

油菜花粉和茶花花粉中重金属含量的分布特征研究

李 硕, 李红霞, 李 莉*, 王海燕

(中国食品药品检定研究院, 北京 100050)

摘要: **目的** 考察油菜花粉和茶花花粉中7种重金属(类金属)元素含量的分布特征。**方法** 采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法对所采集的蜂花粉样品中铬、锰、砷、铜、镍、镉和铅7种元素含量进行分析测定,通过统计分析考察油菜花粉和茶花花粉中各元素含量是否有显著性差异。**结果** 油菜花粉和茶花花粉均存在重金属污染问题,但重金属污染水平存在差异。锰、镍、铜3种元素在所采集的油菜花粉样品和茶花花粉样品中的含量差异具有显著统计意义($P<0.05$);铬、砷、镉和铅4种元素含量在油菜花粉和茶花花粉中差异不显著($P>0.05$)。**结论** 对于具有较高重金属污染风险的花粉种类应加强监管,将样品来源地环境无机污染物引起的重金属污染问题纳入到生产规范标准制订修订的考量之中。

关键词: 蜂花粉; 电感耦合等离子体质谱法; 重金属; 环境污染物

Distribution of heavy metals in the species of *Brassica campestris* L. bee pollen and *Camellia japonica* L. bee pollen

LI Shuo, LI Hong-Xia, LI Li*, WANG Hai-Yan

(National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the distribution features of 7 kinds of heavy metals (metalloid) in the species of *Brassica campestris* L. bee pollen and *Camellia japonica* L. bee pollens. **Methods** The content of 7 kinds of elements (chromium, manganese, arsenic, copper, nickel, cadmium and lead) in bee pollen samples was determined by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The statistical analysis was conducted to investigate whether there was significant difference in the content of each element between the species of *Brassica campestris* L. bee pollen and *Camellia japonica* L. bee pollen. **Results** The pollution of heavy metals was found in both species of bee pollens, but the pollution levels of heavy metals were different. There were significant differences in the content of Mn, Ni and Cu in the species of *Brassica campestris* L. bee pollen samples and *Camellia japonica* L. bee pollen samples ($P<0.05$), while there was no significant difference in the content of chromium, arsenic, cadmium and lead between the 2 species of bee pollens ($P>0.05$). **Conclusion** The supervision of bee pollens with high risk of heavy metal pollution should be strengthened, and the heavy metal pollution caused by inorganic pollutants in the environment of the place of origin should be taken into consideration in the formulation

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1601103)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Project (2017YFC1601103)

*通信作者: 李莉, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食品、化妆品检测。E-mail: lili_nicbbp@126.com

*Corresponding author: LI Li, Master, Associate Professor, National Institutes for Food and Drug Control, No.2, Tiantanxili, Dongcheng District, Beijing 100050, China. E-mail: lili_nicbbp@126.com

and revision of production specification standards.

KEY WORDS: bee pollen; inductively coupled plasma mass spectrometry; heavy metals; environmental pollutants

0 引 言

蜂花粉是由蜜蜂采集被子植物雄蕊药或裸子植物小孢子囊内花粉细胞而形成团粒状物(原料蜂花粉)经干燥、去杂、消毒灭菌加工制作而成^[1]。蜂花粉成分复杂,不仅含有人体必需的蛋白质、脂类、碳水化合物和微量元素,还含有对人体有特殊功效的黄酮、天然植物激素等多种生物活性物质^[2-4]。随着各种分析技术的进步和普及,蜂花粉引起诸多领域研究人员的关注,其中包括环境污染、地理指纹、食品毒理学与营养学等领域^[5]。蜂花粉作为蜂产品的一种,其安全性同样受到监管部门重视。而元素含量不仅能作为反映蜂产品质量安全的指标,也被用来确认蜂产品的地理位置或反映人类行为的影响^[6]。POHL 等^[7]对 2012—2017 年部分蜂产品元素分析的文献进行了研究,认为不同的环境因素和非环境因素导致了蜂产品中 As、Cd、Cr、Cu、Pb 等多种元素含量的不同,部分微量或有毒有害元素可以反映蜜蜂所处环境的污染状况;而对于 Cd 和 Pb 等具有蓄积性的重金属元素,可通过食物链带入人体^[8-9],在体内积累,容易导致健康问题,甚至构成重大的公共卫生问题。此外,部分研究者^[10]还通过对各种蜂产品及其相对应的环境介质中的重金属含量进行相关性分析,提出蜂产品可以作为环境污染指示剂的假设。魏月^[11]对不同地区蜂场的环境介质与蜂产品介质之间重金属含量相关性进行了分析,发现环境中的重金属污染物可以通过各种途径转移到蜂产品介质中且逐渐蓄积,环境污染程度越大,污染物越易在蜂产品中得以体现,蜂产品中重金属的含量可以反映环境中重金属的含量,并以此判断环境的污染程度。此外,相比蜂蜜和蜂胶,蜂花粉与环境介质之间存在更多、更稳定的显著相关关系,可以实现对环境某些重金属污染的指示作用^[11]。

铬、砷、铜、镍、镉和铅 6 种元素是环境保护部和国土资源部于 2014 年 4 月 17 日联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》^[12](以下简称《公报》)无机污染物列表中所列明的元素。镉是《公报》中不同土地利用类型土壤的主要污染物之一,在耕地中重度污染点位比例排第一位,在林地、草地以及未利用土地中重度污染点位比例排第二位;砷在林地中重度污染点位比例排第一位;镍在草地和未利用地中重度污染点位比例排第一位。锰是地壳中仅次于铁的金属元素,分布于地壳的各种环境中,也是人体必需的微量元素之一^[13]。人体摄入过量的锰可以引起锰中毒,早期主要表现为类神经征和自主神经功能障碍,如记忆力减退、嗜睡、精神萎靡不振,轻度锰中毒可导致人或动物学习记忆能力的减退,随着病情继续发展则会出现面部表

情缺乏、言语错乱、动作笨拙等症状^[14]。

本研究采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定油菜花粉和茶花花粉中铬、锰、砷、铜、镍、镉和铅 7 种元素含量,通过统计分析,了解 2 种蜂花粉中重金属元素含量的分布特征,以期能促使有关部门加强具有较高污染风险的花粉种类的监管,将花粉产地环境无机污染物可能引发的污染问题纳入到生产规范标准制订修订考量之中。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

ICAP-Q 型电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); MARS5 型微波消解仪(美国 CEM 公司); Milli-Q 型超纯水机(德国 Sartorius 公司); G-400 智能控温电加热器(上海屹尧仪器科技发展有限公司); AL204 型电子天平(感量 0.1 mg, 美国 Mettler Toledo 公司)。

Cr、Mn、Cu、Cd、Pb 标准溶液(1000 mg/L, 美国 Inorganic Ventures 公司); Ni 标准溶液(1000 mg/L, 美国 Accustandard 公司); As 标准溶液(100 mg/L, 北京北方伟业计量技术研究院); 内标参比溶液: Y、Rh、Ge 标准溶液(1000 mg/L, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); Re、In 标准溶液(1000 mg/L, 美国 Inorganic Ventures 公司); 硝酸(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

样品: 所有样品均为网购采样, 样品产地涉及北京、上海、贵州、河南、黑龙江、吉林、江苏、辽宁、青海、山西 10 个省(直辖市)所辖地区。

1.2 实验方法

1.2.1 标准溶液配制

精确移取适量各元素标准溶液, 用 5%硝酸溶液逐级稀释, 制备成质量浓度为 0.1、0.5、1、5、10、50、100 $\mu\text{g/L}$ 的混合标准溶液。精确移取适量 1 mL Ge、In、Re 标准溶液, 用 5%硝酸溶液定容至 100 mL, 得到 10 mg/L 标准储备液, 然后精确移取 0.1 mL 内标储备液, 用 5%硝酸溶液定容至 100 mL, 得到 10 $\mu\text{g/L}$ 内标工作液。

1.2.2 样品制备

样品分析过程主要参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中的方法, 并根据实际样品的性状和特点, 对实验条件进行适当优化。准确称取 0.3 g(精确至 0.0001 g)蜂花粉样品, 置于洁净的聚四氟乙烯消解罐中, 加入 5 mL 硝酸使样品完全浸润, 在室温下放置 10 min。将消解罐敞口放入恒温炉中, 缓慢升至 100 $^{\circ}\text{C}$ 后, 保持 30 min 进行预消解。经观察消解罐灌口不再有黄烟冒

出后,取出消解罐,冷却至室温。拧上罐盖,置于微波消解仪中进行消解,消解温度程序为:0~5 min, 室温~120 °C; 5~10 min, 120 °C; 10~15 min, 120~150 °C; 15~25 min, 150 °C; 25~30 min, 150~190 °C; 30~50 min, 190 °C。待消解过程结束后将消解罐取出,冷却至室温。打开消解罐,敞口置于120 °C恒温炉中,加热至酸溶液体积为1~2 mL。将液体转移至离心管中,用超纯水润洗消解罐并将液体转移至离心管中,反复3次,定容至25 mL。将所得到的样品溶液,用5%硝酸稀释20倍,上机检测。同法制备空白溶液。

1.2.3 仪器工作条件

用质量浓度均为10 mg/L的质谱调谐液对仪器进行最佳工作条件选择,使仪器灵敏度、氧化物、双电荷、分辨率等指标达到检测要求。仪器参考条件为射频功率:1550 W;冷却气氩气流速:15 L/min;雾化器氩气流速:1 mL/min;辅助气流速:0.8 L/min;采样深度:15 mm;雾化器:微流同心雾化器;雾化室温度:3 °C;采样锥与截取锥类型:镍锥;模式:动能歧视(kinetic energy discrimination, KED);碰撞气:高纯氦气(>99.999%),流速:4.2 mL/min;进样速度:40 r/min;驻留时间:0.02 s。同时引入待测样品溶液与内标参比溶液(Ge、In、Re, 10 µg/L)进行检测。

1.2.4 样品测定

在优化的仪器条件下在线引入内标参比溶液,依次引入试剂空白、标准溶液、样品空白、样品溶液。根据元素质量数差别采用不同的内标进行校正,每个样品取3个数值。以校正后的强度结果为纵坐标(Y),质量浓度为横坐标(X, µg/L),绘制标准曲线,根据标准曲线计算得到样品的质量浓度。

2 结果与分析

2.1 定量参数

按照1.2.4操作得出各元素回归方程在0.1~100 µg/L

的范围内线性关系良好,相关系数均大于0.999。检出限在0.0012~0.0245 µg/L之间,以称样量0.3 g,稀释体积25 mL计算出定量限在0.00034~0.0068 mg/kg之间,结果见表1。

2.2 油菜花粉和茶花花粉中元素含量差异分析

按照本方法对从10个地区收集的样品进行检测,并将测得的6批茶花花粉和11批油菜花粉中Cr、Mn、Ni、Cu、As、Cd和Pb 7种元素的含量进行分析,结果见表2。检测结果表明,油菜花粉和茶花花粉样品中所测得的重金属元素含量不同,这可能与花粉产地、土壤中元素含量、大气中元素含量以及植物对元素的富集程度不同等因素有关。

截至目前,我国标准仅对蜂花粉中部分无机污染物限量有明确规定^[15-17]。GB 31636—2016《食品安全国家标准 花粉》中仅规定污染物限量应符合GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的规定,而GB 2762—2017中仅规定蜂花粉中铅(以Pb计)限量要求为≤0.5 mg/kg,对其他元素限量均无明确要求。NY 5137—2002《无公害食品蜂花粉》(已废止)仅对铅有限量要求,即≤1 mg/kg(以Pb计)。GB/T 30359—2013《蜂花粉》和GH/T 1014—1999《蜂花粉》对重金属含量指标均无明确规定。根据《国家卫生计生委办公厅关于征求<食品安全国家标准 食品加工用酵母>等70项食品安全国家标准和1项标准修改单(征求意见稿)意见的函》(国卫办食品函〔2015〕803号)中《食品安全国家标准 花粉》(征求意见稿)编制说明所记载内容来看,标准制定过程中所发现的花粉中铅污染问题较为严重,所检测的32份蜂花粉铅含量平均值为(0.48±0.41) mg/kg,超标率为24.0%。在本次检测的17批样品中,并未发现铅含量超标现象。

表1 7种元素的回归方程、决定系数、线性范围、检出限及定量限

Table 1 Regression equations, coefficients of determination, ranges of linearity, limits of detection and limits of quantification of 7 kinds of elements

元素	线性方程	决定系数(r^2)	线性范围/(µg/L)	检出限/(µg/L)	定量限/(mg/kg)
⁵² Cr	$Y=22500.5009X+2142.1373$	0.9995	0.1~100	0.0245	0.0068
⁵⁵ Mn	$Y=9045.9418X+414.1259$	1.0000	0.1~100	0.0143	0.0041
⁶⁰ Ni	$Y=11826.8056X+1795.2864$	1.0000	0.1~100	0.0163	0.0046
⁶³ Cu	$Y=33048.7017X+8506.8544$	0.9998	0.1~100	0.0204	0.0057
⁷⁵ As	$Y=3842.7744X+9.8424$	1.0000	0.1~100	0.0064	0.0018
¹¹¹ Cd	$Y=8376.5271X+11.7215$	0.9999	0.1~100	0.0012	0.00034
²⁰⁸ Pb	$Y=169477.7955X+12765.2375$	0.9994	0.1~100	0.0078	0.0022

表 2 油菜花粉和茶花花粉样品中 7 种元素含量的分析结果
Table 2 Occurrence of 7 kinds of elements in *Brassica campestris* L. bee pollen and *Camellia japonica* L. bee pollen samples

元素种类	统计量	茶花花粉数值 (mg/kg)	油菜花粉数值 (mg/kg)
Cr	均值	0.112	0.126
	中值	0.118	0.123
	标准差	0.057	0.056
	极小值	0.044	0.056
	极大值	0.181	0.221
Mn	均值	279.529	24.576
	中值	278.504	22.555
	标准差	66.898	4.350
	极小值	183.583	20.358
	极大值	371.119	35.278
Ni	均值	4.385	0.268
	中值	4.410	0.273
	标准差	0.886	0.074
	极小值	2.831	0.184
	极大值	5.533	0.442
Cu	均值	10.044	7.867
	中值	10.056	7.692
	标准差	0.609	0.573
	极小值	9.165	7.185
	极大值	10.741	9.047
As	均值	0.026	0.059
	中值	0.025	0.027
	标准差	0.013	0.113
	极小值	0.011	0.009
	极大值	0.040	0.398
Cd	均值	0.029	0.027
	中值	0.032	0.028
	标准差	0.009	0.013
	极小值	0.014	0.008
	极大值	0.038	0.052
Pb	均值	0.098	0.097
	中值	0.083	0.062
	标准差	0.079	0.073
	极小值	0.025	0.041
	极大值	0.238	0.243

对油菜花粉和茶花花粉样品中 7 种元素含量的差异进行比较分析。经方差齐性检验, 方差齐时, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA); 方差不齐时, 采用非参数检验, 分析结果见表 3。结果表明: Cr、Cu 和 Cd 含量基本符合正态分布, 可以采用单因素分析方法进行分析; Mn、Ni、As 和 Pb 含量不符合正态分布, 采用非参数检验的方法对显著性差异进行分析。由表 2 和表 3 可以看出, 虽然 2 类蜂花粉均存在重金属污染问题, 但重金属污染水平存在差异。Mn、Ni 和 Cu 等 3 种元素在所采集的油菜花粉样品和茶花花粉样品中的含量差异具有显著统计意义($P<0.05$); Cr、As、Cd 和 Pb 等 4 种元素含量在该 2 类蜂花粉中差异不显著($P>0.05$)。这不仅与花粉产地环境等外部因素有关, 也与花粉品种的自身特性存在关联^[18], 如 Mn 在茶花花粉和油菜花粉中的均值分别为 279.529 mg/kg 和 24.576 mg/kg, 差异近 11 倍; Ni 在茶花花粉和油菜花粉中的均值分别为 4.385 mg/kg 和 0.268 mg/kg, 差异近 16 倍。

表 3 油菜花粉和茶花花粉中 7 种元素含量差异的统计分析
Table 3 Statistical analysis of 7 kinds of elements in *Brassica campestris* L. bee pollen and *Camellia japonica* L. bee pollen samples

元素种类	检验方式		差异是否有统计意义 ^d
	方差分析	非参数检验	
Cr	0.627	— ^b	无
Mn	<i>n/a</i>	0.000 ^c	有
Ni	<i>n/a</i>	0.000	有
Cu	0.000	—	有
As	<i>n/a</i>	0.884	无
Cd	0.740	—	无
Pb	<i>n/a</i>	0.733	无

注: d 表示 $P<0.05$; b 表示未进行非参数检验; *n/a* 表示未通过方差齐次性检验; c 表示 $P<0.001$ 。

3 结 论

本研究通过对油菜花粉和茶花花粉中铬、锰、砷、铜、镍、镉和铅含量进行统计分析, 了解其分布特征, 为我国标准制修订提供了参考依据。

首先, 在 GB 31636—2016 制定过程中, 其污染物限量参照 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》执行, 除了铅含量限量值以外, 是否应当制定其他无机污染元素的限量值, 标准编制说明中并未有明确的记

载或说明。世界卫生组织(World Health Organization, WHO)规定镍的耐受量(tolerable daily intake, TDI)为每日每千克体重 $12 \mu\text{g}^{[19]}$, 国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)把镍化合物被列为 1 类致癌物, 镍元素和金属镍列为 2B 类致癌物^[20], 长期摄入镍含量较高的食物存在较大的致癌风险^[21]。国家食品安全风险评估部门有必要在进行充分评估的基础上考虑制定镍等其他无机污染元素的限量值。

此外, 考虑到不同种类蜂花粉中重金属含量分布特性存在差异, GB/T 34781—2017《蜂花粉生产技术规范》在修订过程中, 应当进一步细化“4.5 放蜂场地”项下放蜂场地应符合的条件, 针对不同花粉种类, 对周边大气、水质、土壤以及工业污染排放要求进行规定, 从而做到深入贯彻落实食品安全的“四个最严”, 进一步科学提升我国蜂花粉质量和安全水平。

参考文献

- [1] 国家质检总局. 蜂花粉及蜂产品制品生产许可证审查细则(2006版)[EB/OL]. [2011-12-03]. <http://www.foodmate.net/zhiliang/qs/163799.html>. [2021-02-02].
AQSIQ. Rules for examination of production license for bee pollen and bee products (2006 edition) [EB/OL]. [2011-12-03]. <http://www.foodmate.net/zhiliang/qs/163799.html>. [2021-02-02].
- [2] 黄新球, 杨有仙, 卢焕仙, 等. 5 种云南产蜂花粉矿物质元素分析及蛋白质营养评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(5): 980–986.
HUANG XQ, YANG YX, LU HX, *et al.* Element analysis and protein nutrition evaluation of five bee pollens from Yunnan province [J]. Southwest China J Agric Sci, 2020, 33(5): 980–986.
- [3] 何佳洁, 汪燕, 马振刚. 综述蜂花粉的广泛应用[J]. 蜜蜂杂志, 2020, (1): 13–17.
HE JJ, WANG Y, MA ZG. Review on the widespread application of bee pollen [J]. J Bee, 2020, (1): 13–17.
- [4] 郑慧, 梁倩倩, 陈希平, 等. 蜂花粉保健功能及产品开发生态研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 230–236.
ZHENG H, LIANG QQ, CHEN XP, *et al.* Research progress in health function and product development of bee [J]. Food Mach, 2019, 35(4): 230–236.
- [5] POHL P, STECKA H, SERGIEL I, *et al.* Different aspects of the elemental analysis of honey by flame atomic absorption and emission spectrometry: A review [J]. Food Anal Method, 2012, (5): 737–751.
- [6] GRAINGER MNC, HEWITT N, FRENCH AD. Optimized approach for small mass sample preparation and elemental analysis of bees and bee products by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Talanta, 2020, 214: 120858.
- [7] POHL P, BIELAWSKA-POHL A, DZIMITROWICZ A, *et al.* Recent achievements in element analysis of bee honeys by atomic and mass spectrometry methods [J]. TRAC-Trend Anal Chem, 2017, 93: 67–77.
- [8] POHL P, DZIMITROWICZ A, LESNIEWICZ A, *et al.* Room temperature solvent extraction for simple and fast determination of total concentration of Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, and Zn in bee pollen by FAAS along with assessment of the bio-accessible fraction of these elements using *in vitro* gastrointestinal digestion [J]. J Trace Elem Med Bio, 2020, 60: 126479.
- [9] DAVODPOUR R, SOBHANARDAKANI S, CHERAGHI M, *et al.* Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bio-indicator for detection of toxic and essential elements in the environment (Case study: Markazi province, Iran) [J]. Arch Environ Con Tox, 2019, 77(3): 344–358.
- [10] WANG TH, JIAN CH, HSIEH YK, *et al.* Spatial distributions of inorganic elements in honeybees (*Apis mellifera* L.) and possible relationships to dietary habits and surrounding environmental pollutants [J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(21): 5009–5015.
- [11] 魏月. 蜂产品对环境污染指示作用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
WEI Y. Study on bee products as bio-indicators for environmental pollution evaluation [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2015.
- [12] 环境保护部国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[EB/OL]. [2014-04-17]. <http://www.gov.cn/foot/site1/20140417/782bcb88840814ba158d01.pdf>. [2021-02-02].
Ministry of Environmental Protection. Ministry of land and resources report on the national general survey of soil contamination [EB/OL]. [2014-04-17]. <http://www.gov.cn/foot/site1/20140417/782bcb88840814ba158d01.pdf>. [2021-02-02].
- [13] 刘紫霏, 吴赞, 姜雪成, 等. 微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤中的锰[J]. 分析仪器, 2019, (6): 51–53.
LIU ZX, WU Z, JIANG XC, *et al.* Determination of manganese in soil by microwave digestion and ICP-AES [J]. Anal Instrum, 2019, (6): 51–53.
- [14] 何燕, 曹丽玲, 杨立学. 蜂花粉中锰元素的调查分析[J]. 中小企业管理与科技, 2014, (9): 309.
HE Y, CAO LL, YANG LX. Investigation and analysis of manganese in bee pollen [J]. Manage Technol SME, 2014, (9): 309.
- [15] 张萍, 卢俊杰. 微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定蜂花粉中铅、镉和铜[J]. 光谱实验室, 2012, 29(3): 1416–1419.
ZHANG P, LU JJ. Determination of Pb, Cd and Cu in bee pollen by GFAAS with microwave digestion [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2012, 29(3): 1416–1419.
- [16] 王哲, 王文波. 微波消解 ICP-MS 测定蜂花粉中 5 种有害元素的含量[J]. 高师理科学刊, 2015, (7): 46–48.
WANG Z, WANG WB. Determination of five harmful elements in bee pollen by microwave digestion ICP-MS [J]. J Sci Teachers' Coll Univ, 2015, (7): 46–48.
- [17] 赵洪静, 李恒, 蒋慧, 等. 我国蜂产品生产监管现状、问题及建议[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(20): 7048–7056.
ZHAO HJ, LI H, JIANG H, *et al.* Current situation, issues and suggestions of bee product production supervision in China [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(20): 7048–7056.
- [18] 张梦妍, 曹丽玲, 曹倩玉, 等. 石家庄市市售蜂花粉中金属元素含量测定和健康风险评价[J]. 现代预防医学, 2019, 46(12): 2171–2174.

ZHANG MY, CAO LL, CAO QY, *et al.* Determination and health risk assessment of metal elements in bee pollen of Shijiazhuang [J]. *Mod Pre Med*, 2019, 46(12): 2171–2174.

[19] WANG W, ZHANG ZH, YANG GL, *et al.* Health risk assessment of Chinese consumers to nickel via dietary intake of foodstuffs [J]. *Food Addit Contam A*, 2014, 31(11): 1861–1871.

[20] International Agency for Research on Cancer, World Health Organization. List of classifications [EB/OL]. [1990]. <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>. [2021-02-02].

[21] 王彩霞, 胡佳薇, 程国霞, 等. 陕西省食品中镍含量调查分析与健康风险评估[J]. *卫生研究*, 2016, 45(6): 993–997.

WANG CX, HU JW, CHENG GX, *et al.* Investigation on nickel contamination of food and potential health risk of dietary nickel in Shaanxi province [J]. *J Hyg Res*, 2016, 45(6): 993–997.

(责任编辑: 郑丽)

作者简介

李 硕, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品、化妆品检测。

E-mail: pahayokolide@sina.com

李 莉, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食品、化妆品检测。

E-mail: lili_nicpbp@126.com