较好。

由表 3 可知,成人和儿童对 4 类蔬菜的 Pb 和 Cd 的 HQ 均小于 1,无明显健康风险,但叶菜类、茄果类和根茎类蔬菜中 Cd 的 HQ 显著高于 Pb,建议对蔬菜中 Cd 予以关注;对于成人和儿童来说,儿童摄入蔬菜带来的风险大于成人,这与王北洪等^[23]的研究结果一致性较好,可能与成人和儿童的蔬菜日摄入量与体重有关,儿童因身体处在发育阶段,肝、肾等代谢器官的解毒和排泄功能尚未健全,对重金属等有毒污染物质较为敏感。

2.3 蔬菜的微生物特征

由表 4 中数据计算可知,秋季金黄色葡萄球菌检出率为 5.77%,冬季金黄色葡萄球菌检出率 4.35%,春季金黄色葡萄球菌检出率 2.63%,沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌均无检出。秋季金黄色葡萄球菌的检出率较高,可在秋季加大致病微生物的监控,做好防护措施以减少致病微生物的污染。

从采集蔬菜类别上来看,4 类蔬菜中沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌均未检出。叶菜类金黄色葡萄球菌检出率 3.75%,根茎类金黄色葡萄球菌检出率 6.67%,茄果类金黄色葡萄球菌检出率

表3 食用蔬菜的重金属摄入量及健康风险
Table 3 Intake and health risk of heavy metal through vegetable consumption

蔬菜类型	重金属	CDI/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)		RfD ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	HQ	
		成人	儿童		成人	儿童
叶菜类	Pb	0.005 3	0.009 9	3.5	0.001 5	0.002 8
	Cd	0.006 5	0.012 1	1.0	0.006 5	0.012 1
茄果类	Pb	0.002 4	0.004 4	3.5	0.000 7	0.001 3
	Cd	0.003 3	0.006 1	1.0	0.003 3	0.006 1
根茎类	Pb	0.002 5	0.004 8	3.5	0.000 7	0.001 4
	Cd	0.003 9	0.007 3	1.0	0.003 9	0.007 3
瓜类	Pb	0.001 8	0.003 3	3.5	0.000 5	0.001 0
	Cd	0.000 4	0.000 8	1.0	0.000 4	0.000 8

表 4 蔬菜中微生物的检出情况
Table 4 Detection of microorganisms in vegetables

微生物名称	蔬菜类别				季节		
	叶菜类 (样品数为 80)	根茎类 (样品数为 15)	茄果类 (样品数为 9)	瓜类 (样品数为 9)	秋季 (样品数为 52)	冬季 (样品数为 23)	春季 (样品数为 38)
金黄色葡萄球菌	3	1	1	0	3	1	1
沙门氏菌	0	0	0	0	0	0	0
单核细胞增生李斯特氏菌	0	0	0	0	0	0	0

11.11%，瓜类金黄色葡萄球菌无检出。茄果类检出率较高可能是茄果类样品数量不多所导致。叶菜类蔬菜检出的蔬菜品种为生菜、小青菜 (*Brassica chinensis* L.) 和结球生菜 (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.)；根茎类蔬菜检出的为芦笋 (*Asparagus officinalis* L.)；茄果类蔬菜检出的为青椒，这可能与蔬菜生长环境和蔬菜表面结构有关^[24]。

综上可见，3 类食源性致病菌中只金黄色葡萄球菌有检出，因金黄色葡萄球菌是人类的一种重要病原菌，有“嗜肉菌”的别称，是革兰氏阳性菌的代表，可引起许多严重感染；建议食用蔬菜前进行高温烹煮，养成良好的卫生习惯，以降低蔬菜食源性微生物二次污染及交叉污染的风险。

3 结 论

(1) 上海市崇明地产鲜食蔬菜重金属 Pb、Cd 含量均低于 GB 2762—2017 中限值，在叶菜类、根茎类、茄果类和瓜类 4 类蔬菜中重金属含量最高的是叶菜类，而季节对叶菜类蔬菜中 Pb、Cd 含量的变化存在一定的影响。

(2) 崇明地区蔬菜重金属污染评价结果为优良，通过计算蔬菜中重金属的健康风险得知，4 类蔬菜中成人和儿童的 Pb 和 Cd 的 HQ 均小于 1，无明显健康风险，但叶菜类、茄果类和根茎类蔬菜 Cd 的 HQ 明显大于 Pb，且儿童的 Pb 和 Cd 的 HQ 大于成人。

(3) 所采集蔬菜样品中沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌均未检出，金黄色葡萄球菌检出率为 4.42%，其中叶菜类检出率 3.75%，根茎类 6.67%，茄果类 11.11%，瓜类无检出；秋季金黄色葡萄球菌的检出率高于冬春两季。

参考文献：

[1] HU W Y, CHEN Y, HUANG B, et al. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from a typical greenhouse vegetable production system in China[J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2014, 20(5): 1264-1280.

[2] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染调查公报[EB/OL]. [2019-01-21]. <http://www.gov.cn/foot/site1/20140417/782bcb88840814ba158d01.pdf>.

[3] 沈根祥, 谢争, 钱晓雅, 等. 上海市蔬菜农田土壤重金属污染物累积调查分析[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊 1): 37-40.

[4] 高扬. 崇明岛冲积土重金属污染毒理效应及生物修复技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

[5] 王初, 陈振楼, 王京, 等. 上海崇明岛交通干线两侧农田土壤和蔬菜 Pb、Cd 污染研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 634-638.

[6] LYNCH M F, TAUXE R V, HEDBERG C W. The growing burden of foodborne outbreaks due to contaminated fresh produce: risks and opportunities[J]. Epidemiology and Infection, 2009, 137(3): 307-315.

[7] 方叶珍, 徐丹戈, 包芳珍, 等. 2006 年杭州市江干区食源性致病菌污染状况分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(3): 488-490.

[8] 王利平, 张冰冰, 乌伊罕. 2017 年内蒙古自治区食源性致病菌监测结果分析[J]. 现代预防医学, 2018, 45(18): 3407-3410.

[9] 许静静, 余峰玲, 苗升浩, 等. 2012—2017 年徐州市市售 5 类食品中 5 种食源性致病菌监测结果分析[J]. 实用预防医学, 2018, 25(12): 1524-1527.

[10] TRIPATHI R M, RAGHUNATH R, KRISHNAMOORTHY T M. Dietary intake of heavy metals in Bombay city, India[J]. Science of the Total Environment, 1997, 208(3): 149-159.

[11] 陈华, 刘志全, 李广贺. 污染场地土壤风险基准值构建与评价方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(2): 84-88.

[12] 侯捷, 曲艳慧, 宁大亮, 等. 我国居民暴露参数特征及其对风险评估的影响[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(8): 179-187.

[13] 翟凤英, 杨晓光. 中国居民营养与健康状况调查报告之二·2002 膳食与营养摄入状况[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006.

[14] 张丽, 张兴昌. 植物生长过程中水分、氮素、光照的互作效应[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 43-46.

[15] USEPA. Risk-based concentration table[R]. Philadelphia: USEPA, 2000.

[16] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants (41st report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)[R]. Geneva: WHO, 1993.

[17] 徐笠, 陆安祥, 田晓琴, 等. 典型设施蔬菜基地重金属的累积特征及风险评估[J]. 中国农业科学, 2017, 50(21): 4149-4158.

[18] WILDING L P. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys[M]//NIELSEN D R, BOUMA J. Soils spatial variability. Wageningen: PUDOC Publishers, 1985: 166-194.

[19] 吴燕明, 吕高明, 周航, 等. 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估[J]. 生态学报, 2014, 34(8): 2146-2154.

[20] 刘雪芳, 闫兆凤. 某地市售蔬菜重金属污染状况及其健康风险分析[J]. 中国卫生产业, 2018, 15(21).

[21] 黄朝冉, 江玲, 徐卫红, 等. 菜园土壤和蔬菜中 Pb、Cd、Hg 和 As 的质量分数及相关性研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(11): 40-48.

[22] 徐红颖, 包玉龙, 王玉兰. 常见蔬菜中重金属铅、镉、铬、砷含量测定[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(3): 85-89.

[23] 王北洪, 马智宏, 冯晓元, 等. 北京市蔬菜重金属含量及健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2736-2745.

[24] 马晨, 陈雪华, 钱程. 海口市市售新鲜蔬菜微生物污染分析[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(3): 396-401.

编辑: 胡翠娟 (收稿日期: 2019-04-15)

