

# 药用植物三七对土壤中砷的累积特征及其健康风险

阎秀兰<sup>1</sup>, 廖晓勇<sup>1</sup>, 于冰冰<sup>1</sup>, 张文斌<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 云南省文山州三七科学技术研究所, 文山 663000)

**摘要:**三七[*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen]是我国传统珍贵草本药用植物. 通过野外调查和室内分析相结合的方法, 研究了云南文山三七种植区土壤砷污染现状, 揭示了三七对土壤中砷的吸收转运规律并分析其健康威胁. 结果表明, 所调查的三七种植区土壤砷含量范围为 6.9~242.0 mg·kg<sup>-1</sup>, 其中, 48% 的样本超标. 与三七砷限量标准(2 mg·kg<sup>-1</sup>)相比, 三七主根、须根、茎、叶、花或果实砷超标率分别为 24%、81%、14%、57% 和 44%. 当土壤砷含量低于 100 mg·kg<sup>-1</sup>, 三七主根对砷的累积量随着土壤砷含量的增加而增加; 随着土壤砷含量进一步升高, 三七主根对砷的累积量急剧降低. 三七总生物量和主根生物量随着土壤砷含量的增加呈逐渐降低的趋势. 以三七不同部位砷含量计算人体通过三七每日砷摄入量 and 三七每日砷摄入量占 ADI 的比值, 结果发现不同部位的比值表现为须根 > 叶 > 花或果实 > 主根 > 茎. 其中, 三七主根中砷每日摄入量占 FAO/WHO 规定的 ADI 的比值平均为 12.83%, 最高可达到 45.87%, 其比值与土壤总砷含量呈线性正相关. 云南文山三七种植区砷污染及其导致的药物砷超标现状已不容忽视, 应及时采取有效策略削减三七中砷的累积以降低健康风险.

**关键词:**三七; 砷; 土壤; 累积; 健康风险

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)03-0880-06

## Accumulation of Soil Arsenic by *Panax notoginseng* and Its Associated Health Risk

YAN Xiu-lan<sup>1</sup>, LIAO Xiao-yong<sup>1</sup>, YU Bing-bing<sup>1</sup>, ZHANG Wen-bin<sup>2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Wenshan Sanqi Research Institute, Wenshan 663000, China)

**Abstract:** *Panax notoginseng* is a valued traditional Chinese medical herb. In this study, the arsenic (As) contamination of soil in *P. notoginseng* plantation area in Wenshan (Yunnan, China) was investigated; the absorption and accumulation of soil As by the *P. notoginseng* was revealed; and the associated health risk was evaluated. The results revealed that the soil As concentrations ranged between 6.9-242.0 mg·kg<sup>-1</sup>. Arsenic concentrations in 48% of the total soil samples were >40 mg·kg<sup>-1</sup>. The As concentrations in 24% of main root samples, 81% of fibrous root samples, 14% of stem samples, 57% of leaf samples, and 44% of flower/fruit samples were greater than the regulation concentration of 2.0 mg·kg<sup>-1</sup>. Arsenic accumulation in the main root increased with the soil As concentration at soil As concentrations <100 mg·kg<sup>-1</sup>, but sharply decreased with the soil As concentration at soil As concentrations >100 mg·kg<sup>-1</sup>. With increasing soil As concentration, the total biomass of *P. notoginseng* and the main root biomass decreased. Calculating with the As concentration in different parts of Sanqi *P. notoginseng* plants, percent of the average ingestion rates of As with ADI regulated by FAO/WHO showed fibrous root > leave > flower/fruit > main root > stem. Based on the As concentration in the main root, the daily As intake accounted for a mean fraction of 12.83% (maximum 45.87%) of the acceptable daily intake specified by FAO/WHO, and the ratio increased with the increasing of soil As concentration. Arsenic contamination of soil and *P. notoginseng* at the plantation area of Wenshan should not be neglected, and effective strategies should be adopt to reduce As accumulation in the plant and human health risk.

**Key words:** *Panax notoginseng*; arsenic; soil; accumulation; health risk

三七[*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen]是五加科人参属多年生草本药用植物, 具有散瘀止血, 消肿定痛等功效. 有关三七的最早文字记载见于《仙传外科方集》, 距今已有 600 多年的历史. 三七起源于2 500万年前第三纪古热带的残遗植物, 它在生理生态上对环境的适应能力很低, 对环境的要求极为苛刻<sup>[1]</sup>. 三七的分布范围很小, 仅局限于北纬23°30′附近的中高海拔地区, 存在于人参属植物的分布中心, 主要在我国云南省文山州境内<sup>[2]</sup>.

文山州属于高砷背景区域, 这是在地壳原始化学成分作用下形成的<sup>[3]</sup>. 砷是文山州三七种植区土壤污染最大的潜在因素, 前期研究已表明, 文山州土壤中的高砷含量已对该区域三七种植有着明显威胁, 并已威胁到三七的药用质量和出口贸易.

收稿日期: 2010-07-14; 修订日期: 2010-09-24  
基金项目: 国家自然科学基金项目(40801205)  
作者简介: 阎秀兰(1978~), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为污染土地修复、农产品安全, E-mail: yanxl@igsnrr.ac.cn

易<sup>[4-7]</sup>. 砷在药物中的含量被严格控制,世界上许多国家和地区对药物中砷含量要求严格,一旦超标就停售并销毁. 2001 年 7 月 1 日,中华人民共和国对外贸易经济合作部发布了《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》(WM2-2001),其中对砷的限量指标为  $\leq 2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . 据不完全统计,我国有 30% 中草药的重金属和农药残留量不符合标准. 李梅华等<sup>[8]</sup>对我国各地生产的药材进行检测发现,56 种药材中多达 73% 以上砷含量超过  $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . 冯江等<sup>[9]</sup>普查了 100 种中药材中砷等重金属的含量,结果显示绝大部分中药材中都含有一定量的砷,部分药材中含量还较高. 李卫东<sup>[10]</sup>调查发现,三七种植区土壤中砷的污染分担率为 52.1%,综合污染指数为 0.67,已接近警戒线. 郝南明等<sup>[4]</sup>研究发现,尽管部分种植区采取了《中药材生产质量管理规范》(good agriculture practice, GAP) 种植方式,但有些三七根中砷含量仍然超过  $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

三七砷污染问题已开始引起人们的重视,但对于土壤中的砷如何影响三七生长,三七对砷的吸收过程以及对人体健康的影响还不清楚. 本研究调查了云南文山三七种植区土壤砷污染现状,揭示了三七中砷的吸收和累积规律,以及土壤中的砷对三七生长和砷吸收的影响,并评估其健康风险,以期可为有效解决三七砷污染问题,保障三七药物安全提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集和前处理

在云南文山三七种植区随机选取 21 个三七种植地块,其中一年生三七 2 个样点,二年生三七 15 个样点,三年生三七 4 个样点. 在每个地块随机性采集三七样品 10~15 株,同时采集相对应的表层土壤(0~20 cm). 取样点以 GPS 精确定位,具体取样点分布见图 1.

新鲜三七采集后用自来水冲洗干净,洗去根部泥土,并用细毛刷清洗,再用去离子水冲洗. 将三七植株分成主根、须根、茎、叶、花或果实等不同部位,置于  $105^\circ\text{C}$  下杀青处理 30 min,然后于  $60^\circ\text{C}$  条件下烘干 24 h 至恒重,烘干后的三七样品粉碎后于封口袋中保存.

各点的混合土样采集后,自然风干,剔除样品中植物根系、有机残渣以及可见侵入体,用木质工具碾碎并用玛瑙研钵研磨,分别过 20 目和 100 目尼龙筛.

### 1.2 分析方法



图 1 云南文山三七种植区调查点分布示意

Fig. 1 Sampling sites in Sanqi plantation area in Wenshan County, Yunnan Province

土壤样品采用美国环境保护署推荐的 USEPA 3050B 方法消煮待测<sup>[11]</sup>. 植物样品采用  $\text{HNO}_3$ - $\text{HClO}_4$  消煮<sup>[12]</sup>. 用原子荧光光谱仪(北京吉天仪器有限公司, AFS-9130 型)测定待测液中的 As 含量. 分析过程所用试剂均为优级纯. 土壤样品和植物样品的分析过程中分别采用国家标准参比物质[土壤: GBW 07404,  $(58 \pm 6) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 植物: GBW 07603,  $(1.25 \pm 0.15) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] 进行分析质量控制,标样测定结果均在参比物质允许误差范围内.

### 1.3 数据处理

数据主要采用 Microsoft Excel 2003 及 SPSS 12.0 for Windows 软件进行统计分析.

富集系数 = 植物砷浓度/土壤砷浓度

人体对三七的摄入量的风险评估可通过相关参数计算得出,具体计算方法如下.

(1) 根据样品中砷含量的测定结果,参照 1993 年 FAO/WHO 规定的对砷每日允许摄入量 (allowable daily intake, ADI)  $128 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$  (以体重 60 kg 计),并考虑医学上推荐的三七每日的最大摄入量 10 g. 首先计算通过服用三七每日摄入的砷含量:

每日摄入砷含量 ( $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ ) = 三七中砷的含量

$(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}) \times \text{三七的摄入量}(\text{g}\cdot\text{d}^{-1})$  (1)

(2) 根据式(1)得出的结果,计算通过服用三七每日砷摄入量占 ADI 的比值:

每日砷摄入量占 ADI 的质量分数(%) = 每日砷摄入量( $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ ) / ADI 值( $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ ) (2)

2 结果与分析

2.1 云南文山土壤和三七中砷的浓度分布特征

三七种植区土壤和三七 As 含量的基本统计数据见表 1. 为保证三七品质,三七种植区域土壤应符合国家土壤质量二级标准(GB 15618-1995),其砷含量应 $\leq 40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 从表 1 可以看出,土壤 As 平均含量超过了  $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,土壤中 As 含量超标样品占总样品数的 48%.

文山州三七种植区土壤砷污染状况已不容忽视. 导致文山州三七种植区土壤砷含量过高的原因

主要有:①文山州是富砷地区,在不少三七种植区域砷的土壤背景含量较高<sup>[10]</sup>. 如在马关-麻栗坡地区,地层、侵入岩、变质岩中 As 含量高于正常含量,是由地壳原始化学成分差异形成的元素高背景区<sup>[3]</sup>. 从土壤地质背景看,本研究调查区域主要为碳酸盐岩和碎屑岩混合型黄红壤区和碳酸岩盐红壤区,土壤 pH 值呈微酸性至中性,质地为壤质粘土或粘土<sup>[13,14]</sup>. 一般而言,红壤或黄红壤对砷的吸附能力较强. ②文山州矿产资源比较丰富,矿业活动(尤其是与砷有关的矿业活动)使周边大面积土壤遭受砷污染<sup>[15]</sup>. ③三七属多年生荫生植物,由于生长环境特殊,易感染各种病害,导致含砷农药,如退菌特等有机砷杀菌剂曾在种植区大量使用<sup>[15]</sup>. 研究表明使用退菌特与三七块根中砷残留量之间存在密切关系,即使在栽培过程中只使用 7 次,砷残留量仍显著高于三七砷限定标准<sup>[6]</sup>.

表 1 云南文山三七种植区土壤和三七中砷含量的基本统计结果

Table 1 Descriptive statistics of As concentrations of soils and Sanqi plants in Wenshan County

项目	土壤 As 含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	三七不同部位 As 含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$				
		主根	须根	茎	叶	花或果实
样品数	21	21	21	21	21	9
最小值	6. 90	0. 24	0. 62	0. 11	0. 59	0. 02
最大值	242. 00	5. 87	34. 28	3. 64	26. 47	12. 84
中值	34. 12	1. 008	3. 502	0. 657	2. 528	0. 627
平均值	65. 59	1. 643 b	5. 751 a	0. 931 b	4. 626 a	2. 959 ab
标准偏差	64. 99	1. 568	7. 465	0. 885	6. 152	4. 203
偏度	1. 76	1. 774	3. 135	2. 060	2. 651	1. 879
峰度	2. 68	2. 452	11. 176	3. 894	7. 830	3. 893
样品超标率( $>1. 0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )/%		52	86	19	76	44
样品超标率( $>2. 0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )/%		24	81	14	57	44

1) 云南三七种植区土壤 pH 值均 $<6. 5$ ; 2) 小写字母表示三七不同部位砷浓度的显著性检验结果:有相同字母表示无显著差异,无相同字母表示存在显著差异, $p<0. 05$

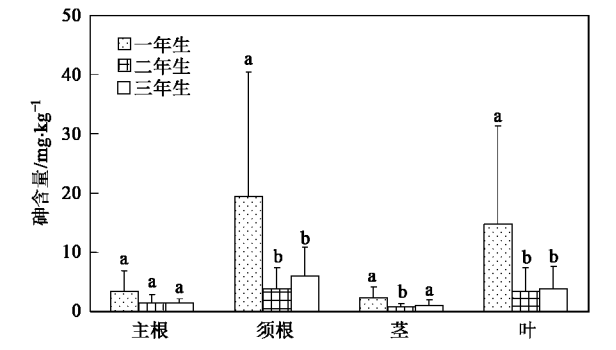
《原产地域产品标准(文山三七)》(GB 19086-2003)中规定优质三七砷的限量标准为 $\leq 1. 0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,合格三七的限量指标为 $\leq 2. 0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 从表 1 可以看出,除茎以外,所取三七其他部位砷平均值均高于  $1. 0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,主根、须根、叶、花或果实的样品超标率分别为 52%、86%、76% 和 44%. 须根、叶、花或果实的平均含量均高于  $2. 0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,样品超标率分别为 81%、57% 和 44%. 砷在三七各部位的含量分布存在一定差异:须根 $>$ 叶 $>$ 花或果实 $>$ 主根 $>$ 茎. 冯光泉等<sup>[15]</sup>曾对云南省文山州三七主产区三七样品进行调查分析,结果发现供试 48 个三七样品中有 14. 5% 的样品砷残留量超标. 根据本调查结果,云南文山三七砷超标已较为严重,这对三七的

药物质量安全造成威胁,并影响三七产业的发展,同时将会对三七在国际药业市场的竞争力产生极大影响.

三七是一种多年生药材植物,一般在生长 3 a 后收获作为药用. 本研究比较了一年生、二年生和三年生三七中砷含量的差异. 从图 2 中可以看出,3 个不同年限中一年生三七不同部位平均砷含量最高,这可能是因为二年生和三年生三七的生物量高,由“稀释效应”所导致的结果. 其中,一年生三七须根和叶砷含量均显著高于二年生和三年生三七,而二年生和三年生三七须根和叶砷含量差异不显著;3 个不同年限三七主根砷含量差异均不显著;二年生三七茎部砷含量显著低于一年生和三年生三七.

2.2 三七对土壤中砷的吸收和转运

砷富集系数可大致反映植物对土壤砷的吸收能力和富集情况. 表 2 给出了云南文山二年生三七的



小写字母表示三七不同部位砷含量的显著性检验结果:有相同字母表示无显著差异,无相同字母表示存在显著差异, $p < 0.05$

图 2 云南文山不同年限三七不同部位砷含量  
Fig.2 As concentrations of different part of different year-old Sanqi plants

富集系数,即三七各部位砷含量与土壤含量的比值.从平均值和中值看,三七各部位对土壤中砷的富集能力不强,其与土壤砷含量的比值均小于 1,其中须根/土壤最高,说明与其它部位比较,三七须根更易吸收土壤中的砷.

主根/土壤、须根/土壤、茎/主根和叶/茎这 4 项比值可在一定程度上揭示土壤中的砷从土壤到三七各部位的吸收转运过程.统计结果表明,以上 4 项比值与土壤砷含量相关性不大,其平均值和中值大小均表现为叶/茎 > 茎/主根 > 须根/土壤 > 主根/土壤,说明土壤中的 As 不易被三七主根吸收;所取样本中有 67% 的样本茎/主根 < 1,说明主根吸收的砷不易向茎部转移;而所有样本叶/茎的比值 > 1,说明砷在三七中的迁移能力强,三七茎部的砷容易转运到叶部.

表 2 云南文山二年生三七的富集系数和各部位砷含量比值  
Table 2 As bioconcentration factor and ratio of different parts of 2-year-old Sanqi plants

项目	富集系数					各部位砷含量比值		
	主根/土壤	须根/土壤	茎/土壤	叶/土壤	花或果实/土壤	茎/主根	叶/主根	叶/茎
样品数	15	15	15	15	8	15	15	15
最小值	0.010	0.064	0.005	0.009	0.001	0.087	0.21	1.30
最大值	0.12	0.55	0.12	0.41	0.230	3.42	10.44	8.25
中值	0.042	0.14	0.025	0.11	0.098	0.79	2.63	2.84
平均值	0.045	0.16	0.032	0.13	0.098	0.89	3.33	3.75
标准偏差	0.025	0.12	0.026	0.11	0.089	0.80	3.15	2.31

砷从土壤进入植物体的过程与植物本身的遗传特性、主动吸收功能和对元素的富集能力有关.植物通过根系从介质中吸收砷,并在体内进行再分配.由于砷的危害性,普通植物尽量抑制砷的吸收或避免其向地上部转运<sup>[16]</sup>.对于大多数普通植物而言,砷主要分布在根部,地上部中的砷含量较低,砷的地上部/地下部的转运系数通常都小于 1.本研究发现三七叶、花或果实的含量均高于主根(表 1),转运系数(叶/主根)平均为 3.33(表 2).由此可见,三七与普通植物不同,具有较强的向叶部转运砷的能力.因此,三七对砷的吸收及砷进入体内后在各部位的分布不同于普通植物,有着特殊的吸收和分配机制,正确认识砷在土壤-三七系统中的迁移过程是有效控制三七中砷含量的前提和基础.

图 3 给出了二年生三七在不同土壤砷含量范围内各部位砷累积量占植株总累积量的比例.从图中可以看出,土壤砷含量不同,砷在三七不同部位的累积比例存在差异.当土壤砷含量 < 100  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时,三七不同部位对砷的累积能力表现为主根 > 叶 > 须

根 > 茎,主根和叶是三七中砷的主要储存部位;而当土壤砷含量 > 100  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时,不同部位对砷的累积能力则表现为须根 > 茎 > 主根 > 叶,大部分砷累积在须根和茎 2 个部位.

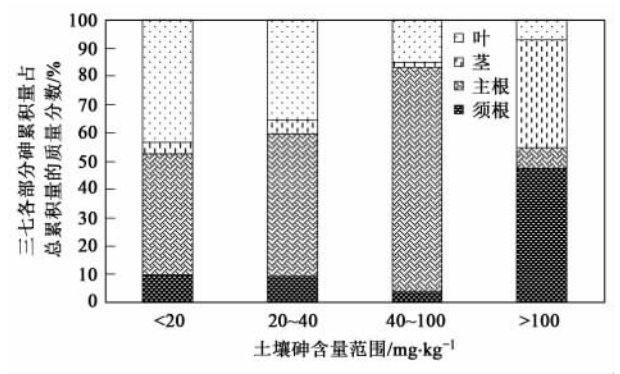


图 3 二年生三七各部位砷量占总累积量的比例  
Fig.3 Ratio of As accumulation of different part and the whole plant of 2-year-old Sanqi plants

当土壤砷含量 < 100  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,须根对砷的累积比例随土壤砷含量的增加而降低;当土壤砷含量 >

100 mg·kg<sup>-1</sup>,须根中砷的累积量急剧升高,平均可达到34%。当土壤砷含量<100 mg·kg<sup>-1</sup>,主根对砷的累积比例随土壤砷含量的增加而增加,在土壤砷含量为40~100 mg·kg<sup>-1</sup>时最高,平均比例达80%;当土壤砷含量>100 mg·kg<sup>-1</sup>,主根中砷的累积量急剧最低,仅为5%。三七茎砷累积比例在土壤含量高于100 mg·kg<sup>-1</sup>时最高,平均可达到28%,在其他土壤含量范围内均低于5%。叶中砷的累积比例随着土壤砷含量的增加呈逐步减少的趋势,土壤砷含量<20 mg·kg<sup>-1</sup>时达到最高,平均比例为43%,土壤含量>100 mg·kg<sup>-1</sup>最低,为5%。从砷在三七不同部位的累积比例看,土壤砷含量不同,三七各部位对砷的累积能力会呈现出一定差异。张文斌等<sup>[7]</sup>研究发现当土壤砷含量为14~25 mg·kg<sup>-1</sup>时,三七块根砷含量大于茎叶砷含量;而当土壤砷含量为64~124 mg·kg<sup>-1</sup>时,三七块根砷含量显著小于茎叶砷含量。

2.3 土壤砷含量和三七生长及砷吸收的关系

2.3.1 土壤砷对三七生长的影响

已有研究发现砷对植物的毒害主要表现在对植物生长发育和生理代谢的影响,砷胁迫会导致植物的生长发育明显受阻,甚至死亡<sup>[17-19]</sup>。将三七种植区土壤砷含量与三七总生物量和不同部位生物量之间进行相关性检验,结果表明土壤砷含量与三七须根、茎和叶的相关性不显著,而与总生物量和主根生物量相关性显著,呈负对数关系,即随着土壤砷含量增加,三七总生物量和主根生物量呈下降趋势(图4)。这说明,土壤砷含量增加主要导致三七主根生长受阻。

2.3.2 土壤砷含量与三七各部位砷含量的相关关系

将三七种植区土壤砷含量与三七不同部位砷含量之间进行相关性检验,结果表明土壤砷含量与三七须根、茎和叶砷含量的相关性不显著,而与主根砷含量呈极显著的正相关关系,即随着土壤砷含量增加,三七主根砷含量也随之升高(图5)。而已有研究并未发现三七植株中的砷残留量与土壤砷含量之间的相关性<sup>[6,7,15,20]</sup>。土壤是中药材生产最基本的因素,本研究结果表明三七种植区土壤中砷含量过高是引起三七主根富集砷的主要原因。

2.4 三七中砷的健康风险初步评价

三七整株植物均可入药,参照植物药中砷的限量要求及人体对砷的每日摄入量的估算,对三七各部位对人体砷暴露的健康风险进行综合评价。本研

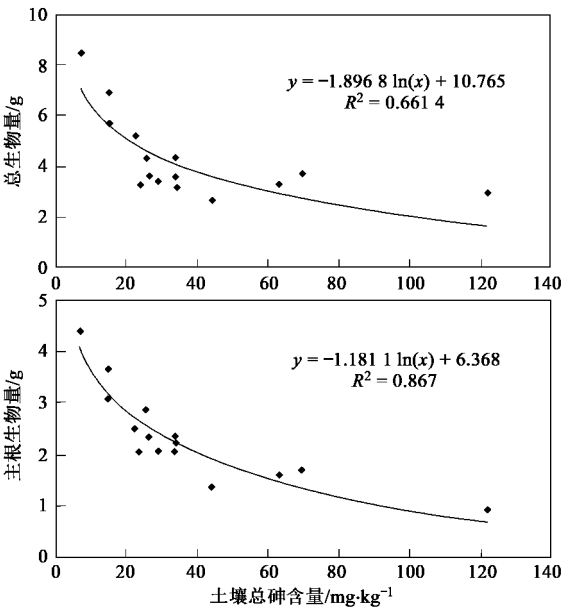


图4 土壤砷含量和三七总生物量和主根生物量之间的相关性  
Fig. 4 Correlations between soil As concentrations and the biomass of the whole plants or main root of 2-year-old Sanqi plants

究拟采用我国药用植物及制剂对外经贸绿色行业标准规定的2.0 mg·kg<sup>-1</sup>为砷的限量标准。图6表示三七不同部位砷每日摄入量占ADI的比值。结果发现,三七不同部位对人体砷的摄入风险贡献表现为:须根>叶>花或果实>主根>茎,这主要与不同部位砷含量有关。

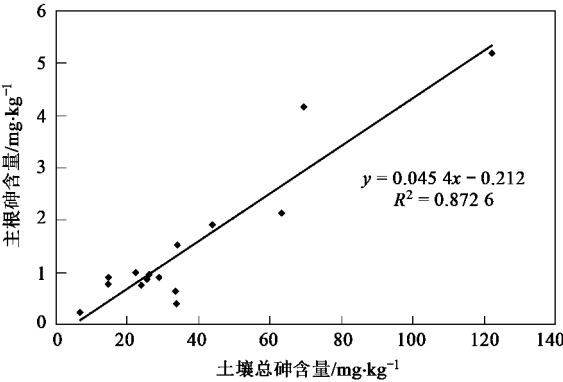


图5 土壤砷含量和三七主根砷含量之间的相关性

Fig. 5 Correlations between As concentrations of soil and main root of 2-year-old Sanqi plants

主根是三七主要药用部位。以本研究所取三七主根砷含量计算三七砷每日摄入量 and 三七每日砷摄入量占ADI的比值(图7)。结果发现,三七砷每日摄入量在2.40~58.71 μg·d<sup>-1</sup>之间,平均摄入量为16.43 μg·d<sup>-1</sup>。从图7可以看出,三七砷每日摄入量

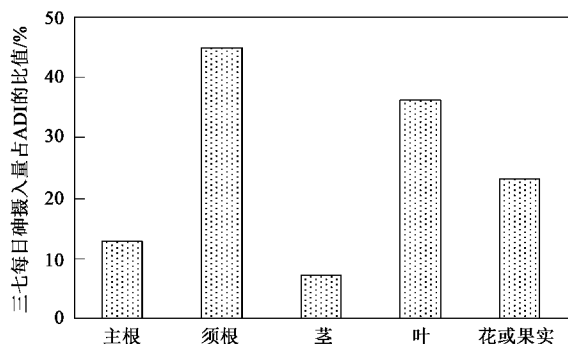


图6 三七不同部位砷每日摄入量占 FAO/WHO 规定 ADI 的百分比

Fig. 6 Percent of the average ingestion rates of As from different part of Sanqi with ADI regulated by FAO/WHO

占 FAO/WHO 规定的 ADI 的比值最高可达到 45.87%, 平均值为 12.83%; 该比值与土壤总砷含量呈线性相关关系, 说明随着土壤砷含量的增加, 三七对人体的摄入风险也随之增加。当土壤砷含量达  $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  以上, 三七砷每日摄入量的比例会在 15% 以上。由此可见, 主根作为三七的主要药用部位, 土壤砷含量过高会使主根的健康风险增加。

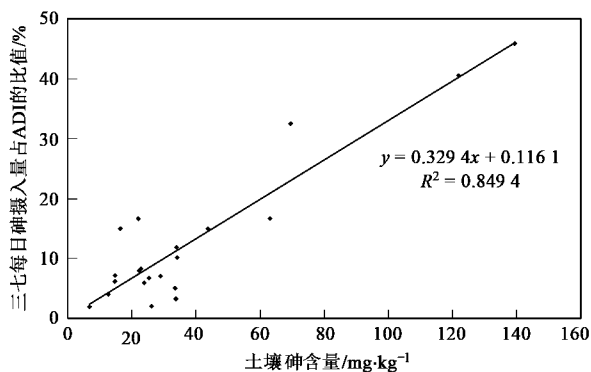


图7 三七主根中砷每日摄入量占 FAO/WHO 规定 ADI 的百分比

Fig. 7 Percent of the average ingestion rates of As from Sanqi with ADI regulated by FAO/WHO

### 3 结论

(1) 云南文山三七种植区土壤和三七砷含量均存在超标现象, 污染现状不容忽视; 砷在三七各部位的浓度分布存在一定差异, 表现为须根 > 叶 > 花或果实 > 主根 > 茎; 三七各部位砷与土壤砷的富集系数的比值均小于 1; 从砷在三七各部位的累积规律看, 土壤中的砷不易被三七吸收, 而砷一旦进入三七体内容易向叶部转移。

(2) 云南三七种植区土壤砷含量和三七总生物

量和主根生物量呈负对数相关关系, 与须根、茎和叶的关系不大; 土壤砷含量和三七主根砷含量呈极显著的正相关关系, 与其它部位砷含量关系不大。

(3) 以三七主根砷含量计算三七砷每日摄入量 and 三七每日砷摄入量占 ADI 的比值。结果发现, 主根作为三七的主要药用部位, 土壤砷含量过高会使主根的健康风险增加。

#### 参考文献:

- [1] 郑光植, 杨崇仁. 三七生物学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] 王朝梁, 陈中坚, 崔秀明, 等. 文山三七的原产地域产品特征[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(6): 511-514.
- [3] 陈扬玉. 滇东地区微量元素分布地球化学特征概述[J]. 云南地质, 1985, 4(3): 247-259.
- [4] 郝南明, 田洪, 苟丽. 三七生长初期不同部位重金属元素含量测定[J]. 微量元素与健康研究, 2004, 21(5): 27-31.
- [5] 冯光泉, 刘云芝, 张文斌, 等. 三七植物体中重金属残留特征研究[J]. 中成药, 2006, 28(12): 1796-1798.
- [6] 冯光泉, 刘云芝, 张文斌, 等. 三七药材砷污染途径研究[J]. 中药材, 2005, 28(8): 645-647.
- [7] 张文斌, 刘云芝, 冯光泉. 土壤砷污染对三七药材中砷残留量的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2003, (增刊): 32-34.
- [8] 李梅华, 苏薇薇, 吴忠. 56 种药材内有害元素 As、Hg 的含量比较[J]. 广东微量元素科学, 1995, 2(8): 54-57.
- [9] 冯江, 黄鹏, 周建民. 100 种中药材中有害元素铅镉砷的测定和意义[J]. 微量元素与健康研究, 2001, 18(2): 43-44.
- [10] 李卫东. 文山州三七 GAP 种植区环境质量状况调查[J]. 云南环境科学, 2004, 23(增刊 1): 168-170.
- [11] USEPA. Acid digestion of sediments sludge and soils. EPA 3050B [EB/OL]. <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf>. 1996.
- [12] GB/T 5009.11-1996. 食品中总砷的测定方法[S].
- [13] 高宏光, 杨双兰, 曾群望. 影响文山三七品质的土壤地质背景因素[J]. 云南地质, 2001, 20(2): 195-202.
- [14] 金航, 崔秀明, 陈中坚, 等. 三七栽培土壤地质背景分区特征[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2009, 31(增刊 1): 440-445.
- [15] 冯光泉, 张文斌, 陈中坚, 等. 三七及其栽培土壤中几种重金属元素含量的测定[J]. 中草药, 2003, 34(11): 1051-1054.
- [16] Berry W L. Plant and factors influencing the use of plant analysis as a tool for biogeochemical prospecting[A]. In: Carlisle D, Berry W L, Kaplan I R, et al (Eds). Mineral Exploration: Biogeochemical Systems and Organic matter [M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N J. 1986, 13.
- [17] Miteva E. Accumulation and effect of arsenic on tomatoes[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2002, 33(11-12): 1917-1926.
- [18] Meharg A A, Hartley-Whitaker J. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species [J]. New Phytologist, 2002, 154(1): 29-43.
- [19] 许嘉琳, 杨居荣, 荆红卫. 砷污染土壤的作物效应及其影响因素[J]. 土壤, 1996, 28(2): 85-89.
- [20] 王朝梁, 崔秀明. 三七农残重金属研究现状及对策[J]. 现代中药研究与实践, 2003, (增刊): 36-38.