

聂梅梅,景绘丽,李大婧,等. 江苏不同产地莲藕中重金属含量及健康风险评价[J]. 江苏农业科学,2023,51(17):186-190.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.17.026

江苏不同产地莲藕中重金属含量及健康风险评价

聂梅梅,景绘丽,李大婧,张钟元,刘春泉,牛丽影,刘春菊

(江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏南京 210014)

摘要:为评估江苏省不同产地莲藕中重金属含量及其食用后对人体产生的健康影响,采用电感耦合等离子质谱法(ICPMS)/原子荧光法对江苏省 10 个产地的新鲜莲藕中无机砷(As)、总汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)含量进行测定,利用单因子污染指数和综合污染指数评价方法,对莲藕中重金属的污染水平以及食用产生的健康风险进行分析。结果表明,10 个产地的莲藕中 4 种重金属含量均在《绿色食品 藕及其制品》限量标准以内。相关性分析表明,莲藕中铅和镉 2 种元素有相似的来源。10 个产地的莲藕重金属单因子污染指数均 <1.0 ,表明莲藕中重金属含量均未超标,处于安全水平。9 个产地的综合污染指数均 <0.7 ,污染等级为 1 级,处于安全无污染状态。其中,S7 产地的莲藕样品重金属综合污染指数为 0.728,达到警戒水平。健康风险评估表明不管是成人还是儿童,食用莲藕重金属的 THQ 值大小顺序均为 $As > Pb > Hg > Cd$,儿童摄入莲藕重金属的目标危害系数均高于成人。表明,10 个产地莲藕样品中重金属含量均在限量标准范围内,此外,食用莲藕中的重金属对儿童造成的健康危害比成年人高。

关键词:莲藕;不同产地;重金属;污染指数;健康风险

中图分类号:TS207.5⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)17-0186-05

莲藕是我国种植面积最大且产量最高的水生蔬菜,全国栽培面积已达 40 万 hm^2 以上,年产量已逾千万 t ^[1]。莲藕营养丰富,富含蛋白质、碳水化合物、维生素等,具有较高的药用保健价值,深受消费者喜爱^[2]。由于莲藕生长在池塘底泥中,底泥对重金属等污染物具有一定的富集作用,莲藕等水生蔬菜生长周期较长,对重金属富集更多^[3],莲藕等水生蔬菜的食品安全问题逐渐引起人们的广泛关注。重金属污染不仅会影响土壤肥力,对植株本身和食用者均会产生安全隐患,如镉(Cd)、铅(Pb)、总汞(Hg)含量超标,影响植株生长发育,导致产量下降,产品质量降低,进而通过食物链进入人体,危害身体健康^[4-5]。如重金属铅元素超标严重危害人体健康,过量摄入会对人体的神经系统、生殖系统等产生毒害作用,还会影响人体的造血机能^[6-7]。黄飞飞等研究发现,2016—2018 年 3 个年份苏州市水生蔬菜样品的重金属含量水平存在差异,其中,总汞含量存在种类间差异^[8]。高培培等对河北省保定

市市售莲藕研究发现,莲藕不同部位重金属含量差异较大,藕节中含量高于藕肉中^[9]。许晓光对莲藕主产区山东省、湖北省、河南省等 36 个采样点的调查结果表明,莲藕中 Cd 含量超标的有 6 个采样点,超标率达 16.67%,而 Pb 含量超标的有 8 个采样点,超标率达 22.22%^[10]。李静等对湖北省 5 个种植基地莲藕中重金属含量的研究发现,不同基地莲藕中 Cd 含量差异比较大^[11]。此外,龙珠研究发现,莲藕中不同种类重金属的累积量存在差异^[12]。因此,莲藕的重金属污染问题值得关注。

江苏省是全国最大的莲藕种植基地,江苏省宝应县是闻名全国的荷藕之乡,而目前江苏省莲藕重金属含量特征及健康风险评估研究报道较少。本研究采用电感耦合等离子质谱法(ICPMS)/原子荧光法对江苏省内 10 个产地的新鲜莲藕进行检测,分析不同产地莲藕中 Pb、Cd、砷(As)、Hg 的含量特征,评估莲藕中重金属污染水平及食用产生的健康危害,以期当地居民食用安全性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

从江苏省不同产地中采取新鲜的莲藕样品 4 kg,采样地点为当地农贸市场,样品为随机选择采样信息(表 1),采集时间为 2022 年 8 月。采集的莲

收稿日期:2022-11-28

基金项目:苏北科技专项-先导性项目(编号:SZ-YC202102)。

作者简介:聂梅梅(1993—),女,山东德州人,硕士,主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail:1148309350@qq.com。

通信作者:李大婧,博士,研究员,主要从事农产品加工与综合利用研究。E-mail:lidajing@163.com。

藕样品采用匀浆机打成颗粒大小均一的试样,储备于样品袋中冷冻备用,试验于 2022 年 8—10 月在江苏省农业科学院农产品加工研究所实验室进行。

表 1 不同产地来源及编号

编号	种类	产地来源
S1	市售莲藕	南京栖霞区
S2	市售莲藕	泰州泰兴市
S3	市售莲藕	南京溧水区
S4	市售莲藕	南京六合区
S5	市售莲藕	苏州姑苏区
S6	市售莲藕	无锡惠山区
S7	市售莲藕	泰州高港区
S8	市售莲藕	淮安盱眙县
S9	市售莲藕	扬州宝应县
S10	市售莲藕	南通海门区

1.2 分析方法

按照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》,采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定莲藕样品试液中 As、Pb、Cd 元素含量,采用原子荧光法测定 Hg 元素含量^[13]。

1.3 莲藕重金属含量评价方法及标准

按照 NY/T 1044—2007《绿色食品藕及其制品》评价莲藕样品中的重金属含量,标准限量分别为 Pb 含量 ≤ 0.10 mg/kg, Cd 含量 ≤ 0.05 mg/kg, Hg 含量 ≤ 0.01 mg/kg, As 含量 ≤ 0.50 mg/kg^[14]。采用单因子污染指数法、内梅罗(Nemerow)综合污染指数法对莲藕污染状况进行评价^[15]。

1.3.1 单因子污染指数(P_i)计算公式

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1);$$

式中: C_i 为样品中的重金属含量; S_i 为该重金属评价标准值。单因子污染指数的分级标准见表 2。

1.3.2 内梅罗污染指数(P_N)计算公式:

$$P_N = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{max}^2}{2}} \quad (2)$$

式中: P_{ave} 为单因子污染指数的算术平均值; P_{max} 为单因子污染指数的最大值,分级标准见表 2。

表 2 重金属 P_i 和 P_N 分级标准

分级	P_i		P_N	
	数值范围	类别	数值范围	类别
1	$P_i \leq 1$	无污染	$P_N \leq 0.7$	无污染
2	$1 < P_i \leq 2$	轻微污染	$0.7 < P_N \leq 1$	警戒级
3	$2 < P_i \leq 3$	轻度污染	$1 < P_N \leq 2$	轻污染
4	$3 < P_i \leq 5$	中度污染	$2 < P_N \leq 3$	中污染
5	$P_i > 5$	重度污染	$3 < P_N \leq 5$	重污染

1.4 健康风险评价方法

参考文献[16]中报道的目标危害系数法(THQ)评估摄入莲藕后可能对人体产生的健康风险。

1.4.1 单一重金属的健康风险

$$THQ = \frac{E_F \times E_D \times E_{IR} \times C}{R_{FD} \times W_{AB} \times T_A} \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: E_D 为暴露时间,一般设定为人均寿命,70 年^[17]。 E_F 为人群暴露频率,365 d/年^[16]。 E_{IR} 为食物摄入量,成人和儿童摄入量分别为 301.4、231.5 g/d^[18-19]; W_{AB} 为平均体质量,成人设为 55.9 kg,儿童为 32.7 kg^[19-22]; C 为样品重金属元素的含量,mg/kg; T_A 为非致癌性平均暴露时长,25 550 d; R_{FD} 为参考摄入量,Pb 含量为 0.004 mg/(kg·d)^[23],Cd、As 含量分别为 0.001、0.000 3 mg/(kg·d),Hg 含量为 0.000 5 mg/(kg·d)^[16]。

1.4.2 多种重金属的复合健康风险(TTHQ)

$$TTHQ = \sum THQ \text{ 单一金属} \quad (4)$$

若 THQ 或 TTHQ < 1,表明食用后人体负荷重金属对健康无明显影响,反之有害健康。

1.5 数据统计及分析

本研究中利用 SPSS 19.0 和 Excel 软件进行数据统计分析、相关性分析和聚类分析,使用 Origin 软件进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 不同产地莲藕样品重金属的含量差异

不同产地莲藕样品重金属含量见表 3,采集的 10 个产地莲藕样品中 4 种重金属平均含量由高到低依次为 Pb、As、Cd、Hg,其中,Pb 含量为 0.012 6 ~ 0.098 1 mg/kg,平均值为 0.038 66 mg/kg;Hg 含量为 0.000 1 ~ 0.005 4 mg/kg,平均值为 0.002 61 mg/kg;As 含量为 0.001 0 ~ 0.041 0 mg/kg,平均值为 0.017 04 mg/kg;Cd 含量为 0.000 9 ~ 0.007 5 mg/kg,平均值为 0.003 88 mg/kg;10 个产地中 S7 的莲藕样品铅含量较高,达 0.098 1 mg/kg,但还在 NY/T 1044—2007《绿色食品 藕及其制品》规定的限量范围内(0.1 mg/kg)^[24]。10 个产地总汞含量均检出,虽检出限略有差异,但均未超出 NY/T 1044—2007《绿色食品 藕及其制品》规定的限量值;不同产地莲藕中镉含量差异较大,S3 和 S4 产地莲藕中镉含量最低,S5 产地的莲藕样品中镉含量是 S3 的 7 倍,S7 产地莲藕样品中镉含量是 S3 的 8.33 倍。由图 1 可知,重金属含量累计加量,S7 的

莲藕样品中 4 种重金属含量总和最高,为 0.124 4 mg/kg,其中,铅元素贡献率最大。累计加总量最低是来自 S4 产地的莲藕,加和量为 0.025 mg/kg。不同地域的产地莲藕样品重金属含

量有较大差异,其中,浙中地区莲藕中砷含量达 0.16 mg/kg^[25],湖北一基地中莲藕的铅含量达 0.048 mg/kg^[11],均高于本研究中大部分产地的含量,这可能与当地土壤或水体污染等有关。

表 3 不同产地莲藕中重金属的含量(n=3) mg/kg

编号	Pb 含量	As 含量	Hg 含量	Cd 含量
S1	0.038 6±0.000 5	0.009 8±0.001 4	0.003 9±0.000 2	0.002 6±0.000 2
S2	0.017 4±0.001 0	0.007 6±0.000 2	0.005 4±0.000 3	0.002 2±0.000 1
S3	0.038 8±0.001 3	0.003 0±0.001 0	0.003 9±0.001 0	0.000 9±0.000 1
S4	0.012 6±0.000 2	0.007 2±0.001 3	0.004 3±0.001 4	0.000 9±0.000 2
S5	0.025 9±0.001 5	0.040 1±0.001 8	0.004 3±0.001 5	0.006 3±0.000 1
S6	0.069 3±0.001 2	0.012 2±0.000 1	0.002 3±0.000 1	0.005 8±0.000 1
S7	0.098 1±0.004 5	0.009 5±0.000 2	0.001 1±0.000 1	0.007 5±0.000 3
S8	0.037 5±0.004 0	0.001 0±0.000 1	0.000 6±0.000 3	0.004 3±0.001 0
S9	0.022 1±0.005 0	0.041 0±0.001 7	0.000 2±0.000 1	0.005 1±0.001 2
S10	0.026 3±0.001 9	0.039 0±0.001 8	0.000 1±0.000 0	0.003 2±0.001 5

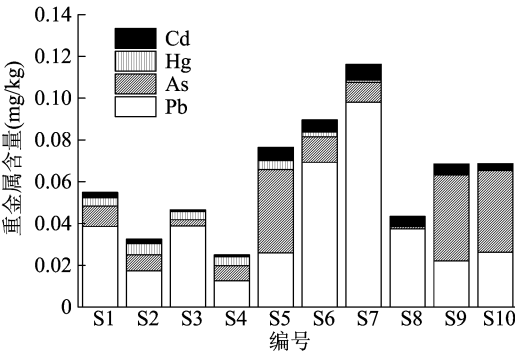


图1 10个产地莲藕中4种重金属含量累积加和图

2.2 不同产地莲藕样品重金属的相关性分析和聚类分析

进一步对江苏省 10 个产地莲藕中 4 种重金属进行相关性分析,相关性分析结果可推断重金属来源是否相同。由表 4 可知,铅和镉 2 种元素含量存在显著正相关($P<0.05$),表明铅和镉元素具有同源性,拥有相似的化学迁移行为。黄飞飞等探究苏州市水生蔬菜中重金属相关性的结果^[8]与本研究一致。

此外,对10个产地莲藕中重金属含量进行聚类

分析。由图 2 可知,10 个产地聚类分为 4 类,无锡惠山区、泰州高港区和淮安盱眙县的莲藕中 4 种重金属含量略高于其他产地,故分为一类;南京溧水区、南京六合区和苏州姑苏区莲藕中 Cd 含量明显低于其他产地,故分为一类;扬州宝应县和南通海门区的总汞含量低于其他产地,故分为一类,南京栖霞区和泰州泰兴市为一类,说明这 2 个产地的莲藕种植环境(土壤、水分等)较相近。

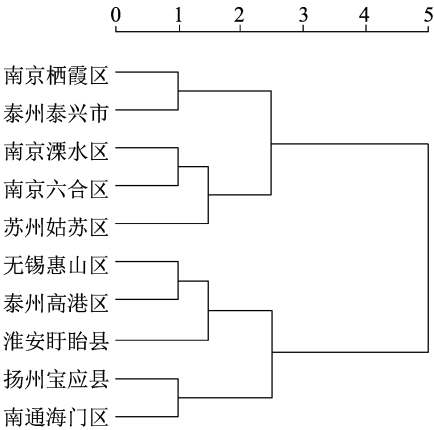


图2 10个产地中莲藕重金属含量聚类分析

表 4 莲藕中重金属相关性分析

指标	相关系数			
	Pb 含量	As 含量	Hg 含量	Cd 含量
Pb 含量	1.000			
As 含量	-0.299	1.000		
Hg 含量	-0.323	-0.349	1.000	
Cd 含量	0.641 *	0.381	-0.473	1.000

注: * 表示数据显著相关, $P<0.05$ (双尾)。

2.3 不同产地莲藕重金属污染评价

单因子污染指数仅反映某一种重金属的环境质量状况,还需要通过综合污染指数分析其对环境质量的综合影响作用^[26-27]。10 个产地莲藕中 4 种重金属污染指数评价结果见表 5,10 个产地的莲藕重金属单因子污染指数均 <1 ,表明莲藕中无机 As、Pb、总 Hg、Cd 含量均未超标,处于安全水平,其中,9

个产地的综合污染指数均低于 0.7,根据环境质量分级标准可判断这 9 个地区的莲藕重金属综合污染等级为 1 级,处于安全无污染状态,处于清洁水平。其中,S9 和 S10 产地的莲藕 P_N 较低,分别为 0.179、0.200。而 S7 产地的莲藕样品重金属综合污染指数为 0.728,达到警戒水平,其中,Pb 污染贡献较大。其他 7 个产地 P_N 居中,范围在 0.281 ~ 0.728。总体而言,江苏省 10 个产地的莲藕污染情况较低。

表 5 10 个产地莲藕中重金属的单因子与内梅罗指数评价

编号	P_i				P_N	污染程度
	Pb	As	Hg	Cd		
S1	0.386	0.020	0.390	0.052	0.314	无污染
S2	0.174	0.015	0.540	0.044	0.406	无污染
S3	0.388	0.006	0.390	0.018	0.310	无污染
S4	0.126	0.014	0.430	0.018	0.321	无污染
S5	0.259	0.080	0.430	0.126	0.345	无污染
S6	0.693	0.024	0.230	0.116	0.525	无污染
S7	0.981	0.019	0.110	0.150	0.728	警戒
S8	0.375	0.002	0.060	0.086	0.281	无污染
S9	0.221	0.082	0.020	0.102	0.179	无污染
S10	0.263	0.078	0.010	0.064	0.200	无污染

2.4 不同产地莲藕的健康风险评价结果

本试验采用 THQ 评价当地居民食用莲藕摄入的重金属的健康风险情况。当 $THQ < 1$ 时,表明摄入人体的重金属量对健康未造成明显影响^[28], THQ 值 > 1.0 表明存在一定的健康风险。由表 6 可知,

对于 4 种不同重金属而言,不管是成人还是儿童,食用莲藕重金属的 THQ 值大小顺序均为 $As > Pb > Hg > Cd$,表明莲藕中 As 对人体健康风险最大,这与之前研究结果^[9]一致。此外,最新研究表明,云南省水生蔬菜中具有健康风险贡献率最高的重金属元素同样是砷元素^[29]。结果表明,S5 和 S9 产地的儿童摄入莲藕中 As 的 THQ 接近于 1,说明莲藕中 As 对当地儿童人体健康构成潜在风险。

儿童摄入莲藕的 Pb、Cd、Hg、As 的 THQ 均高于成人,说明样品中单一重金属的健康风险儿童均高于成人(表 7)。本研究与刘哲等对北京市场食用香菇的调查研究一致,儿童摄入香菇中 Cd、As、Hg 和 Pb 的 THQ 均值均高于成人^[30]。而鲁潇等以铜陵矿区的 2 个品种莲藕为研究对象,发现研究区的莲藕样品中重金属元素 $THQ < 1$,表明采样点的莲藕样品对人体健康风险影响较小^[31],这与不同地区种植的莲藕具有差异性有关。

此外,对 10 个产地莲藕样品中重金属含量的均值进行分析,计算得到相应的 THQ。由表 7 可知,各重金属项下 THQ 最大约为 0.402,累积 THQ 最大约为 0.684。本研究结果表明,食用莲藕中的重金属对儿童造成的健康影响比成年人高。此外,除了食用蔬菜以外,也有其他途径如皮肤暴露、饮水、吸入颗粒物等也能导致摄入大量重金属^[32],从而进一步增加了人体的健康风险。

表 6 10 个产地莲藕中重金属的风险评估

编号	成人 THQ				TTHQ	儿童 THQ				TTHQ
	Pb	As	Hg	Cd		Pb	As	Hg	Cd	
S1	0.052	0.176	0.042	0.014	0.284	0.068	0.231	0.276	0.018	0.594
S2	0.023	0.137	0.058	0.012	0.230	0.031	0.179	0.382	0.016	0.608
S3	0.052	0.054	0.042	0.005	0.153	0.069	0.071	0.276	0.006	0.422
S4	0.017	0.129	0.046	0.005	0.198	0.022	0.170	0.304	0.006	0.503
S5	0.035	0.360	0.046	0.034	0.417	0.046	0.944	0.304	0.045	1.679
S6	0.093	0.220	0.025	0.031	0.369	0.123	0.288	0.163	0.041	0.614
S7	0.143	0.171	0.012	0.040	0.366	0.188	0.224	0.078	0.053	0.543
S8	0.051	0.018	0.006	0.023	0.098	0.066	0.024	0.042	0.030	0.163
S9	0.030	0.370	0.002	0.027	0.400	0.039	0.970	0.014	0.036	1.883
S10	0.035	0.701	0.001	0.017	0.755	0.047	0.920	0.007	0.023	0.100

3 结论

本研究表明,江苏省 10 个产地中莲藕重金属含量均在 NY/T 1044—2007《绿色食品 藕及其制品》规定的限量。相关性分析表明,莲藕中铅和镉 2 种

重金属元素之间存在显著正相关($P < 0.05$),根据各产地重金属含量,聚类分析将 10 个产地共分为 4 类。单因子污染指数评价表明,10 个产地的莲藕重金属含量均未超标,处于安全水平,综合污染指数评价显示 S9 和 S10 产地较低。此外,研究表明,食

表 7 成人和儿童食用莲藕的 THQ

重金属	成人	儿童
Pb	0.053	0.070
As	0.153	0.402
Hg	0.028	0.185
Cd	0.021	0.027
累计	0.255	0.684

用莲藕重金属的 THQ 值大小顺序均为 As > Pb > Hg > Cd,表明莲藕中 As 对人体健康风险最大。食用莲藕中的重金属对儿童造成的健康风险比成年人高。

参考文献:

[1]李 峰,周雄祥,柯卫东,等. 湖北省莲产业发展调研报告[J]. 湖北农业科学,2020,59(23):101-106,109.

[2]牛丽影,顾艳阳,胡丽丽,等. 莲藕汁饮品研发现状与趋势[J]. 农产品加工,2021(7):77-79.

[3]王方园,谢晓君,龙 珠,等. 砷和汞在水生蔬菜及其生长环境中的迁移富集[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2017,40(2):214-220.

[4]宋 伟,陈百明,刘 琳. 中国耕地土壤重金属污染概况[J]. 水土保持研究,2013,20(2):293-298.

[5]李海华,刘建武,李树人,等. 土壤:植物系统中重金属污染及作物富集研究进展[J]. 河南农业大学学报,2000,34(1):30-34.

[6]马麟莉,李树旺,程亚萍. 食品中重金属污染物的危害[J]. 食品安全导刊,2022(3):181-183.

[7]Li X Y,Li Z G,Lin C J,et al. Health risks of heavy metal exposure through vegetable consumption near a large-scale Pb/Zn smelter in central China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2018,161:99-110.

[8]黄飞飞,张 宁,赵敏娴,等. 2016—2018 年苏州市水生蔬菜重金属污染状况分析及健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报,2020,11(2):648-654.

[9]高培培,肖 冰,刘文菊,等. 莲藕中重金属含量特征及其健康风险评估[J]. 环境化学,2020,39(2):362-370.

[10]许晓光. 莲藕重金属累积特性研究及田间残留现状调查[D]. 武汉:华中农业大学,2011:25-31.

[11]李 静,姚晶晶,张惠贤,等. 湖北省五个鲜莲藕样品中重金属污染调查[J]. 湖北农业科学,2020,59(增刊1):194-1195,245.

[12]龙 珠. 水生蔬菜及其生长环境重金属污染特征与防控研究[D]. 金华:浙江师范大学,2016:6-36.

[13]国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定;GB 5009. 268—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

[14]中华人民共和国农业部. 绿色食品 藕及其制品;NY/T 1044—2007[S]. 北京:农业出版社,2008.

[15]向仲香. 成都市近郊蔬菜基地土壤重金属污染现状评价:以 2

个蔬菜基地为例[J]. 现代农业科技,2013(16):212-214.

[16]US EPA. Risk based concentration table[R]. Washington DC: United States Environment Protection Agency,2000.

[17]Bennett D,Kastenberg W E,McKone T E. A multimedia,multiple pathway risk assessment of atrazine;the impact of age differentiated exposure including joint uncertainty and variability[J]. Reliability Engineering & System Safety,1999,63(2):185-198.

[18]李绥晶,李 欣,李 辉,等. 辽宁省城乡居民膳食营养与健康状况调查[J]. 中国公共卫生,2005,21(11):1308-1309.

[19]Wang X L,Sato T,Xing B S,et al. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin,China via consumption of vegetables and fish[J]. Science of the Total Environment,2005,350(1/2/3):28-37.

[20]Gómez B,Palacios M A,Gómez M,et al. Levels and risk assessment for humans and ecosystems of platinum-group elements in the airborne particles and road dust of some European cities[J]. Science of the Total Environment,2002,299(1/2/3):1-19.

[21]陈鸿汉,谌宏伟,何江涛,等. 污染场地健康风险评估的理论和方法[J]. 地学前缘,2006,13(1):216-223.

[22]王宗爽,段小丽,王贝贝,等. 土壤/尘健康风险评估中的暴露参数[J]. 环境与健康杂志,2012,29(2):114-117.

[23]FAO/WHO. List of contaminants and their maximum levels in foods[R]. Geneva:World Health Organization,1984.

[24]李 静,周有祥,彭西甜,等. 我国莲藕质量安全标准现状分析及展望[J]. 中国蔬菜,2022(7):13-22.

[25]王方园,龙 珠,徐金玲,等. 浙中地区水生蔬菜及其生长环境重金属污染调查与评价[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2016,39(3):338-345.

[26]褚卓栋,刘文菊,肖亚兵,等. 中草药种植区土壤及草药中重金属含量状况及评价[J]. 环境科学,2010,31(6):1600-1607.

[27]雷雷佳,刘 俊,刘卫国,等. 工业园周边土壤重金属污染特征及潜在生态风险评估[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):227-233.

[28]Institution B S. Traditional Chinese medicine-determination of heavy metals in herbal medicines used in traditional Chinese medicine[EB/OL]. (2015-07-21)[2022-08-01]. <https://www.iso.org/standard/63150.html>.

[29]张 萌,张银烽,赵晓慧,等. 云南省水生蔬菜中 5 种典型重金属含量特征及健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(11):3710-3718.

[30]刘 哲,王 康,穆虹宇,等. 香菇中重金属含量风险分析及栽培基质对重金属累积的作用[J]. 农业环境科学学报,2019,38(6):1226-1232.

[31]鲁 潇,于 坤,孙庆业,等. 铜陵矿区周边莲藕重金属元素含量及健康风险评估[J]. 农业环境科学学报,2019,38(9):2049-2056.

[32]陈 亮,姜莘红,陈 灿. 不同类型蔬菜中 7 种重金属含量差异及人体健康风险[J]. 环境科学与技术,2021,44(增刊2):366-375.