

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2017.05.2016083103

卢恒, 徐宁, 孟繁蕴. 冬虫夏草重金属的含量测定和健康风险评价[J]. 环境化学, 2017, 36(5): 1003-1008.

LU Heng, XU Ning, MENG Fanyun. Determination and health risk assessment of heavy metals in *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc [J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(5): 1003-1008.

冬虫夏草重金属的含量测定和健康风险评价*

卢 恒^{1,2} 徐 宁^{1,2} 孟繁蕴^{1,2**}

(1. 北京师范大学地理科学学部, 北京, 100875;

2. 北京师范大学教育部资源药物工程研究中心, 北京, 100875)

摘 要 收集了 45 个不同市售来源的冬虫夏草样品, 通过微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定其 As、Pb、Cd、Cu 等重金属含量, 通过微波消解-原子荧光光谱分析法(AFS)测定其 Hg 含量. 用靶标危害系数(THQ)和总危害指数(HI)对 Hg、Pb、Cd、Cu 等 4 种重金属进行非致癌健康风险评价, 用终生致癌风险(*R*)对 As 进行致癌健康风险评价. 实验表明, 45 个样品中, As 含量超标率达到 100%, Hg 含量超标率也达到 70%, 其他 3 种重金属均未检出超标现象. 4 种重金属的 THQ 以及 HI 值均远远小于 1.0, 即表明 4 种重金属通过冬虫夏草的摄入不会对人体造成非致癌风险. 以总砷计算 $R=6.39\times 10^{-5}$ 超出 WHO 规定的限值 1.0×10^{-5} ; 而以无机砷计算 $R=3.09\times 10^{-7}$ 远远低于其限值.

关键词 冬虫夏草, 重金属, 致癌健康风险评价, 非致癌健康风险评价.

Determination and health risk assessment of heavy metals in *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc

LU Heng^{1,2} XU Ning^{1,2} MENG Fanyun^{1,2**}

(1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China;

2. Institute of Natural Medicine and Chinese Medicine Resources, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China)

Abstract: Microwave digestion-ICP-MS was used to measure As, Pb, Cd and Cu concentration, and Microwave digestion-AFS was used to measure Hg concentration in 45 *Cordyceps sinensis* samples collected from different commercial sources. THQ (Target hazard quotient) and HI (Hazard index) were used to assess the non-carcinogenic health risks of Hg, Pb, Cd, Cu, and *R* (Lifetime cancer risk) was used to assess carcinogenic health risk assessment of As. For the 45 samples, the over standard rate was 100% and 70% for As and Hg, respectively. THQ and HI were far less than 1, indicating that no non-carcinogenic risks from Hg, Pb, Cd, Cu by intaking *Cordyceps sinensis*. In terms of total arsenic, $R=6.39\times 10^{-5}$ was above the WHO limit, and in terms of inorganic arsenic $R=3.09\times 10^{-7}$ was far below the limit.

Keywords: *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc, heavy metals, carcinogenic health risk assessment, carcinogenic health risk assessment.

2016 年 8 月 31 日收稿(Received: August 31, 2016).

* 国家基础性工作专项(2013FY114500, 2015FY111500); 国家中药标准化项目(ZYBZH-Y-HEN-18)资助.

Supported by National Basic Research Special Foundation of China (2013FY114500, 2015FY111500) and National standardization project of traditional Chinese Medicine (ZYBZH-Y-HEN-18).

* ** 通讯联系人, Tel: 010-62208739, E-mail: mfy@bnu.edu.cn

Corresponding author, Tel: 010-62208739, E-mail: mfy@bnu.edu.cn

冬虫夏草为麦角菌科真菌冬虫夏草菌 *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc 寄生在蝙蝠蛾科昆虫幼虫上的子座和幼虫实体的干燥复合体^[1]。冬虫夏草是我国驰名中外,老幼皆知的名贵药材,为上等补药,对心血管、呼吸系统、肝脏、肾脏及肿瘤等方面具有多种药理活性。近年随着人们生活水平的提高,保健观念不断增强,冬虫夏草的消费量逐年增加,但由于在生长与生产过程中间接或直接的重金属累积,造成了重金属超标问题的存在。刘腾^[2]以“冬虫夏草重金属危机”为题对我国冬虫夏草市场存在的问题进行了相关报道。现有的冬虫夏草重金属研究工作^[3-5],都是对其重金属含量的检测研究,而对服用冬虫夏草所引起人体的健康风险评价这方面尚属空白。

为了保障冬虫夏草的用药安全,一方面采用科学技术,检测控制重金属元素以了解药材质量,同时对服用药材后对人体的健康风险进行评估也是很有必要的。本研究对 45 个市售冬虫夏草药材样品中的铜、砷、镉、汞和铅等 5 种重金属元素进行了检测,并在此基础上结合冬虫夏草的用药习惯,构建风险评价模型,首次对冬虫夏草中含有的汞、铜、铅和镉所引起的非致癌风险及砷所引起的致癌风险进行了评价。以期客观了解市售冬虫夏草所存在的问题,同时通过了解服用冬虫夏草对人体的健康风险,为保障药物安全提供理论支持。

1 实验部分(Experimental section)

1.1 样品和仪器

北京市售不同来源的 15 批冬虫夏草,每批 3 个样品,共 45 个样品;所取样品主要来自冬虫夏草药材品质较好的青海果洛甘德县、达日县、玛沁县,青海玉树及玉树巴塘地区,西藏那曲比如县、索县、巴青县,及西藏昌都昌都县、边坝县。上述地区也是冬虫夏草的主要产地。均购买于 2013 年 3 月份,经北京师范大学资源学院孟繁蕴教授鉴定为中药材冬虫夏草,阴干磨粉后待用。

Hg、Cu、Cd、Pb 和 As 标准溶液($10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),中国计量科学研究院;消解用硝酸(BV-Ⅲ级)500 mL,北京化学试剂研究所;过氧化氢、浓硫酸、氢氧化钾、硼氢化钾(优纯级,北京化学试剂研究所);质谱调谐液:Li、Y、Ce、Ti、Co($10 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$);内标储备液:Ge($100 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。

ECH-1 型电子控温加热板(上海新仪微波化学科技有限公司);7500 Series 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS,美国安捷伦公司);ETHOS D 型微波消解仪(意大利 Milestone 公司)。

1.2 样品的处理和分析

按照中华人民共和国国家标准 GB 5009.11—2014 中微波消解-电感耦合等离子体质谱法对冬虫夏草中的总砷含量进行含量测定。精确称取 0.2 g 样品于消化罐中,加入 5 mL 硝酸,放置 30 min,盖好安全阀,将消解罐放入微波消解系统中,按消解程序进行消解,消解完全后赶酸,将消化液转移至 25 mL 容量瓶中,用少量水洗涤内罐 3 次,合并洗涤液并定容至刻度,混匀。同时做空白试验。将转移出的各样品溶液进行 ICP-MS 检测(北京市药品检验所)。并按此标准对标准曲线、精密度、检出限、重复性进行分析。

按照中华人民共和国国家标准 GB 5009.17—2014 中微波消解-原子荧光光谱分析法对冬虫夏草中的总汞含量进行含量测定。精确称取 0.2 g 样品于消化罐中,加入 5 mL 硝酸,加盖放置过夜,盖好安全阀,将消解罐放入微波消解系统中,按消解程序进行消解。冷却后取出,缓慢打开罐盖排气,用少量水冲洗内盖将消化液转移至 25 mL 容量瓶中,用少量水洗涤内罐,将消解罐放在控温电热板上,于 80 °C 加热,赶走棕色气体,取出消解内罐,将消化液转移至 25 mL 容量瓶中,用少量水分 3 次冲洗,合并洗涤液并定容至刻度,混匀。同时做空白试验。将转移出的各样品溶液进行原子荧光光谱检测(北京市药品检验所)。并按此标准对标准曲线、精密度、检出限、重复性做分析研究。

测定 Cu、Cd、Pb 时,准确称量各样品 0.3 g 于消解罐中,加入 10 mL 浓硝酸,加盖密闭,按消解程序进行消解。将消解完全的消解液在电子控温加热板上加热。待其黄色烟雾挥发出,液体约 2 mL 时取出。将其转移到 50 mL 聚四氟乙烯材料的容器中,用 1% 稀硝酸稀释至刻度,混匀。将转移出的各样品溶液进行 ICP-MS 检测(北京市药品检验所)。并对标准曲线、精密度、检出限、重复性进行分析。

为保证检测样品的重现性和准确性,连续 6 次测定相同工作条件下的空白溶液,采用每个元素标准偏差的 3 倍作为检出限,所有元素检出限在 0.9—6.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。并将同一份样品平均分成 6 份,用上述方

法测定样品中 5 种元素含量,5 种元素的相对标准偏差在 2.4%—5.7%之间.同时设置加标回收实验,选择待检测样品,分为两份,一份用于测定样品中 5 种元素的含量,另一半加入待测元素的标准溶液,检测其含量.计算得到 5 种元素的加标回收率在 91.7%—101.2%之间.

1.3 非致癌重金属健康风险评价模型

通过点推定统计得到变量的几何均值进而计算得出健康风险.

汞、铅、铜、镉等 4 种重金属元素主要具有非致癌毒性.借鉴美国国家环保署^[7](US EPA)创建的非致癌风险评价方法,运用靶标危害系数(THQ)评价长期服用冬虫夏草重金属元素造成的健康风险,具体公式如下:

$$EDI = \frac{C_i \times FIR \times EF \times ED}{WAB \times TA} \quad (1)$$

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \quad (2)$$

式中,EDI (Estimated daily intake) 为重金属 i 的平均日摄入量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$);RfD 为重金属 i 的每日允许摄取最大量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$),其值来源于 USEPA 的长期经口暴露参考剂量(RfD),或者联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)规定的每日允许摄入量(ADI); C_i 为冬虫夏草中重金属 i 的平均含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);EF 为暴露频率($\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$);ED 为接触年限(a);TA 为接触时间(d);WAB 为成年人的平均体重,以 60 kg 计;FIR 为消费者的每日冬虫夏草摄入量($\text{g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).此模型的评价标准为,THQ<1 认为此途径摄入重金属对人体健康造成的影响不明显,THQ>1 暴露量高于不良反应的阈值,则可引起非致癌风险.

当存在一种以上重金属时,彼此之前的相互作用应该引起重视,因为同一介质中潜在的重金属及其风险可能是叠加的.因此为了评价多种重金属对人体健康的危害,引入了总危害指数 HI,它代表着多种重金属污染下非致癌总风险的大小,具体公式如下:

$$HI = \sum_{i=1}^n THQ_i \quad (3)$$

式中,HI 为危害指数,THQ _{i} 为元素 i 的 THQ 值.如果 HI ≤ 1.0,表明人体不会受到明显非致癌伤害;而 HI>1.0,表明人体健康受危害的可能性很大.

1.4 As 的健康风险评价模型

通过点推定统计得到变量的几何均值进而计算得出健康风险^[8].

As 为致癌物质,其致癌风险用以下公式计算:其中, R 为终生致癌风险,SF 为致癌斜率系数,LADD_{pot} 为单位体重终生对重金属的经口平均日暴露量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).其中,LADD_{pot} 用以下公式计算:

$$R = SF \times LADD_{\text{pot}} \quad (4)$$

$$LADD_{\text{pot}} = \frac{\bar{C} \times \bar{IR} \times ED \times EF}{BW \times LT} \quad (5)$$

其中, C 为药材中的污染物平均浓度($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),IR 为药材平均日摄入量($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$), $C \times IR$ 即污染物平均日摄入量($\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$).ED 为暴露频率($\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$),EF 为暴露年限(a),BW 为平均体重(kg),LT 为平均寿命(d).

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 冬虫夏草中重金属的含量

采用“1.2 节”的处理和分析方法对冬虫夏草中 Cu、As、Cd、Hg、Pb 等 5 种重金属含量进行测定,其结果见表 1.

表1 冬虫夏草中重金属含量测定结果($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ($n=45$)Table 1 Determination of heavy metal concentrations in *Cordyceps* ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ($n=45$)

元素 Elements	测定范围 Range	平均值±标准偏差 Mean±SD	标准限值 Standards	超标率 Over standard rates/%	超标倍数 Exceed multiples
Cu	9.524—16.10	12.637±2.322	20.0	0	—
Cd	0.018—0.056	0.036±0.0121	0.3	0	—
Pb	0.393—1.710	0.752±0.377	5.0	0	—
Hg	0.101—0.706	0.276±0.158	0.2	73.3	1.38
As	2.560—5.590	4.032±0.989	2.0	100	2.02

从表1可以看出,在所分析的冬虫夏草样品中各种金属的含量均不相同,其含量高低顺序依次为 $\text{Cu}>\text{As}>\text{Pb}>\text{Hg}>\text{Cd}$.从测试结果看,冬虫夏草中Cu、As、Cd、Hg、Pb的平均质量浓度分别为12.637、4.032、0.036、0.276、0.752 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.参照《中国药典》2010年版(一部)对药材及其制剂的要求(重金属残留限量为 $\text{Pb}\leq 5.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cd}\leq 0.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{As}\leq 2.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Hg}\leq 0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cu}\leq 20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),从上述结果看出,冬虫夏草药材中铅、镉和铜残留量均低于该标准;但是所有样品中砷元素的含量均超标,与国家食品药品监督管理局于2016年2月颁发的《关于冬虫夏草类产品的消费提示》中所提到的冬虫夏草中普遍存在砷超标问题的结论一致;这可能是由于冬虫夏草在生长和生产过程中间接或直接地积蓄了土壤中的砷而引起砷含量的超标,王刚力^[3]等对冬虫夏草产地的土壤样品进行了重金属检查后发现多数冬虫夏草产地的土壤砷残留量较高,其中50%以上的土壤样品达不到中华人民共和国国家标准GB 15618—1995土壤环境质量标准中关于三级土壤的要求(而GAP基地的土壤应达到二级以上要求).同时检测的汞元素超标率也达到了70%以上,这可能与之前所报道的冬虫夏草生产中可能存在用水银熏蒸^[9]或者注入水银增重的现象有一定联系.

2.2 冬虫夏草中汞、铜、铅、镉的健康风险评价

本文评价汞、铜、铅、镉等4种重金属主要具有非致癌毒性,为了模拟其通过煎服冬虫夏草可能引起的非致癌健康风险,采用“1.3节”中的健康风险评价模型对这4种重金属进行评价.《中国药典》中规定冬虫夏草的用量3—9g为宜,风险评价模型采用其均值6g为日摄入量.同时对风险计算中的其他参数做出以下假定:暴露期间 $\text{ED}=30\text{ a}$,暴露频率 $\text{EF}=90\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$,平均体重 $\text{WAB}=60\text{ kg}$,接触时间 $\text{TA}=30\text{ a}\times 365\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$.另外,本模型的参考值均来自于美国环保署(USEPA)规定的安全限量或世界卫生组织(WHO)暂定的每周可耐受摄入量(PTWI).FAO/WHO规定的总汞的可耐受一周摄取量(PTWI)为 $5.00\times 10^{-3}\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{w}^{-1}$,即 $7.14\times 10^{-4}\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$.Cd、Cu和Pb的RfD值分别为 $1.00\times 10^{-3}\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $4\times 10^{-2}\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $3.50\times 10^{-3}\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[10].非致癌健康风险评价结果见表2.通过结果可以看出,4种重金属通过冬虫夏草的摄入对人体造成的健康风险顺序为 $\text{Cd}<\text{Pb}<\text{Cu}<\text{Hg}$.其中Hg所引起人体的健康风险最高,占HI值的贡献比例为40.45%.该研究结果显示各种金属的每日摄入量(EDI指数)均低于其参考暴露剂量(RfD).THQ以及HI值均远远小于1.0,即表明4种重金属通过冬虫夏草的摄入不会对人体造成非致癌风险.

表2 冬虫夏草中4种重金属的EDI、HQ、HI值及其在HI中的贡献率

Table 2 EDI, THQ, HI values and contribution rate for HI of four heavy metal elements in *Cordyceps*

元素 Elements	每日摄入量 EDI/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$	每日允许摄取最大量 RfD/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$	靶标危害系数 THQ	总危害指数 HI	贡献率 Contribution rate/%
Hg	6.81×10^{-6}	7.14×10^{-4}	9.50×10^{-3}	0.0235	40.45
Cd	8.98×10^{-7}	1.00×10^{-3}	8.98×10^{-4}		3.83
Cu	3.12×10^{-4}	4.00×10^{-2}	7.80×10^{-3}		33.21
Pb	1.85×10^{-5}	3.50×10^{-3}	5.29×10^{-3}		22.51

2.3 冬虫夏草中砷的健康风险评价

2.3.1 冬虫夏草中总砷的健康风险评价

《中国药典》中规定冬虫夏草的用量3—9g为宜,风险评价模型采用其均值6g为日摄入量.由表1

得可知,冬虫夏草中砷元素质量浓度均值为 $4.032 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 结合药典设定的 IR, 可计算得到砷的平均日摄入量 ($C\times\text{IR}$). 同时对风险计算中的其他参数做出以下假定: 暴露期间 $\text{ED} = 30 \text{ a}$, 暴露频率 $\text{EF} = 90 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$, 平均体重 $\text{BW} = 60 \text{ kg}$, 平均寿命 $\text{LT} = 70 \text{ a}\times 365 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$, 砷的致癌斜率从美国环保署的致癌风险评价导则中获得^[11], $\text{SF} = 1.5 (\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})^{-1}$. 由公式 (5), 可计算得出单位体重终生对冬虫夏草中砷的平均日暴露量 LADDpot , 并由公式 (4) 求得砷的致癌风险 R , 计算结果见表 3. 从表 3 可看出, 以总砷含量计算, 通过冬虫夏草摄入砷的致癌风险大于 WHO^[12] 所建议的 1×10^{-5} .

表 3 冬虫夏草中总砷的致癌风险

Table 3 Carcinogenic health risk assessment of total As in *Cordyceps*

总砷平均日摄入量 ADI of total As/ $(\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1})$	平均日暴露量 LADDpot/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$	致癌风险 R
24.192	4.26×10^{-5}	6.39×10^{-5}

2.3.2 冬虫夏草中无机砷的健康风险评价

2015 年, 西藏自治区科技厅对冬虫夏草所含的砷进行了专项研究, 结果表明, 虽然冬虫夏草的总砷含量较高, 但无机砷含量极低, 平均占总砷的 0.485% ^[13].

现阶段我们的研究只是针对冬虫夏草中总砷含量的检测, 然而无机砷的毒性更能代表其引起的危害, 因此本文以上述研究所提到无机砷占总砷的比例为基础, 对本研究样品中无机砷的含量进行计算, 即 $C_{\text{无机}} = C_{\text{总}}\times 0.485\%$. 在此基础上对无机砷通过冬虫夏草摄入对人体造成致癌风险进行了初步评估, 结果见表 4. 从表 4 可看出, 以无机砷含量计算, 通过冬虫夏草摄入砷的致癌风险值为 3.09×10^{-7} , 远远小于 WHO 的建议值. 因此不具有致癌风险.

表 4 冬虫夏草中无机砷的致癌风险

Table 4 Carcinogenic health risk assessment of inorganic As in *Cordyceps*

无机砷平均日摄入量 ADI of inorganic As/ $(\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1})$	平均日暴露量 LADDpot/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$	致癌风险 R
0.117	2.06×10^{-7}	3.09×10^{-7}

3 结论 (Conclusion)

对 45 个北京市售冬虫夏草样品中 Hg、As、Pb、Cd、Cu 等 5 种重金属进行了含量检测, 结果表明样品中普遍存在总砷超标的问题, 部分样品存在汞超标的现象, 但超标程度较小, 而铅、镉、铜等 3 种重金属则不存在重金属超标问题.

在重金属含量测定的基础上, 对 Hg、Pb、Cd、Cu 等 4 种重金属通过冬虫夏草摄入而对人体造成的非致癌健康风险进行了评价, 结果表明 4 种重金属通过冬虫夏草的摄入对人体造成的健康风险顺序为 $\text{Cd} < \text{Pb} < \text{Cu} < \text{Hg}$, Hg 所引起人体的健康风险最高, 占 HI 值的贡献比例为 40.45% . 4 种重金属的 THQ 以及 HI 值均远远小于 1.0, 虽然 Hg 含量超标, 但由于其超标不严重, 加上冬虫夏草的每日摄入量以及暴露频率较小的缘故, 使得其并不具有非致癌风险.

针对砷超标严重的情况, 对通过冬虫夏草砷摄入对人体造成的致癌健康风险进行评价, 其中以总砷计算得到其致癌风险 $R = 6.39\times 10^{-5}$, 大于 WHO 的规定值 1.0×10^{-5} , 说明其具有一定的致癌风险; 在之前研究数据的基础上对冬虫夏草中无机砷的致癌风险进行初步探索, 估算得到其致癌风险 $R = 3.09\times 10^{-7}$, 远远小于 WHO 的规定值, 不具有致癌风险. 因此, 应该正确看待冬虫夏草中砷污染的问题. 一方面, 不能忽视其总砷含量超出限值的现状, 对此应该加大其生长及生产过程中的管控; 另一方面, 加大冬虫夏草中具有较大毒性的无机砷的研究, 从而对冬虫夏草引起的人体致癌健康风险进行更精准的分析.

参考文献 (References)

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(第一部) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
National pharmacopoeia committee. The People's Republic of China pharmacopoeia (I) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010 (in Chinese).
- [2] 刘腾. 冬虫夏草重金属危机 [N]. 中国经营报, 2012, 10 月 A14 版: 1-2.
LIU T. Heavy metals crisis of *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc [N]. China Business Journal, A14: 1-2 (in Chinese).
- [3] 王刚力, 金红宇, 韩小萍, 等. 冬虫夏草药材的质量研究及存在问题 [J]. 中草药, 2008, 39(1): 115-118.
WANG G L, JIN H Y, HAN X P, et al. The quality research and existing problems of *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2008, 39(1): 115-118 (in Chinese).
- [4] 王章敬. 人工种植南方冬虫夏草的重金属元素分析 [J]. 微量元素与健康研究, 2008, 25(6): 36-37.
WANG Z J. Heavy metals analysis of artificial cultivation *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2008, 25(6): 36-37 (in Chinese).
- [5] 陈炜, 杜光, 郭霞. 冬虫夏草重金属化学形态的研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2015, 35(22): 2062-2064.
CHEN W, DU G, GUO X. Study on chemical speciation of heavy metals in *Cordyceps sinensis* [J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2015, 35(22): 2062-2064 (in Chinese).
- [6] 靳然, 于密密, 赵百孝, 等. 电感耦合离子质谱测定不同产地艾叶的微量元素研究 [J]. 环球中医药, 2011, 4(6): 420-422.
JIN R, YU M M, ZHAO B X, et al. Determination of trace elements of *Artemisia argyi* from different origin by ICP-MS [J]. Global Traditional Chinese Medicine, 2011, 4(6): 420-422 (in Chinese).
- [7] US EPA. Guidelines for performing aggregate exposure and risk assessments [S]. Washington DC: U. S. Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Programs, 1999b.
- [8] 姜阳, 朱美霖, 崔斌, 等. 中药三七中砷的健康风险评价//风险分析和危机反应的创新理论和方法论文集 [C]. 中国灾害防御协会风险分析专业委员会第五届年会, 南京, 2012.
JIANG Y, ZHU M L, CUI B, et al. Health risk assessment of arsenic in traditional Chinese herbal medicine Panax notoginseng//Innovation theory and method of risk analysis and crisis response [C]. The 5rd Annual Meeting of RAC. Nanjing, 2012 (in Chinese).
- [9] 中华老年心脑血管病杂志编辑部. 冬虫夏草国家级质量标准颁布 [J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2011, 13(6): 518.
Editorial board of Chinese Journal of Geriatric Heart Brain and Vessel Diseases, *Cordyceps sinensis* issued national quality standards [J]. Chinese Journal of Geriatric Heart Brain and Vessel Diseases, 2011, 13(6): 518 (in Chinese).
- [10] 周晓腾, 卢恒, 李耿, 等. 川产道地药材川芎重金属富集能力及健康风险评价 [J]. 环境化学, 2014, 33(4): 562-567.
ZHOU X T, LU H, LI G, et al. Enrichment ability and health risk assessment of heavy metals in *Ligusticum chuanxiong Hort* originated from Sichuan Province in China [J]. Environmental Chemistry, 2014, 33(4): 562-567 (in Chinese).
- [11] US EPA. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment [S]. NCEA-F-0644, Review Draft. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, *Risk Assessment Forum*, 1999a.
- [12] WHO. Human Exposure Assessment. Environmental Health Criteria Geneva [S]: WHO, 2000.
- [13] 利锋. 冬虫夏草会引起砷“中毒”吗? [J]. 抗癌之窗, 2016, 14(3): 54-58.
LI F. Arsenic poisoning in *Cordyceps sinensis*? [J]. Cancer Frontier, 2016, 14(3): 54-58 (in Chinese).