

福州市主栽蔬菜品种对砷的积累及健康风险

涂杰峰^{1,2,*} 刘兰英^{1,2} 伍云卿^{1,2} 陈卫伟^{1,2}

(1. 福建省农业科学院中心实验室,福州 350003;2. 福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所,福州 350003)

摘要 为阐明福州市主要蔬菜基地种植的蔬菜中砷积累特征与食用风险水平,对研究区域内蔬菜 and 对应土壤中砷含量进行了分析检测,采用 Monte-Carlo 模型法对蔬菜中砷引起的健康风险进行了评价,并探讨了蔬菜和土壤砷含量之间的相关性及不同品种、不同类别蔬菜之间积累砷的差异。结果表明:研究区内菜地土壤没有明显的砷超标,砷含量均未超出国家土壤二级标准($30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);研究区内蔬菜安全状态很好,不存在明显的健康风险;蔬菜中砷与其对应土壤中砷之间无显著相关性;不同类别的蔬菜之间对于砷的累积存在差异性,蔬菜中砷的富集系数顺序为叶菜类 > 根茎类 > 瓜果类,其中茼蒿的富集系数最大,豌豆和辣椒的最小。

关键词 蔬菜;品种;砷;健康风险评价;Monte-Carlo 模型

中图分类号 X821;X56 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2016)11-6761-07 DOI 10.12030/j.cjee.201511029

Arsenic accumulation and health risks to human health in major vegetable cultivars of Fuzhou

TU Jiefeng^{1,2,*} LIU Lanying^{1,2} WU Yunqing^{1,2} CHEN Weiwei^{1,2}

(1. Central Laboratory, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350003, China;

2. Institute for Agricultural Standards and Testing Technology, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350003, China)

Abstract In order to clarify the accumulation characteristics and risk levels of arsenic (As) in vegetables planted in the main vegetable base of Fuzhou, the As contents of vegetables and soils from the study area were analyzed. Health risk assessment associated with As was conducted using the Monte Carlo model. Analysis was carried out to determine if there was a correlation between the As contents of vegetables and soils, and the differences between As accumulation in vegetables with different cultivars were studied. The results showed that the soils in the study area had no obvious accumulation of As, and the As contents were not beyond the Grade II criteria of the national soil environmental quality standard ($30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). The results of the Monte Carlo model testified that vegetables in the study area were safe to eat and would not cause obvious health risks to local residents. There was no significant correlation between the As contents of the vegetables and those of the soils, however As accumulation in different vegetable cultivars was dissimilar. The order of As bioaccumulation in the different vegetable types was leafy vegetables > roots > fruits, among which crown daisy had the highest bioaccumulation, while peas and peppers had the lowest.

Key words vegetable; cultivars; arsenic; health risk assessment; Monte-Carlo model

重金属砷(As)广泛分布于环境中,食物摄入是人体暴露 As 的最主要来源^[1]。蔬菜作为重要的经济作物,在人们日常饮食中必不可少,为人体生长提供了维生素、蛋白质、矿物质和膳食纤维等多种营养成分^[2-4]。然而,随着城市的工业废水和生活污水与日俱增,加之化肥和农药的不合理施用,使得大

多集中分布在城镇近郊的蔬菜极易受到重金属污染。As 是一种积累性的有害元素,其从外界进入土壤,易累积在耕作层,并通过蔬菜吸收,在蔬菜的根、茎、叶及果实中积累并最终通过食物链传递在人体中累积,从而对人体的胃肠、呼吸道、皮肤、肝脏、心血管、血液和神经等诸方面产生不同程度的健康危

基金项目:福建省公益类科研专项(2011R1027-4);福建省公益类基本科研专项-优势领域重点项目(2014R1025-1)

收稿日期:2015-11-03;修订日期:2016-04-19

作者简介:涂杰峰(1960—),男,副研究员,研究方向:农产品与土壤重金属污染。E-mail:tujiefeng@hotmail.com

* 通讯联系人

害^[5]。As 污染在给人类健康带来危害的同时,也对蔬菜自身的品质和产量产生影响,当积累到一定程度后,会抑制蔬菜根系的生长和对营养的吸收^[6]。因此,开展蔬菜 As 污染的调查、分析和健康风险评估,对于提高蔬菜质量、保障人们饮食安全、促进蔬菜安全生产和可持续发展具有积极的指导意义。

目前,对蔬菜 As 累积状况及其风险评价的报道很多,研究大多是以点评估法估算蔬菜中重金属通过饮食途径对人体带来的健康风险,点评估法计算简单,但结果比较粗糙,可能会高估暴露的危险度。近年来,基于 Monte-Carlo 模拟的概率模型逐渐应用到重金属对人体健康的风险评价中来,如苏倩怡^[7]根据收集到的 1 044 个贝类样品的检测数据,建立了贝类中重金属镉风险评估中膳食暴露非参数概率评估模型。Monte-Carlo 法通过模拟一系列随机选择的条件而评价每一个风险参数,产生一个潜在风险的概率估计,结果更符合实际^[8]。

随着福州市工农业高度发展,城镇化在快速推进,工业废水、生活和养殖污水的排放量也日益增大,对蔬菜的安全生产构成一定的威胁。本研究结合福州市主要蔬菜基地的区域分布状况,对福州市郊区及所辖周边市县(闽侯县、晋安区、连江县、长乐市)区域内蔬菜基地土壤和蔬菜进行系统抽样调查及 As 含量分析,并利用 Monte-Carlo 模型评估蔬菜食用对人体健康造成的风险,同时,探讨蔬菜品种之间积累砷的差异,为福州市蔬菜食用安全和合理进行蔬菜的生产布局提供支撑。

1 实验部分

1.1 实验材料

本研究的实验材料取自福州市郊区及周边县市(闽侯县、晋安区、连江县和长乐市)区域内的主要蔬菜生产基地(图 1),于 2012-2013 年的 2 月共采取蔬菜样品 151 份,土壤样品 95 份。

1.2 样品采集和预处理

土样采集及预处理:按照梅花点方式进行采集,取自 10 m × 10 m 正方形 4 个顶点和中心点,等量混合后按四分法取 1 kg 菜地耕作层(0 ~ 20 cm)土壤混合样,风干后研磨,过 100 目尼龙筛保存备用。

蔬菜样品的采集及预处理:采集土壤样品的同时采集对应蔬菜样品,为了增加样品的代表性,对于蔬菜种植量和居民消费量较大的品种(大白菜、芹菜、萝卜、芥菜、生菜和小白菜等),其样品采集数也



图1 福州市蔬菜与土壤采样点区域分布图

Fig.1 A sketch map showing sampling sites of vegetables and soils taken from Fuzhou

相应增加。蔬菜依可食部位分为叶菜类、根茎类和瓜果类,采样时摘取蔬菜成熟新鲜的可食部分置于封口袋中,在实验室用自来水冲洗,去除附在其表面上的泥土,再用去离子水反复漂洗,晾干,用不锈钢刀切成小块,在 80 ℃ 下烘 48 h,烘干后测定水分含量,粉碎备用。

1.3 样品消解及测定方法

土壤样品采用国标 GB/T 17134-1997 推荐的 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 混合酸消解的方法,蔬菜样品的消解采用国标 GB/T5009.11-2003 推荐的 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3$ 的方法。采用原子荧光光度计(北京普析通用仪器有限公司)同时测定土壤与蔬菜中的 As 元素,蔬菜中的 As 含量以鲜质量计。分析过程中加入国家标准土壤样品 GBW07427(GSS-13)和国家标准植物样品 GBW10014(GSB-5)进行质量控制。实验所用的酸均为优级纯,所用的水均为超纯水。从表 1 可以看出,标准物质 GSS-13 和 GSB-5 测定数据较集中并平均值接近标准值,说明精密度高,准确度也很高,符合质控要求。

1.4 蔬菜 As 健康风险评价

采用基于 Monte-Carlo 模拟的概率模型法对蔬菜 As 的健康风险进行评价,居民食用蔬菜的 As 风险商的计算方法参见文献[9]。

$$\text{HQ} = \frac{\text{Cf} \times \text{IR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{365 \times \text{BW} \times \text{AT} \times \text{Rfd}}$$

式中:HQ 为蔬菜 As 的食用风险商;Cf 为蔬菜中 As 的含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,由监测数据获得;IR 为蔬菜日摄入量, $0.286 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$,由福州市膳食结果调查数据获得;EF 为暴露频率, $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$,缺省值 $350 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$;ED 为暴露年限,a,缺省值 70 a ^[10];BW 为平均体重,

表 1 质量控制结果

Table 1 Result of quality control measurements

/(mg·kg⁻¹)

标准物质	As					平均值	标准值
	1	2	3	4	5		
GSS-13	9.92	10.91	10.85	9.80	10.21	10.34 ± 0.52	10.60 ± 0.80
GSB-5	0.069	0.061	0.066	0.059	0.063	0.064 ± 0.004	0.062 ± 0.014

kg,取(60.1 ± 10.9) kg,按 2002 年中年人的平均体重计算;AT 为平均时间,d,取 70 d,按美国环境保护署(USEPA)推荐;RfD 为 USEPA 等制定的参考剂量值,取 RfD = 3.00 × 10⁻⁴ mg · (kg · d)⁻¹。HQ < 1,表明蔬菜中的 As 不会对人体健康产生危害;HQ ≥ 1,表明蔬菜中的 As 存在发生对人体健康不利影响的风险,并且这种风险随着数值的增大而增大。

在 Monte-Carlo 模拟过程中,由于 100% 的百分位数是个理论极值,因此在风险评估过程中,通常采用风险商(HQ)的平均值、中位数、95%、97.5%和 99.5%高暴露位点作为指标进行分析^[11]。

1.5 数据处理

采用 ArcGIS 制作样点分布图,应用 Origin Pro9.0 和 SPSS17.0 软件进行数据和统计分析,同时完成相关图表制作。

2 结果与讨论

2.1 菜地土壤中 As 含量的分布特征

对各县市区域内采取的 95 份菜地土壤样品进行 As 含量测定,其中闽侯县 26 份,晋安区 18 份,连江县 29 份,长乐市 22 份,结果见图 2。

由图 2 可以看出,95 份菜地土壤 As 的含量数据呈偏态分布(图 2(a)),经对数转换后符合正态分布规律(图 2(b)),说明本研究区域获得的土壤数据具有统计学意义。菜地土壤样品 As 含量范围介于 1.16 ~ 26.9 mg · kg⁻¹之间,累积量主要分布在 2.04 ~ 8.86 mg · kg⁻¹之间,占样本总数的 87.4%。与福建省土壤 As 的背景值(5.78 mg · kg⁻¹)^[12]相比较,研究区域菜地土壤中的 As 含量超标率为 41%左右。与国家《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)相比,仅有 1 个土壤样品的 As 含量高于全国土壤 As 的自然背景(15 mg · kg⁻¹),即土壤的一级标准。从总体来看,研究区内菜地土壤 As 含量没有明显超标,均未超过国家土壤二级标准(30 mg · kg⁻¹),土壤质量可以保障农业生产。

2.2 蔬菜中 As 的健康风险评价

蔬菜中 As 含量的积累状况与不同环境条件、灌

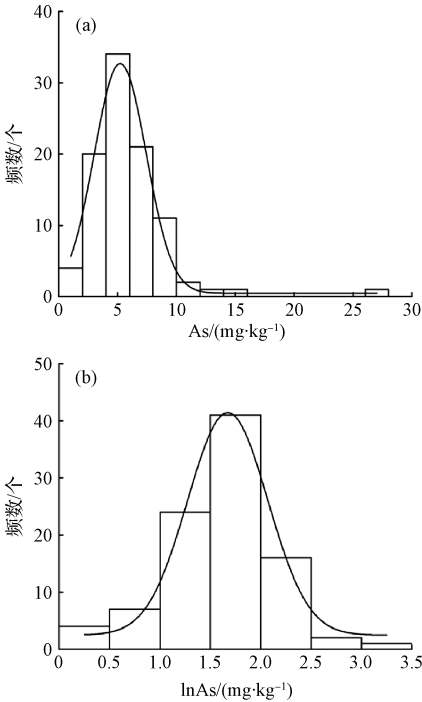


图 2 福州市菜地土壤砷含量分布特征

Fig.2 Frequency distribution characteristics of As content in vegetable fields of Fuzhou

溉条件和土壤性质等因素有关,为评价在该研究区域种植的蔬菜是否可以安全食用,应用基于 Monte-Carlo 模拟技术的 @ Risk 软件对蔬菜 As 含量进行了风险分析,蔬菜 As 含量的频数分布情况如图 3 所示。

从图 3 可以看出,研究区内蔬菜的 As 含量经对数转换后符合正态分布,其含量范围介于 0.176 × 10⁻³ ~ 57.5 × 10⁻³ mg · kg⁻¹之间,主要分布在 0.600 × 10⁻³ ~ 18.3 × 10⁻³ mg · kg⁻¹之间,占样本总数的 85.2%,应用风险商(HQ)对蔬菜 As 含量进行风险评价的表征,如图 4 所示。

由图 4 可以看出,蔬菜 As 的 HQ 平均值为 0.283,中位数为 0.233,高暴露位点 95%、97.5%的 HQ 值分别为 0.579 和 0.749,均小于 1。但 99.5%上的 HQ 值为 1.16,并且 HQ > 1 的概率仅有 1%,说明研究区蔬菜 As 的健康风险基本保持在可接受风

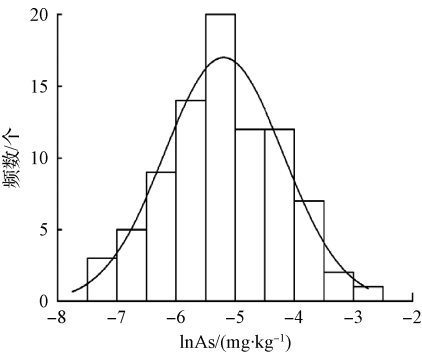


图 3 蔬菜砷含量分布特征

Fig. 3 Frequency distribution characteristics of As content in vegetables of Fuzhou

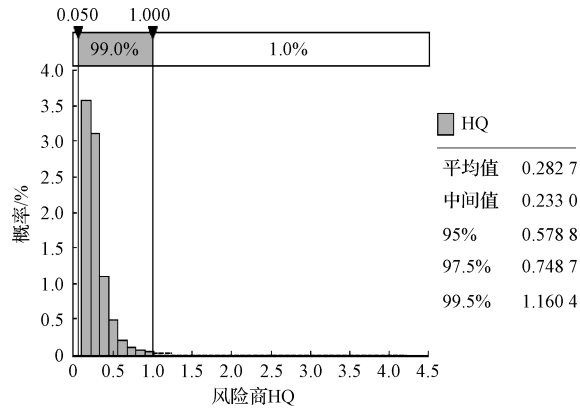


图 4 蔬菜中砷风险商评价结果

Fig. 4 Result of risk assessment of As in vegetables

险水平以内,绝大多数蔬菜不会对居民健康造成危害。

将蔬菜中的含 As 量与其生长土壤样品 As 含量情况进行相关性检验分析,结果表明蔬菜中 As 与土壤中 As 之间呈正相关($r=0.169$),但相关性不显著($P=0.115>0.05$),可见土壤 As 含量对蔬菜可食部位 As 含量的影响并不大。此结论与吴燕明等^[13]关于湘南某矿区土壤与蔬菜中重金属 Pb 和 Cd 含量相关性的研究结果类似。土壤与其对应蔬菜中 As 含量相关性之所以不显著可能是由于,一方面蔬菜植株可以直接通过根系吸收 As,但其吸收程度与 As 的存在形态有关。土壤中 As 的化学形态一般可分为水溶性 As、吸附性 As 和难溶性 As,通常只有水溶性 As 和吸附性 As 可被蔬菜吸收^[14],而本实验所测土壤中 As 的存在状态或许是难溶性的;另一方面蔬菜中 As 含量的积累状况不仅受其所生长的土壤的影响,同时还受到其品质特性、灌溉条件、大气污

染等因素的影响。

2.3 不同类别蔬菜对 As 的积累

将采集的蔬菜样品依可食部位分为叶菜类、根茎类和瓜果类,分析不同类别蔬菜积累 As 的差异,结果如图 5 所示。

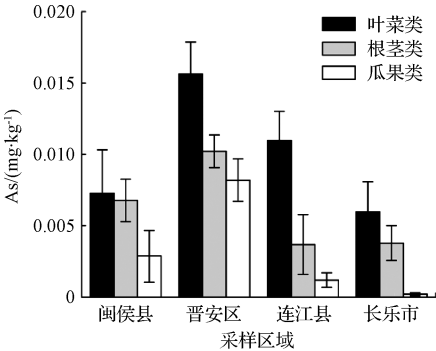


图 5 不同类别蔬菜中的砷含量

Fig. 5 As content in vegetables of different categories

从图 5 可以看出,无论是在哪个采样区域,不同类型蔬菜的 As 平均含量均呈叶菜类>根茎类>瓜果类的趋势,叶菜类蔬菜更容易积累重金属 As,这与宋波等^[15],BAIG 等^[16]的报道一致。统计分析结果显示:不同类别蔬菜中的 As 含量达到了极显著差异($P=0.006<0.01$)。

研究表明,蔬菜植株对重金属的吸收途径可以通过根系直接从土壤中吸收重金属,并随着其他营养物质被输送到地上部分,也可以通过叶片直接吸收大气降尘中的重金属^[17]。因此,叶菜类蔬菜之所以吸收累积 As 能力最强可能与其叶面积大而粗糙,除了吸收其所生长土壤中的 As 还可以吸收大气污染中漂浮的 As 有关;另外还可能是由于叶菜类蔬菜对重金属 As 的毒理学敏感性相对更强,也就是耐受性相对更弱,使得其对 As 的吸收和转运能力相对较强。

2.4 不同蔬菜对 As 富集能力的差异

采用富集系数(即蔬菜中 As 含量与土壤中 As 含量之比)比较蔬菜对 As 的吸收和积累特征的差异。蔬菜 As 的富集系数越小,则表明其吸收 As 的能力越差,抗土壤 As 污染的能力则越强^[13]。由表 2 可知,研究区内蔬菜对 As 的富集系数介于 0~0.008 1 之间,茼蒿对 As 的富集系数最高,为 0.008 1;豌豆和辣椒对 As 的富集系数最低。根据不同类型蔬菜 As 的平均富集系数,蔬菜对 As 的富集能力大小总体而言呈叶菜类>根茎类>瓜果类的

趋势,与图 5 分析结果一致,说明瓜果类蔬菜抗 As 污染能力较叶菜类和根茎类都要强。此结果与 HU 等^[18],杨胜香等^[19]关于蔬菜重金属风险评估的研究结果类似。

为比较不同品种蔬菜的抗土壤 As 污染能力,采用蔬菜 As 富集系数的均值进行层级聚类分析(图 6)可将研究区蔬菜分为 4 大类:茼蒿和生姜归为 I 类,其 As 富集系数最高;豌豆苗和菲菜次之,为 II 类;甘蓝、芥蓝、菠菜、芹菜、魔芋、芥菜、茼青、叶恭菜、花椰菜、小白菜、葱、紫萁菜、冬寒菜和生菜划为 III 类;辣椒、豌豆、苦瓜、茄子、榨菜、胡萝卜、马铃薯、萝卜、莴笋、大蒜和大白菜归为 IV 类,其 As 富集系数最低。第 IV 类的蔬菜 As 富集系数较低,说明其可食部分对 As 的吸收积累能力较弱,在相同 As 含量的土壤环境下,As 在这些蔬菜品种中吸收的能力较差,因而即便是种植在 As 含量相对较高一些的土壤中,其可食部分吸收的 As 也不容易超标。从蔬菜富集系数层级聚类图中还可以看出,各类蔬菜之间在蔬菜品种分类上除个别外,其余基本遵循同类别蔬菜聚集在同一枝。

由此可见,品种差异对蔬菜 As 残留至关重要,这与其他研究结果类似^[20-22]。不同品种或基因型蔬菜根系微生态和根系活力的差异可影响重金属的吸收和积累能力^[23],但田间蔬菜中 As 积累的影响

因素较复杂,不同区域土壤本身性质差异也可能带来 As 有效性差异。因此,需要结合盆栽实验以进一步明确不同蔬菜品种对 As 的吸收累积差异。此外,本研究初步获得了 As 低量积累蔬菜品种,并不了解这些品种的生物学特性及其遗传稳定性,因此,在今后的工作中应对实验结果开展进一步的重复验证和实质性的鉴定工作。

表 2 不同种类蔬菜中 As 的富集系数
Table 2 Bioaccumulation factors of As in different vegetables

蔬菜类型	样品数	蔬菜品种	As 的富集系数
叶菜类 (N = 105)	16	大白菜	0.000 7 ± 0.000 6
	8	芹菜	0.001 8 ± 0.001 7
	9	芥菜	0.001 9 ± 0.001 7
	9	大蒜	0.000 4 ± 0.000 2
	8	葱	0.002 6 ± 0.002 0
	9	生菜	0.003 2 ± 0.002 7
	8	花椰菜	0.002 5 ± 0.003 1
	8	小白菜	0.002 2 ± 0.002 4
	3	紫菜薹	0.002 6 ± 0.000 1
	3	韭菜	0.004 8 ± 0.003 7
	4	芥蓝	0.001 3 ± 0.001 8
	4	甘蓝	0.001 2 ± 0.001 4
	4	菠菜	0.001 7 ± 0.000 4
	3	豌豆苗	0.005 1 ± 0.002 2
	3	叶恭菜	0.002 5 ± 0.000 3
	3	冬寒菜	0.002 8 ± 0.001 6
	3	茼蒿	0.008 1 ± 0.003 5
	平均值		0.002 7 ± 0.001 9
根茎类 (N = 28)	10	萝卜	0.000 5 ± 0.000 5
	4	莴笋	0.000 5 ± 0.000 3
	3	马铃薯	0.000 6 ± 0.001 3
	2	胡萝卜	0.000 3 ± 0.000 2
	2	魔芋	0.001 8 ± 0.000 0
	3	生姜	0.006 9 ± 0.002 6
	2	茼青	0.002 5 ± 0.000 2
瓜果类 (N = 18)	2	榨菜	0.000 1 ± 0.000 0
	平均值		0.001 7 ± 0.002 3
	3	豌豆	—
	3	辣椒	—
	6	茄子	0.000 3 ± 0.000 0
	6	苦瓜	0.000 1 ± 0.000 0
	平均值		0.000 2 ± 0.000 0

注:—表示未检测出。

图 6 基于不同蔬菜砷富集系数均值的聚类分析结果
Fig. 6 Cluster analysis based on means of bioaccumulation factors of As in different vegetables

3 结 论
1) 研究区域菜地土壤 As 含量均未超过国家土

壤二级标准 ($30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 没有受到明显的 As 污染, 土壤质量可以保障农业生产。

2) 研究区内蔬菜风险商 (HQ) 的平均值、中位数及在绝大多数百分位上的 HQ 值均小于 1, 基本不存在健康风险, 就蔬菜中 As 含量的总体状况而言, 研究区内蔬菜是可以安全食用的。

3) 蔬菜中 As 与其所生长的土壤中 As 之间相关性不显著, 说明土壤 As 含量对蔬菜可食部位 As 含量的影响不明显。

4) 不同品种、不同类别的蔬菜之间对于 As 的累积存在差异性, 蔬菜中 As 的富集系数顺序一般为叶菜类 > 根茎类 > 瓜果类, 其中茼蒿的富集系数最大, 豌豆和辣椒的最小。

参考文献

- [1] CALATAYUD M. , BRALATEI E. , FELDMANN J. , et al. Transformation of arsenic species during in vitro gastrointestinal digestion of vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2013**, 61(49): 12164-12170
- [2] GEBREKIDAN A. , WELDEGEBRIEL Y. , HADERA A. , et al. Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfel river near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia. *Ecotox Environ Safe*, **2013**, 95(1): 171-178
- [3] AMIN N. , HUSSAIN A. , ALAMZEB S. , et al. Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan. *Food Chem*, **2013**, 136(3-4): 1515-1523
- [4] LIU Xingmei, SONG Qiuji, TANG Yu, et al. Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: a multi-medium analysis. *Sci Total Environ*, **2013**, 463/464(1): 530-540
- [5] ANAWAR H. M. , GARCIA-SANCHEZ A. , HOSSAIN M. N. , et al. Evaluation of health risk and arsenic levels in vegetables sold in markets of Dhaka (Bangladesh) and Salamanca (Spain) by hydride generation atomic absorption spectroscopy. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **2012**, 89(3): 620-625
- [6] QUAGHEBEUR M. , RENGEL Z. Arsenic speciation governs arsenic uptake and transport in terrestrial plants. *Microchim. Acta*, **2005**, 151: 141-152
- [7] 苏倩怡. 贝类中重金属镉的风险评估. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, **2012**: 19-26
SU Qianyi. Study on risk assessment of Cadmium in Mol-
- lusc. Qingdao: Master Dissertation of Ocean University of China, **2012**: 19-26 (in Chinese)
- [8] 孙金芳, 刘沛, 陈炳为, 等. 中国膳食暴露评估非参数概率模型构建. *中华预防医学杂志*, **2010**, 44: 195-199
SUN Jinfang. , LIU Pei, CHEN Bingwei, et al. Establishment of non-parametric probabilistic model for evaluation of Chinese dietary exposure. *Chin J Prev*, **2010**, 44: 195-199 (in Chinese)
- [9] CAO Hongbin, CHEN Jianjiang, ZHANG Jun, et al. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. *Journal of Environmental Sciences*, **2010**, 22(11): 1792-1799
- [10] USEPA. Risk-based Concentration Table. Philadelphia: United States Environmental Protection Agency, Washington D. C. , **2000**
- [11] 段文佳. 水产品中甲醛的暴露评估与风险管理研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, **2011**: 42-47
DUAN Wenjia. Primary study on exposure assessment and risk management of formaldehyde in aquatic products. Qingdao: Master Dissertation of Ocean University of China, **2011**: 42-47 (in Chinese)
- [12] 陈振金, 陈春秀, 刘用清, 等. 福建省土壤环境背景值研究. *环境科学*, **1992**, 13(4): 70-75
CHEN Zhenjin, CHEN Chunxiu, LIU Yongqing, et al. Study on the background contents of soils in Fujian province. *Environmental Science*, **1992**, 13(4): 70-75 (in Chinese)
- [13] 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. *生态学报*, **2014**, 34(8): 2146-2154
WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, et al. Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan. *Acta Ecologica Sinica*, **2014**, 34(8): 2146-2154 (in Chinese)
- [14] 武淑华, 韩爱民, 蔡继红, 等. 蔬菜中重金属含量与土壤质量的关系. *长江蔬菜*, **2002**, 14(C00): 41-43
WU Shuhua, HAN Aimin, CAI Jihong, et al. Relationship between heavy metal content in vegetables and soil quality. *Journal of Changjiang Vegetables*, **2002**, 14(C00): 41-43 (in Chinese)
- [15] 宋波, 伏凤艳, 张学洪, 等. 桂林市菜地土壤和蔬菜砷含量调查与健康风险评估. *环境科学学报*, **2014**, 34(3): 728-735
SONG Bo, FU Fengyan, ZHANG Xuehong, et al. A sur-

- vey of arsenic concentrations in vegetables and soils in Gui-lin and the human health risks assessment. *Acta Scientiae Circumstantiae*, **2014**, 34(3): 728-735 (in Chinese)
- [16] BAIG J. A. , KAZI T. G. Translocation of arsenic contents in vegetables from growing media of contaminated areas. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **2012**, 75(1): 27-32
- [17] 贾劼, 解静芳, 范仁俊, 等. 酸雨和降尘污染对菠菜和生菜几种重金属含量的影响. *华北农学报*, **2008**, 23(4): 213-216
- JIA Jie, XIE Jingfang, FAN Renjun, et al. Effects of dust dropping and acid rain pollution on contents of heavy metals in spinach and lettuce. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, **2008**, 23(4): 213-216 (in Chinese)
- [18] HU Junli, WU Fuyong, WU Shengchun, et al. Phytoavailability and phytovariety codetermine the bioaccumulation risk of heavy metal from soils, focusing on Cd-contaminated vegetable farms around the Pearl River Delta, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **2013**, 91(1): 18-24
- [19] 杨胜香, 易浪波, 刘佳, 等. 湘西花垣矿区蔬菜重金属污染现状及健康风险评价. *农业环境科学学报*, **2012**, 31(1): 17-23
- YANG Shengxiang, YI Langbo, LIU Jia, et al. Heavy metals concentrations and health risk in vegetables grown on Mn and Pb/Zn mineland in Huayuan County, West Hunan Province, China. *Journal of Agro-Environment Science*, **2012**, 31(1): 17-23 (in Chinese)
- [20] LIU Weitao, ZHOU Qixing, ZHANG Yinlong, et al. Lead accumulation in different Chinese cabbage cultivars and screening for pollution-safe cultivars. *Journal of Environmental Management*, **2010**, 91(3): 781-788
- [21] 徐红颖, 包玉龙, 王玉兰. 常见蔬菜中重金属铅/镉含量的测定. *生物灾害科学*, **2014**, 37(1): 60-63
- XU Hongying, BAO Yulong, WANG Yulan. Determination of contents of Lead and Cadmium in common vegetables. *Biological Disaster Science*, **2014**, 37(1): 60-63 (in Chinese)
- [22] LIU Weitao, ZHOU Qixing, SUN Yuebing, et al. Identification of Chinese cabbage genotypes with low cadmium accumulation for food safety. *Environmental Pollution*, **2009**, 157(6): 1961-1967
- [23] 曾巧云, 莫测辉, 蔡全英, 等. PAEs 污染下 2 种基因型菜心根际土壤微生物特征及差异性. *中国环境科学*, **2011**, 31(3): 346-352
- ZENG Qiaoyun, MO Cehui, CAI Quanying, et al. The microbial characteristics and differences in rhizospheric soils contaminated with PAEs grown high/low PAEs accumulation genotypes of *Brassica parachinensis*. *China Environmental Science*, **2011**, 31(3): 346-352 (in Chinese)