

党参中7种重金属及有害元素的污染评价

阳文武¹, 王巍², 万莉¹, 陈颖¹, 周浓^{3*}

(1. 重庆市万州食品药品检验所, 重庆 404000; 2. 重庆市涪陵食品药品检验所, 重庆 408000;
3. 重庆三峡学院生物与食品工程学院, 重庆 404120)

摘要: **目的** 测定党参中重金属及有害元素的残留量, 并进行污染评价。**方法** 采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)测定样品中铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铜(Cu)、锌(Zn)、铬(Cr)的含量, 采用单项指数法和内梅罗综合指数法评价其污染水平。**结果** 党参中7种重金属及有害元素的线性关系良好($r > 0.9991$), 回收率为83.2%~108.8%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为2.2%~4.9%。参考WM/T 2—2004《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》等相关限量的标准, 在党参中Cr、Zn、Cd是主要污染物, 7种重金属及有害元素的平均单项污染指数顺序为 $Cr > Zn > Cd > Hg > Cu > As > Pb$, 内梅罗综合污染等级为重度污染。**结论** 该方法快速准确、灵敏度高、重复性好, 可用于党参重金属及有害元素含量测定; 党参中Cr、Zn、Cd的污染较严重; 该实验可为党参重金属及有害元素限量标准的制订提供数据支撑。

关键词: 党参; 重金属及有害元素; 电感耦合等离子体质谱法; 单项指数法; 内梅罗综合指数法

Pollution assessment of 7 kinds of heavy metals and harmful elements in *Codonopsis pilosula*

YANG Wen-Wu¹, WANG Wei², WAN Li¹, CHEN Ying¹, ZHOU Nong^{3*}

(1. Wanzhou Institute for Food and Drug Control, Chongqing 404000, China; 2. Fuling Institute for Food and Drug Control, Chongqing 408000, China; 3. Chongqing Three Gorges University, College of Food and Biology Engineering, Chongqing 404120, China)

ABSTRACT: Objective To determine the residual amount of heavy metals and harmful elements in *Codonopsis pilosula*, and conduct pollution assessment. **Methods** Microwave digestion combined with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was used for the content determination of Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn and Cr. The single factor index and Nemerow exponent method were used to evaluate the pollution level. **Results** The linear relationships of 7 kinds of heavy metals and harmful elements in *Codonopsis pilosula* were good ($r > 0.9991$). The recoveries were 83.2%~108.8%, and the relative standard deviations (RSD) were 2.2%~4.9%. Refer to the WM/T 2—2004 *Green industry standard for the import and export of medicinal plants and preparations* and other relevant limits standards, Cr, Zn, and Cd were the main pollutants in *Codonopsis pilosula*. The average single item pollution index of 7 kinds of heavy metals and harmful elements was $Cr > Zn > Cd > Hg > Cu > As > Pb$, and the average Nemerow

基金项目: 重庆市药品监督管理局2020年风险监测任务项目

Fund: Supported by the Risk Monitoring Task of Chongqing Drug Administration in 2020

*通信作者: 周浓, 硕士, 教授, 主要研究方向为药用植物栽培、药食同源药用植物开发利用和中药品种品质评价。E-mail: erhaizn@126.com

*Corresponding author: ZHOU Nong, Master, Professor, Chongqing Three Gorges University, College of Food and Biology Engineering, No.16, Longxi Road, Wanzhou District, Chongqing 404120, China. E-mail: erhaizn@126.com

comprehensive pollution grade was heavy pollution. **Conclusion** This method is rapid, accurate, sensitive and reproducible, and can be used for the determination of heavy metals and harmful elements in *Codonopsis pilosula*. The pollution of Cr, Zn and Cd in *Codonopsis pilosula* is more serious. This experiment can provide data support for the establishment of limit standard of heavy metals and harmful elements in *Codonopsis pilosula*.

KEY WORDS: *Codonopsis pilosula*; heavy metals and harmful elements; inductively coupled plasma mass spectrometry; single factor index method; Nemer exponent method

0 引言

随着人们保健意识的增强,药膳已成为很多老百姓饮食生活中不可或缺的一部分,许多药食同源的中药材出现在大众的餐桌上,党参是其中的典型代表^[1-2]。党参是《中国药典》记载的品种,来源为桔梗科党参、素花党参或川党参的干燥根^[3],有补中益气、止咳、健脾益肺等功能,还有增强免疫力^[4-5]、抗凝血、调节血压血糖和血脂^[6]、抗肿瘤^[7]、保肝等作用^[8],此外对化疗放疗引起的白细胞下降有提升作用^[8]。党参既是大宗常用中药材,又是深受欢迎的食材,关于党参的文献资料大部分为药效成分^[9-10]、药理毒理作用的研究^[10-13],对其重金属污染引起的危害报道较少。当前,重金属及有害元素等在土壤^[14-15]、食品药品中超标问题依旧严峻^[16-17]。重金属及有害元素超标不仅危害人体健康^[18],同时损害药食两用食材的声誉,严重制约了相关产业的健康发展。为此,本研究采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)测定 19 批党参中的 7 种重金属及有害元素含量,并采用单项指数法和内梅罗综合指数法评价其污染情况,旨在为党参的质量安全和限量标准的制定提供数据支撑和依据。

1 材料与方 法

1.1 仪器、试剂与材料

ICAP-Q 型电感耦合等离子体质谱仪(赛默飞世尔科技公司); Multiwave PRO 型微波消解仪(奥地利安东帕公司); QUINTIX224-1CN 型万分之一电子天平(瑞士赛多利斯公司); SCI 20 D 型超纯水仪(重庆科润水处理公司); DHJ-9245A 型干燥箱(上海一恒仪器公司)。

Pb、Cd、Hg、As、Cu、Cr、Zn、In、Ge、Bi、Au 各单元素标准溶液(1 mg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 硝酸(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

党参样品收集自四川、重庆、甘肃等地,编号为 YP1~YP19,具体信息分别为四川同创康能药业有限公司 200602、重庆康嘉药业有限公司 200701、重庆同和春药业有限责任公司 200601、甘肃九州天润中药产业有限公司 G02200106、重庆众妙药业有限公司 200101、重

庆众妙药业有限公司 200501、重庆万力药业有限公司 200201、重庆万力药业有限公司 200101、重庆城口、重庆康嘉药业有限公司 191101、四川同创康能药业有限公司 200602、重庆市神女药业股份有限公司 2010001、四川景程中药饮片有限责任公司 190601、成都仁济宏药业有限公司 200801、四川云毫堂药业有限公司 190401、重庆融康堂药业有限公司 200801、重庆玖坊农业科技有限公司、重庆玖坊农业科技有限公司、重庆市康万佳中药饮片有限公司 190801,均由重庆市万州食品药品检验所张德伟副主任中药师鉴定为党参[*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf.]的干燥根,样品清洗干净后,60 °C 烘干,粉碎成粗粉,备用。

1.2 实验方法

1.2.1 仪器条件

功率 1550 W, 模拟电压-1775 V, 进样泵转速 40 r/min, 冷却气流量 14 L/min, 雾化气流量 1.07 mL/min, 采样深度 5 mm, 连续采样次数 3 次, 跳峰采集模式。样品检测时铜、砷、铬和锌采用 ⁷²Ge 为内标, 镉采用 ¹¹⁵In 为内标, 汞、铅采用 ²⁰⁹Bi 为内标。

1.2.2 标准溶液的制备

取各单标元素标准溶液适量,用百分之十的硝酸溶液稀释,配制成以下 7 种相应元素质量浓度的混合系列标准溶液: Pb、Cd、As、Cr: 1.0、5.0、10.0、20.0、40.0 ng/mL; Cu、Zn: 10.0、100.0、200.0、400.0、500.0 ng/mL; Hg: 0.2、0.5、1.0、1.5、2.0 ng/mL。

1.2.3 内标溶液的制备

精密量取 Ge、In、Bi 标准溶液各 25 μL 于同一 50 mL 量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀,即得。

1.2.4 供试品溶液的制备

称取党参样品约 0.5 g,精密称定,置微波消解罐内,加硝酸 5 mL,摇匀,密闭,置微波消解炉中消解,消解程序见表 1。消解完全后,消解液冷却至 60 °C 以下,取出消解罐,放冷,将消解液转入 50 mL 刻度试管中,用少量水洗涤消解罐 3 次,洗液合并入试管中,精密加入质量浓度为 1.0 mg/L 的金元素溶液 0.2 mL,加水至刻度,振摇,即得。除不加金单元素标准溶液外,于同法制备试剂空白溶液。

表1 微波消解程序
Table 1 Digestion procedure of microwave

时间/min	状态	温度/°C
1~15	温度爬坡	室温~120
15~20	温度保持	120
20~27	温度爬坡	120~150
27~34	温度保持	150
34~41	温度爬坡	150~190
41~56	温度保持	190
56~90	冷却	190~室温

表2 7种元素线性关系、检测限和加标回收率
Table 2 Linear relationships, detection limits and sample recoveries of 7 kinds of elements

元素	回归方程	线性范围/(ng/mL)	相关系数(<i>r</i>)	检测限/(ng/mL)	平均回收率/%	RSD/%
Pb	$Y=72452.7X+49967.8$	1.0~40.0	0.9997	0.012	90.2	2.9
Cd	$Y=5345.3X+38.4$	1.0~40.0	1.0000	0.006	89.6	2.8
As	$Y=1312.2X+233.4$	1.0~40.0	1.0000	0.009	83.2	3.5
Cr	$Y=12295.4X+7342.4$	1.0~40.0	0.9999	0.006	86.3	3.1
Hg	$Y=1636.4X+46.5$	0.2~2.0	0.9991	0.003	108.8	4.9
Cu	$Y=10849.3X+4264.6$	10.0~500.0	0.9996	0.036	95.9	2.3
Zn	$Y=2108.6X+38376.1$	10.0~500.0	1.0000	0.018	94.2	2.2

2.1.2 精密度与重复性

取 10.0 ng/mL Pb、Cd、As、Cr, 1.0 ng/mL Hg, 200 ng/mL Cu、Zn 混合标准溶液连续测定 6 次, Pb、Cd、As、Cr、Hg、Cu、Zn 浓度测定值的 RSD 分别为 1.4%、1.9%、1.5%、1.8%、2.7%、1.1%、1.0%, 表明仪器精密度良好。取同一党参样品, 精密称取 6 份, 按 1.2 方法制备供试品溶液, 分别测定, 得 Pb、Cd、As、Cr、Hg、Cu、Zn 7 种元素含量的 RSD 依次为 2.5%、2.7%、2.6%、2.9%、3.9%、1.8%、2.0%, 说明重复性良好。

2.2 实际样品测定

分别称取 19 批党参样品约 0.5 g, 采用上述方法测定其 7 种重金属及有害元素含量, 平行 3 次, 各元素含量如表 3 所示。由表 3 可知, 党参中 Pb 含量为 0.045~1.763 mg/kg、Cd 含量为 0.018~0.916 mg/kg、As 含量为 0.062~1.123 mg/kg、Hg 含量为 0.012~0.626 mg/kg、Cu 含量为 4.326~9.117 mg/kg、Zn 含量为 14.216~77.451 mg/kg、Cr 含量为 1.145~7.282 mg/kg, 以我国 WM/T 2—2004《药用

2 结果与分析

2.1 方法学考察

2.1.1 标准曲线、检测限和准确度

取制备好的混合标准溶液和空白溶液, 以测量值(3 次读数的平均值)为纵坐标(*Y*), 浓度为横坐标(*X*, ng/mL), 绘制线性标准曲线, 得到 7 种元素的线性方程, 相关系数为 0.9991~1.0000。另取空白溶液连续进样 11 次, 以 3 倍标准偏差所对应的待测元素浓度作为检测限。取同一党参 6 份, 称取约 0.3 g, 分别加入标准溶液适量, 测定加标样品中 7 种元素含量, 分别计算其回收率, 7 种重金属的回收率范围为 83.2%~108.8%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)范围为 2.2%~4.9%, 表明方法准确度良好。线性关系、检测限和加标回收率结果见表 2。

植物及制剂进出口绿色行业标准》(Pb≤5 mg/kg、Cd≤0.3 mg/kg、As≤2 mg/kg、Hg≤0.2 mg/kg、Cu≤20 mg/kg)、GB 14963—2011《食品安全国家标准 蜂蜜》(Zn≤25 mg/kg) 和美国《NSF international Draft Standard (Draft Standard NSF 173—2001)》(Cr≤0.2 mg/kg)等标准对 7 种重金属及有害元素规定最大限量值为参考时, Cr、Zn、Cd、Hg 含量超出限值的批次分别为 19、9、5、1 批, 超标率分别为 100%、47.4%、26.3%、5.3%, 所有样品的 Pb、As、Cu 含量均未超标, Cr 含量最高的是 YP10, 为 7.282 mg/kg, 是限量值的 36 倍。

2.3 污染评价

采用单项污染指数法及内梅罗综合污染指数法, 分析党参中重金属及有害元素的污染情况^[19]。单项污染指数法用来反映某一元素污染情况。 $P = C/S$, *P* 为某一元素污染指数, *C* 为某一元素的测定结果, *S* 为某一元素的最大限量标准值。以 *P* 值大小来分级, $P \leq 0.7$ 表明非污染、 $0.7 < P \leq 1$ 表明尚未污染、 $P > 1$ 表明受到污染。一般来讲, 重金

属及有害元素对某一食物的污染是一个繁杂的系统, 单项污染指数无法整体评估党参的污染情况。内梅罗综合污染指数可用来评估 7 种元素对党参的综合影响, 公式为 $P_{\text{综合}} = \sqrt{\frac{P_{\text{max}}^2 + P_{\text{ave}}^2}{2}}$, $P_{\text{综合}}$ 为综合污染指数, P_{max} 为各单项污染指数中的最大值, P_{ave} 为所有单项污染指数的平均值。根据 $P_{\text{综合}}$ 值划分成 5 个等级, 即 $P_{\text{综合}} \leq 0.7$ 为安全级、 $0.7 < P_{\text{综合}} \leq 1$ 为警戒级、 $1 < P_{\text{综合}} \leq 2$ 为轻度污染、 $2 < P_{\text{综合}} \leq 3$ 为中度污染、 $P_{\text{综合}} > 3$ 为重度污染。单项污染指数法及内梅罗综合污染指数法的分析结果见表 4。

由表 4 可知, 在党参样品中 Pb、Cd、As、Hg、Cu、Zn、Cr 的单项污染指数均值分别为 0.118、0.679、0.157、0.459、0.294、1.160、19.120, 表明 Pb、Cd、As、Hg、

Cu 等 5 种元素的污染程度表现为非污染, 而 Zn 和 Cr 则为受到污染; 综合污染指数为 4.112~26.039, 均大于 3, 污染等级均为重度污染。总的来看, 党参污染等级均为重度污染; 党参中 7 种重金属及有害元素的平均单项污染指数顺序为 $\text{Cr} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Hg} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Pb}$; 其中, Cr 是主要的污染物, 而 Cr 是一种毒性很大的重金属, 容易进入人体细胞, 对肝、肾等内脏器官和 DNA 造成损伤, 在人体内蓄积具有致癌性并可能诱发基因突变^[20]; 其次是 Zn, 虽然 Zn 是人体必需的微量元素之一, 适量的 Zn 有益于大脑正常功能发挥, 但如果食入过量的 Zn, 将会造成 Zn 中毒, 会引起顽固性贫血, 食欲下降, 并有血清脂肪酸及淀粉酶增高等不良反应。因此, 应加强对 Cr、Zn 元素的控制。

表 3 7 种元素含量测定结果($n=3$, mg/kg)
Table 3 Content determination results of 7 kinds of elements ($n=3$, mg/kg)

编号	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn	Cr
YP1	0.391	0.032	0.322	0.032	5.732	36.824	5.232
YP2	0.111	0.021	0.122	0.012	6.644	18.929	1.328
YP3	0.242	0.033	0.231	0.018	6.612	21.927	1.355
YP4	0.593	0.045	0.092	0.626	5.417	17.108	5.362
YP5	0.371	0.018	0.326	0.155	5.216	28.442	5.533
YP6	0.318	0.019	0.277	0.053	5.946	44.661	3.360
YP7	0.072	0.019	0.108	0.014	5.082	24.474	1.145
YP8	0.045	0.662	0.182	0.042	4.692	18.563	1.367
YP9	0.827	0.221	0.409	0.028	4.351	14.216	6.869
YP10	0.658	0.023	0.345	0.021	6.514	33.447	7.282
YP11	0.378	0.027	0.293	0.019	6.273	19.042	3.343
YP12	0.731	0.426	0.216	0.033	4.326	20.838	2.026
YP13	0.662	0.044	0.547	0.026	9.117	77.451	5.593
YP14	0.192	0.025	0.191	0.041	6.988	32.382	2.507
YP15	0.419	0.046	0.352	0.045	5.779	52.038	3.851
YP16	1.155	0.182	1.123	0.081	6.742	19.215	6.455
YP17	1.172	0.588	0.515	0.046	5.883	21.116	4.859
YP18	1.763	0.916	0.062	0.182	5.134	25.221	2.632
YP19	1.108	0.523	0.065	0.180	5.114	25.192	2.563
平均	0.590	0.204	0.304	0.087	5.872	29.005	3.824

表 4 7 种元素风险评估结果
Table 4 Risk assessment results of 7 kinds of elements

编号	P_{Pb}	P_{Cd}	P_{As}	P_{Hg}	P_{Cu}	P_{Zn}	P_{Cr}	$P_{综合}$	污染等级
YP1	0.078	0.107	0.161	0.160	0.287	1.473	26.160	18.719	重度污染
YP2	0.022	0.070	0.061	0.060	0.332	0.757	6.640	4.763	重度污染
YP3	0.048	0.110	0.116	0.090	0.331	0.877	6.775	4.864	重度污染
YP4	0.119	0.150	0.046	3.130	0.271	0.684	26.810	19.218	重度污染
YP5	0.074	0.060	0.163	0.775	0.261	1.138	27.665	19.798	重度污染
YP6	0.064	0.063	0.139	0.265	0.297	1.786	16.800	12.040	重度污染
YP7	0.014	0.063	0.054	0.070	0.254	0.978	5.725	4.112	重度污染
YP8	0.009	2.207	0.091	0.210	0.235	0.743	6.835	4.945	重度污染
YP9	0.165	0.737	0.204	0.140	0.218	0.569	34.345	24.562	重度污染
YP10	0.132	0.077	0.172	0.105	0.326	1.339	36.410	26.039	重度污染
YP11	0.076	0.090	0.146	0.095	0.314	0.762	16.715	11.961	重度污染
YP12	0.146	1.420	0.208	0.165	0.216	0.834	10.130	7.285	重度污染
YP13	0.132	0.147	0.274	0.130	0.456	3.098	27.965	20.040	重度污染
YP14	0.038	0.083	0.096	0.201	0.349	1.295	12.535	8.985	重度污染
YP15	0.084	0.153	0.176	0.225	0.289	2.082	19.255	13.800	重度污染
YP16	0.231	0.607	0.562	0.405	0.337	0.769	32.275	23.097	重度污染
YP17	0.234	1.960	0.258	0.230	0.294	0.845	24.295	17.412	重度污染
YP18	0.353	3.053	0.031	0.910	0.257	1.009	13.160	9.497	重度污染
YP19	0.222	1.743	0.032	0.900	0.256	1.008	12.815	9.222	重度污染
平均	0.118	0.679	0.157	0.459	0.294	1.160	19.120	13.701	重度污染

3 结论与讨论

由测定结果可知,在相关标准限量值下,本研究的党参样品没有受到 Pb、As 和 Cu 3 种元素的污染,但 Cr、Zn、Cd、Hg 存在超标问题,尤其是 Cr,超标率为 100%,且最高含量是相关限量值的 36 倍,这与孙丹丹等^[1]的研究结论一致(其测定的 26 批党参中,20 批 Cr 超标,超标率 77%,2 批 Hg 超标,未测定 Zn,其余均符合相关规定),引起 Cr 超标的原因可能是土壤中含 Cr 量较高,也可能是党参对 Cr 有富集性,需要更进一步的研究;19 批样品均为重度污染。此外,以往药食两用食材重金属污染多以《中国药典》等相关标准中规定的 5 种元素为主,即使它们危害性更大,也不能轻视对其他元素的关注,特别是 Cr。本研究采用的微波消解-ICP-MS 方法,操作简便、准确度高、灵敏度高,可用于党参中 7 种重金属及有害元素的含量测定。本研究可为党参重金属及有害元素限量标准的制定提供基础数据,从而更好地保证党参的安全性和可控性。

参考文献

- [1] 孔丹丹,李敬悦,闫卉欣,等.药食两用植物药中重金属污染及其健康风险评估模型的建立—以黄芪、党参、昆布为例[J].中国中药杂志,

2019, 44(23): 5042-5050.

- KONG DD, LI XY, YAN HX, *et al.* Establishment of health risk assessment model for assessing medicinal and edible plants contaminated by heavy metals—take *Astragalus radix*, *Codonopsis pilosula* and *Laminariae Thallus* as examples [J]. *Chin J Chin Mater Med*, 2019, 44(23): 5042-5050.
- [2] 国家卫生健康委.关于对党参等 9 种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知(国卫食品函[2019]311 号)[EB/OL]. [2019-11-25].
<http://www.nhc.gov.cn/sps/s7885/202001/1ec2cca04146450d9b14acc2499d854f.shtmL> [2020-01-06].
National Health Commission. Notice on the pilot work of material management of 9 kinds of *Codonopsis pilosula* and other substances, which are both food and traditional Chinese medicine according to tradition (China National Health Food Letter [2019] No. 311) [EB/OL]. [2019-11-25].
<http://www.nhc.gov.cn/sps/s7885/202001/1ec2cca04146450d9b14acc2499d854f.shtmL> [2020-01-06].
- [3] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[M].北京:中国医药科技出版社,2015.
National Pharmacopoeia Commission. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China* [M]. Beijing: China Pharmaceutical Technology Press, 2015.

- [4] 曹发昊, 王艳萍. 党参总皂苷纳米乳对小鼠免疫功能的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2019, 47(5): 125–131.
CAO FH, WANG YP. Effect of total saponins of *Codonopsis pilosula* nanoemulsion on immunologic function of mice [J]. J Northwest A F Univ (Nat Sic Ed), 2019, 47(5): 125–131.
- [5] ZHANG P, HU LH, BAI RB, *et al.* Structural characterization of a pectic polysaccharide from *Codonopsis pilosula* and its immunomodulatory activities *in vivo* and *in vitro* [J]. Int J Biol Macromol, 2017, 104: 1359–1369.
- [6] 李浅予, 汤岐梅, 侯雅竹, 等. 中药党参的心血管药理研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2019, 17(17): 2604–2606.
LI QY, TANG QM, HOU YZ, *et al.* Research progress on cardiovascular pharmacology of *Codonopsis pilosula* [J]. Chin J Int Med Cardio-Cerebrovasc Dis, 2019, 17(17): 2604–2606.
- [7] 陈嘉屿, 胡林海, 吴红梅, 等. 党参多糖对荷瘤小鼠免疫应答及抑瘤作用研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2015, 22(17): 1357–1362.
CHEN JY, HU LH, WU HM, *et al.* Effect of wen *Codonopsis pilosula* and baitiao codonopsis pilosula-polysaccharide on the S180 tumor and the blood cytokines in mice [J]. Chin J Cancer Prev Treat, 2015, 22(17): 1357–1362.
- [8] LIU C, CHEN J, LI E, *et al.* The comparison of antioxidative and hepatoprotective activities of *Codonopsis pilosula* polysaccharide (CP) and sulfated CP [J]. Int Immunopharmacol, 2015, 24(2): 299–305.
- [9] 王晓霞, 庄鹏宇, 陈金铭, 等. 党参化学成分的研究[J]. 中草药, 2017, 48(9): 1719–1723.
WANG XX, ZHUANG PY, CHEN JM, *et al.* Study on the chemical constituents of *Codonopsis pilosula* [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2017, 48(9): 1719–1723.
- [10] 谢琦, 程雪梅, 胡芳弟, 等. 党参化学成分、药理作用及质量控制研究进展[J]. 上海中医药杂志, 2020, 54(8): 94–104.
XIE Q, CHENG XM, HU FD, *et al.* Research advance on chemical constituents, pharmacological action and quality control of *Codonopsis pilosula* [J]. Shanghai J Tradit Chin Med, 2020, 54(8): 94–104.
- [11] FU YP, FENG B, ZHU ZK, *et al.* The polysaccharides from *Codonopsis pilosula* modulates the immunity and intestinal microbiota of cyclophosphamide-treated immunosuppressed mice [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1801.
- [12] TSAI KH, LEE NH, CHEN GY, *et al.* Dung-shen (*Codonopsis pilosula*) attenuated the cardiac-impaired insulin-like growth factor II receptor pathway on myocardial cells [J]. Food Chem, 2013, 138(2-3): 1856–1867.
- [13] ZHANG Q, XIA Y, LUO H, *et al.* *Codonopsis pilosula* polysaccharide attenuates tau hyperphosphorylation and cognitive impairments in htau infected mice [J/OL]. Front Mol Neurosci, 2018 [2019-11-27]. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2018.00437>
- [14] 向娇, 董秋瑶, 宋超. 土壤重金属铬的分布规律及影响因素[J]. 世界有色金属, 2020, 11(22): 138–139.
XIANG J, DONG QY, SONG C. The distribution law and influence factors of heavy metal chromium in soil [J]. World Nonferr Metal, 2020, 11(22): 138–139.
- [15] 纪文贵, 王珂, 蒙建波, 等. 中国土壤重金属污染状况及其风险评价[J]. 农业研究与应用, 2020, 33(5): 22–28.
JI WG, WANG K, MENG JB, *et al.* Distribution characteristics and risk assessment of soil heavy metal pollution in China [J]. Agric Res Appl, 2020, 33(5): 22–28.
- [16] 于丽, 顾俊杰, 张宁, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定芦荟、人参、五味子、龙胆草中 5 种重金属含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(16): 5751–5754.
YU L, GU YJ, ZHANG N, *et al.* Determination of 5 kinds of heavy metals in aloe, ginseng, *Schisandra chinensis* and gentian by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(16): 5751–5754.
- [17] 毛滕宵, 程龙, 袁涛, 等. 7 种即食中药中 5 种重金属的健康风险评估[J]. 中成药, 2020, 42(12): 3265–3269.
MAO TX, CHENG L, YUAN T, *et al.* Health risk assessment of 5 heavy metals in 7 ready-to-eat traditional Chinese medicines [J]. Chin Tradit Patent Med, 2020, 42(12): 3265–3269.
- [18] 张亚红, 朱慧丽, 田永昌, 等. 黄芪原药材及饮片 7 种金属含量分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(3): 777–782.
ZHANG YH, ZHU HL, TIAN YC, *et al.* Analysis of the contents of 7 metals in the original medicinal materials and decoction pieces of *Astragalus membranaceus* [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(3): 777–782.
- [19] 卿艳, 赵春艳, 张思荻, 等. 鱼腥草药材及饮片重金属及有害元素的污染评价[J]. 华西药学杂志, 2020, 25(6): 677–682.
QING Y, ZHAO CY, ZHANG SD, *et al.* Pollution assessment of heavy metals and hazardous elements in houttuynia herba [J]. West Chin J Pharm Sci, 2020, 25(6): 677–682.
- [20] 祝银, 朱剑, 李子孟, 等. 浙江省主要海产品中铬元素含量分布及风险分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(17): 5773–5778.
ZHU Y, ZHU J, LI ZM, *et al.* Distribution and risk analysis of chromium content in main seafood products of Zhejiang province [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(17): 5773–5778.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



阳文武, 硕士, 主管中药师, 主要研究方向为食品药品检测与质量控制。
E-mail: oyww2008@163.com



周浓, 硕士, 教授, 主要研究方向为药用植物栽培、药食同源药用植物开发利用和中药品种品质评价。
E-mail: erhaizn@126.com