

川芎中无机元素的分布及积累规律

周利¹, 赵曼茜², 王升¹, 康传志¹, 黄璐琦¹, 郭兰萍^{1*}

(1. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700;

2. 成都康弘药业集团股份有限公司, 四川 成都 610036)

[摘要] 针对川芎药材重金属镉(Cd)超标现象, 开展了川芎中包括重金属在内的12种无机元素积累规律的研究。发现川芎茎叶中大部分无机元素的含量、分配比例以及茎叶对无机元素的吸收能力均在苗期和抽茎期较高, 且显著高于根茎。而根茎中大部分元素含量在收获期达到最高, 且部分元素的根茎分配比例在收获期高于茎叶。但川芎根茎和茎叶对不同元素吸收能力的相对大小以及对元素的富集作用比较稳定, 受生育期和部位影响小。川芎根茎和茎叶对Cd均有富集, 茎叶在苗期和抽茎期还对铅(Pb)有富集。川芎茎叶对Pb的吸收能力始终大于根茎, 对Cd的吸收能力在收获期小于根茎。随着生长时间的延长, 川芎对Cd、Pb的总吸收量减少, 但在根茎中的分配比例增加, 从而使得川芎根茎中Cd、Pb含量随生长时间的延长而增加。

[关键词] 川芎; Cd; 无机元素; 分布; 积累

Distribution and accumulation of inorganic elements in *Ligusticum chuanxiong*

ZHOU Li¹, ZHAO Man-xi², WANG Sheng¹, KANG Chuan-zhi¹, HUANG Lu-qi¹, GUO Lan-ping^{1*}

(1. State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; 2. KangHong Pharmaceutical Group, Chengdu 610036, China)

[Abstract] Aiming at the phenomenon of heavy metal Cd exceeding the standard of Chuanxiong medicinal materials, the accumulation of 12 inorganic elements, including heavy metals, in *Ligusticum chuanxiong* was studied in this paper. It was found that the contents and distribution of most inorganic elements in the stems and leaves of *L. chuanxiong* were higher than those in the rhizomes at seedling and shooting stages. The content of most elements in rhizome reached the highest at harvest stage, and the distribution ratio of some elements in rhizome was higher than that in stem and leaf at harvest stage. But rhizome, stem and leaf of *L. chuanxiong* have relatively stable absorption capacity and enrichment effect on different elements, and are less affected by growth period and position. Rhizomes and stems and leaves of *L. chuanxiong* were enriched with Cd, and stems and leaves also accumulated Pb at seedling stage and stem stage. The absorption capacity of Pb in stems and leaves of *L. chuanxiong* was higher than that of rhizomes, and the ability of absorbing Cd was less than that of rhizomes at harvest time. The total uptake of Cd and Pb by *L. chuanxiong* decreased with the prolongation of growth time, but the proportion of Cd and Pb in rhizome increased, so that the content of Cd and Pb increased with the prolongation of growth time.

[Key words] *Ligusticum chuanxiong*; inorganic elements; distribution; accumulation

doi: 10.19540/j.cnki.cjmm.20190426.101

川芎为伞形科植物川芎 *Ligusticum chuanxiong* 性温, 归肝、胆、心包经, 具有活血行气、祛风止痛等 Hort. 的干燥根茎, 是著名川产道地药材。其味辛, 功效, 在临床上常用于治疗心脑血管^[1]、呼吸^[2]、泌

[收稿日期] 2018-09-26

[基金项目] 国家药典委员会药品医疗器械审评审批制度改革项目(ZG2016-4); 国家重点研发计划项目(2017YFC1700701); 中国中医科学院重点领域项目(ZZ10-027)

[通信作者] * 郭兰萍, 研究员, Tel: (010) 64011944, E-mail: glp01@126.com

[作者简介] 周利, E-mail: 1095923639@qq.com

尿系统^[3-4]、免疫系统等方面的疾病^[5]。川芎不仅是临床上常用的药材,也是我国对外出口的大宗药材,但由于川芎药材中经常出现重金属镉(Cd)超标问题,严重影响了其市场口碑,制约了川芎药材走向国际市场^[6]。本研究在川芎主产地开展了川芎中包含重金属元素在内的无机元素积累规律的研究,为正确认识川芎重金属超标,制定科学合理的川芎重金属限量标准打下基础。

1 材料

1.1 试药

本实验所用川芎药材采自四川省某川芎种植基地,其生长土壤 pH 6.11 ± 0.54 。根据川芎的生育期,分别于2008年12月、2009年3月和2009年5月进行样品采集,对应的川芎生育期分别为苗期、抽茎期和收获期。采样点的设置参照了HJ-T 166-2004中的系统随机布点法,将供试基地等分为20个网格,每个网格内设1个采样点,采集川芎原植物(包括根茎和茎叶),并用竹片轻轻刮下根茎上所带泥土(约0.5 kg),分装于对应封口袋中。川芎根茎、茎叶和根际土壤样品均为单独处理测定,且根茎、茎叶和土壤一一对应,研究共采集川芎样品20份。

1.2 仪器

ULTIMA型电感耦合等离子光谱仪(法国JY公司),仪器工作参数:发生器功率小于5 kW;载气流速为 $0.92 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$;冷却气流速为 $12 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$;护套气流速为 $0.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$;观测高度为12 mm;样品提升量为 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$;雾室压力为298 kPa。Shimadzu LibrorAEG-45SM型1/10万电子天平,Shimadzu AW220型1/10万电子天平。 HClO_4 、 HNO_3 均为分析纯。实验用水为Millipore-Q装置处理超纯水。实验所用玻璃仪器使用前均经10% HNO_3 浸泡过夜,并采用超纯水洗净。

1.3 试剂

土壤标准物质GBW-07408(GSS-8,批号4901037),购置于地矿部物化探所、测试所。铁(Fe)、铜(Cu)、锰(Mn)、锌(Zn)、镉(Cd)、铬(Cr)、铅(Pb)、钙(Ca)、镁(Mg)、钾(K)、锶(Sr)、磷(P)单元素标准溶液购置于中国计量院国家标准物质中心,质量浓度为 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2 方法

2.1 样品的处理

药材样品采集后,用清水洗净根、茎叶表面的泥

土,再用蒸馏水、去离子水分别快速淋洗3遍,晾干,根以 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,茎叶先在 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 杀青15 min,后 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒重。均用玛瑙乳钵研细备用。对应的土样在室内风干、粉碎,过100目筛备用。

2.2 样品的消解与测定

植物样品的消解方法根据《中国药典》2005年版一部IX B中Pb测定项下的制备B法。取供试品0.5 g,精密称定,置凯氏烧瓶中,加硝酸-高氯酸(4:1)混合溶液20 mL,混匀,置电热板上加热消解,保持微沸,若变棕黑色,再加硝酸-高氯酸(4:1)混合溶液适量,持续加热至溶液澄清后升高温度,继续加热至冒浓烟,直至白烟散尽,消解液呈无色透明或略带黄色,放冷,转入50 mL量瓶中,用2%硝酸溶液洗涤容器,洗液合并入量瓶中,高纯水定容至50 mL。同时平行做1份空白试液。每份样品做3个重复。

土壤样品的消解方法为:取供试品0.5 g,精密称定,置聚四氟乙烯坩埚中,加入硝酸-高氯酸-氢氟酸(3:1:1)混合溶液25 mL,浸泡过,置电热板上加热消解,待大量白烟冒尽,样品可呈流动球珠状时取下,用高纯水定容至50 mL。同法处理土壤标准物质。同时平行做1份空白溶液。每份样品做3个重复。

2.3 数据的处理

试验数据应用Excel 2003和SPSS 13.0统计软件进行分析处理,其中相关分析用Pearson相关系数法,多重比较用SNK法。

本研究中富集系数指川芎的根茎及茎叶中某种元素的含量与该元素在川芎生长土壤中该元素含量的比值。

3 结果与分析

3.1 川芎不同部位各元素含量随生育期的变化

川芎根茎中各元素在不同生育期的含量测定结果见表1。由表可知,在川芎根茎中K、Mg含量为苗期显著最高,Ca、Zn、Fe、Sr、Mn、Cu、Cr、Cd为收获期显著最高,而Pb、P含量在各生育期无显著差异。陈兴福等^[7]的研究发现,苗期为川芎根茎的前期膨大期,收获期为川芎根茎的后期迅速膨大和储藏期。由此推测,川芎根茎在苗期对K、Mg元素的需求量较大,而在后期迅速膨大和储藏时,对Ca、Zn、Fe、Sr、Mn、Cu、Cr、Cd元素的需求量更高。

表1 川芎根茎中无机元素在不同生育期的含量分析($n=20$)

元素	根茎			茎叶		
	苗期	抽茎期	收获期	苗期	抽茎期	收获期
K	13 674.95A	6 890.36B	9 959.44C	30 611.27A	15 545.88B	18 629.05B
P	39 99.50A	3 554.64A	3 821.59A	2 507.80A	3 015.67B	3 263.47B
Ca	5 155.21A	3 323.20B	5 771.24A	23 725.23A	15 337.23B	14 795.46B
Mg	2 523.68A	2 148.76B	2 487.19A	3 164.20A	3 234.98A	3 135.74A
Fe	1 263.90A	448.77B	1 610.12A	2 200.19A	2 355.58A	982.03B
Zn	75.76A	63.97A	112.03B	302.36A	178.19B	131.37C
Mn	42.35A	24.12B	62.53C	67.39A	60.12A	59.91A
Cu	12.76A	17.49B	22.80C	17.50A	20.80B	12.22C
Sr	32.80A	27.63A	39.28B	58.88A	67.90A	68.05A
Cr	4.79A	11.82A	25.31B	13.21A	18.59B	9.57A
Cd	1.44A	1.45A	2.83B	5.58A	2.56B	1.40C
Pb	7.44A	9.59A	10.16A	54.45A	58.40A	39.13B

注: 同一列中不同大写字母表示差异显著, $P < 0.05$ (表 2~3, 5 同)。

川芎茎叶中各元素在不同生育期的含量测定结果见表 1。在川芎茎叶中 Ca, Cd, Zn, K, Cu, Cr, Fe, Pb 含量均为苗期和抽茎期显著高于收获期, P 为苗期显著低于抽茎期和收获期, 而 Mn, Mg, Sr 含量在各生育期内没有显著差异。观察发现, 苗期和抽茎期间为川芎茎叶生长高峰期, 但苗期川芎并不抽茎, 只生长基生叶, 而抽茎期的川芎抽茎并生长茎生叶。由此推测, 在川芎茎叶的生长过程中, 对 Ca, Cd, Zn, K, Cu, Cr, Fe, Pb 此 8 种元素的需求量较高。

此外, Cd, Pb 在全株以及茎叶中的含量随生育期的延长而降低, 但在根茎中含量随生育期的延长而增加。到收获期时, 川芎根茎中 Cd 和 Pb 的含量均超过了《中医药-中草药重金属限量》ISO 国际标

准^[8]中 Cd ($2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和 Pb ($10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 的限量值。而川芎的药用部位是根茎, 推测 Cd, Pb 与川芎根茎中药效成分的积累存在一定关联。

3.2 川芎各部位中元素含量的分配比例随生育期的变化

不同生育期川芎中各无机元素的含量在根茎和茎叶中分配比例见表 2。苗期和抽茎期, P 为根茎 > 茎叶, Ca, Pb, Zn, Cd, K, Cr, Fe, Mn, Sr, Cu, Mg 均为茎叶 > 根茎, 抽茎期 P 的根茎和茎叶分配比例差异不显著。收获期, P, Fe, Cu, Mn, Cr, Cd 均为根茎 > 茎叶, K, Ca, Zn, Mg, Sr, Pb 为茎叶 > 根茎, Mn 在根茎和茎叶的分配比例差异不显著。方差分析显示在各生育期大部分元素在根茎, 茎叶中的含量具有显著性差异。

表2 川芎各部位中无机元素在不同生育期的分配比例($n=20$)

元素	苗期		抽茎期		收获期	
	根茎	茎叶	根茎	茎叶	根茎	茎叶
K	31.46A	68.54B	32.22A	67.78B	35.42A	64.58B
P	61.63A	38.37B	55.35A	44.65B	53.56A	46.44B
Ca	18.00A	82.00B	18.27A	81.73B	27.99A	72.01B
Mg	44.74A	55.26B	40.16A	59.84B	44.60A	55.40B
Fe	37.87A	62.13B	18.79A	81.21B	58.68A	41.32B
Zn	20.08A	79.92B	27.30A	72.70B	45.65A	54.35B
Mn	39.00A	61.00B	27.90A	72.10B	51.91A	48.09A
Cu	42.21A	57.79B	46.64A	53.36A	64.09A	35.91B
Sr	35.72A	64.28B	29.55A	70.45B	36.76A	63.24B
Cr	29.55A	70.45B	42.86A	57.14A	66.72A	33.28B
Cd	21.00A	79.00B	39.39A	60.61B	68.98A	31.02B
Pb	12.31A	87.69B	15.97A	84.03B	19.54A	80.46B

根据元素的分配特征,可将12种元素分为3类:K、Ca、Zn、Mg、Sr、Pb易于向茎叶分配,且这种分配趋势不随生育期而变动;P易于向根茎分配,这种分配比例亦不随生育期而变动;Fe、Cu、Mn、Cr、Cd的分配趋势随生育期而变,苗期和抽茎期易于向茎叶分配,收获期易于向根茎分配。

3.3 川芎药材及土壤环境质量分析

3.3.1 药材根际土壤中无机元素的质量分析 川芎根际土壤中各元素含量见表3。

表3 不同生育期川芎根际土壤无机元素的含量比较($n=20$)
Table 3 Comparison of contents of inorganic elements in rhizosphere soil of *Ligusticum chuanxiong* at different growth stages ($n=20$)
 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

元素	苗期	抽茎期	收获期
K	12 267.45A	12 320.32A	12 835.47A
P	925.53A	941.19A	987.77A
Ca	11 259.77A	16 366.25B	17 997.60C
Mg	4 814.74A	10 232.76B	10 651.91B
Fe	25 747.58A	38 836.82B	43 439.94C
Zn	141.08A	139.04A	156.37B
Mn	344.12A	439.77B	497.63C
Cu	24.91A	26.81A	35.55B
Sr	127.59A	226.59B	238.36C
Cr	123.31A	134.94B	150.50C
Cd	0.64A	0.67AB	0.76B
Pb	30.00A	42.33B	45.94B

不同生育期土壤元素含量的差异分析结果表

表4 川芎根际土壤中元素含量与根茎和茎叶中元素含量的相关性分析($n=20$)

Table 4 Correlation analysis of element contents in rhizosphere soil and rhizomes and leaves of *Ligusticum chuanxiong* ($n=20$)

元素	苗期		抽茎期		收获期	
	根茎	茎叶	根茎	茎叶	根茎	茎叶
K	0.635 ²⁾	0.668 ²⁾	0.280	0.707 ²⁾	0.377	0.276
P	-0.069	-0.059	0.032	0.171	0.256	-0.057
Ca	-0.370	0.599 ²⁾	-0.161	-0.035	0.069	0.043
Mg	0.131	0.261	0.359	-0.055	0.483 ¹⁾	-0.078
Fe	-0.214	-0.076	0.076	0.344	0.078	0.437
Zn	0.119	0.368	0.391	0.263	-0.237	0.040
Mn	0.153	0.081	0.210	0.130	0.109	0.212
Cu	0.217	0.164	0.151	0.015	-0.143	-0.217
Sr	0.186	0.070	0.069	0.320	0.082	-0.029
Cr	-0.071	-0.272	-0.064	0.381	0.134	-0.027
Cd	0.159	0.074	0.441	0.116	-0.128	0.142
Pb	0.226	0.382	-0.047	0.169	0.619 ²⁾	0.332

注: ¹⁾ $P<0.05$; ²⁾ $P<0.01$ 。

明,除Zn的含量先少量减少后升高以外,其余各元素在土壤中的含量均为收获期>抽茎期>苗期,其中Cu含量在抽茎期与苗期无显著差异,Pb含量在抽茎期与收获期无显著差异,Cd含量为抽茎期与苗期和收获期无显著差异。

3.3.2 土壤元素含量与川芎各部位元素含量的相关性 根茎含量与土壤中相应元素含量呈显著正相关的元素,苗期为K,收获期为Mg和Pb,抽茎期无。茎叶含量与土壤中相应元素含量呈显著正相关的元素,苗期为Ca和K,抽茎期为K,收获期无,见表4。川芎根茎和茎叶中多数元素含量受土壤总量的影响较小,可能与元素的土壤-植物迁移过程中,无机元素之间普遍存在协同和拮抗作用有关。也可能与土壤总量及其他元素的存在对元素的赋存状态的影响有关。

3.4 川芎不同部位和不同生育期对各元素吸收能力的比较分析

3.4.1 不同生育期根茎和茎叶对元素吸收能力的差异 比较元素根茎和茎叶的富集系数可知,在3个生育期,根茎对P的吸收能力均高于茎叶。其余11种元素,在苗期和抽茎期,均为茎叶的吸收能力高于根茎,其中抽茎期根茎和茎叶对P、Cu、Cr的吸收能力差异不显著;收获期,根茎对Cd、Cu、Cr、Mn、Fe的吸收能力高于茎叶,其余元素仍为茎叶的吸收能力高于根茎,其中根茎和茎叶对P、Zn、Mn的吸收能力差异不显著,见表5。

表5 川芎不同部位和不同生育期中各元素的富集系数分析($n=20$)Table 5 Analysis of enrichment coefficient of various elements in different parts and different growth stages of *Ligusticum chuanxiong* ($n=20$)

元素	苗期		抽茎期		收获期	
	根茎	茎叶	根茎	茎叶	根茎	茎叶
K	1.11A	2.48A	0.56B	1.25B	0.78C	1.45B
P	4.56A	2.86A	4.04A	3.37A	4.05A	3.50A
Ca	0.48A	2.15A	0.21B	0.95B	0.32C	0.83B
Mg	0.53A	0.66A	0.21B	0.32B	0.23B	0.30B
Fe	0.05A	0.09A	0.01B	0.06B	0.04C	0.02C
Zn	0.54A	2.16A	0.47A	1.30B	0.72B	0.85C
Mn	0.12A	0.20A	0.05B	0.14B	0.13A	0.12B
Cu	0.51A	0.71A	0.66B	0.79A	0.65B	0.35B
Sr	0.26A	0.47A	0.12B	0.30B	0.17C	0.29B
Cr	0.04A	0.11A	0.09A	0.14A	0.17B	0.06B
Cd	2.32A	9.00A	2.24A	4.06B	3.85B	1.87C
Pb	0.25A	1.82A	0.25A	1.48B	0.21A	0.88C

3.4.2 根茎对各元素吸收能力的比较 川芎根茎对元素的富集系数见表5。比较根茎中各元素富集系数可知,川芎根茎中不同元素迁移能力具有很大差异。以P的迁移能力最大,Fe的迁移能力最小,两者差距最大达到404倍(抽茎期)。某些元素迁移能力的相对大小随生育期有一定变动,但根茎中元素迁移能力总体趋势较为稳定,为 $P>Cd>(K,Zn,Cu,Mg,Ca,Pb)>Sr>Cr>Mn>Fe$ 。

以富集系数大于1.0,作为根茎对该元素有富集作用的评判标准。由表可知,苗期,根茎对K,P,Cd有富集作用,其中K的根茎和土壤含量无显著差异。抽茎期,根茎对P,Cd有富集作用。收获期,根茎对P,Cd有富集作用。由此可见,川芎根茎对P,Cd的富集作用强,而对Cr,Fe,Mn,Sr,Cu,Mg,Ca,Pb,Zn没有富集,且其富集能力不随生育期而变化。川芎根茎对K的富集能力随生育期而变化,苗期有富集,抽茎期和收获期无富集。

3.4.3 茎叶对各元素吸收能力的比较 川芎茎叶对元素的富集系数见表5。比较茎叶中各元素富集系数可知,川芎茎叶中不同元素迁移能力具有很大差异。以Cd或P的迁移能力最大,Fe的迁移能力最小,两者差异最大达到175倍(收获期)。某些元素迁移能力的相对大小随生育期有一定变动,但茎叶中元素迁移能力总体趋势较为稳定,为 $Cd,P>(K,Pb,Zn,Ca)>Cu>Mg>Sr>Mn>Cr>Fe$ 。

以富集系数大于1.0,作为茎叶对该元素有富集作用的评判标准。由表5可知,苗期,茎叶对K,

P,Ca,Zn,Cd,Pb均有富集作用。抽茎期,茎叶对K,P,Zn,Cd,Pb有富集作用。收获期,茎叶对K,P,Cd有富集作用。由此可见,川芎茎叶对K,P,Cd的富集作用强,而对Cr,Fe,Mn,Sr,Cu,Mg没有富集,且其富集能力不随生育期而变化。川芎茎叶对Ca,Zn,Pb的富集能力随生育期而变化:苗期对Ca有富集,抽茎期和收获期无;苗期和抽茎期对Zn,Pb有富集,收获期无。

综上所述,根茎对P的吸收能力高于茎叶,对其他元素的吸收能力较低,仅在收获期时,对Cd,Cu,Cr,Mn,Fe的吸收能力高于茎叶。且根茎对多数元素的吸收能力以苗期和收获期较高,考虑到苗期和收获期为根茎的2个生长高峰期,尤其是收获期,认为这应该与根茎生长发育对元素的需求有关。而茎叶对多数元素的吸收能力以苗期最高,抽茎期时显著下降,收获期基本不变。考虑到苗期和抽茎期为茎叶生长高峰期,收获期茎叶生长缓慢,认为这可能是植物生长带来的稀释效应。这与黄莺^[9]得到的结果相似。

4 讨论

4.1 川芎不同部位生长发育的元素需求特征

无机元素含量和分配比例随植物部位和生育期的变化,反应了川芎各部位生长发育的元素需求。川芎根茎药材中8种微量元素含量均在收获期达到最大值,药材采收期的确定应将微量元素含量作为考察指标之一。根据所观察到的川芎生长情况,结合陈兴福等^[7]对川芎不同生育期生长特征描述可

知, 苗期和抽茎期为川芎茎叶生长的2次高峰期, 此时根茎生长很缓慢, 而收获期为川芎根茎的后期迅速膨大和储藏期。此时, 茎叶生物量达到最大值, 为根茎的有机质富集提供了物质基础。本试验发现, Ca, Zn, Sr, Fe, Cu, Mn, Cr 的根茎含量均为收获期显著高于抽茎期和苗期。其中 Fe, Cu, Mn, Cr 的分配比例在收获期由茎叶较高转为根茎较高, Ca, Zn, Sr 在根茎中的分配比例随生育期的延长而显著增加。由此推测, 川芎在根茎膨大期对 Ca, Zn, Sr, Fe, Cu, Mn, Cr 元素的需求量较大。10种元素(除去Cd和Pb)在苗期和生长期均以茎叶分配为主, 其中 K, Ca, Zn, Mg, Sr 在3个生育期均以茎叶分配居多。由此推测, 此5种元素对川芎光合作用和呼吸作用具有重要意义。

近年来, 有关中药材中微量元素的药理作用的研究很多, 不少研究认为中药材中微量元素的种类和含量与中药材疗效有密切联系^[10]。本研究也发现, 在川芎根茎的膨大高峰期, 其对无机元素的选择具有一定的偏向性, 由此建议将药材中无机元素含量也纳入药材的考查指标。

4.2 川芎不同部位对无机元素吸收差异的比较

川芎对不同元素的吸收和富集能力差异很大, 但其对不同元素吸收能力的相对大小以及对元素的富集作用比较稳定, 受生育期和部位影响小。根茎和茎叶对 Cd, P 的吸收能力最强, 对 Sr, Mn, Cr, Fe 的吸收能力弱, 其中又 Fe 最弱, 对 K, Zn, Cu, Mg, Ca, Pb 的吸收能力居中。根茎和茎叶对 Cd 的吸收能力均很强, 吸收能力的大小与 P 相似。根茎对 Pb 的吸收能力较弱, 茎叶对 Pb 的吸收能力较强, 吸收能力的大小与 Zn, K 相似。川芎对 12 种元素富集作用的总体情况为: 根茎和茎叶均对 P, Cd 有富集作用, 对 Fe, Mn, Sr, Cr, Mg, Cu, Ca 无富集作用, 且不受生育期影响; 茎叶对 K 有富集, 不受生育期影响, 而根茎仅在苗期对 K 有不显著富集; 茎叶对 Ca, Zn, Pb 有富集作用, 而根茎无, 但茎叶对 Zn, Pb, Ca 的富集作用受生育期影响。

4.3 川芎根茎和茎叶对镉、铅的吸收和富集特征

本研究发现, 随着生长时间的延长, 川芎全株中 Cd, Pb 的含量下降, 但根茎分配比例增加, 从而使得川芎根茎中 Cd, Pb 含量随生育期的延长而增加。

其中 Cd 在根茎中的分配比例上升幅度大于 Pb。由此推测, 这些有害元素在植物体内的积累特性, 使得根药和根茎药, 特别是多年生根药和根茎药, 易于发生重金属含量超标事件。

此外, 川芎根茎和茎叶对 Cd 均有富集作用, 苗期和抽茎期, 茎叶对 Cd 的吸收能力大于根茎, 而收获期, 根茎对 Cd 的吸收能力大于茎叶。原因可能是由于叶会通过落叶, 分泌等形式向外释放 Cd, 而根部积累的 Cd 不会向外释放, 故随着生长时间的延长不断累积。茎叶对 Pb 的吸收能力始终大于根茎, 且茎叶在苗期和抽茎期对 Pb 有富集作用。川芎茎叶对 Pb 的吸收能力大于根茎, 与已有研究相悖^[11-12]。原因可能有 2 个: 一是 Pb 在川芎中的迁移能力强; 二是川芎叶片中 Pb 的主要来源不是根系从土壤吸收, 而是叶片从大气或叶片喷施物(如农药, 生长促进剂等)吸收。

[参考文献]

- [1] 赵青春. 舒胸片治疗冠状动脉粥样硬化性心脏病心绞痛的临床观察[J]. 河北中医, 2002, 24(11): 865.
- [2] 于洁, 李英, 顾连方, 等. 黄芪和川芎对老年糖尿病肾病患者肾功能的影响[J]. 浙江中西医结合杂志, 1997(2): 69.
- [3] 张燕, 桃仁川芎二药治疗脑出血 30 例的临床观察[J]. 四川中医, 2004, 22(2): 41.
- [4] 冯文周, 李中和. 复方川芎胶囊对增生性肾炎患者血浆内皮素和脂质过氧化物的影响[J]. 中国医院药学杂志, 2003, 23(8): 473.
- [5] 张铁雯, 钟里科, 楼倩雯, 等. 川芎嗪诱导小鼠肝药酶 Cyp3a11 的作用及其机制研究[J]. 中国现代应用药学, 2018, 35(7): 967.
- [6] 潘钢. 川产川芎重金属调查与评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- [7] 陈兴福, 丁德蓉, 刘岁荣, 等. 川芎生物学特性研究[J]. 中国中药杂志, 1994, 19(8): 463.
- [8] ISO 18664-2015. Traditional Chinese medicine-determination of heavy metals in herbal medicines used in traditional chinese medicine[S]. 2015-07-21.
- [9] 黄莺. 烟草-土壤体系中重金属镉的迁移转化规律及其生物效应[D]. 贵阳: 贵州大学, 2006.
- [10] 陈坤全, 张淮祥. 中药材与微量元素[J]. 中华实用医药杂志, 2003, 2(2): 157.
- [11] Zimdahl R. Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources[J]. Air Repair, 1976, 26(7): 655.
- [12] 许嘉琳, 宋文昌. 农作物体内铅、镉、铜的化学形态研究[J]. 应用生态学报, 1991(3): 244.

[责任编辑 吕冬梅]