

ICP-AES-内梅罗指数法研究皮革工业区蔬菜中的重金属污染

张胜帮, 胡柏禧

(温州大学生命与环境科学学院, 浙江 温州 325027)

摘 要: 目的: 通过内梅罗综合指数法分析皮革工业区种植的蔬菜重金属含量, 研究蔬菜食品的风险。方法: 采用硝酸-双氧水体系微波消解法对样品进行消解, 用电感耦合等离子体原子发射光谱法测定蔬菜中重金属元素 Pb、Cd、Ni、Cr, 并采用内梅罗综合指数法对重金属污染程度进行评价。结果: Pb、Cd、Ni、Cr 元素的检出限为 $0.3 \sim 4 \mu\text{g/L}$, 变异系数为 $0.59\% \sim 4.48\%$ 。回收率为 $86.4\% \sim 103.5\%$ 。青菜、白菜、芥菜、芹菜和萝卜中重金属元素的内梅罗污染综合指数分别为 4.028、3.014、3.345、7.111、7.383。表明种植的青菜、芥菜、白菜、芹菜和萝卜存在严重的食品安全风险。结论: 可以采用内梅罗综合指数法评价蔬菜中重金属污染程度。

关键词: 重金属; 皮革工业区; 蔬菜; 内梅罗综合指数法; 电感耦合等离子体原子发射光谱法; 微波消解

Heavy Metal Element Pollution of Cultivated Vegetables in Leather Industrial Zone by ICP-AES with Nimerlo Composite Index

ZHANG Shengbang, HU Boxi

(School of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou 325027, China)

Abstract: Objective: To study the quality and safety of cultivated products in leather industrial zone. Methods: The heavy metal elements Pb, Cd, Ni and Cr in the vegetables were determined by ICP-AES after $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ digestion. The pollution degree was evaluated by Nimerlo composite index. Results: The detection limits for Pb, Cd, Ni and Cr was $0.3\text{--}4 \mu\text{g/L}$, with coefficients of variation ranging from 0.59% to 4.48% , and the recovery rates of the metal elements from spiked samples were $86.4\%\text{--}103.5\%$. Nimerlo composite index was 4.028, 3.014, 3.345, 7.111 and 7.383 for pakchoi, Chinese cabbage, mustard greens, celery and radish, respectively. Based on overall evaluation of heavy metal pollution, especially Pb, such farmland should not be planted vegetables including mustard greens, Chinese cabbage, celery and radish. Conclusion: The pollution degree of heavy metals in vegetables can be judged by the Nemero index.

Key words: metal element; leather industrial zone; vegetables; Nimerlo composite index; inductively coupled plasma atomic emission spectrometer (ICP-AES); microwave digestion

中图分类号: X836; X17

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 04-0221-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201504044

蔬菜是人们日常食物结构的重要组成, 为人体提供必需矿物元素、维生素和膳食纤维等多种营养成分。重金属是食品污染物中一个大类, 随着人们生活水平的提高, 重视食品安全的程度越来越高, 污染作物、食物与环境中的重金属污染^[1-3]对人类健康的影响, 尤其是农产品中重金属的污染已经引起人们关注^[4-6], 因此, 对蔬菜重金属污染进行调查及安全评价^[7-10]研究, 对于食品安全和健康问题有着重要意义。GB 2762—2012《食品中污染物限量》重新规定了食品中污染物限量^[11]。

由于许多重金属污染环境后, 在“食物链”中进行生

物富集, 使农产品中某些金属元素含量明显增高, 影响食品安全^[12]。而制革业可能产生大量污水, 其污水成分复杂、较难处理, 重金属主要有 Pb、Cd、Ni、Cr 和 As 等元素^[13-14]。GB 2762—2012 对蔬菜中的 Pb、Cd、Cr 和 As 等作了严格的规定^[11]。而 Ni 作为一种具有生物学作用的元素, 能激活或抑制一系列的酶, 如精氨酸酶、羧化酶等而发生其毒性作用, 其化合物对皮肤黏膜和呼吸道有刺激作用, 可引起皮炎和气管炎, 甚至发生肺炎, 诱发鼻咽癌和肺癌。因而更为人们关注, 研究皮革工业区种植蔬菜中的重金属含量, 评价种植产品的食用风险^[15-16], 具有一定的现实意义。

收稿日期: 2014-04-11

作者简介: 张胜帮 (1964—), 男, 副教授, 硕士, 主要从事食品安全与资源开发研究。E-mail: sbzhang@wzu.edu.cn

文献[16-17]报道了蔬菜中重金属的污染研究与评价,而制革工业区种植的蔬菜中重金属的污染研究鲜见报道。对食品中重金属的测定有不少的文献报道^[18]。目前检测重金属的主要方法有:原子吸收光谱法、电感耦合等离子体原子发射光谱-质谱法、分光光度法、荧光分析法、火焰原子吸收法、石墨炉法等。而微波法消解样品,电感耦合等离子体原子发射光谱(inductively couple plasma atomic emission spectrometer, ICP-AES)法以其检出限低、精密度高、选择性好、基体效应小、线性范围宽和多元素同时测定等优点广泛应用于金属元素测定中^[19-22]。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

蔬菜样品,采集于龙湾某皮革工业区种植蔬菜农田。

氢氟酸 上海五四化学试剂有限公司;浓硝酸 上海振兴化工二厂有限公司;氯化铬 亨新化工试剂厂;氯化镍 中国医药集团上海化学试剂公司;硝酸铅 浙江省温州市化学用料厂;30%过氧化氢 宜兴市第二化学有限公司;以上试剂均为分析纯。高纯镉粒(纯度99.999%) 上海化学试剂公司。用水为蒸馏水和超纯水。

标准储备液1:配制Pb、Cd、Ni、Cr标准溶液1 000 μg/mL,储备;标准储备液2:国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院研制,用5%硝酸配制成临时应用液。

ETHOS A型压力自控密闭微波消解仪 上海新仪微波化学科技有限公司;IRIS ADVANTAGE型电感耦合等离子体发射光谱仪 美国热电公司;CP224S型电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;ZM200型超离心碾磨仪 德国Retsch公司;Milli-Q超纯水机 美国密理博公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备与预处理

为了研究皮革工业区种植产品中的重金属含量,在龙湾某皮革工业区种植蔬菜的农田采集样本,分5个区域,按照A、B、C、D、E区标记,并按照接近皮革工业企业的远近分为1#区域(近污染区,包括A、B、D区)和2#区域(远污染区,包括C、E区)。将所采集的蔬菜样品用自来水冲洗干净后,分别用蒸馏水和超纯水清洗并晾干,在烘箱中,95~105℃烘干至质量恒定,冷却后,粉碎,研磨,通过100目筛,置于干燥器中备用。

1.2.2 微波消解制样

选用HNO₃-H₂O₂消解体系。准确称取干燥过的样品0.500 0 g放入聚四氟乙烯消解罐内,加入10 mL HNO₃、2.5 mL H₂O₂和5滴HF,微波消解系统消解30 min。经过实验,选择确定了微波消解的实验条件,采用程序升温

法,消解步骤为:在5 min内温度由室温升至120℃,并维持5 min,再在10 min内升至180℃,维持15 min。经过30 min消解,样品消解完全。消解结束后内罐冷却到45℃以下,在通风橱中,加入0.5 mL 5%硼酸溶液,去除多余的氢氟酸,用超纯水定容至25 mL,待测。同时平行作空白试液,5% HNO₃的酸性溶液为空白对照。

1.2.3 ICP-AES仪器测试条件^[23]

射频发生器功率:1 150 W;辅助气体流量:0.5 L/min;蠕动泵提取样品流量:1.85 L/min;玻璃同心雾化器,旋流雾化室;雾化器压力:27 psi;工作气体:氩气(纯度99.99%以上);轴向观测。

1.2.4 分析线的选择

ICP-AES法分析线的选择直接影响分析结果的准确性。本实验综合分析强度、干扰情况及稳定性,选择谱线干扰少、精密度好的分析线,元素波长分别为Cr 267.716 nm、Cd 214.438 nm、Pb 220.353 nm;Ni 280.386 nm。

1.2.5 标准曲线的制作

对Pb、Cd、Ni、Cr 4种重金属元素的标准溶液质量浓度和响应值关系进行研究。

1.2.6 方法的检出限与精密度

对空白溶液重复测定10次,取各元素的3倍标准偏差为检出限。

1.2.7 回收率测定

准确称取0.500 0 g的样品10份于消解罐中,在各试样中分别准确加入标准溶液,放置微波消解仪中消解,测定。平行作空白试液。

1.2.8 蔬菜的安全性评价

蔬菜样品中含有的重金属元素超过一定含量时,可能引发食品安全问题。本实验直接采用内梅罗指数法^[24]评估皮革工业区蔬菜中重金属含量,进行蔬菜品质的安全性评价,并利用 $P_{\text{内梅罗}}$ 计算值确定污染等级。内梅罗综合指数的计算公式:

$$C_{\text{内梅罗}} = \left(\frac{C_{\text{max}}^2 + C_{\text{平均}}^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$P_{\text{内梅罗}} = \left(\frac{P_{\text{max}}^2 + P_{\text{平均}}^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$P_i = \frac{C_{\text{内梅罗}}}{S_i} \quad (3)$$

式(1)~(3)中: $C_{\text{内梅罗}}$ 为蔬菜中内梅罗统计含量; P_i 为蔬菜中重金属*i*的单项评价指数; S_i 为重金属*i*的评价标准; $P_{\text{内梅罗}}$ 为内梅罗综合指数; P_{max} 为蔬菜中重金属最大污染指数; $P_{\text{平均}}$ 为蔬菜中重金属平均污染指数。

内梅罗污染指数划分等级见表1。

表1 内梅罗污染指数划分等级^[25]

Table 1 Pollution index grades classified by Nimerlo composite index^[25]

污染等级	内梅罗污染指数	污染程度
I	$P \leq 0.7$	清洁 (安全)
II	$0.7 < P \leq 1.0$	警戒线
III	$1.0 < P \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < P \leq 3.0$	中度污染
V	$P > 3.0$	重污染

2 结果与分析

2.1 4种重金属元素的回归方程

经检测,得到4种重金属元素的回归方程、相关系数以及线性范围见表2。由表2可见,各元素测定的线性良好,相关系数不低于0.998 8。

表2 标准曲线的回归方程、相关系数和线性范围
Table 2 Linear range, regression and correlation coefficients

元素	回归方程	线性范围/(mg/L)	相关系数
Pb	$Y=8.246 0X-0.115 1$	0~1.0	0.998 8
Cd	$Y=136.487 2X+0.041 2$	0~1.0	0.999 9
Ni	$Y=29.430 2X-0.029 9$	0~2.0	0.999 9
Cr	$Y=76.328 6X-0.378 6$	0~2.0	0.999 9

2.2 检出限和回收率

实验测得,Pb、Cd、Ni、Cr元素的检出限分别为0.6、4、0.3、4 g/L; Pb、Cd、Ni、Cr元素的变异系数依次为0.59%、4.15%、3.12%、4.48%。

准确称取0.500 0 g的青菜10份于消解罐中,在各试样中分别准确加入标准溶液,放置微波消解仪中消解,分别放入消解罐中,准确加入标准溶液,进行微波消解,用去离子水定容至25 mL。加入量和测定结果见表3。平行作空白试液。同理,取白菜等样品各5份,进行重金属元素的回收率测定,结果见表4。

表3 青菜中各元素的回收率实验

Table 3 Recovery rates of heavy metal elements from spiked pakchoi

指标	As	Cr	Cd	Pb	Ni
原测定值/(mg/L)	0.039 4	0.141 5	0.020 3	0.406 4	0.270 5
加入量/(mg/L)	0.050 0	0.200 0	0.020 0	0.200 0	0.200 0
现测定值/(mg/L)	0.083 2	0.334 9	0.039 2	0.594 0	0.447 6
回收率/%	87.6	96.7	94.5	93.6	88.6

表4 其他样品回收率实验结果($n=5$)

Table 4 Recovery rates of heavy metal elements from other vegetables ($n=5$)

样品	Cr	Cd	Pb	Ni
白菜	93.7	89.5	95.9	93.5
芥菜	97.5	103.5	95.9	93.6
芹菜	86.4	94.0	96.9	94.3
萝卜	96.6	89.0	93.4	94.8

由表3、4可知,实验中青菜中各元素回收率为87.6%~96.7%,白菜中各元素回收率为89.5%~95.9%,

芥菜中各元素回收率为93.6%~103.5%,芹菜中各元素回收率为86.4%~96.9%,萝卜中各元素回收率为89.0%~96.6%,回收率各元素回收率良好。综合后,回收率为86.4%~103.5%。

2.3 蔬菜样品的测定和内梅罗指数值

称取干燥后的样品各0.500 0 g,各测定10次,参照1.2.2节的消解方法消解样品,用ICP-AES法测定,同时进行空白试液。此次研究涉及的蔬菜均属于新鲜蔬菜,根据GB 2762—2012,其限量值为 $Pb \leq 0.3$ mg/kg、 $Cd \leq 0.05$ mg/kg、 $Cr \leq 0.5$ mg/kg,参照国家标准值上限评判污染等级。为了便于研究不同区域蔬菜样品Ni的污染程度差异,结合蔬菜Ni含量^[26],参照GB 2762—2012中油脂中Ni限量标准: $Ni \leq 1.0$ mg/kg,设计蔬菜样品Ni不大于1.0 mg/kg进行风险等级评估。

2.3.1 蔬菜样品的测定结果

蔬菜样品中各元素的含量测定结果见表5。按照实验方法1.2.8节分别计算1#区域(A、B、D区)和2#区域(C、E区)蔬菜样品中各元素的内梅罗综合指数。

表5 蔬菜样品中各元素的含量和内梅罗指数

Table 5 The contents of heavy metal elements and Nimerlo composite index vegetable samples

样品	区域	测定值	Pb	Cd	Ni	Cr
青菜	1#	A区含量/(mg/kg)	1.43	0.173 1	2.296	1.214
		B区含量/(mg/kg)	0.727 6	0.078 9	1.195	0.600 4
		D区含量/(mg/kg)	0.648 5	0.061 5	1.013	0.450 5
		平均含量/(mg/kg)	0.935 4	0.104 5	1.501 3	0.755 0
		P_{\max}	4.767	3.462	2.296	2.428
		$P_{\text{平均}}$	3.118	2.09	1.603 4	1.51
		$P_{\text{内梅罗}}$	4.028	2.860	1.980	2.022
	2#	污染等级	V	IV	III	IV
		C区含量/(mg/kg)	0.530 1	0.055 9	0.729 5	0.457 2
		E区含量/(mg/kg)	0.410 9	0.037 2	0.538 1	0.296 0
		平均含量/(mg/kg)	0.470 5	0.046 6	0.633 8	0.376 6
		P_{\max}	1.767	1.118	0.729 5	0.914 4
		$P_{\text{平均}}$	1.568	0.932	0.682	0.753
		$P_{\text{内梅罗}}$	1.670	1.029	0.706	0.837
白菜	1#	污染等级	III	III	II	II
		A区含量/(mg/kg)	0.748 3	0.066	1.032	1.027
		B区含量/(mg/kg)	1.076	0.063	0.824	0.751
		D区含量/(mg/kg)	0.633 2	0.049 8	0.617 7	0.566 9
		平均	0.819 2	0.057 9	0.824 9	0.797 0
		P_{\max}	3.587	1.32	1.032	2.054
		$P_{\text{平均}}$	2.303	1.158	0.824 9	1.594
	2#	$P_{\text{内梅罗}}$	3.014	1.242	0.934	1.838
		污染等级	IV	III	II	III
		C区/(mg/kg)	0.201 9	0.024 5	0.304 5	0.250 9
		E区/(mg/kg)	0.361 3	0.037 6	0.282 6	0.216 3
		平均	0.281 6	0.031 05	0.293 55	0.233 6
		P_{\max}	1.204	0.752	0.304 5	0.501 8
		$P_{\text{平均}}$	0.938 7	0.620 1	0.293 6	0.467 2
		$P_{\text{内梅罗}}$	1.080	0.698	0.299	0.485
		污染等级	II	I	I	I

续表5

样品	区域	测定值	Pb	Cd	Ni	Cr
芥菜	1#	A区含量/(mg/kg)	0.922 3	0.056 2	0.874 1	0.745 9
		B区含量/(mg/kg)	0.683 6	0.051 5	0.771 1	0.642
		D区含量/(mg/kg)	1.03	0.074 6	0.814 6	0.868 5
		平均含量/(mg/kg)	0.976 2	0.065 4	0.844 4	0.807 2
		P_{\max}	3.433	1.492	0.874 1	1.737
		$P_{\text{平均}}$	3.254	1.308	0.814 6	1.614
		$P_{\text{内梅罗}}$	3.345	1.403	0.849	1.677
		污染等级	V	III	II	III
		C区含量/(mg/kg)	0.442	0.034 4	0.464 5	0.235 3
		E区含量/(mg/kg)	0.515 1	0.052	0.595 1	0.158 1
芹菜	2#	平均含量/(mg/kg)	0.478 6	0.043 2	0.529 8	0.196 7
		P_{\max}	1.717	1.04	0.595 1	0.470 6
		$P_{\text{平均}}$	1.595	0.864	0.529 8	0.393 4
		$P_{\text{内梅罗}}$	1.657	0.956	0.563	0.434
		污染等级	III	II	I	I
		A区含量/(mg/kg)	2.493	0.176	3.263	2.015
		B区含量/(mg/kg)	1.177	0.082 8	1.694	1.312
		D区含量/(mg/kg)	0.904 6	0.076 3	1.267	1.008
		平均含量/(mg/kg)	1.698 8	0.126 2	2.265	1.512
		P_{\max}	8.310	3.52	3.263	4.03
萝卜	1#	$P_{\text{平均}}$	5.663	2.524	2.265	3.024
		$P_{\text{内梅罗}}$	7.111	3.063	2.809	3.563
		污染等级	V	V	IV	V
		C区含量/(mg/kg)	0.550 0	0.042 9	0.706 7	0.182 6
		E区含量/(mg/kg)	0.597 3	0.055 7	0.829 6	0.181 1
		平均含量/(mg/kg)	0.573 7	0.049 3	1.552 1	0.181 8
		P_{\max}	1.991	1.114	0.829 6	0.365 2
		$P_{\text{平均}}$	1.912	0.986	0.798 9	0.363 7
		$P_{\text{内梅罗}}$	1.952	1.052	0.814	0.364
		污染等级	III	III	II	I
	2#	A区含量/(mg/kg)	1.688	0.211 6	2.804	2.455
		B区含量/(mg/kg)	2.547	0.147 4	2.54	2.043
		D区含量/(mg/kg)	1.958	0.340 5	2.409	1.95
		平均含量/(mg/kg)	1.823	0.276 1	2.606 5	2.202 5
		P_{\max}	8.490	4.232	2.804	4.91
		$P_{\text{平均}}$	6.077	5.522	2.409	4.405
		$P_{\text{内梅罗}}$	7.383	4.919	2.614	4.664
		污染等级	V	V	IV	V
		C区含量/(mg/kg)	1.078	0.082 1	1.146	1.023
		E区含量/(mg/kg)	0.731 6	0.074 2	1.345	0.911 1
	2#	平均含量/(mg/kg)	0.904 8	0.078 2	1.245 5	0.967 1
		P_{\max}	3.593	1.642	1.345	2.046
		$P_{\text{平均}}$	3.016	1.564	1.246	1.934
		$P_{\text{内梅罗}}$	3.317	1.603	1.296	1.991
		污染等级	V	III	III	III

表5表明,研究的4种元素在2#区域种植蔬菜的污染程度明显低于1#区域的污染程度;2#区域种植蔬菜中重金属污染,除了萝卜中元素Pb外,其余污染等级不高于III,多数处于安全或警戒线以内。而1#区域种植蔬菜中重金属污染,除了白菜、芥菜中元素Ni外,其余污染等级不低于IV,多数处于重污染。相对皮革生产企业的距离远近,污染程度结果明显的差异,说明皮革生产企业对于种植的蔬菜可能有直接的影响。

根据表5综合1#区域分析表明,各种蔬菜中研究的重金属污染,污染程度最大的重金属元素为Pb,污染等级多数达到V;Cr、Cd污染程度次之,污染等级为III~V,以V为多;Ni相对较小,除芥菜、白菜为II外,芹菜、萝卜等为III~IV。

分别分析表5中,1#区域蔬菜的重金属污染,芹菜、萝卜污染程度大,受到的污染程度一致,PbV、CdV、NiIV、CrV。青菜受污染程度次之,为PbV、CdIV、NiIII、CrIV的污染。芥菜与白菜受污染程度相对较轻,明显低于芹菜、萝卜的污染程度,芥菜为PbIV、CdIII、CrII、NiIII;白菜为PbIV、CdIII、NiII、CrIII。5种蔬菜受重金属污染程度依次是萝卜、芹菜>青菜、芥菜>白菜。同一区域,对于不同的种植蔬菜而言,污染程度的内梅罗指数($P_{\text{内梅罗}}$)有1~2个等级的差异,分析结果对于土壤污染后,选择种植的蔬菜品种具有指导性意义,可以通过进一步研究,选择适宜于污染土壤的种植品种。

2.3.2 蔬菜样品内梅罗指数分析

取最大风险数据代表蔬菜样品内梅罗污染综合指数,1#区域蔬菜中重金属污染评价结果见表6,最大风险元素为Pb。1#区域青菜、白菜、芥菜、芹菜、萝卜中的内梅罗污染综合指数分别为4.028、3.014、3.345、7.111、7.383。由于整体污染程度达到重污染,尤其重金属Pb污染的影响,本区域农田不宜种植青菜、芥菜、白菜、芹菜和萝卜。2#区域青菜、白菜、芥菜、芹菜、萝卜中的内梅罗污染综合指数分别为1.670、1.080、1.657、1.952、3.317,明显低于1#区域。如果进行土壤治理时,首先考虑治理其中Pb的问题。

表6 重金属污染评价					
Table 6 Evaluation of heavy metal contamination					
区域	测定值	青菜	白菜	芥菜	芹菜
	最大风险元素	Pb	Pb	Pb	Pb
1#	P_{\max}	4.767	3.587	3.433	8.310
	$P_{\text{平均}}$	3.118	2.303	3.254	5.663
	$P_{\text{内梅罗}}$	4.028	3.014	3.345	7.111
	污染程度	重污染	重污染	重污染	重污染
2#	最大风险元素	Pb	Pb	Pb	Pb
	P_{\max}	1.767	1.204	1.717	1.991
	$P_{\text{平均}}$	1.568	0.939	1.595	1.912
	$P_{\text{内梅罗}}$	1.670	1.080	1.657	1.952
	污染程度	轻度污染	轻度污染	轻度污染	轻度污染

3 讨论

GB 2762—2005《食品中污染物限量》中没有作出关于Ni的要求,而在GB 2762—2012中,对油脂及其制品中氢化植物油及氢化植物油为主的产品作出规定,说明Ni对食品的污染已经引起重视,但范围有限。本研究结合蔬

菜Ni含量, 参照GB 2762—2012 油脂中Ni \leq 1.0 mg/kg, 设计蔬菜样品Ni \leq 1.0 mg/kg, 研究不同区域蔬菜样品Ni的污染程度差异, 尽管不够准确, 但有一定的参考意义。其限量标准需要专家评估制定。

实验结果表明, 靠近皮革生产企业的1#区域蔬菜的重金属污染, 青菜、白菜、芥菜、芹菜、萝卜中的内梅罗污染综合指数分别为4.028、3.014、3.345、7.111、7.383, 而相应远离皮革生产企业的2#区域的内梅罗污染综合指数对应分别为1.670、1.080、1.657、1.952、3.317, 明显低于1#区域。所研究的2#区域种植蔬菜中重金属污染, 除了萝卜中元素Pb外, 其余污染等级不高于III, 多数处于安全或警戒线以内。而1#区域种植蔬菜中重金属污染, 除了白菜、芥菜中元素Ni外, 其余污染等级不低于IV, 多数处于重污染。相对皮革生产企业的距离远近, 污染程度结果明显的差异, 说明皮革生产企业对于种植的蔬菜可能有直接的影响。因此, 将1#区域作为典型的皮革工业区种植的蔬菜重金属含量进行报告。

依据国家食品安全标准限值, 从安全率的角度^[27]评价不同区域蔬菜中重金属超标的影响程度, 采用计算公式: $S_j/\% = (1 - N_{j-e}/N_{j-t}) \times 100$, 式中: S_j 为蔬菜 j 重金属安全率/%; N_{j-e} 为蔬菜 j 重金属超标个数; N_{j-t} 为被调查蔬菜 j 重金属总个数。计算结果得到, 1#区域蔬菜的不安全率很高, 说明皮革工业区蔬菜中的重金属超标率很高。虽然具有一定价值, 但因具体重金属元素污染程度却表达不够清晰而有所限制。

目前我国还没有较系统的蔬菜重金属污染评价标准, 本实验采用硝酸-双氧水体系微波消解法对样品进行消解后, 使用ICP-AES法测定, 根据内梅罗指数法分析评价蔬菜中重金属污染程度, 得到重金属元素对蔬菜污染程度, 为判断蔬菜的安全性提供了良好分析手段与依据, 以期制定出相应的评价办法提供参考, 具有一定的实际应用价值。

参考文献:

- [1] NASREDDINE L, PARENT-MASSIN D. Review article, food contamination by metals and pesticides in the European Union. Should we worry?[J]. Toxicology Letters, 2002, 127(1): 29-41.
- [2] MICHAEL S, NGAIRE R P, GREG O, et al. Organochlorines and heavy metals in wild caught food as a potential human health risk to the indigenous Māori population of South Canterbury, New Zealand[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 409(11): 95-102.
- [3] TAMÁS N, ANDREA P, DECLAN P, et al. Food alert patterns for metal contamination analyses in seafoods: longitudinal and geographical perspectives[J]. Environment International, 2009, 35(7): 1030-1033.
- [4] ZHUYKOVA T V, BEZEL V S, ZHUYKOVA V A, et al. Chemical elements in the mineralization of plant residues under soil pollution with heavy metals[J]. Contemporary Problems of Ecology, 2013, 6(2): 213-222.
- [5] MAO Longjiang, MO Duowen, YANG Jinghong, et al. Concentration and pollution assessment of hazardous metal elements in sediments of the Xiangjiang River, China[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2013, 295(1): 513-521.
- [6] SILVIA J, MIGUEL M, JESÚS B, et al. Distribution of metals and trace elements in adult and juvenile penguins from the Antarctic Peninsula area[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2013, 20(5): 3300-3311.
- [7] GUAN Dongsheng, PEART M R. Heavy metal concentrations in plants and soils at roadside locations[J]. Environmental Science, 2006, 18(3): 495-502.
- [8] 郭萍. 土壤环境对蔬菜中重金属物质含量的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [9] 王辉, 王宜娟, 黎星辉, 等. 洛阳市蔬菜基地土壤重金属含量对蔬菜安全性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 369-372.
- [10] 丛俏, 蔡艳荣. 微波消解-ICP-AES法测定蔬菜中重金属含量[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 290-292.
- [11] GB 2762—2012 食品中污染物限量[S].
- [12] ANAND N S, ZENG Dehui, CHEN Fusheng. Heavy metal concentrations in redeveloping soil of mine spoil under plantations of certain native woody species in dry tropical environment[J]. India Environmental Sciences, 2005, 17(1): 168-174.
- [13] 钟安清. 皮革加工业绿色发展的思考[J]. 中国检验检疫, 2006(6): 52-53.
- [14] 张铭让, 林炜. 绿色化学和技术与皮革工业的可持续发展[J]. 中国皮革, 2001, 30(1): 5-12.
- [15] WU Yaoguo, XU Youning, ZHANG Jianghua, et al. Evaluation of ecological risk and primary empirical research on heavy metals in polluted soil over Xiaolinling gold mining region, Shaanxi, China[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20: 688-694.
- [16] YANG Qingwei, XUYuan, LIU Shoujiang, et al. Concentration and potential health risk of heavy metals in market vegetables in Chongqing, China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2011, 74(6): 1664-1669.
- [17] SONG Bo, LEI Mei, CHEN Tongbin, et al. Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 21(12): 1702-1709.
- [18] CALLE G M B, WYSOCKA I, QUETEL C, et al. Proficiency test for heavy metals in feed and food in Europe[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2009, 28(4): 453-465.
- [19] ZHANG Shengbang, JI Xiaowu, LIU Cuiping. Study on multi-elements in traditional Chinese medicines *Ophiopogon japonicus* and lotus seeds by the ICP-AES with microwave digestion[J]. Advanced Materials Research, 2012, 535(2): 1126-1132.
- [20] 任向英, 何乔桑, 孙培龙, 等. ICP-AES法快速测定青菜中14种元素的含量[J]. 化工时刊, 2007, 21(7): 41-44.
- [21] ANNE S. Rapid assessment of metal contamination in commercial fruit juices by inductively coupled mass spectrometry after a simple dilution[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(1): 95-102.
- [22] 张胜帮, 郭玉生. ICP-AES法测定干姜中多种微量元素的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 395-397.
- [23] 赵凯, 文典, 王其枫, 等. 广州市郊蔬菜重金属污染研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(11): 178-180.
- [24] 李海华, 张杰, 申灿杰. 郑州市近郊土壤和蔬菜中重金属污染状况调查与评价[J]. 河南农业科学, 2007(1): 90-92.
- [25] 朱关英, 罗运阔, 卢志红, 等. 南昌市郊蔬菜基地土壤重金属含量及评价[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(18): 5500-5501.
- [26] 王夔. 生命科学中的微量元素分析与数据手册[M]. 北京: 中国计量出版社, 1998: 360-363.
- [27] 焦荔. 杭州市区蔬菜基地蔬菜重金属含量研究[J]. 环境污染与防治, 2003, 25(4): 247-248.