

•栽培•

# 土壤无机元素对赤芍无机元素及芍药苷含量的影响

赵曼茜<sup>1,2</sup>, 吕金蝶<sup>1</sup>, 杨光<sup>1</sup>, 林淑芳<sup>1</sup>, 吴志刚<sup>1</sup>, 宋良科<sup>2</sup>  
黄璐琦<sup>1</sup>, 郭兰萍<sup>1\*</sup>

(1. 中国中医科学院 中药研究所, 北京 100700;  
2. 西南交通大学生命科学与工程学院药理学系, 四川 成都 610031)

[摘要] 目的: 探讨土壤无机元素对赤芍中无机元素和芍药苷含量的影响。方法: 对不同产地赤芍中芍药苷含量、药材无机元素含量及根际土壤中无机元素含量进行测定, 所得数据用 SPSS13.0 软件进行差异比较和相关分析。结果: 赤城所产赤芍中芍药苷和有益元素 Sr, Ca 含量均显著低于围场, 而 Ni, Cr 以及有害元素 Cd, Pb 含量显著高于围场, 且其根际土壤中 Cd, Pb, Cr, Ni, Fe, Co, Cu, As, Zn, Hg 8 种元素含量亦显著高于围场。赤芍中 Cd, Pb, Ni 3 种元素均与芍药苷呈显著负相关。赤芍药材中 Cd, Pb, Cr, Ni 两两间呈显著正相关, 且均与 Sr 呈显著负相关。赤芍药材与土壤中 Cd, Pb, Cr, Ni, Se 呈显著正相关。结论: Sr 可能会抑制赤芍对 Cd, Pb, Cr, Ni 的吸收, 而 Ca 可能会抑制赤芍对 Cr, Ni 的吸收。Cd, Pb, Ni, Cr, Se 在土壤中的含量对其在赤芍药材中的含量有较大影响, 而其中 Cd, Pb, Ni 的含量还可能影响到赤芍中芍药苷的含量。

[关键词] 赤芍; 土壤; 无机元素; 芍药苷

[中图分类号] R931.2 [文献标识码] B [文章编号] 1005-9903(2009)10-0038-05

## Effects of Inorganic Elements in Soil on Contents of Inorganic Elements and Paeoniflorin in Radix Paeoniae Rubra

ZHAO Man-xi<sup>1,2</sup>, LV Jin-rong<sup>1</sup>, YANG Guang<sup>1</sup>, LIN Shu-fang<sup>1</sup>, WU Zhi-gang<sup>1</sup>,  
SONG Liang-ke<sup>2</sup>, HUANG Lu-qi<sup>1</sup>, GUO Lan-ping<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;  
2. Pharmacy Department, Institute of Life Science and Engineering,  
Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

[Abstract] **Objective:** Effects of soil inorganic elements on the contents of inorganic elements and paeoniflorin in Radix Paeoniae Rubra were examined. **Methods:** The contents of paeoniflorin and inorganic elements of soil and the medicinal material were determined, and the data obtained was analysed by SPSS 13.0. **Results:** Compared with that grown in Weichang, the Radix Paeoniae Rubra grown in Chicheng contained significantly lower contents of paeoniflorin, Sr and Ca, and higher that of Ni, Cr, Cd and Pb, and its rhizosphere soil also contained significantly higher contents of Cd, Pb, Cr, Ni, Fe, Co, Cu, As, Zn and Hg. In the medicinal material, the content of paeoniflorin had significantly negative correlation with the contents of three elements (Cd, Pb, Ni), and the contents of four elements (Cd, Pb, Cr,

[收稿日期] 2009-01-07

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划(2006CB504700); 国家中医药管理局行业专项(200707014); 国家十一五科技支撑计划课题(2006BAI09B03); 中国中医科学院基本科研业务费自主选题项目(ZZ2006095); 国家中医药管理局中医药标准化项目(ZYYS-2008)

[通讯作者] \* 郭兰萍, Tel: (010) 64011944; E-mail: glp01@126.com

Ni) that had significant correlations every two were negatively correlated with that of Sr. Moreover, for Cd, Pb, Cr, Ni, Se, there were significant correlations between their soil contents and medicinal material contents. **Conclusions:** Sr could inhibit the uptake of Cd, Pb, Cr and Ni from soil by Radix Paeoniae Rubra, and Ca may have the same action to Cr and Ni. The contents of Cd, Pb, Ni, Cr and Se in the medicine material may be greatly effected by their contents in soil, and the content of paeoniflorin may be effected by the contents of Cd, Pb and Ni in the soil.

[ **Key words** ] Radix Paeoniae Rubra; soil; inorganic element; paeoniflorin

毛茛科植物野生芍药 *Paeonia lactiflora* Pall. 的干燥根是常用中药赤芍的来源之一<sup>[1]</sup>。本文通过测定赤芍中芍药苷含量、药材无机元素含量及根际土壤中无机元素含量,结合三者在不同产地赤芍中的含量差异,对三者的相关性进行了系统分析。初步认识了赤芍的无机元素含量特征,并就土壤无机元素对赤芍中无机元素和芍药苷含量的影响进行初步探讨,为进一步认识土壤对赤芍品质的影响奠定基础。

## 1 材料与方法

**1.1 样品来源** 2007 年 6~7 月(赤芍花期),于河北省张家口市赤城县、承德市围场县两地进行样品采集,各随机选点 10 个采集赤芍原植物,并用竹片轻轻刮下根茎上所带泥土,装于封口袋中。两地赤芍生境相似,均为林地、灌木地、过度的斜坡地带以及稀灌木斜坡地带。生长海拔,赤城为 1 050~1 300 m,围场为 800~1 300 m。样品均由中国中医科学院中药研究所黄璐琦研究员鉴定,为毛茛科植物芍药 *Paeonia lactiflora* Pall.。

**1.2 样品处理** 取赤芍的根,用清水洗净根表面的泥土,再用蒸馏水、去离子水分别快速淋洗 3 遍,晾干,以 60 °C 烘干至恒重。玛瑙乳钵研细过 80 目筛的样品用于无机元素含量测定,药材粉碎机粉碎过 60 目筛的样品用于芍药苷含量的测定。土样在室内风干、粉碎,过 100 目筛。样品过筛后盛于样品袋中,置干燥器保存待测。

## 1.3 分析方法

**1.3.1 无机元素含量测定** 精确称取植物样品 0.2 g(土壤样品 0.1 g),置聚四氟乙烯坩埚内,用去离子水润湿后加入 HNO<sub>3</sub>:HCl:HF:HClO<sub>4</sub>(1:3:2:1),在电热板上消煮至近干,取下坩埚冷却后沿坩埚壁加入 1 mL HClO<sub>4</sub> 继续消煮到不再冒白烟,坩埚内无明显残渣、溶液完全澄清后,加入 HNO<sub>3</sub> 赶酸,最后转移到 25 mL 比色管中(塑料)混合均匀(同时带标准物质及其空白试验)。用 GBC Integra XL 等离子体发射光谱仪测定 Cd, Pb, Cr, Ni, Co, Sr, Mn, Fe, Ca, Zn, Cu, P, K

元素含量。每份样品重复测定 3 次,取均值。

精确称取植物样品 0.2 g(土壤样品 0.1 g),置消解罐内,用去离子水润湿后加入 HNO<sub>3</sub>:HCl(1:3),放置过夜,第 2 天于 80 °C 消解 4 h,最后转移到 25 mL 比色管中,混合均匀(同时带标准物质及其空白试验)。用 AFS-810 双道原子荧光光度计测定 As, Hg, Se 元素含量。每份样品重复测定 3 次,取均值。

**1.3.2 芍药苷含量测定** 参照《中国药典》2005 版“赤芍”项下的含量测定方法进行赤芍中芍药苷的含量测定。色谱条件:色谱柱为 Agilent Eclipse XDB-C18 柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm);流动相为甲醇-0.05 mol/L 磷酸二氢钾溶液(40:65);柱温 25 °C;流速 1.0 mL·min<sup>-1</sup>;检测波长 230 nm。芍药苷对照品购于中国药品生物制品检定所(批号:110736-200731)。每份样品重复测定 3 次,取均值。

**1.3.3 数据分析** 数据采用 SPSS13.0 软件进行单因素方差分析和相关分析。

## 2 结果

### 2.1 差异比较

**2.1.1 两地赤芍中芍药苷含量差异** 赤城和围场所产赤芍中芍药苷含量最大值分别为 7.78% 和 10.25%,最小值分别为 4.72% 和 6.15%,算术均值分别为 6.34% 和 7.99%,标准差分别为 0.89 和 1.35。单因素方差分析结果表明赤城赤芍中芍药苷含量显著低于围场( $P < 0.05$ )。

**2.1.2 两地赤芍中无机元素含量差异** 单因素方差分析显示,两地赤芍中多种无机元素含量具有显著或极显著差异。其中,赤城赤芍中 Cd, Pb, Ni( $P < 0.001$ ), Cr( $P < 0.01$ ) 含量显著大于围场,而 Sr( $P < 0.001$ ), Ca( $P < 0.05$ ) 含量显著小于围场,详见表 1。

**2.1.3 两地土壤中无机元素含量差异** 单因素方差分析结果表明,两地赤芍根际土壤中 Cd, Pb, Cr, Ni, Fe, Co, Cu, As( $P < 0.001$ ) 和 Zn, Hg( $P < 0.05$ ) 8 种元素含量具有显著或极显著差异,且均为赤城大于围场,详见表 2。

表 1 两地赤芍中无机元素含量比较( $\bar{x} \pm SD, n = 10$ )

地区	植物无机元素( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )							
	Cd	Pb	Cr	Ni	Sr	Ca	Cu	Zn
赤城	0.23 ± 0.04	0.13 ± 0.02	0.37 ± 0.04	1.54 ± 0.17	146.16 ± 18.44	28 842.25 ± 4 762.69	9.12 ± 0.86	36.87 ± 7.57
围场	0.05 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.27 ± 0.07	0.70 ± 0.11	208.20 ± 33.26	35 170.00 ± 7 136.95	9.70 ± 2.58	42.96 ± 9.91
P 值	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.032	0.511	0.140

续表

地区	植物无机元素( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )							
	P	Mn	Fe	K	Co	As	Hg	Se
赤城	1 180.53 ± 374.79	16.21 ± 6.18	274.08 ± 104.98	7 175.45 ± 1 647.12	0.25 ± 0.16	0.12 ± 0.09	0.01 ± 0.001	0.04 ± 0.03
围场	1 285.45 ± 517.31	17.87 ± 9.21	272.71 ± 103.46	7 144.15 ± 1 340.70	0.356 5 ± 0.11	0.10 ± 0.08	0.01 ± 0.002	0.16 ± 0.24
P 值	0.610	0.643	0.977	0.963	0.112	0.553	0.407	0.145

表 2 两地赤芍的根际土壤中无机元素含量比较( $\bar{x} \pm SD, n = 10$ )

地区	土壤无机元素( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )								
	Cd	Pb	Cr	Ni	Fe	Co	Cu	As	Zn
赤城	0.12 ± 0.02	29.59 ± 2.42	53.25 ± 4.72	26.69 ± 3.86	9 162.22 ± 655.67	12.12 ± 1.46	24.73 ± 2.71	10.28 ± 1.10	39.14 ± 8.90
围场	0.08 ± 0.01	21.83 ± 1.84	31.75 ± 4.52	15.49 ± 3.70	5 234.44 ± 994.05	6.04 ± 1.97	16.39 ± 4.99	3.88 ± 0.70	28.85 ± 9.89
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025

续表

地区	土壤无机元素( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )								
	Hg	Sr	Ca	P	K	Mn	Se	总 N	
赤城	0.05 ± 0.007	261.25 ± 57.24	12 978.57 ± 3 297.09	445.05 ± 59.36	22 296.38 ± 882.55	583.14 ± 112.30	0.10 ± 0.01	0.30 ± 0.08	
围场	0.04 ± 0.01	292.69 ± 64.72	16 800.00 ± 9 084.81	512.11 ± 155.78	22 296.38 ± 2 597.37	505.19 ± 138.27	0.12 ± 0.03	0.39 ± 0.19	
P 值	0.022	0.265	0.227	0.220	1.000	0.183	0.189	0.213	

## 2.2 相关分析

**2.2.1 赤芍中芍药苷与无机元素的相关性** 赤芍中 Cd, Pb, Ni 3 种元素均与芍药苷呈显著负相关, 其中 Cd, Pb 的显著性水平为 0.01, Ni 为 0.05, 详见表 3。

**2.2.2 赤芍中无机元素之间的相关性** 赤芍中 Cd, Pb, Cr, Ni 两两间呈显著正相关 ( $P < 0.01$  或  $P < 0.05$ ), 且均与 Sr 呈显著负相关 ( $P < 0.01$ )。Sr 与 Ca 显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 而 Ca 也与 Cr, Ni 呈显著负相关 ( $P < 0.05$ )。此外, 呈显著正相关的元素对还有 Co 与 Zn ( $P < 0.05$ ), Se 与 Ca, Mn, Sr ( $P < 0.01$ ), 呈显著负相关的有 Co 与 Ni ( $P < 0.05$ ), Se 与 Cr ( $P < 0.01$ ), 详见表 3。

**2.2.3 赤芍中无机元素与其根际土壤中无机元素的相关性** Cd, Pb, Cr, Ni ( $P < 0.01$ ), Se ( $P < 0.05$ ) 5 种元素在赤芍和土壤中的含量均呈显著正相关。此外, 赤芍中 Cd, Pb, Cr, Ni 4 种元素的含量还均与土壤

中 Cd, Pb, Cr, Ni, Fe, Co, Cu, As 8 种元素中除去自身元素的其余 7 种元素含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。赤芍含量与土壤含量呈显著正相关的元素对还有 Sr, Co, Ca 与总 N ( $P < 0.05$ ), Ni 与 Zn ( $P < 0.05$ ), Fe 与 Se ( $P < 0.05$ ), 呈显著负相关的元素对有 Co 与 Ni, Cu 与 Zn, Zn 与 Hg, Hg 与 Mn, P ( $P < 0.05$ ), 详见表 4。

**2.3 富集系数** 由赤芍对各无机元素的富集系数值可知, 赤芍对 Cd, Zn, P, Ca 有富集作用, 而富集作用大小依次为  $P > Ca > Zn > Cd$ , 详见表 5。

## 3 讨论

**3.1 土壤中无机元素评价** 将赤城与围场两地土壤中 Cd, Pb, Cr, Ni, Hg, As, Cu, Zn 8 种元素含量与《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) 中一级土壤环境质量标准值进行比较。结果显示, 围场 10 个采样点的土壤全部达到一级标准, 而赤城有一个采样点土壤中 Pb 含量略高, 但也达到二级标准。国家《中

表 3 赤芍中无机元素及无机元素与芍药苷之间的相关分析

元素	Cd	Pb	Cr	Ni	Sr	Ca	Cu	Zn	P	Mn	Fe	K	Co	As	Hg	Se
Cd	1															
Pb	0.678 <sup>1)</sup>	1														
Cr	0.576 <sup>1)</sup>	0.486 <sup>2)</sup>	1													
Ni	0.905 <sup>1)</sup>	0.768 <sup>1)</sup>	0.641 <sup>1)</sup>	1												
Sr	-0.683 <sup>1)</sup>	-0.575 <sup>1)</sup>	-0.697 <sup>1)</sup>	-0.786 <sup>1)</sup>	1											
Ca	-0.360	-0.387	-0.491 <sup>2)</sup>	-0.533 <sup>2)</sup>	0.848 <sup>1)</sup>	1										
Cu	-0.034	-0.098	-0.008	-0.055	-0.017	0.059	1									
Zn	-0.328	-0.312	-0.006	-0.391	0.113	-0.019	0.136	1								
P	-0.198	0.099	-0.280	-0.089	-0.036	-0.297	-0.109	0.251	1							
Mn	-0.108	-0.005	-0.390	-0.095	0.431	0.384	-0.343	-0.024	-0.009	1						
Fe	0.155	-0.264	0.036	-0.034	0.249	0.211	-0.263	0.017	-0.481 <sup>2)</sup>	0.439	1					
K	-0.058	0.298	0.021	-0.017	-0.072	-0.162	0.247	0.148	0.414	0.117	-0.144	1				
Co	-0.219	-0.380	-0.222	-0.511 <sup>2)</sup>	0.373	0.378	0.197	0.518 <sup>2)</sup>	-0.237	0.096	0.304	-0.102	1			
As	0.067	0.177	0.037	0.123	-0.154	-0.108	0.021	0.074	-0.169	-0.131	0.022	-0.088	-0.049	1		
Hg	-0.219	-0.128	-0.300	-0.163	0.121	0.041	0.105	0.065	-0.024	0.219	-0.126	-0.006	0.210	-0.385	1	
Se	-0.276	-0.272	-0.562 <sup>1)</sup>	-0.353	0.609 <sup>1)</sup>	0.597 <sup>1)</sup>	-0.297	-0.148	-0.099	0.645 <sup>1)</sup>	0.416	-0.067	0.100	0.177	-0.086	1
芍药苷	-0.629 4 <sup>1)</sup>	-0.675 2 <sup>1)</sup>	-0.286 5	-0.495 9 <sup>2)</sup>	0.234	0.102 7	0.175 4	0.174 6	-0.170 3	-0.127 8	-0.079 3	-0.314 8	0.110 2	0.267 0	0.185 9	0.122

注: <sup>1)</sup> 表示在 0.01 水平上具有显著性; <sup>2)</sup> 表示在 0.05 水平上具有显著性(下同)。

表 4 赤芍中无机元素与土壤中无机元素的相关分析

植物元素	土壤元素																
	Cd	Pb	Cr	Ni	Fe	Co	Cu	As	Ca	Zn	Sr	Hg	Mn	Se	P	K	总 N
Cd	0.693 <sup>1)</sup>	0.838 <sup>1)</sup>	0.829 <sup>1)</sup>	0.762 <sup>1)</sup>	0.872 <sup>1)</sup>	0.797 <sup>1)</sup>	0.657 <sup>1)</sup>	0.907 <sup>1)</sup>	-0.260	0.434	-0.215	0.469 <sup>2)</sup>	0.261	-0.216	-0.226	-0.073	-0.189
Pb	0.762 <sup>1)</sup>	0.757 <sup>1)</sup>	0.834 <sup>1)</sup>	0.732 <sup>1)</sup>	0.756 <sup>1)</sup>	0.704 <sup>1)</sup>	0.658 <sup>1)</sup>	0.836 <sup>1)</sup>	-0.227	0.352	-0.269	0.414	0.260	-0.391	-0.294	-0.047	-0.264
Cr	0.556 <sup>2)</sup>	0.615 <sup>1)</sup>	0.711 <sup>1)</sup>	0.634 <sup>1)</sup>	0.743 <sup>1)</sup>	0.658 <sup>1)</sup>	0.529 <sup>2)</sup>	0.649 <sup>1)</sup>	-0.323	0.168	-0.005	0.209	0.311	-0.172	-0.033	0.321	-0.256
Ni	0.732 <sup>1)</sup>	0.892 <sup>1)</sup>	0.854 <sup>1)</sup>	0.784 <sup>1)</sup>	0.882 <sup>1)</sup>	0.847 <sup>1)</sup>	0.654 <sup>1)</sup>	0.927 <sup>1)</sup>	-0.276	0.542 <sup>2)</sup>	-0.213	0.402	0.318	-0.344	-0.327	0.012	-0.378
Sr	-0.584 <sup>1)</sup>	-0.769 <sup>1)</sup>	-0.751 <sup>1)</sup>	-0.668 <sup>1)</sup>	-0.677 <sup>1)</sup>	-0.820 <sup>1)</sup>	-0.408	-0.698 <sup>1)</sup>	0.154	-0.222	0.314	-0.178	-0.359	0.362	0.266	-0.306	0.483 <sup>2)</sup>
Ca	-0.321	-0.504 <sup>2)</sup>	-0.517 <sup>2)</sup>	-0.521 <sup>2)</sup>	-0.351	-0.598 <sup>1)</sup>	-0.200	-0.374	0.082	-0.102	0.329	0.168	-0.167	0.367	0.386	-0.426	0.647 <sup>1)</sup>
Co	-0.274	-0.348	-0.354	-0.458 <sup>2)</sup>	-0.369	-0.335	-0.246	-0.368	0.243	-0.426	-0.030	-0.059	-0.285	0.168	0.279	-0.061	0.546 <sup>2)</sup>
Fe	-0.098	-0.007	0.036	0.079	0.142	-0.057	0.153	0.011	-0.147	0.206	0.323	0.060	-0.258	0.511 <sup>2)</sup>	0.138	0.152	0.120
Cu	0.013	-0.075	-0.187	-0.194	-0.182	-0.179	-0.232	-0.125	-0.109	-0.496 <sup>2)</sup>	0.028	-0.223	0.152	-0.144	0.158	-0.045	0.121
As	0.346	0.221	0.284	0.147	0.070	0.122	0.313	0.238	-0.311	0.156	-0.437	0.417	0.209	0.154	0.235	0.213	0.063
Zn	-0.390	-0.414	-0.266	-0.274	-0.369	-0.172	-0.366	-0.385	0.056	-0.476 <sup>2)</sup>	-0.160	-0.479 <sup>2)</sup>	-0.237	0.270	-0.034	0.317	0.050
Hg	-0.218	-0.318	-0.433	-0.410	-0.221	-0.274	-0.234	-0.212	0.038	-0.074	0.256	-0.256	-0.561 <sup>2)</sup>	-0.266	-0.468 <sup>2)</sup>	-0.132	-0.210
Mn	-0.110	-0.071	-0.126	-0.147	-0.071	-0.114	-0.158	-0.109	0.262	0.268	0.143	0.033	-0.215	0.182	-0.108	-0.287	0.239
P	-0.116	-0.112	-0.088	0.031	-0.325	0.055	-0.277	-0.206	0.192	-0.193	-0.389	-0.421	0.045	-0.174	-0.454 <sup>2)</sup>	-0.132	-0.294
K	0.149	0.079	0.144	0.142	0.014	0.021	-0.039	0.004	-0.184	-0.207	0.019	-0.359	0.031	-0.009	-0.203	0.072	-0.253
Se	-0.116	-0.208	-0.296	-0.221	-0.268	-0.412	-0.197	-0.252	0.110	0.022	0.259	0.320	-0.157	0.461 <sup>2)</sup>	0.221	-0.340	0.403

表 5 赤芍对无机元素的富集系数

富集系数	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Ni	Mn	Fe	Co	Zn	Sr	Cu	Se	P	K	Ca
	1.30	0.004	0.32	0.00	0.008	0.05	0.03	0.04	0.04	1.38	0.67	0.52	0.84	2.85	0.32	2.40

药材生产质量管理规范(GAP)》中规定中药材产地的土壤应符合土壤质量二级标准,故两地土壤均合格。

**3.2 赤芍中无机元素含量特征** 依据管竞环等<sup>[2]</sup>应用“有序样品最优分割法”排除植物中无机元素量纲影响后,制定出的包含 10 级区间段的“植物类中药无机元素含量区间表”,将赤芍中各无机元素含量均值与表中各级的区间值进行比较,确定各元素含量等级,借此来衡量赤芍中不同元素间的相对含量水平高低。结果表明,赤芍中 Ca, Sr 含量最高(10 级 9 级),其次是 Zn(6 级),Ni(4 级),Cu(3 级),其余元素含量很低,均在 1 2 级。结合前面的分析结果,推测赤芍中 Ca 含量很高可能与其生长土壤中 Ca 含量较高及其自身对 Ca 的富集作用有关,而 Sr 含量很高也可能与其生长土壤中 Sr 含量较高有关。

根据《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM/T 2-2004)中的药材重金属限量指标,围场采集的 10 份赤芍样品全部合格,而赤城有 1 个采样点的样品 Cd 含量超标。根据该采样点达到土壤环境质量一级标准,而采集的赤芍样品生长年限未知,故推测 Cd 超标可能与该采样点赤芍生长年限过长有关。

由差异分析结果可知,与赤城所产赤芍相比,围场所产赤芍中有效成分(芍药苷)、有益元素(Ca, Sr

等)含量更高,有害元素(Cd, Pb 等)含量更低。由此推测围场出产的赤芍更符合绿色健康标准。

**3.3 土壤中无机元素对赤芍中无机元素及芍药苷含量的影响** 由相关性分析结果推测,Cd, Pb, Cr, Ni 4 种元素在吸收过程中具有协同作用, Sr 与 Ca 之间也具有协同作用,而 Sr 与 Cd, Pb, Cr, Ni 以及 Ca 与 Cr, Ni 之间具有抑制作用。结合赤芍中无机元素的含量特征,推测 Sr 可能会抑制赤芍对 Cd, Pb, Cr, Ni 的吸收,而 Ca 可能会抑制 Cr, Ni 的吸收。

赤芍中 Cd, Pb, Cr, Ni, Se 的含量均与其土壤中的含量呈显著正相关,而赤芍中 Cd, Pb, Ni 含量又与芍药苷含量呈显著负相关。根据 Cd, Pb 在药材中的含量受控,而芍药苷是目前评价赤芍质量的指标<sup>[1]</sup>,推测土壤中 Cd, Pb 含量对赤芍的品质有较大影响。

土壤是一个极其复杂的系统,赤芍根际土壤中无机元素对赤芍中无机元素及芍药苷含量的影响,还需直接的实验予以证实,而本次研究结果为这方面的深入研究奠定了一定的基础。

#### [参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 一部,北京:化学工业出版社,2005: 109.
- [2] 管竞环,李恩宽. 中医药理论量化与微量元素[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1998: 14.