

## 中药三七中 5 种微量元素的含量及健康风险

曾宪彩<sup>1,2</sup>, 晁思宏<sup>1,2</sup>, 朱美霖<sup>1,3</sup>, 范晓婷<sup>1,2</sup>, 蒋艳雪<sup>1,2</sup>, 曹红斌<sup>1,2\*</sup> (1. 中药资源保护与利用北京市重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学资源学院资源生态与中药资源研究所, 北京 100875; 3. 宁夏医科大学基础医学院, 宁夏 银川 750004)

**摘要:** 为了解三七中 Fe、Mn、Al、Zn、Se 人体微量元素的含量, 并客观评价这 5 种微量元素对长期服用三七药品的患者的健康风险, 在三七的产区及周边市县进行采样, 采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)对三七中这 5 种微量元素的含量进行测定, 并采用点推定和概率推定对各元素的非致癌风险危害商值(HQ)值进行评估, 结果发现三七中 5 种微量元素的平均含量分别为 1375.84, 108.31, 1213.62, 0.16, 21.99mg/kg, 表现出 Al>Fe>Mn>Zn>Se 的高低顺序, HQ 值大小顺序为 Fe>Al>Mn>Zn>Se. HQ 值均小于 1, 提示针对各元素, 一般消费者不存在非致癌健康风险. 然而, Fe, Al, Mn 的日摄入量分别为 0.09573, 0.10759, 0.00832mg/(kg·d), 超出了来源于药物的微量元素的经口允许摄入量, 应该加以控制. 对危害指数(HI)的概率推定结果显示, 5.19%的三七服用者对这 5 种微量元素的暴露具有非致癌健康风险.

**关键词:** 三七; 微量元素; 健康风险; 蒙特卡洛技术

**中图分类号:** X503.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6923(2016)01-0293-06

**The contents of five trace elements in *Panaxnotoginseng* and the associated health risk.** ZENG Xian-cai<sup>1,2</sup>, CHAO Si-hong<sup>1,2</sup>, ZHU Mei-lin<sup>1,3</sup>, FAN Xiao-ting<sup>1,2</sup>, JIANG Yan-xue<sup>1,2</sup>, CAO Hong-bin<sup>1,2\*</sup> (1. Beijing Key Laboratory of Protection and Application of Chinese Medicinal Resources, Beijing 100875, China; 2. Institute of Resource Ecology and Traditional Chinese Medicine Resources, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Clinical Medicine School of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China). *China Environmental Science*, 2016,36(1): 293~298

**Abstract:** In order to investigate the contents of Fe, Mn, Al, Zn, Se in *Panaxnotoginseng* (Sanchi) and evaluate the health risk of these elements for long-term consumers of Sanchi preparations, samples of Sanchi roots were collected in traditional production region and the surrounding areas. The contents of the five trace elements in Sanchi were analyzed by ICP-MS and the non-carcinogenic health risk was evaluated by deterministic estimation and probabilistic estimation. The results show that the average contents of the five trace elements in Sanchi are 1375.84, 108.31, 1213.62, 0.16, 21.99mg/kg, decreased in the order: Al>Fe>Mn>Zn>Se and the order of the hazardous quotient (HQ) values is Fe>Al>Mn>Zn>Se. The HQ values are all below 1, implying no non-carcinogenic health risk of individual element for general consumers. However, daily intakes of Fe, Al and Mn are 0.09573, 0.10759, 0.00832mg/(kg·d), which are beyond the corresponding limits for tolerable oral intake from medicinal plants and should be controlled. Probabilistic distribution of hazardous index (HI) values of 5 trace elements due to consumption of Sanchi preparation shows that 5.19% of the consumers have non-carcinogenic health risk.

**Key words:** *Panaxnotoginseng*; trace elements; health risk; Monte-Carlo technique

中药三七是五加科植物三七 [*Panaxnotoginseng* (Burk.) F.H.Chen] 的干燥根和根茎, 是我国传统名贵中药材, 具有“止血化瘀, 消肿止痛”的功效<sup>[1]</sup>. 《本草纲目拾遗》称其“人参补气第一, 三七补血第一”. 云南白药、漳州片仔癀、血塞通系列、复方丹参片(滴丸)、东北红药等均以三七为主原料. 三七对生长环境要求极为苛刻, 主要分布在北纬 23.5°附近的云南省文山州境内, 由于连作

障碍等问题目前种植范围向文山州周边扩张. 云南省矿产资源丰富, 富含锡、铜、砷、镉等矿产, 文山州及周边地区的矿区环境, 导致了三七种植区土壤环境的镉、铜、锌、锰等重金属元素含量偏高. 另外, 由于三七种植区的土壤为酸性红壤,

收稿日期: 2015-05-30

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(105564)

\* 责任作者, 教授, caohongbin@bnu.edu.cn

铁、铝等金属元素含量背景值也偏高.环境中的这些金属元素通过三七的种植而在三七各部位富集,进而会通过三七药材的服用进入人体.

铁、锰、锌、硒等是人体必需的微量元素<sup>[2-3]</sup>,但如果摄入量过多,不但对人体健康无益,反而会产生毒害作用.铁摄入量过多会引起血色病、肝功能异常、心肌损伤、糖尿病以及骨质疏松<sup>[4]</sup>;锌摄入量过多会引起铁流失,造成缺铁性贫血;过多的锰会造成行动失调、神经质、易激动等症状<sup>[5]</sup>;摄入过多的硒会造成硒中毒,损害肝脏和骨髓功能<sup>[6]</sup>.铝不是人体的必需微量元素,并且铝摄入量过多会导致神经系统紊乱,引起老年痴呆,还会引起体内钙含量变化,导致骨生成抑制,引发骨

软化症<sup>[7-8]</sup>.

目前,多数学者对三七的研究主要集中在三七药材的砷、镉、铅、铜等重金属(或类金属)的富集及健康风险评价方面<sup>[9-12]</sup>,三七中其它微量元素含量情况及其风险评价方面的研究比较缺乏.本文主要在三七产区文山州及其周边州市 19 个采样点进行大范围采样,采用电感耦合等离子体-质谱联用(ICP-MS)技术检测了三七根部铁、锰、锌、硒、铝 5 种人体微量元素的含量,了解不同种植区三七中微量元素的分布状况,并对这 5 种微量元素对人体的健康风险进行评估,以期客观了解服用中药三七对人体的健康风险以及指导合理用药,保障药物安全提供理论支持.

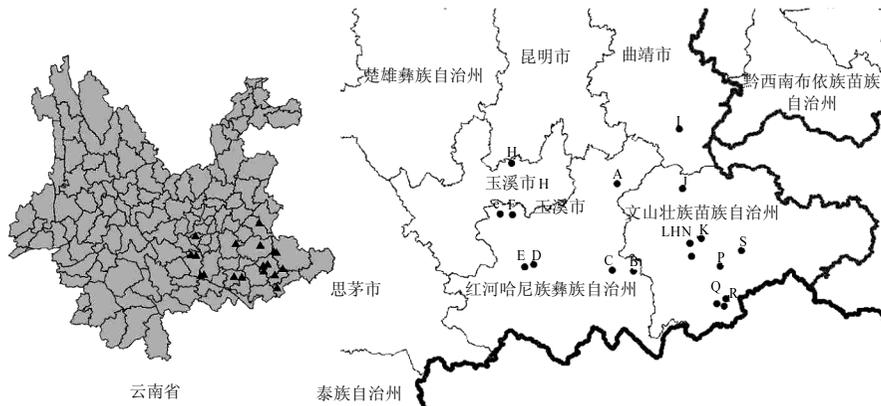


图1 云南省文山州及周边三七主产区采样点

Fig.1 Sampling sites in main Sanchi planting area in Yunnan Province

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与前处理

样品采集时间为 2011 年 10 月三七成熟期,在云南省文山州的 8 个县以及外延种植区红河州的 4 个市县、玉溪市和曲靖市,选取 19 个采样点(图 1),每个采样点采集 4-5 棵三年生三七植株,共 89 个样品,采样点用 GPS 精准定位.样品采集后尽快带回实验室,用自来水冲洗根部泥土及整个植株,随后用超纯水冲洗,用陶瓷刀将三七植株的根部切下,放入烘箱,105℃ 杀青,并在 60℃ 下烘干至恒重.干燥的三七根用高速旋转研磨仪(ZM

200Pulverisette-14Fritsch,德国福里茨公司)研磨粉碎成粒径小于 0.5mm 的粉末,放入聚乙烯自封袋中,4℃ 保存,待测.

### 1.2 三七中微量元素含量分析方法

精确称取三七粉 0.5000g,放入聚四氟乙烯消解罐中,加入 8mL 硝酸,加盖冷消解过夜,然后微波消解.自然冷却后,取出消解罐,将消解液转入 50mL 容量瓶,并加入超纯水定容至刻度线,摇匀,待测.同时,做空白对照.采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)(7500a,Aglient)测定消解液中 Al、Fe、Mn、Zn、Se 的含量,以国家化学标准样黄芩(GBW10028)内插进行三七样品分析的质量控制.

表 1 不同种植区三七中 5 种微量元素的含量(平均值±标准偏差, mg/kg)

Table 1 The contents of 5 trace elements in Sanchi in different plantations (Mean±SD, mg/kg)

编号	地区	采样点	样本数	Al	Mn	Fe	Se	Zn
A		弥勒县东山乡	4	418.92±218.29	86.74±44.98	294.44±166.56	0.07±0.01	18.24±3.54
B		蒙自市老寨乡	5	694.42±165.24	97.95±28.83	383.79±136.51	0.08±0.01	15.78±3.72
C		蒙自市鸣鹭镇	5	222.48±92.73	62.04±20.65	119.79±46.28	0.08±0.02	14.10±3.17
D	红河州	建水县官厅镇	4	305.66±87.25	54.12±14.84	124.77±47.08	0.06±0	13.85±1.36
E		建水县青龙镇	5	564.48±159.89	31.28±13.66	368.98±160.62	0.07±0.01	12.05±0.68
F		石屏县哨冲乡	4	504.16±127.78	115.27±27.04	440.76±111.14	0.06±0.01	11.33±1.59
G		石屏县龙武镇	4	635.79±478.68	98.72±20.25	419.40±397.44	0.05±0.03	14.92±3.81
H	玉溪市	大石板村	5	693.92±402.14	97.20±41.09	416.18±287.6	0.05±0.03	17.40±1.94
I	曲靖市	罗平县中和村	5	1212.03±284.32	35.96±11.36	830.61±349.83	0.09±0.01	12.29±1.01
J		丘北县双龙营镇	5	1292.86±681.16	49.52±25.6	2208.16±786.52	0.20±0.04	26.66±5.2
K		砚山县干河乡	5	2669.77±944.10	58.99±18.42	2328.48±1166.55	0.22±0.05	22.99±5.38
L		砚山县江那镇	5	2563.07±1243.88	46.60±15.12	2039.79±1198.79	0.23±0.04	26.26±7.03
M		马关县马白镇	5	2035.50±216.10	67.34±21.29	2139.53±736.60	0.20±0.02	29.92±9.41
N		马关县仁和镇	5	2361.68±881.77	45.43±11.92	2814.54±1506.57	0.26±0.06	20.90±5.54
O	文山州	砚山县盘龙乡	4	2007.95±1426.65	38.41±25.69	1384.20±1094.54	0.19±0.06	20.72±5.62
P		西畴县西畴镇	5	4655.89±3580.81	197.51±122.62	3242.60±1190.22	0.35±0.13	29.47±11.05
Q		麻栗坡县麻栗坡镇	5	931.24±718.14	66.14±26.44	1539.19±1635.3	0.21±0.04	39.11±34.90
R		广南县珠琳镇	5	1255.70±867.10	628.54±307.03	1196.02±1033.53	0.23±0.09	28.79±5.15
S		文山县德厚镇	4	1115.53±789.43	180.20±59.68	767.51±724.26	0.19±0.02	43.07±23.35
		平均含量		1375.84±1111.78	108.31±133.92	1213.62±983.92	0.16±0.09	21.99±9.14

### 1.3 三七中微量元素的健康风险评价

健康风险评价主要采用两种方式:点推定和概率推定.点推定中各变量均采用几何平均值来计算.概率推定是采用 Crystal Ball 软件通过蒙特卡洛抽样完成.首先,对暴露因子的分布进行拟合,并通过 A-D 检验, $\chi^2$  检验和 K-S 检验联合的方式判定最优拟合分布.然后采用蒙特卡洛抽样的方式(10000 次迭代次数)预测暴露分布.

本文评价的 5 种微量元素主要具有非致癌毒性.借鉴美国国家环保署<sup>[13]</sup>(US EPA)创建的非致癌风险评价方法,运用危害商值(HQ)和危害指数(HI)评价长期服用三七制剂或含三七的成方制剂,所含这 5 种微量元素造成的健康风险,公式如下:

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (1)$$

$$ADD = \frac{C_i \times IR}{BW} \quad (2)$$

式中:ADD 是微量元素的日摄入量, mg/(kg·d); RfD 是微量元素的每日最大允许摄入量,

mg/(kg·d),其值来源于 US EPA 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)以及中国营养学会编著的《中国居民膳食营养素参考摄入量》中营养元素的可耐受最高摄入量(ULs); $C_i$  是三七中各种微量元素的含量,mg/kg; IR 是长期服用三七药材患者的三七日摄入量,mg/(人·d);BW 是成年人的体重,取 60kg 计算.

人体摄入的食物中往往具有多种金属,造成的健康风险也是多种金属元素共同作用的结果,因此有学者提出了采用危害指数 HI 来综合评价多种金属对人体的健康风险,HI 等于危害商值(HQ)之和,当 HI>1 时,表明有潜在非致癌健康风险.公式如下:

$$HI = \sum HQ = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n \quad (3)$$

### 1.4 统计分析

分析结果采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理,使用 SPSS 17.0 进行数据的相关性分析及正态分布检验,显著性水平为  $P<0.05$ ,极显著为  $P<0.01$ .

## 2 结果

### 2.1 三七根中 Al、Mn、Fe、Se、Zn 含量

各个采样点三七中 Al、Mn、Fe、Se、Zn 的含量如表 1 所示.从测试结果来看,19 个采样点三七中 Al、Mn、Fe、Se、Zn 的平均含量分别为 1375.84、108.31、1213.62、0.16、21.99mg/kg.三七根中各微量元素的含量顺序为 Al>Fe>Mn>Zn>Se.文山州内 10 个采样点三七中 Al、Mn、Fe、Se、Zn 5 种微量元素平均含量分别为 2088.92、137.87、1966、0.23、28.79mg/kg,均高于文山州外其他采样点各元素的含量.

### 2.2 三七根中各微量元素之间的相关性

表 2 各微量元素之间的相关系数(n=19)

Table 2 Correlation coefficient of different trace elements (n=19)

微量元素	Al	Mn	Fe	Se	Zn
Al	1				
Mn	0.070	1			
Fe	0.898**	0.022	1		
Se	0.868**	0.275	0.919**	1	
Zn	0.398	0.304	0.504*	0.700**	1

注:双侧检验,\*表示显著(P<0.05),\*\*表示极显著(P<0.01)

三七根中各微量元素含量的相关系数如表 2 所示,通过相关性分析显示 Al 和 Fe,Fe 和 Se,Se 和 Al,Se 和 Zn 之间呈极显著正相关性,相关系数分别为 0.898,0.919,0.869,0.700.此外,Zn 和 Fe 之间也存在显著正相关,相关系数为 0.504.

### 2.3 健康风险评价

2.3.1 点推定结果 1989 年 FAO/WHO<sup>[14]</sup>规定的 Al 的可耐受一周摄取量(PTWI)为 7000μg/(kg·周),即 1mg/(kg·d),US EPA<sup>[15]</sup>规定的 Mn、Zn、Se 的 RfD 值分别为 0.14,0.3,5×10<sup>-3</sup>mg/(kg·d),中国营养学会编著的《中国居民膳食营养素参考摄入量》中 Fe<sup>[16]</sup>的 ULs 值为 0.67mg/(kg·d).通过收集《中国药典》2010 版、《云南药品标准》1996 年版中的以三七根为主药材的成方制剂和单味制剂 22 种,根据药方及用法,按照用量推算得到三七的平均日摄入量 IR 为 4.57g<sup>[11]</sup>.依据公式

(1)~(3)评估服用三七对人体的健康风险.三七中 5 种微量元素的 ADD、HQ、HI 值及各种微量元素在 HI 中的贡献率如表 3 所示.5 种微量元素的风险大小顺序依次为 Fe>Al>Mn>Zn>Se.

表 3 三七中 5 种微量元素的 ADD、HQ、HI 值及在 HI 中的贡献率

Table 3 ADD、HQ、HI values and contribution percentage for HI of 5 trace elements in Sanchi

微量元素	ADD[mg/(kg·d)]	HQ	HI	在 HI 中的贡献率(%)
Al	0.10759	0.108		31.28
Mn	0.00832	0.059		17.27
Fe	0.09573	0.144	0.318	41.72
Se	0.00001	0.002		0.69
Zn	0.00149	0.005		1.45

表 4 各暴露因子的最佳拟合分布

Table 4 Best-fit distributions of major exposure factors

暴露因子	分布	参数
三七中 Al 浓度 (mg/kg)	Lognormal	Location:0,mean:1421,SD:1367
三七中 Mn 浓度 (mg/kg)	Lognormal	Location:28.65,mean:109.95,SD:152.84
三七中 Fe 浓度 (mg/kg)	Lognormal	Location:0,mean:1358,SD:1846
三七中 Se 浓度 (mg/kg)	Lognormal	Location:0,mean:0.16,SD:0.11
三七中 Zn 浓度 (mg/kg)	Lognormal	Location:9.27,mean:22.7,SD:13.16
三七日摄入量 (g)	Beta	Location:0,mean:0.09,SD:10.33

2.3.2 概率推定结果 由于各暴露因子存在变异性和不确定性,需要使用 Crystal Ball 软件对 5 种微量元素的 HQ 值进行概率推定,三七中 5 种微量元素浓度及三七日摄入量的最佳拟合分布如表 4 所示,体重及 RfD 值设定为常数. HQ 的推定结果如表 5 所示,Al、Mn、Fe、Se 和 Zn 的 HQ 值的 90%分位点值分别为 2.73×10<sup>-1</sup>、1.39×10<sup>-1</sup>、4.04×10<sup>-1</sup>、5.7×10<sup>-3</sup> 和 1.31×10<sup>-2</sup>,均小于 1,表明这 5 种微量元素对 90%的三七服用者均没有非致癌健康风险.对 HI 的概率推定结果如图 2 所示,结果显示 5 种微量元素的 HI 分布的均值是 0.37,5.19%的三七服用者

对这 5 种元素的暴露的风险指数大于 1, 具有一定的非致癌健康风险。

表 5 三七中 5 种微量元素的 HQ 值概率推定结果

Table 5 Probabilistic estimator of HQ values of Fe、Al、Mn、Zn、Se in Sanchi

	分布	参数	10th	50th	90th
Al	Lognormal	Location:0Mean: $1.22 \times 10^{-1}$ SD: $1.67 \times 10^{-1}$	$1.71 \times 10^{-2}$	$7.24 \times 10^{-2}$	$2.73 \times 10^{-1}$
Mn	Lognormal	Location:0Mean: $6.34 \times 10^{-2}$ SD: $3.91 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$3.91 \times 10^{-2}$	$1.39 \times 10^{-1}$
Fe	Lognormal	Location:0Mean: $1.77 \times 10^{-1}$ SD: $3.26 \times 10^{-1}$	$1.64 \times 10^{-2}$	$8.43 \times 10^{-2}$	$4.04 \times 10^{-1}$
Se	Lognormal	Location:0Mean: $2.66 \times 10^{-3}$ SD: $2.9 \times 10^{-3}$	$4.82 \times 10^{-4}$	$1.81 \times 10^{-3}$	$5.7 \times 10^{-3}$
Zn	Lognormal	Location:0Mean: $6.51 \times 10^{-3}$ SD: $5.63 \times 10^{-3}$	$1.54 \times 10^{-3}$	$5.01 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-2}$

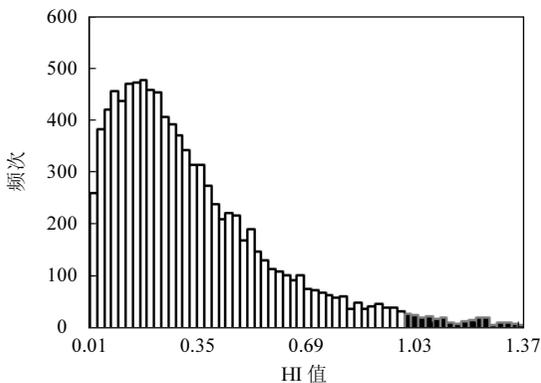


图 2 三七制剂服用所致 5 种微量元素的 HI 的概率分布  
黑色部分指 HI > 1 的概率(5.19%)

Fig.2 Probabilistic distribution of HI values of 5 trace elements due to consumption of Sanchi preparation the blank area means the exceeding probabilities (5.19%)

### 3 讨论

对云南省文山州及周边的 19 个采样点进行采样,基本上涵盖了云南省主要的三七种植区。检测了三七中 Al、Mn、Fe、Se、Zn 5 种微量元素的含量。由于目前尚无针对这 5 种微量元素的药用植物及制剂中的安全浓度限量标准,将三七中各微量元素含量水平与其它中药材相应元素含量进行了一个对比分析。测得三七中 Al 的含量最高,为 1412.55mg/kg。裘珊珊<sup>[17]</sup>检测了麦冬、白芍等 10 种中药材中 Al 的含量,Al 含量最高的为小玄参 1029.17mg/kg,其余含量都在 52.40~804.17mg/kg。相比而言,三七中 Al 的含量较高,与 Al 富集植物普洱茶中 Al 的含量相近<sup>[18]</sup>。这可能与当地酸性土壤特点和 Al 含量较高有关,金航等<sup>[19]</sup>测得云南三七种植区土壤中 Al 含量最高为

100933mg/kg。其次,本研究测得的三七中 Fe 的含量为 1256.88mg/kg。李荣宇<sup>[20]</sup>测定了金银花、枸杞等 5 种中草药中 Fe 的含量,最高的为牛藤 2718.86mg/kg,其次为首乌 1492.87mg/kg,最低的是枸杞 35.20mg/kg。与这 5 种中药材相比,三七中 Fe 含量处于中等水平。本研究测得的三七中 Mn 的含量为 109.17mg/kg,何佩雯<sup>[21]</sup>测了三七中 Mn 的含量,在 80mg/kg 左右,同时也测了黄连、当归、丹参等 8 种中药材的 Mn 含量,均在 250mg/kg 范围之内;而周晓腾<sup>[22]</sup>测得当归中 Mn 含量均低于 10mg/kg,显示三七中 Mn 含量在中药材中处于中等水平。三七中硒的含量为 0.16mg/kg,与曹美菊<sup>[23]</sup>文章中报道的中药材 Se 含量数据相比,三七中 Se 含量处于中等偏下的水平。三七中 Zn 的含量为 19.62mg/kg,范文秀<sup>[24]</sup>报道的 20 种补益类中药材的 Zn 含量在 5.57~45.56mg/kg,显示三七中 Zn 的含量水平也处于中等水平。总体来讲,三七中 Al 含量相较其它中药材偏高,而 Fe、Mn、Se、Zn 的含量与其他中药材相比处于中等水平。

对三七中 Fe、Mn、Al、Se、Zn 5 种微量元素进行相关性分析发现,Fe、Al、Se 三者之间,Zn 和 Se 之间存在极显著正相关性,Zn 和 Fe 之间存在显著正相关。这表明三七中 Fe、Al、Se 三者之间,Zn、Se 之间,Zn、Fe 之间具有相似的来源。矿物中铁、铝、锌等金属元素往往容易伴生<sup>[25, 26]</sup>,开矿使得这些元素同时释放到土壤中,然后被三七吸收而在体内富集。

在点推定下,通过 HQ 值计算可知,5 种微量元素的单一 HQ 值以及 HI 均小于 1,表明其不存在非致癌健康风险。但是人体对这些元素的暴露

途径是多方面的,不仅仅有来自药物的暴露也有来自食物的暴露,另外 WHO 的《药用植物质量控制方法》<sup>[27]</sup>中规定来源于药用植物的农药等有害物质含量应不超过该物质总摄入量的 1%。则源于药用植物的每种元素的最大允许摄入量将降低 100 倍,Fe、Mn、Al、Se、Zn 的最大允许摄入量变为 0.01、0.0014、0.0067、0.00005、0.003mg/(kg,d),在这种情况下,Fe、Mn、Al 的日摄入量均超过了药用植物来源的限值;而 Se、Zn 的日摄入量仍在安全范围之内。因此,要注意控制三七中 Fe、Mn、Al 的含量,降低其风险。在服用三七时要合理选择服用量,种植三七时注意地块的选取及农药化肥使用,控制这 3 种金属元素进入三七的途径,尽可能降低微量金属元素对人体的健康风险。

## 4 结论

4.1 三七中 Al 的平均含量为 1375.84mg/kg 相较其它中药材偏高,而 Fe、Mn、Se、Zn 的含量与其他中药材相当。5 种微量元素含量均呈现出文山州内大于文山州外的分布现象。

4.2 通过健康风险点推定计算,5 种微量元素 HQ 值及 HI 均小于 1,不存在非致癌健康风险,但是 Al、Fe、Mn 这 3 种元素的日摄入量均超过了药用植物来源的限值,当食品摄入等其他途径这 3 种元素的摄入量较高时,总摄入量就会超过 RfD 值,对人体产生一定的非致癌健康风险。在服用三七时要注意同时控制食物来源中 Al、Fe、Mn 的含量。

### 参考文献:

- [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, 2010:124.
- [2] 马宝艳,张学林.吉林省区域环境中硒的生态风险评价 [J]. 中国环境科学, 2000,20(1):91-96.
- [3] 盛士骏,张桂兰,岳淑容,等.人发中微量元素与克山病大骨节病病因关系的探讨 [J]. 中国环境科学, 1982,2(6):46-53.
- [4] 徐素萍.微量元素铁与人体健康的关系 [J]. 中国食物与营养, 2007,(12):51-54.
- [5] 黄作明,黄 珣.微量元素与人体健康 [J]. 微量元素与健康研究, 2010,(6):58-62.
- [6] 杨忠耀.硒的水文地球化学与人体健康的关系 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 1994,14(2):201-207.
- [7] 吴柏龄.铝的代谢、毒性和食品卫生问题 [J]. 生理科学进展, 1989,20(3):238-244.
- [8] 贾冬英,朱清华.铝的吸收及其对骨和神经的毒作用 [J]. 微量元素, 1990,(4):4-6.
- [9] 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等.三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 [J]. 生态学报, 2014,(11):2868-2875.
- [10] 柳晓娟,林爱军,孙国新,等.三七中砷的来源及其健康风险初步评价 [J]. 环境化学, 2009,28(5):770-771.
- [11] 朱美霖,姜 阳,崔斌,等.云南道地产区中药三七中镉的健康风险评估 [C]//风险分析和危机反应的创新理论和方法——中国灾害防御协会风险分析专业委员会第五届年会论文集.南京: 2012.
- [12] 姜 阳,朱美霖,崔 斌,等.中药三七中砷的健康风险评估 [C]//风险分析和危机反应的创新理论和方法——中国灾害防御协会风险分析专业委员会第五届年会论文集.南京: 2012.
- [13] US EPA. Guidelines for performing aggregate exposure and risk assessments [R]. Washington DC: U. S. environmental protection agency, Office of Pesticide Programs, 1999b.
- [14] FAO/WHO. Aluminum. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. 32.Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, WHO, Geneva; 1989:28-31.
- [15] US EPA. Risk-based concentration table [R]. Philadelphia PA: United States Environmental Protection Agency; 2000b.
- [16] 程义勇.《中国居民膳食营养素参考摄入量》2013 修订版简介 [J]. 营养学报, 2014,(4):313-317.
- [17] 袁姗姗,余陈欢,戴晓燕,等.类色素络合荧光分光光度法测定中药材中铝的含量 [J]. 广东微量元素科学, 2010,17(9):34-37.
- [18] Cao H, Qiao L, Zhang H, et al. Exposure and risk assessment for aluminium and heavy metals in Puerh tea [J]. Science of the Total Environment, 2010,408(14):2777-2784.
- [19] 金 航,崔秀明,徐珞珊,等.三七道地与非道地产区药材及土壤微量元素分析 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2006,28(2):144-149.
- [20] 李荣宇.5 种中草药中铁含量的测定与分析 [J]. 中国保健营养, 2012,(7):2191-2192.
- [21] 何佩雯,杜 钢,赵海誉,等.微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定 9 种中药材中微量元素含量 [J]. 中华中医药杂志, 2011, 26(2):271-274.
- [22] 周晓腾,卢 恒,侯静怡,等.当归中 4 种金属微量元素的检测及其健康风险评估 [J]. 中国环境科学, 2013,33(9):1652-1655.
- [23] 曹美菊,赵惠东,赵君庸.中药材的硒含量及硒作用的影响因素 [J]. 陕西中医, 1994,15(12):559-562.
- [24] 范文秀.补益中药微量元素的比较研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2007,27(7):1433-1435.
- [25] 雷阳艾,严 健,杨海林,等.滇西鹤庆地区铝土矿床地质特征及找矿前景分析 [J]. 矿物学报, 2013,33(4):478-484.
- [26] 周宗红.云南腾冲瑞滇铁锌矿高效采矿方法研究 [J]. 矿产保护与利用, 2008,(6):55-57.
- [27] World Health Organization. Quality control methods for medicinal plant materials [S]. 1998.

作者简介: 曾宪彩(1989-),女,河南南阳人,北京师范大学资源学院博士生,主要从事中药材重金属污染方面研究.发表论文 1 篇。