

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.02.010

万佐玺, 杨万年, 雷红灵, 等. 恩施野生川续断的硒含量与富硒特征. 土壤, 2020, 52(2): 294–299.

恩施野生川续断的硒含量与富硒特征^①

万佐玺¹, 杨万年¹, 雷红灵¹, 杨兰芳^{2*}, 徐俊¹

(1 湖北民族学院生物科学与技术学院, 湖北恩施 445000; 2 湖北大学资源环境学院, 武汉 430062)

摘要: 为了认识恩施野生川续断的硒含量及其富硒特征, 在恩施地区 8 个不同硒含量地点采集了川续断植株及其生长地的土壤样品, 运用氢化物发生原子荧光法测定了川续断根、茎、叶、花和土壤样品的硒含量, 分析了野生川续断的富硒特征。结果表明: ①供试川续断样品根、茎、叶、花和土壤样品的硒含量变化范围分别为 0.029 ~ 94.87、0.008 ~ 39.45、0.040 ~ 123.14、0.026 ~ 143.94 和 0.6 ~ 277.3 mg/kg, 且不同部位的硒含量与土壤硒含量均呈极显著的线性相关; ②供试川续断样品对硒的生物富集系数和转运系数分别为 0.012 ~ 0.727 和 0.279 ~ 2.200, 均以茎最低; ③根据川续断对硒的转运系数可以将所采集的川续断样品分为叶富集型和花富集型, 低硒土壤环境下, 川续断为叶富集型, 高硒土壤环境下, 川续断为花富集型; ④恩施野生川续断在高硒土壤环境中仍能正常生长, 具有较强的富集土壤硒的能力, 应属于聚硒植物。本结果对川续断在富硒环境下的培育和开发具有实际意义。

关键词: 川续断; 硒含量; 恩施地区; 生物富集系数; 转运系数

中图分类号: Q948.113 **文献标志码:** A

Selenium Contents and Characteristics of Selenium Enrichment of Wild *Dipsacus asperoides* in Enshi

WAN Zuoxi¹, YANG Wannian¹, LEI Hongling¹, YANG Lanfang^{2*}, XU Jun¹

(1 School of Biological Science and Technology, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000, China; 2 School of Resource and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: In order to understand selenium content and characteristics of selenium enrichment of wild *Dipsacus asperoides* in Enshi of Hubei Province, samples of *Dipsacus asperoides* and their homologous soils were collected from eight different regions. Hydride generation atomic fluorescence spectrometric method was used to measure selenium contents in roots, stems, leaves and flowers of *Dipsacus asperoides*, and in soil samples. The ranges of selenium contents in roots, stems, leaves and flowers of *Dipsacus asperoides* and in soil samples were 0.029 – 94.87, 0.008 – 39.45, 0.040 – 123.14, 0.026 – 143.94 and 0.6 – 277.3 mg/kg, respectively. Significant linear correlation were found between selenium contents in roots, stems, leaves and flowers of *Dipsacus asperoides* and in soil samples. Selenium bio-concentration factor and transport factor of *Dipsacus asperoides* were 0.012 – 0.727 and 0.279 – 2.200, respectively. The two coefficients were the lowest in stems. Based on selenium transport factor, the samples of *Dipsacus asperoides* were divided into two types: Leaf enrichment (LE) which was in low soil selenium content and flower enrichment (FE) which was in high soil selenium content. The results revealed that *Dipsacus asperoides* is a plant species of selenium enrichment because it can grow normally in soil with high selenium content and has strong capability of selenium enrichment. This study has practical significance to breed and develop *Dipsacus asperoides* in selenium enriched environment.

Key words: *Dipsacus asperoides*; Selenium content; Enshi area; Bio-concentration factor; Transport factor

川续断(*Dipsacus asperoides* C Y Cheng et T M Ai) 成分有三萜皂苷类、生物碱类、环烯醚萜类、挥发油类以及多糖、谷甾醇和多种微量元素, 具有强筋骨、续折伤、补肝肾、止崩漏、安胎、抗衰老、提高免疫

为川续断科川续断属植物, 在西藏、四川、湖北、湖南、云南等山区分布广泛, 药用部分为根, 主要化学

①基金项目: 湖北省自然基金项目(2015CFB485)和生物资源保护与利用湖北省重点实验室(湖北民族大学)开放基金项目(2007002)资助。

* 通讯作者(lfyang@hubu.edu.cn)

作者简介: 万佐玺(1968—), 男, 湖北建始人, 硕士, 副教授, 主要从事植物资源利用与植物生理研究。E-mail: wzxbmy@163.com

力等功效^[1-2]，是一种用途比较广泛的重要中药材。硒是生命必需的微量元素，缺硒严重影响生命健康，缺硒会使人畜产生心、肝、肾、肌肉等多种组织的病变，如克山病、大骨节病、牲畜白肌病等疾病^[3]，缺硒也与各种心脏疾病和多种癌症有关^[4]，适当补充人体中的硒不仅能预防缺硒反应病，还能起到防癌、延缓衰老、增免疫力、防心血管病等多方面保健作用^[5]。恩施是我国也是世界著名的富硒地区，享有世界硒都之誉^[6-8]，恩施的山地环境比较适合川续断的生长，分布较为广泛，张万福等^[9-10]通过对产区的实地调查和查阅自宋代以来有关论述川续断的文献资料，以充分的论据确立了产自恩施的“五鹤续断”的地道性。当前有关川续断的研究主要集中在种质资源、化学成分、药理药效等方面^[11-15]，而有关川续断硒含量、富硒特点、硒对川续断生长影响方面的研究鲜见报道。认识川续断的硒含量和富硒特征，对于合理开发利用富硒地区的川续断资源，提升川续断的药用、保健和经济价值具有重要意义。为了认识恩施山区野生川续断的含硒状况及其富硒特征，在恩施山区采集了部分野生川续断植株及其生长的土壤样品，分析了川续断各部分的硒含量及其与土壤硒含量的关系、川续断对硒的生物富集系数和转运系数，以期对恩施地区的道地中药材和硒资源的合理开发与综合利用提供新的科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

选择海拔 1 200 m 以上的山地，川续断自然生长繁殖比较丰富的不同地方进行采样。采样时挑选长势比较一致的成熟植株，株高 1.5 m 左右，植物材料由张万福副教授鉴定(湖北民族学院退休教师)。2015 年 9 月 15 日在建始县花坪镇刀背垭村刀背垭选择 3 个地块，采集了 3 个样品，分别编号为 J1、J2 和 J3，其中 J3 为炭质页岩石煤出露地块；2015 年 9 月 17 日在鹤峰县燕子乡芹草坪村寮叶坪选择一个地块，采集了 1 个样品，编号为 H；2015 年 9 月 18 日在恩施市新塘乡双河村鱼塘坝选择 3 个地块，采集了 3 个样品，分别编号为 E1、E2 和 E3，其中 E1 为硒矿出露地块；2015 年 9 月 20 日在利川市团堡镇石板岭选择一个地块，采集了 1 个样品，编号为 L。每个样品根据地块大小按蛇形采样法布置 5~10 个样点，每个点采集一株(莖)完整的川续断植株，将各点植株混合在一起作为一个样品。在采集川续断植株的样点，用小铁锹将土壤挖成一边垂直的 V 型小坑，垂直面深 20

cm。然后从垂直面用小铁锹从上向下削约 5 cm 厚、20 cm 深的一薄层土壤，将各点处土壤混合在一起，去掉石块和植物残体，混合均匀后，按四分法保留 0.5~1.0 kg 土样装入布袋中，作为该采样地块的土壤样品，带回室内制备分析样品。采样地块的地理位置如表 1 所示。

表 1 采样点地理位置
Table 1 Information of sampling sites

样品编号	经度	纬度	海拔(m)
E1	109°46'43.06"E	30°10'48.03"N	1 591
E2	109°47'03.68"E	30°10'43.29"N	1 526
E3	109°46'44.38"E	30°10'46.57"N	1 571
H	110°15'58.01"E	30°05'35.78"N	1 730
J1	109°56'16.02"E	30°30'47.78"N	1 373
J2	109°56'26.27"E	30°30'49.91"N	1 293
J3	109°56'35.34"E	30°30'44.10"N	1 327
L	109°18'10.48"E	30°20'7.27"N	1 543

1.2 样品制备

植株采回后，按根、茎、叶和花分开，洗净晾干水分。将根切成薄片装入纸袋，茎剪成约 0.5 cm 的小段装入纸袋，叶和花也分别装入纸袋，70 ℃鼓风干燥箱烘干，在干燥器中冷却后磨细，过 40 目筛装入塑料瓶，保存在干燥器中备用。

土壤带回实验室后，倒在干净的塑料盘中，摊开呈薄层，剔除石块和植物残体后风干过 20 目筛，装瓶混匀，用于基本理化性质分析。从过 20 目的样品中分取约 50 g 土壤样品过 100 目筛，装入塑料瓶中用于分析硒、有机质等。

1.3 化学分析

植物硒含量采用原子荧光法测定^[16]，土壤硒含量采用原子荧光法测定^[17]。

主要仪器设备：HYP-340 消化炉(上海纤检仪器有限公司)，PF6 原子荧光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

2 结果与分析

2.1 硒含量

表 2 可见，所采恩施野生川续断样品各部位的硒含量为 0.008~143.94 mg/kg，其中根、茎、叶、花的硒含量范围分别为 0.029~94.87、0.008~39.45、0.040~123.14 和 0.026~143.94 mg/kg，以恩施市新塘乡双河村鱼塘坝硒矿出露地块样品 E1 硒含量最高，以鹤峰县燕子乡芹草坪村寮叶坪的样品 H 最低。

表 2 川续断样品的硒含量(mg/kg)
Table 2 Selenium contents in samples of *Dipsacus asperoides*

样品	根	茎	叶	花
E1	94.87 ± 2.06 c	39.45 ± 0.87 d	123.14 ± 2.85 b	143.94 ± 1.33 a
E2	3.04 ± 0.11 a	0.93 ± 0.02 d	1.28 ± 0.02 c	1.90 ± 0.08 b
E3	0.301 ± 0.008 c	0.203 ± 0.001 d	0.369 ± 0.013 b	0.530 ± 0.005 a
H	0.029 ± 0.004 b	0.008 ± 0.001 c	0.040 ± 0.002 a	0.026 ± 0.004 b
J1	0.035 ± 0.001 c	0.010 ± 0.003 d	0.049 ± 0.001 a	0.043 ± 0.001 b
J2	0.035 ± 0.003 c	0.018 ± 0.001 d	0.077 ± 0.001 a	0.063 ± 0.002 b
J3	2.50 ± 0.02 b	1.09 ± 0.01 c	2.50 ± 0.02 b	2.97 ± 0.02 a
L	0.040 ± 0.004 c	0.018 ± 0.001 d	0.081 ± 0.001 a	0.052 ± 0.001 b

注：同行数据小写字母不同表示同一样地样品不同部位间差异达到 $P<0.05$ 的显著水平，下表同。

2.2 硒分布

由表 2 还表明,不同地点川续断样品硒含量在各部位的分布不同。其中有 1 个样品即 E2 的硒含量呈根>花>叶>茎, 占所在样品数的 12.5%; 有 2 个样品即 E1 和 E3 的硒含量呈花>叶>根>茎的分布规律, 占所采样品数的 25%; 有 1 个样品即 J3 的硒含量呈花最高, 茎最低, 叶和根介于花和茎之间, 但二者无显著差异, 占所采样品数的 12.5%; 有 3 个样品即 J1、J2 和 L 的硒含量呈叶>花>根>茎的分布规律, 占所采样品数的 37.5%; 还有一个样品 H 是叶最高, 茎最低, 根和花介于叶和茎之间, 但二者无显著差异, 占样品总数的 12.5%。所有样品的共同特点都是茎的硒含量最低。总的来看, 硒含量以叶最高的有 4 个样品, 占 50%; 花最高的有 3 个, 占 37.5%; 根最高的只有 1 个, 占 12.5%。

2.3 川续断硒含量与土壤硒含量的关系

所采集野生川续断生长的土壤样品硒含量变化较大, 为 0.6 ~ 277.3 mg/kg, 以鱼塘坝硒矿地块即 E1 的土壤硒含量最高, 高达 277.31 mg/kg。相关分析表明(表 3), 川续断根、茎、叶、花的硒含量与土壤硒含量的线性相关系数均在 0.999 以上, 超过极显著相关的水平, 说明川续断硒含量与土壤硒含量之间存在极显著的线性相关。

富集系数也叫富集因子, 是指植物中某元素含量与土壤中该元素含量的比值^[18]。表 4 可见, 所采川续断样品的生物富集系数为 0.012 ~ 0.727, 其中根、茎、叶和花对硒的生物富集系数变化范围分别为 0.043 ~ 0.727、0.012 ~ 0.222、0.058 ~ 0.444 和 0.038 ~ 0.519 之间。根和茎的富集系数以 E2 最高, 以 H 最低; 叶和花的富集系数以 E1 最高, H 最低。其中 E2

表 3 川续断硒含量与土壤硒含量的相关性
Table 3 Correlation of selenium contents in *Dipsacus asperoides* and in soil

内容	根	茎	叶	花
回归方程	$y = 0.3430x - 0.3506$	$y = 0.1472x - 0.1768$	$y = 0.4467x - 0.9361$	$y = 0.5220x - 1.0291$
相关系数	0.999 3	0.999 5	0.999 4	0.999 4
显著水平	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$

表 4 川续断对硒的生物富集系数
Table 4 Bioconcentration factors of *Dipsacus asperoides* to selenium

样号	根	茎	叶	花
E1	0.342 ± 0.007 c	0.142 ± 0.003 d	0.444 ± 0.010 b	0.519 ± 0.005 a
E2	0.727 ± 0.026 a	0.222 ± 0.005 d	0.306 ± 0.005 c	0.455 ± 0.020 b
E3	0.135 ± 0.003 c	0.091 ± 0.001 d	0.166 ± 0.006 b	0.238 ± 0.002 a
H	0.043 ± 0.006 b	0.012 ± 0.001 c	0.058 ± 0.003 a	0.038 ± 0.006 b
J1	0.047 ± 0.002 c	0.014 ± 0.003 d	0.066 ± 0.001 a	0.058 ± 0.001 b
J2	0.062 ± 0.005 c	0.032 ± 0.002 d	0.136 ± 0.001 a	0.111 ± 0.003 b
J3	0.158 ± 0.001 b	0.069 ± 0.001 c	0.158 ± 0.001 b	0.188 ± 0.001 a
L	0.056 ± 0.005 c	0.026 ± 0.002 d	0.115 ± 0.001 a	0.074 ± 0.001 b

的富集系数是根>花>叶>茎，E1 和 E3 的富集系数呈花>叶>根>茎，而 J3 的硒含量呈花>叶=根>茎，J1、J2、H 和 L 的富集系数呈叶>花>根>茎。相关分析表明，只有叶的富集系数与土壤硒含量达到了显著水平，而根、茎、花的富集系数与土壤硒含量之间的相关系数均没有达到显著水平。

2.4 川续断对硒的转运系数和次级转运系数

一般把地上部分某元素含量与根系某元素含量的比值称为转运系数^[19]。表 5 可见，所采川续断样品对硒的转运系数为 0.279~2.200，其中：茎的转运系数 0.279~0.676，所有样品茎的转运系数均小于 1，

以样品 H 的最小；叶的转运系数 0.421~2.200，有 6 个样品的转运系数大于 1，占 75%；花的转运系数在 0.626~1.789，也有 6 个样品转运系数大于 1，占 75%；E1、E2、E3 和 J3 4 个样品一致，转运系数都是花>叶>茎，除了 E2 花的转运系数小于 1 外，其余花的转运系数都大于 1；而 H、J1、J2 和 L 4 个样品一致，转运系数都是叶>花>茎，它们叶的转运系数均大于 1。因此根据川续断对硒的转运系数可以将所采集的川续断样品分为两类，前面 4 个花的转运系数最大，可称为花富集型，后面 4 个叶的转运系数最大，可称为叶富集型。

表 5 川续断对硒的转运系数和次级转运系数
Table 5 Transport factors and secondary transport factors of *Dipsacus asperoides* to selenium

样品	转运系数			次级转运系数	
	茎	叶	花	叶	花
E1	0.416 ± 0.009 c	1.298 ± 0.030 b	1.517 ± 0.014 a	3.121 ± 0.072 b	3.649 ± 0.034 a
E2	0.306 ± 0.007 c	0.421 ± 0.006 b	0.626 ± 0.028 a	1.377 ± 0.021 b	2.048 ± 0.092 a
E3	0.676 ± 0.004 c	1.231 ± 0.043 b	1.767 ± 0.016 a	1.819 ± 0.063 b	2.612 ± 0.024 a
J3	0.434 ± 0.006 c	0.998 ± 0.008 b	1.188 ± 0.009 a	2.297 ± 0.017 b	2.736 ± 0.020 a
H	0.279 ± 0.035 c	1.360 ± 0.064 a	0.880 ± 0.148 b	4.880 ± 0.229 a	3.157 ± 0.053 b
J1	0.298 ± 0.074 c	1.406 ± 0.025 a	1.232 ± 0.026 b	4.712 ± 0.082 a	4.130 ± 0.087 b
J2	0.514 ± 0.027 c	2.200 ± 0.024 a	1.789 ± 0.045 b	4.291 ± 0.046 a	3.489 ± 0.088 b
L	0.463 ± 0.037 c	2.038 ± 0.022 a	1.310 ± 0.009 b	4.409 ± 0.048 a	2.835 ± 0.020 b

注：表中同行数据后小写字母不同分别表示同一样品不同部位转运系数或次级转运系数差异显著(P<0.05)。

植物地上部分某元素含量与植物茎中该元素含量的比值称为次级转运系数^[20-21]。由表 5 可知，川续断叶的次级转运系数为 1.377~4.880，花的次级转运系数在 2.048~4.130，所有的次级转运系数都大于 1。上面 4 个花富集型样品的次级转运系数表现为花>叶，叶富集型样品的次级转运系数表现为叶>花。

3 讨论

从所采集川续断样品硒含量来看，变化范围比较宽，为 0.010~143.4 mg/kg，最高硒含量是最低硒含量的近 14 400 倍。如果把植物分为 3 类，第一类为硒含量显著高的植物，在含硒极低的地区不存在；第二类为能吸收相当数量硒而生长正常的植物，在富硒和低硒区都广泛存在；第三类为吸硒能力差的植物，在富硒土壤上生长极差^[22]，那么，川续断应该属于第二类，即能吸收相当数量的硒而生长正常的植物，因为土壤含硒 277.3 mg/kg 的土壤中也能正常生长，同时在硒含量低的地区也有分布。如果将植物分为聚硒植物、非聚硒植物和高硫高硒植物 3 类^[23]，则恩施川续断应该属于聚硒植物。因为聚硒植物能在高硒

土壤中，忍耐高浓度的硒而正常生长，非聚硒植物的硒含量一般小于 1 mg/kg，高硫高硒植物能积累较高的硒和硫^[24-25]。根据土壤硒含量的分级^[24-25]，所采恩施川续断生长地的土壤均属于富硒土壤，其中有两个属于硒过量土壤。如果按粮食硒含量标准^[24]，有 3 个川续断样品的根硒含量、4 个川续断样品的茎硒含量、1 个川续断样品的花硒含量属于低硒水平(<0.04 mg/kg)。由于川续断各部位的硒含量均与土壤硒含量呈极显著的线性相关，说明土壤硒含量决定川续断的硒含量。因川续断是药用植物，以根入药，而目前还没有药材硒含量的标准是按照食品标准来推算的。根据川续断根硒含量 y 与土壤硒含量 x 的关系 $y = 0.343x - 0.3501$ ，要使川续断根的硒含量达到足硒标准(0.04~0.07 mg/kg)，土壤含硒应大于 1.14 mg/kg，要达到富硒标准(0.07~1.0 mg/kg)，土壤硒含量应在 1.23~3.94 mg/kg。当然，植物的硒含量除了受土壤硒含量影响之外，也受土壤硒的形态、土壤性质、人为施肥等的影响^[26]。为了合理开发利用川续断和硒资源，今后应进一步分析硒在川续断中的存在形态及其与土壤性质的关系。

从本次采集样品的分析表明,恩施川续断硒含量的分布没有固定规律,有的是花的硒含量最高,有的是叶的硒含量最高,有的是根的硒含量最高,共同点就是茎的硒含量最低。一般报道的植物硒含量大多呈现固定的规律,例如盆栽烤烟硒含量呈根>叶>茎^[21-27],对玉米样品的分析发现玉米硒含量是叶>根>籽粒>茎秆^[28],盆栽水稻不同生育期的硒含量均呈根>茎>叶^[29]。本调查中不同地方川续断样品硒含量的分布不一致,应该与土壤类型、土壤性质和生长环境有关。文献报道的其他植物的硒含量都是在相同条件下的结果,而土壤类型、土壤性质和生长环境等会影响植物元素的含量和分布。相同土壤施硒水平下,潮土魔芋硒含量高于红壤,其主要原因是两种土壤酸碱性不同^[30]。土壤酸碱性影响土壤硒的形态,中性和酸性下以亚硒酸盐为主,碱性下以硒酸盐态为主^[31],由于亚硒酸盐容易通过配位体交换而被土壤吸附,因此硒酸根比亚硒酸根生物有效性高^[32]。如无论是土壤施硒还是叶片施硒,施硒酸盐的水稻籽粒硒含量显著高于施亚硒酸盐的处理^[33]。为了弄清川续断硒含量的分布规律,还应该进行相同土壤条件下,不同含硒水平方面的模拟试验研究。

一般用植物中某元素的含量与土壤中某元素含量的比值作为植物对该元素的生物富集系数^[34-36],生物富集系数越高,表明植物对元素的吸收能力越强^[28]。恩施野生川续断对硒生物富集系数为 0.012~0.727,基本上是土壤硒含量越高,生物富集系数越高,但是只有叶的富集系数与土壤硒含量的相关性显著,说明川续断对土壤硒的生物富集系数除了受土壤硒含量影响外,还与其他因素有关。由于最大富集系数达到 0.7 以上,说明川续断在一定条件下,对土壤硒的富集能力还是比较强的。对魔芋硒含量的研究发现,从恩施采集的自然土壤中生长魔芋对土壤硒的富集系数为 0.12~0.83,也是高硒土壤的富集系数高^[22],川续断对土壤硒的富集系数与此相似。土壤盆栽试验中魔芋硒的富集系数高于天然土壤中魔芋硒的富集系数^[22],说明外源硒比天然土壤中的硒更容易被植物吸收,因此要认识川续断对外源硒的富集能力,还需通过土壤添加外源硒的模拟试验进一步研究。

转运系数可用来评价植物将元素从地下部向地上部的运输和富集能力,当转运系数大于 1 时,说明该植物对某元素主要富集在地上部分,值越大越有利于元素在植物地上部分的富集;当转运系数小于 1 时,说明该植物对某元素主要富集在地下部分^[19]。所有样品茎的转运系数均小于 1,而多数样品叶和花

的转运系数均大于 1,说明川续断根系不仅能吸收利用土壤中的硒,还能将其吸收的硒输送到地上部分,并且能在一定的部位如叶或花中富集。根据转运系数将所采集的川续断样品分为花富集型和叶富集型,结合川续断硒含量来看,花富集型的植物硒含量都较高,均在 0.2 mg/kg 以上,所在土壤的硒含量也较高,均在 2.2 mg/kg 以上;而叶富集型川续断的植物和土壤硒含量均较低,植物硒含量均小于 0.08 mg/kg,土壤硒含量均小于 0.8 mg/kg。由此说明在低硒土壤环境下,川续断吸收的硒优先在叶中富集,在高硒土壤环境中,川续断吸收的硒会向花中转运并在花中富集。硒的次级转运系数可以反映植物从根系输送到茎部的硒向其他部分转运的能力,所有川续断样品的次级转运系数均大于 1,说明川续断茎中的硒容易向其地上其他部位转运而不在茎富集。在低硒土壤环境下,硒被输送到叶中富集,在高硒的土壤环境下,促进硒在花中富集。利用转运系数来研究植物对硒吸收富集还不多见,姜超强等^[21]研究了土壤施硒对烤烟次级转运系数的影响,烤烟叶的次级转运系数为 2.8~4.1,这跟川续断的次级转运系数基本一致。

4 结论

1)恩施野生川续断样品硒含量变幅较宽,介于 0.008~143.94 mg/kg。在土壤硒含量接近 300 mg/kg 的条件下,川续断依然生长正常,说明恩施川续断是耐硒能力较强的植物,其硒含量可以超过 100 mg/kg,说明川续断属于聚硒植物。

2)川续断生长地的土壤硒含量在 0.6~277.3 mg/kg,川续断根、茎、叶、花的硒含量均与土壤硒含量呈极显著线性相关,说明土壤中的硒对川续断的硒含量具有显著影响。

3)川续断不同部位硒含量的分布规律不明显,但都以茎的硒含量最低,多数样品以叶或花的硒含量最高。

4)川续断对土壤硒的生物富集系数介于 0.012~0.727,大部分川续断样品的转运系数大于 1,所有次级转运系数都大于 1,表明川续断不仅能够吸收利用土壤中硒,而且根系和茎秆中的硒能够向叶和花中转运并能在叶或花中富集,所以川续断是富硒能力较强的植物。

参考文献:

- [1] 王岩,周莉玲,李锐. 川续断的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2002, 13(4): 233-234.
- [2] 钟美英,申玉华. 川续断的研究现状[J]. 中医药导报, 2008, 14(6): 137-139.

- [3] 齐玉薇, 史长义. 硒的生态环境与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2005, 22(1): 63–66.
- [4] Rayman M P. The argument for increasing selenium intake[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2002, 61: 203–215.
- [5] 宁婵娟, 吴国良. 微量元素硒与人体健康及我国富硒食品的开发状况[J]. 山西农业科学, 2009, 37(50): 88–90.
- [6] 张瑶, 张璇, 田代明. 世界硒都亮相北京: 大美恩施精彩纷呈[J]. 中国民族, 2014 (11): 40–43.
- [7] 戴光忠. “世界硒都”恩施州烟草品牌化与产业发展对策[J]. 山东农业科学, 2014, 46(6): 139–142.
- [8] 朱云芬, 李卫东, 向极钎, 等. 恩施州硒产业发展战略研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(23): 5894–5897.
- [9] 张万福, 詹亚华, 尹文仲. 恩施道地药材的历史背景及传统品牌地位评价[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(1): 20–23.
- [10] 张万福. 湖北“五鹤续断”的地道历史考证及开发前景[J]. 湖北民族学院学报·医学版, 2002, 19(3): 24–26.
- [11] 白玫, 胡生福, 文婧, 等. 中药续断的研究进展[J]. 中外医疗, 2014, 20: 197–197.
- [12] 汪文来, 鞠大宏, 刘梅洁, 等. 续断有效成分药理学研究进展[J]. 中国医药导刊, 2015, 17(10): 1059–1060.
- [13] 田欢, 赵锋, 李晔, 等. 川续断皂甙VI的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(5): 226–234.
- [14] 陈大霞, 张雪, 王钰, 等. 中国川续断属药用种遗传多样性与亲缘关系的 SRAP 分析[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(13): 2559–2564.
- [15] 陈大霞, 张雪, 崔广林, 等. 川续断野生种质资源遗传多样性的 SCoT 分析[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(10): 1898–1903.
- [16] 张坤, 彭科怀, 杨长晓. 原子荧光法测定食品中的硒[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(8): 1915–1917.
- [17] 高雯雯, 戚欣, 吴良俊, 等. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定恩施富硒土壤中的总硒[J]. 光谱实验室, 2011, 28(2): 661–664.
- [18] 黄耿磊, 黄冬芬, 刘国道, 等. 镉胁迫对 3 种柱花草生长及植株镉积累和分配的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(1): 97–101.
- [19] 张庆华, 杨锋杰, 李丙霞, 等. 西南某矿区土壤植物体系中重金属分析评价[J]. 山东科技大学学报·自然科学版, 2007, 26(3): 15–18.
- [20] 胡钟胜, 章钢娅, 王广志, 等. 修复剂对烟草吸收污染土壤中砷的改良[J]. 土壤, 2006, 38(2): 200–205.
- [21] 姜超强, 沈嘉, 徐经年, 等. 不同富硒土壤对烤烟生长及硒吸收转运的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(11): 2303–2308.
- [22] 邹邦基. 土壤植物系统中的硒[J]. 土壤学进展, 1983, 11(3): 1–10.
- [23] Girling C A. Selenium in agriculture and the environment[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1984, 11: 37–65.
- [24] 刘铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 355–356.
- [25] Tan J, Zhu W, Wang W, et al. Selenium in soil and endemic diseases in China[J]. Science of the Total Environment, 2002, 284: 227–235.
- [26] 刘敏, 张瑞瑞, 郑韵英, 等. 影响作物吸收硒的土肥因素研究进展[J]. 土壤, 2018, 50(6): 1100–1104.
- [27] 杨兰芳, 丁瑞兴. 低硒土施硒对烤烟硒含量及其体内分布的影响[J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(1): 47–50.
- [28] Wang S, Liang D, Wang D, et al. Selenium fractionation and speciation in agriculture soils and accumulation in corn (*Zea mays* L.) under field conditions in Shaanxi Province, China[J]. Science of the Total Environment, 2012, 427/428: 159–164.
- [29] 张城铭, 周鑫斌, 高阿祥. 水稻不同生育期对硒吸收累积及铁膜的吸附特性[J]. 土壤学报, 54(3): 693–702.
- [30] 后丹, 杨兰芳, 余同玲. 魔芋在不同土壤环境条件的含硒量[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2012, 34(2): 202–207.
- [31] 王张民, 袁林喜, 朱元元, 等. 我国富硒农产品与土壤标准研究[J]. 土壤, 2018, 50(6): 1080–1086.
- [32] Hartikainen H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2005, 18, 309–318.
- [33] Boldrin P F, Faquin V, Ramos S J, et al. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31: 238–244.
- [34] Boim A G F, Melo L C A, Moreno F N, et al. Bioconcentration factors and the risk concentrations of potentially toxic elements in garden soils[J]. Journal of Environmental Management, 2016, 170: 21–27.
- [35] Melgar M J, Alonso J, García M A. Cadmium in edible mushrooms from NW Spain: Bioconcentration factors and consumer health implications[J]. Food and Chemical Toxicology, 2016, 88: 13–20.
- [36] Melgar M J, Alonso J, García M A. Mercury in edible mushroom and underlying soil: Bioconcentration factors and toxicological risk[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407: 5328–5334.