

DOI: 10.5846/stxb201304160722

王升, 赵曼茜, 郭兰萍, 杨光, 张小波, 陈美兰, 林淑芳, 黄璐琦. 不同产地黄芩中无机元素含量及其与根际土壤无机元素的关系. 生态学报, 2014, 34 (16): 4734-4745.

Wang S, Zhao M X, Guo L P, Yang G, Zhang X B, Chen M L, Lin S F, Huang L Q. The contents of inorganic elements of *Scutellaria baicalensis* from different origins and its relationship with inorganic elements in relevant rhizosphere soil. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (16): 4734-4745.

不同产地黄芩中无机元素含量及其与 根际土壤无机元素的关系

王 升¹, 赵曼茜², 郭兰萍^{1,*}, 杨 光¹, 张小波¹,
陈美兰¹, 林淑芳¹, 黄璐琦¹

(1. 道地药材国家重点实验室培育基地, 中国中医科学院中药资源中心, 北京 100700; 2. 成都康宏药业集团股份有限公司, 成都 610037)

摘要: 药用植物中各无机元素含量的不仅影响药用植物的生长发育, 也是药材有效成分的构成因子。通过对全国范围内 16 个不同产地 (即居群) 的 92 个野生黄芩 (*Scutellaria baicalensis* Georgi) 样本及其相应的根际土壤中 10 种无机元素含量的分析, 发现不同产地黄芩及其根际土壤无机元素都有很大变异, 且不同产地黄芩根际土壤中无机元素的变异远大于黄芩药材中无机元素的变异。总体来看, 黄芩中 Mg (9 级) 含量较其他植物含量高; P (1 级)、K (2 级)、Mn (3 级) 含量与其他植物相比处处较低水平; 黄芩对 Sr (富集系数达到 3.52) 有较强富集。并且通过无机元素分布曲线分析建立了无机元素指纹谱, 主成分分析筛选出黄芩主要特征无机元素为 Mg、K、Ca、Fe、Zn。本研究还表明, 黄芩对各元素的吸收能力受产地的影响较大, 提示黄芩对无机元素的吸收与各产地根际土壤无机元素有一定关联性。

关键词: 黄芩; 无机元素; 根际土壤; 富集系数; 变异系数

The contents of inorganic elements of *Scutellaria baicalensis* from different origins and its relationship with inorganic elements in relevant rhizosphere soil

WANG Sheng¹, ZHAO Manxi², GUO Lanping^{1,*}, YANG Guang¹, ZHANG Xiaobo¹, CHEN Meilan¹, LIN Shufang¹, HUANG Luqi¹

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 Chengdu KANGHONG Pharmaceutical Group Co., Ltd., Chengdu 610037, China

Abstract: Inorganic elements in medicinal plants not only affect the growth and development of medicinal plants, but also are important constituents of its active ingredients. The present study examined the content and variability of inorganic elements in *Scutellaria baicalensis* and its relevant rhizosphere soils, as well as the plant's absorption characteristics for various inorganic elements, to explore the relationship between inorganic elements in rhizosphere soil and inorganic elements in roots. A total of 92 *S. baicalensis* plant and its 92 relevant rhizosphere soil samples, derived from 16 different origins across China, were employed in this experiment. Ten different inorganic elements were detected in the plant samples and the analyses of their corresponding rhizosphere soils. The inorganic element contents of plants from different origins and their corresponding rhizosphere soils varied significantly, and the variation among soils of different origin was much greater than in plants. The ANOVA showed that, in addition to Zn, the contents of other inorganic element in the samples and their

基金项目: 国家自然科学基金 (81130070); 国家科技支撑项目 (2012BAI29B02, 2012BAI28B002)

收稿日期: 2013-04-16; **修订日期:** 2014-06-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: glp01@126.com

corresponding rhizosphere soils were significantly different according to origin. For example, the Cr contents in the samples from Durbat, Heilongjiang were significantly higher than those of samples from other origins and nearly eight times greater than the study average. The rhizosphere soils from Weichang, Hebei and Chicheng, Hebei, contained significantly more Cr, Fe, K, Mn, and Sr than did samples from other areas. The coefficients of variation for Cr, Fe, K, Mn, P and Sr in the plant samples from the 16 origins were significantly greater than those in the rhizosphere soil. However, no significant differences were observed between the coefficients of variation of the inorganic elements for their overall distribution in the plant samples and in the corresponding rhizosphere soils. Furthermore, the content of Mg (9 level) in *S. baicalensis* (9) was relatively higher than in other plants, while the P (1 level), K (2 level), and Mn (3 level) contents were relatively lower. *S. baicalensis* also showed a strong concentration of Sr (with an enrichment coefficient of 3.52) and a weak concentration of P (with an enrichment coefficient of 1.27). At the same time, the enrichment coefficient of each inorganic element varied significantly according to origin. Additionally, we obtained the fingerprint spectra of the inorganic elements of *S. baicalensis* using inorganic element distribution curve analysis and filtered out the characteristic inorganic elements using principal component analysis. Mg, K, Ca, Fe and Zn were the characteristic inorganic elements of *S. baicalensis*, while Ca, K, Mg, Mn and Zn were the characteristic inorganic elements in the rhizosphere soil of *S. baicalensis*. Overall, the study showed that the absorption capacity of *S. baicalensis* for each element varied with origin and that the absorption capacity for each inorganic element was tied to the plant's growth demands and the absorption characteristics of the element. These results also suggested that a correlation existed between the absorption of inorganic elements and the inorganic elements in the rhizosphere soil. This study provided a comprehensive understanding of the geographic variation of nutrient quality for *S. baicalensis* and a theoretical basis for choosing appropriate planting habitats.

Key Words: *Scutellaria baicalensis*; inorganic element; rhizosphere soil; enrichment coefficient; coefficient variation.

黄芩为唇形科植物黄芩 (*Scutellaria baicalensis* Georgi) 的干燥根,性寒味苦,具有清热燥湿、泻火解毒、凉血、安胎的功效^[1]。我国黄芩野生植物资源广泛分布于东北、华北、华中、西南等地区^[2]。之前,我们已经开展了黄芩次生代谢产物地理变异及其质量评价,以及生态因子对黄芩的综合影响及其道地性研究^[3-4]。无机元素在植物干物质中所占的比重较小,却是植物重要的成分。不少研究表明土壤中无机元素含量与药材中无机元素含量有一定相关性,并对药材的品质产生较大影响。总体来看,目前不同产地药材无机元素的含量的差异比较研究较多,药材无机元素及其根际土无机元素含量的关系的研究也时有报道,但通过综合比较不同产地药材及根际土无机元素含量、变异系数及富集特征,来系统分析不同产地药材无机元素变异规律,进而探讨不同产地土壤无机元素对药材无机元素影响的研究却鲜有报道。本文拟开展全国范围内野生黄芩及其相应根际土壤中 10 种无机元素的分析,目的是了解黄芩及其根际土中无机元素的含量及变异,以及黄芩对各无机元素的吸收特性,从而探讨不同产地根际土

无机元素与黄芩无机元素的关系,为全面认识黄芩质量地理变异、研究黄芩道地性、开展适生地选择提供依据^[5-6]。

1 材料与方法

1.1 供试材料

黄芩野生药材由本课题组于 2007 年 7—9 月在黄芩主产区采集,产地信息见表 1。本研究选取的 16 个产地分布于内蒙古、陕西、山西、甘肃、黑龙江、北京、河北和吉林等省或自治区,覆盖了黄芩的大部分产地,样品具有代表性。黄芩样品的采集方法为,每产地选择一个居群,用随机取样法采集黄芩单株样品 4—6 个,采集时在不同产地选取根粗细基本一致(根上部约 1.5—2 cm),并用竹片轻轻刮下根上所带泥土(约 100 g),装于与药材编号对应的口袋中。共采集 92 株野生黄芩样品。黄芩根部样品和根际土壤样品均为单独处理测定,且药材和土壤一一对应。样品均由中国中医科学院中药研究所黄璐琦研究员鉴定,为唇形科植物黄芩 *Scutellaria baicalensis* Georgi 的根。

表 1 黄芩样品产地信息

Table 1 *Scutellaria baicalensis* Georgi samples of 16 areas

产地编号 Area No.	样品数 Sample Size	采集地 Areas
1	6	黑龙江呼玛
2	6	内蒙古额尔古纳
3	6	黑龙江杜尔伯特
4	6	吉林白城
5	6	吉林延吉
6	6	内蒙古林西
7	6	内蒙古赤峰
8	6	河北赤城
9	4	北京延庆
10	6	河北围场
11	6	山西五台
12	6	山西汾阳
13	6	陕西延安
14	6	甘肃合水
15	6	陕西太白
16	4	陕西山阳

1.2 仪器与试剂

ULTIMA 型电感耦合等离子光谱仪 (ULTIMA 2, 法国 HORIBA Jobin Yvon 公司, 巴黎, 法国)。1/10 万电子天平 (Shimadzu LibrorAEG-45SM 型, 日本岛津制作所, 日本), 1/1 万电子天平 (Shimadzu AW220 型, 日本岛津制作所, 日本)。消解无机元素用玻璃仪器均经 10% HNO_3 (优级纯, 批号: T20100612, 国药集团化学试剂有限公司, 上海) 浸泡过夜, 用超纯水清洗。水为 Millipore-Q 装置 (Milli-Q Advantage A10, Z00Q0V0WW, Merck Millipore, Massachusetts, USA) 处理过的超纯水。消解用高氯酸 (分析纯, 批号: F20100304, 国药集团化学试剂有限公司, 上海), 氢氟酸 (优级纯, 批号: 20100419, 国药集团化学试剂有限公司, 上海)。土壤标准物质 GBW-07408 (GSS-8, 批号: 4901037), 购于地矿部物化探所、测试所。铁、铜、锰、锌、镉、铬、铅、钙、镁、钾、镉溶液均为中国计量院国家标准物质中心提供的单元素标准储备液, 各离子浓度为 1.0 g/L。

1.3 无机元素测试方法

1.3.1 样品处理

黄芩样品采集后, 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, 以 60 °C 烘干至恒重, 均用玛瑙乳钵研细备用。对应的根际土壤样品在室内风干、粉碎, 过 100 目筛备用^[7-8]。

1.3.2 样品消解

黄芩样品的消解方法根据《中国药典》(2010 年版) 一部附录 IX B 中 Pb 测定项下的制备 B 法确定^[9]。取供试品约 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。同时平行做一份空白试液。每份样品做 3 个重复。

根际土壤样品的消解方法为^[10], 取供试品约 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, 浸泡过夜, 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。同时平行做一份空白溶液。每份样品做 3 个重复。

1.3.3 无机元素的测定

样品无机元素的测定运用 ULTIMA 型电感耦合等离子光谱仪, 仪器工作参数: 发生器功率小于 5 kW; 载气流量为 0.92 L/min; 冷却气流量为 12 L/min; 护套气流量为 0.2 L/min; 观测高度为 12 mm; 样品提升量为 1 mL/min; 雾室压力为 298 kPa。

1.4 数据处理

试验结果应用 Excel2003、SPSS13.0 和 Solo+MIA 统计软件进行分析。相关分析用 Pearson 相关系数法。

2 结果与分析

2.1 黄芩及其根际土壤中无机元素含量特征

方差分析显示, 除 Zn 外, 不同产地的黄芩及其根际土无机元素均有显著差异 (表 2)。例如, 黑龙江杜尔伯特黄芩中 Cr 含量显著高于其他产地, 约为总分布区平均值的 8 倍, 其他如陕西山阳黄芩中 Ca、河北围场和河北赤城黄芩中 Cu、黑龙江呼玛和北京延庆黄芩中 Fe、Mn、河北赤城黄芩中 K 含量、黑龙江呼玛与河北围场黄芩中 P、黑龙江呼玛与吉林白城黄芩中 Sr 均显著高于其他产地, 而内蒙古西林和内蒙古赤峰黄芩中 K、内蒙古赤峰黄芩中 Mg 含量显著

表 2 黄芩及其根际土壤无机元素含量

产地 Areas	Ca/(mg/kg)		Cr/(mg/kg)		Cu/(mg/kg)		Fe/(mg/kg)		K/(mg/kg)		Mg/(mg/kg)		Mn/(mg/kg)		P/(mg/kg)		Sr/(mg/kg)		Zn/(mg/kg)	
	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤	黄芩	土壤
	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil	Plant	Soil
1	13648.93	23558.43	5.91	124.19	20.2	35.14	5757.54	16505.08	5746.12	17536.82	6076.21	8897.91	172.14	1246.74	1294.61	2703.92	181.08	48.56	34.15	101.49
2	8931.66	12124.16	37.53	100.37	32.86	31.32	2342.54	10878.82	6073.78	27331.01	4755.89	6729.28	81.35	955.03	724.04	1200.99	70.44	15.32	30.95	134.87
3	9808.77	14768.78	84.76	64.87	25.27	17.64	1689.68	6028.44	4351.5	23544.25	5744.67	4613.13	36.98	463.7	785.53	349.73	92.07	23.08	25.65	32.06
4	10442.26	85317.46	2.34	66.95	25.32	25.24	1143.21	5607.73	5911.64	19635.21	6351.13	5972.41	31.46	421.17	694.8	503.46	156.01	27.42	26.58	35.6
5	5240.43	8513.84	4.23	60.61	16.41	30.27	2101.26	10298.5	7110.97	24136.53	6554.32	6052.1	112.94	824.28	742.96	785.79	105.59	17.19	41.52	109.17
6	12282.43	39235.65	20.31	85.81	25.74	22.87	3706.23	7928.6	2860.35	21475.5	5087.79	8148.57	88.31	599.4	718.73	479.94	88.41	24.16	32.62	44.18
7	5427.85	45703.48	2.45	75.97	15.63	23.99	997.84	7493.88	2356.95	21748.07	3540.46	7522.93	29.02	538.14	628.26	470.74	38.97	19.31	17.31	48.14
8	9848.98	38085.27	4.86	1140.4	44.4	119.96	1450.64	63011.39	10395.93	31824.18	5833.42	12275.35	44.93	2447.82	765.78	509.87	33.53	156.14	40.26	45.58
9	14152.62	9573.71	8.04	100.17	25.94	33.56	4303.03	9778.07	7985.18	20141.45	7053.61	8469.08	166.12	725.48	564.63	766.65	120.9	16.77	45.3	80.48
10	7126.63	27001.73	3.96	803.94	51.57	49.06	1062.84	35545.04	6585.46	31427.33	6358.42	11324.27	34.98	2121.65	1226.79	333.97	41.46	211.16	45.04	25.26
11	9377.08	22363.12	1.57	110.01	12.07	24.84	2067.48	9429.3	6438.17	23802.26	5159.18	9865.72	95.05	899.7	516.58	656.92	39.16	13.49	15.15	110.91
12	9961.5	23949.61	1.88	109.59	16.86	27.82	939.22	8782.2	5513.65	19000.94	5965.94	19149.9	43.38	600	467.7	594.77	32.14	12.15	20.93	77.36
13	10027.22	41247.24	1.14	93.61	11.6	32.31	1639.94	9047.73	8752.75	19243.33	5171.3	11051.08	64.84	632.45	398.37	663.98	71.4	14.69	18.67	74.06
14	7227.1	49631.06	4.02	107.53	10.65	28.61	1068.59	9065.23	8627.06	20859.02	6176.85	11888.05	38.65	625.95	483.48	684.7	58.86	17.11	21.18	71.5
15	8413.48	51433.47	8.4	126.93	18.47	48.2	2066.51	11118.5	6909.27	19310.61	7223.63	16713.28	62.34	779.96	492.38	682.28	32.95	10.16	29.72	69.86
16	21713.46	122436.2	5.31	110.21	14.47	44.79	3115.92	10208.33	6310.14	12902.48	4897.67	8704.58	58.39	445.02	443.47	299.69	27.22	9.24	21.71	71.89
平均 Mean	9891.85	37235.21	12.54	209.41	23.09	37.14	2150.84	14612.92	6336.77	22363.33	5736.96	9890.42	70.83	908.89	692.09	739.04	74.4	40.91	28.98	70.54
土壤/黄芩 Soil/Plant	3.76		16.70		1.61		6.79		3.53		1.72		12.83		1.07		0.55		2.43	

低于其他产地。与此同时,河北围场和河北赤城黄芩根际土壤中 Cr、Fe、K、Mn、Sr 以及河北赤城的 Cu 都显著高于其他产地,并且除 Sr 外均为河北赤城大于河北围场,其中河北围场和赤城 Sr 含量约为其他产地的 11 倍和 8 倍;内蒙古额尔古纳黄芩根际土壤中 K 和黑龙江呼玛中 Mn、Sr 则显著高于河北赤城和河北围场外的其他产地;此外,黑龙江呼玛和内蒙古额尔古纳黄芩根际土壤中 P、陕西山阳和吉林白城的 Ca、山西汾阳的 Mg 都显著大于其他产地;陕西山阳 K、黑龙江杜尔伯特 Mg、以及河北围场、黑龙江杜尔伯特、陕西山阳的 P 含量则显著低于其他产地,仅为总分布区内均值的 1/3—1/2。

黄芩中各元素含量从大到小顺序为 Ca-K-Mg-Fe-P-Sr-Mn-Zn-Cu-Cr, 根际土壤为 Ca-K-Fe-Mg-Mn-P-Cr-Zn-Cu-Sr, 后者主要反映了各地土壤无机元素地质背景,前者更多反映了在某种地质背景下黄芩对无机元素的吸收特征。本研究表明,黄芩中无机元素含量大小的顺序与根际土壤中虽不完全一致,却有一定程度的相似性。黄芩及根际土中 Ca、K、Fe、Zn、Cu 的顺序和位置完全一致,Mg、P、Mn 和 Cr 稍有移动,其中,只有 Sr 在土壤中的含量排在第 10 位,在黄芩中排到了第 6 位,提前了 4 位。提示黄芩对无机元素的吸收既受根际土壤背景的影响,也受黄芩自身对不同无机元素的吸收特性的影响。

黄芩根际土中 Ca、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、P、Sr、Zn 含量分别是药材中含量的 3.76、16.70、1.61、6.79、3.53、1.72、12.83、1.07、0.55、2.43 倍。T 检验显示,黄

芩中 Ca、K、Fe、Mg、Mn、Cr、Zn、Cu 8 种无机元素含量均显著低于其根际土壤含量($P \leq 0.05$),黄芩与根际土中 P 含量没有显著差异,黄芩中 Sr 含量显著高于黄芩根际土壤($P \leq 0.05$),提示黄芩对土壤中 Sr 有显著富集作用。

2.2 黄芩中无机元素的含量等级

由于地质背景和生物进化造成的遗传特征不同,同种植物对不同无机元素的需求和含量不同,由此产生大量元素、微量元素及痕量元素的概念。换言之,由于各种无机元素的本底差异极大,单独分析同种植物中各种无机元素含量的高低很难得出有意义的结论。只有在了解植物中无机元素含量总体分布的基础上,观察某种无机元素含量在植物无机元素分布中的位置,才能更好地理解该种植物中每个无机元素含量在总体水平上究竟是较高还是较低。我们利用管竞环等^[11]所制定的“植物类中药无机元素含量区间表”来度量黄芩中各元素含量相对的高低水平。“植物类中药无机元素含量区间表”将自然界植物中无机元素分成 1 到 10 级,等级越高表明该植物中某种元素在自然界的相对水平越高。本研究显示,黄芩中 Mg(9 级)含量较其他植物含量高;Fe(7 级)含量较高;P(1 级)、K(2 级)、Mn(3 级)含量与其他植物相比处处较低水平;而 Ca(6 级)、Cu(5 级)、Sr(5 级)、Zn(4 级)处于中等居中。不同产地黄芩中无机元素含量等级不同,但多数产地黄芩中各元素含量等级顺序较为稳定,除 Sr 和 Ca 外,其他大部分无机元素含量等级差异较小(表 3)。

表 3 黄芩中各无机元素含量等级

Table 3 Content level of inorganic elements in *S. baicalensis*

产地编号 Area No.	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	P	Sr	Zn
1	8	4	10	2	9	5	2	9	5
2	5	6	7	2	8	4	1	5	5
3	6	5	7	1	9	2	1	5	4
4	7	5	7	2	9	2	1	7	4
5	3	4	7	2	9	4	1	6	6
6	7	5	9	1	9	4	1	5	5
7	3	4	5	1	6	2	1	3	2
8	6	7	6	3	9	3	1	3	6
9	8	5	9	2	9	5	1	6	6
10	4	8	5	2	9	2	2	3	6
11	5	3	8	2	9	4	1	3	2
12	6	4	5	2	9	3	1	3	3
13	6	3	7	3	9	3	1	5	3

续表									
产地编号 Area No.	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	P	Sr	Zn
14	4	3	5	3	9	2	1	4	3
15	5	5	7	2	9	3	1	3	5
16	9	4	8	2	8	3	1	3	3
总体最大值 Maximum value	3	3	5	1	6	2	1	3	2
总体最小值 Minimum value	9	8	10	3	9	5	2	9	6
总体均值 Mean value	6	5	7	2	9	3	1	5	4

用每个产地的元素均值来衡量其元素含量水平

2.3 黄芩中无机元素含量分布曲线分析

根据定量测量的元素结果并参考西洋参、何首乌等的无机元素分析方法^[12-13],将测量的 10 中无机元素按其原子序数顺序制作含量分布曲线。为绘图方便,把一些含量悬殊的元素同时放大或缩小相同倍数至同一数量级 (Ca 缩小 10 倍; Cu、Sr 放大 10 倍)。为了便于比较,本文将 16 个产地的样品的无机元素分布图谱绘在一起 (图 1),建立黄芩无机元素指纹图谱,为黄芩的鉴别和质量评价提供无机元素方面的依据。从图中可以看出,16 个产地的黄芩

样品无论生长在哪里都有相似的峰形,而由于样品不用,其含量有所差异。这一共性是黄芩的无机元素指纹图谱与其他药材无机元素指纹图谱的区别。但是,不同产地的无机元素指纹图谱中各元素有较大差异,这与不同产地的地理环境、不同黄芩样品的种质和生长年限等存在显著的差异有关。本文采集的黄芩样品几乎遍及了黄芩在全国的分布区,因此可以对无机元素含量分布的均值+标准差的分布曲线作图 1,获得黄芩总分布区内黄芩无机元素的变化范围。

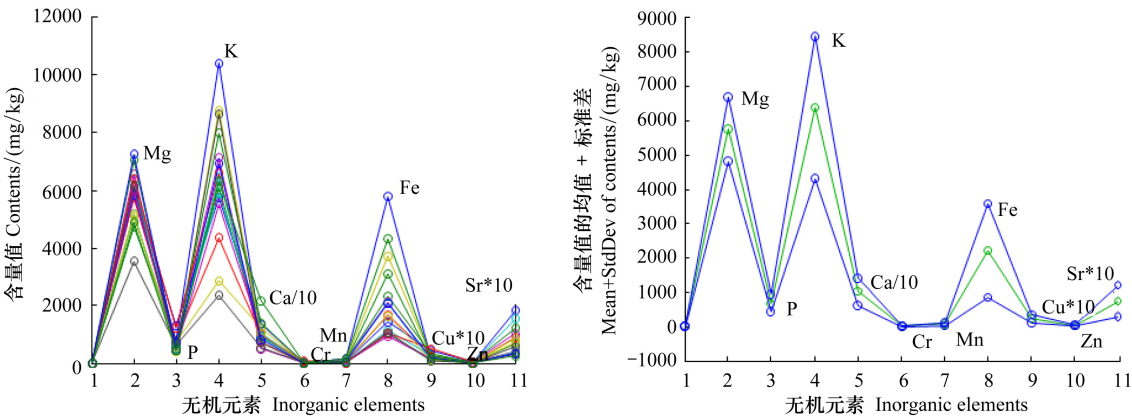


图 1 黄芩中无机元素含量分布曲线
Fig.1 Content distribution curve of inorganic elements in *S. baicalensis*

2.4 黄芩及根际土壤中无机元素变异特征

观察黄芩及根际土无机元素含量差异主要是分布在不同产地间还是同一产地的不同个体间,对指导黄芩样品的采集具有重要意义。当进行两个或多个资料变异程度的比较时,如果度量单位与平均数相同,可以直接利用标准差来比较。本研究各种无机元素的平均数不同,因而采用标准差与平均数的比值,即“标准差率(又称变异系数)”,比较了不同产地间和同产地不同个体间黄芩及根际土(表 4)。结果发现,1) 总体来看,同一产地无机元素含量变异系数黄芩中大于根际土,T 检验显示,各地黄芩中

Cr、Fe、K、Mn、P、Sr 变异系数显著大于根际土壤;但黄芩总分布区药材及根际土壤无机元素变异系数无显著差异。提示,由于同一产地黄芩根际土无机元素相对较均一,黄芩个体主动吸收的差异对无机元素变异的贡献较大;而不同产地土壤及黄芩种质变异都较大,黄芩种质及土壤背景对黄芩吸收无机元素的影响都不容忽视。2) 黄芩中 Ca、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、P、Sr、Zn 总分布区变异系数分别是各产地变异系数的 1.67、4.29、2.72、1.81、1.94、1.63、1.99、1.73、2.80、1.55 倍,平均为 2.21 倍,黄芩根际土中 Ca、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、P、Sr、Zn 总分布区变异系

表 4 黄芩及土壤无机元素含量的居群内变异系数和总变异系数(CV, coefficient variation, %)

产地 Areas	Ca		Cr		Cu		Fe		K		Mg		Mn		P		Sr		Zn	
	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil	黄芩 Plant	土壤 Soil
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	平均值 Mean	总分布区 Total areas	CV 总/CV 平均 Total CV /Mean CV	变异系数 C.V = (标准偏差 SD÷平均值 MN) × 100%, 又称“标准差率”
	15.85	3.02	32.8	2.97	11.73	9.79	37.17	3.9	13.95	4.22	10.66	6.48	33.03	5.12	11.62	2.9	9.67	4.03	18.46	8.5
	24.13	11.82	98.99	12.49	119.09	23.11	67.22	6.66	17.06	8.57	5.55	9.69	49.38	12.65	20.07	5.49	29.9	11.04	46.06	28.43
	32.81	50.37	135.64	14.55	9.5	27.94	72.42	15.42	11.23	15.13	9.01	19	47.68	11.22	33.13	20.92	24.05	4.63	32.91	23.09
	29.67	14.22	52.6	5.56	7.66	10.09	52.51	3.81	29.01	7.17	9.11	9.09	32.09	6.34	34.2	7.29	40.41	14.05	25.78	37.04
	26.58	21.12	46.71	18.81	35.99	21.27	36.4	20.22	18.12	8.09	18.02	20.83	27.24	29.1	21.6	44.07	24.82	15.21	55.5	24.19
	48.02	16.06	111.61	14.04	25.6	6.58	73.4	4.83	16.37	2.35	9.06	6.59	66.57	3.02	29.15	9.48	34.79	8.84	47.35	5.43
	13.82	11.1	73.82	9.63	14.11	7.8	24.7	3.33	33.46	2	18.37	4.84	19.91	3.36	24.54	4.64	11.25	3.01	14.13	10.04
	34.49	34.78	32.34	18.49	36.15	13.44	33.35	10.78	13.57	7.77	9.86	5	33.45	28.82	24.8	15.91	33.01	17.91	23.98	17.15
	38.95	2.24	24.44	7.18	29.8	36.11	32.82	3.28	44.98	2.12	20.13	2.84	25.74	3.19	14.28	6.29	28.91	4.52	14.39	8.41
	15.57	46.29	22.59	12.74	38.04	33.19	11.16	34.74	17.1	4.9	6.28	4.97	15.53	13.98	27.42	19.61	17.14	18.19	25.46	35.35
	30.27	21.41	99.86	10.82	23	5.93	32.76	10.44	21.21	14.84	15.58	4.86	60.31	44.84	14.34	14.33	8.73	4.1	28.55	51.93
	31.56	16.88	57.76	9.88	4.48	10.29	41.85	2.87	12.59	2.37	7.04	12.54	30.28	2.57	15.01	7.17	25.16	3.3	30.04	21.81
	27.47	14.12	124.43	3.13	21.99	10.45	80.06	4.26	12.12	5.01	14.05	2.57	38.67	4.44	47.53	8.23	18.19	4.33	22.83	16.66
	23.29	7.37	96.51	14.98	15.18	9.75	35.72	4.31	12.66	7.88	7.44	3.9	36.36	6.44	13.58	8.39	30.25	6.51	43.95	12.12
	25.65	97.05	32.14	11.34	6.59	8.39	34.54	16.15	13.76	17.95	6.19	16.12	21.8	9.67	24.75	13.39	22.88	11.21	22.67	19.26
	51.4	38.58	23.19	19.53	12.2	25.21	52.47	21.48	18.32	10.85	20.41	10.03	47.78	6.41	50.69	10.5	28.99	13.64	22.19	20.63
	29.35	25.40	66.59	11.63	25.69	16.21	44.91	10.41	19.09	7.58	11.67	8.71	36.61	11.95	25.42	12.41	24.26	9.03	29.64	21.25
	48.99	83.12	285.86	147.54	69.90	66.39	80.52	102.57	37.17	22.47	19.24	40.28	73.24	67.83	43.89	77.35	67.71	142.49	46.18	52.24
CV 总/CV 平均 Total CV /Mean CV	1.67	3.27	4.29	12.68	2.72	4.10	1.79	9.86	1.95	2.97	1.65	4.62	2.00	5.68	1.73	6.23	2.79	15.78	1.56	2.46

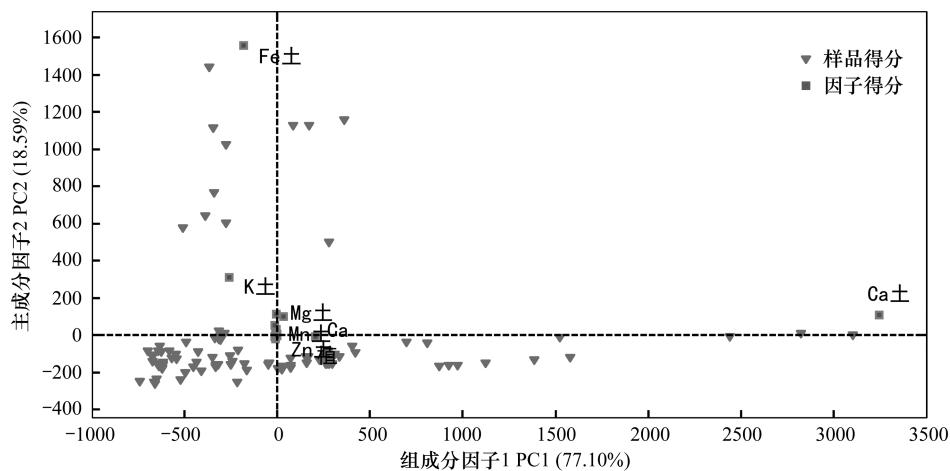


图2 16个产地黄芩及其相应根际土壤中无机元素主成分分析图,PC1和PC2的值分别代表了样品和因子(无机元素)在水平和垂直方向的载荷

Fig.2 The biplot of the principal component analysis on the content of inorganic elements in *S. baicalensis* and its relevant rhizosphere soil of 16 areas

数分别是各产地变异系数的3.28、12.66、4.09、9.99、2.91、4.54、5.73、6.25、15.67、2.45倍,平均6.76倍。可见,不同产地黄芩及根际土壤中无机元素含量变异均大于同一产地内变异,且根际土壤尤为明显。3)各无机元素变异系数不论在黄芩或其根际土壤中均差异较大,黄芩或其根际土均为Cr的变异系数最大,分别为285.86%和147.54%;K、Mg变异系数较小,黄芩及其根际土壤中K分别为37.17%和22.47%、黄芩及其根际土壤中Mg变异系数分别为19.24%和40.28%。提示土壤无机元素的含量变异与黄芩中无机元素变异有一定相关性。

对16个产地的92份样本黄芩及其相应的根际土壤中显著性差异的无机元素含量应用Solo+MIA统计软件进行主成分分析(图2)^[14-16],其中PC1方差贡献率为77.10%,PC2方差贡献率为18.59%,据此选取前2个主成分进行评价,其代表了黄芩及其相应根际土壤中无机元素量的97.51%的信息量。图2中PC1和PC2的值分别代表了样品和因子(无机元素)在水平和垂直方向的载荷值,由此可知,PC1和Ca土呈高度正相关,和Ca植呈正相关,和K土呈现高度负相关。PC2和Fe土,K土呈高度正相关,和Mg土、Mn土、Zn土呈正相关,由此可知总方差主要的贡献来自PC1和PC2中根际土壤无机元素Ca土、K土、Mg土、Mn土、Zn土,此结果表明,土壤无机元素的变异远大于黄芩中无机元素的变异,其中黄芩根际土壤中的特征无机元素为Ca、K、Mg、

Mn、Zn。

同理,运用Solo+MIA统计软件对92个样本黄芩中显著性差异的无机元素进行主成分分析(图3)^[17-18],由因子载荷值可知,PC1和黄芩中Ca、Fe呈高度正相关,PC2和黄芩中K、Mg呈高度正相关,其中总方差90%的贡献来自于第1、2主成分因子,因此可认为K、Mg、Ca、Fe、Zn是黄芩的特征无机元素。

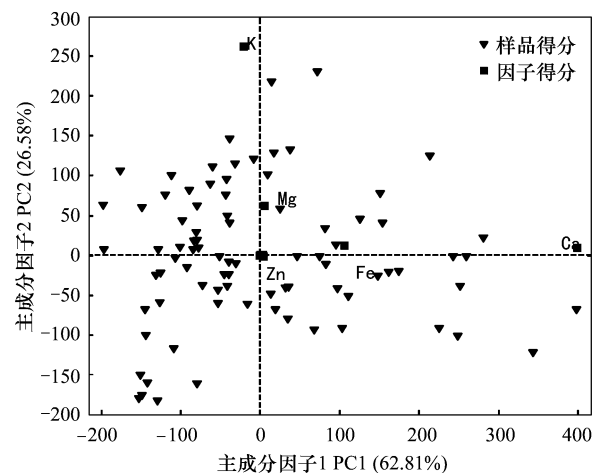


图3 16个产地黄芩中无机元素主成分分析图

Fig.3 The biplot of the principal component analysis on the content of inorganic elements in *S. baicalensis* of 16 areas

2.5 黄芩无机元素富集特征

如表5所示,黄芩中10种无机元素中,只有Sr和P2种元素的富集系数大于1。其中,黄芩对Sr的富集系数达到3.52,富集作用明显;黄芩对P富集

系数为 1.27,但各地对 P 的富集作用不同,16 个产地中有 8 个产地的富集系数大于 1,另 8 个产地的富集系数小于 1,总体来看,富集作用不明显。其他 8 种元素的富集系数均小于 1。

T 检验表明各地黄芩中同一种无机元素的富集系数有显著差异。如黑龙江杜尔伯特产地黄芩中 Cr 富集系数高达 1.49,极显著大于其他产地(多数在 0.1 左右);北京延庆黄芩中 Ca 和 Mn、河北围场和黑龙江杜尔伯特黄芩中 P、以及河北围场黄芩中 Zn 富集系数也显著高于其他产地;此外,河北赤城和河北围场两产地黄芩中 Sr 的富集系数显著小于其他产地,分别为 0.22 和 0.20,仅为其他产地平均富集系数的 1/20;内蒙古西林和内蒙古赤峰两产地黄芩中 K 的富集系数也显著小于其他产地。

黄芩总分布区各元素富集系数的变异系数远大于各地无机元素富集系数的变异系属的均值。黄芩总分布区 Ca、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、P、Sr、Zn 富集系数的变异是各地富集系数变异的 2.06、5.95、3.83、1.56、1.90、2.93、1.59、2.45、2.33、2.72 倍,平均 2.73 倍。黄芩总分布区及各产地内无机元素富集系数的变异均为 Cr 最大,变异系数达到 341.75%;K、Mg 最小,分别为 40.60%和 43.55%;其他 Cu、Zn、Ca、P、Fe、Mn、Sr 7 种变异系数都超过 50%。提示黄芩对无机元素的富集能力对产地有很大的依赖性,不仅与黄芩本身对无机元素的吸收特点有关。

3 结论与讨论

3.1 黄芩无机元素特征及变异规律

不同产地黄芩无机元素有很大变异。总体来看,黄芩中无机元素具有以下特征:Mg(9 级)含量较其他植物含量高;P(1 级)、K(2 级)、Mn(3 级)含量与其他植物相比处处较低水平^[11];黄芩对 Sr(富集系数达到 3.52)有较强富集,但黄芩中 Sr 在植物中处于中等居中;各地黄芩中 Cr 不论在含量(变异系数 285.86%)及富集能力(富集系数的变异系数为 341.75%)方面均有很大变异。在植物生理功能中,镁(Mg)是糖代谢和呼吸不可缺少的辅因子,参与光合作用、脂肪酸的代谢、蛋白质合成时起催化作用。锶(Sr)在体内的代谢与钙极为相似,能促进骨骼发育生长,维持人体正常生理功能。铬(Cr)(Ⅲ价)是胰岛素的辅因子,是维生素 B₁₂的重要组成部分,

主要功能是调节血糖代谢,促进蛋白质代谢合成,但过多铬可诱发肺癌。以上 3 种无机元素在黄芩地理变异研究中需要引起特别重视。

黄芩各无机元素变异情况差异较大,变异系数最大的为 Cr,达到 285.86%,最小的是 Mg 为 19.24%。总体来看,黄芩总分布区无机元素变异系数远远大于各地无机元素变异系数的均值,前者为后者的 2.21 倍。黄芩总分布区各元素富集系数的变异系数也远远大于各地该值的均值,前者是后者的 2.73 倍。提示在开展黄芩无机元素相关研究中,取样的代表性极其重要,其中来源于多个不同产地的样地尤其重要,在总样品数量不变的情况下,增加样地数目会让样品的代表性更好。

此外,本文构建的 16 个产地无机元素分布曲线图谱中 Mg、P、K、Ca、Mn、Fe、Zn 等元素的峰形相似,可作为黄芩药材无机元素指纹谱与其他药材无机元素指纹谱的鉴别特征。通过主成分分析筛选出 Mg、K、Ca、Fe、Zn 为黄芩的特征无机元素,为黄芩药理作用与无机元素的关系研究提供理论依据。

3.2 根际土无机元素与黄芩无机元素的关系

植物和土壤是生态系统内具有紧密联系的两个分室,土壤中的无机元素含量对植物体内的各无机元素含量存在一定程度的影响^[19-20]。研究表明,各地黄芩及根际土壤中无机元素相对大小呈现出相似的变化顺序,而且不同产地间黄芩各元素富集系数的变异远远大于单个产地内的变异,即黄芩对各元素的吸收能力受产地的影响较大,提示黄芩对无机元素的吸收与各产地黄芩根际土壤无机元素有一定关联性。而除 Sr 和 Ca 外,多数产地黄芩其他大部分无机元素含量等级差异较小,黄芩对各无机元素的需求和吸收能力相对稳定,这反映了黄芩植物本身对各无机元素需求和吸收特征。

总体来看,黄芩对各无机元素吸收能力的大小不仅与黄芩植物对该无机元素的需求量和吸收特点有关,也对不同产地的黄芩的根际土壤无机元素的含量有很大关联性。例如,同一产地无机元素含量变异系数黄芩中大于根际土,总分布区中黄芩及根际无机元素变异系数无显著差异,提示同一产地内黄芩无机元素的变异主要是由个体变异导致的;而不同产地之间的变异主要由黄芩种质及土壤背景对无机元素吸收的影响等导致。此外,本文结果只能

表 5 黄芩中各无机元素富集系数均值 (Mean) 及其居群内、总变异系数 (CV, coefficient variation, %)

产地 Areas	Ca		Cr		Cu		Fe		K		Mg		Mn		P		Sr		Zn	
	均值	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%
1	0.58	54.18	0.05	121.47	0.58	29.3	0.35	74.69	0.33	16.52	0.68	13.68	0.14	67.41	0.48	30.67	3.73	37.79	0.34	46.29
2	0.74	24.49	0.39	73.23	0.97	18.13	0.22	27.24	0.22	34.53	0.71	19.58	0.09	22.42	0.61	26.02	4.65	13.5	0.24	12.21
3	0.71	19.04	1.49	29.54	1.47	31.44	0.27	68.43	0.2	22.87	1.24	27.58	0.08	52.35	2.33	58.95	3.73	20.08	0.81	40.52
4	0.13	18.96	0.04	80.9	1.01	13.05	0.21	33.45	0.3	17.23	1.07	9.25	0.08	35.38	1.38	16.75	5.59	34.08	0.83	49.17
5	0.65	31.71	0.07	94.81	0.59	25.76	0.21	54.14	0.3	13.73	1.12	15.75	0.16	40.39	1.23	47.65	6.25	19.34	0.39	25.42
6	0.32	42.52	0.24	59.3	1.14	12.62	0.47	43.32	0.13	11.67	0.63	7.92	0.15	32.43	1.52	20.51	3.71	26.65	0.74	31.45
7	0.12	32.14	0.03	26.03	0.65	19.96	0.13	28.58	0.11	36.85	0.47	20.29	0.05	22.49	1.34	22.16	2.02	8.47	0.36	35.37
8	0.31	62.12	0	82.94	0.38	27.47	0.02	75.55	0.33	17.66	0.48	14.53	0.02	50.48	1.55	47.75	0.22	26.43	0.93	23.39
9	1.47	23.74	0.08	97.24	0.84	97.82	0.44	68.4	0.39	15.36	0.83	9.99	0.23	47.54	0.74	24.48	7.18	30.27	0.56	44.53
10	0.31	16	0.01	33.98	1.29	18.11	0.04	36.1	0.21	15.41	0.56	6.04	0.02	30.7	3.84	12.48	0.2	10.03	1.89	22.8
11	0.43	40.28	0.01	57.02	0.48	10.38	0.22	53.82	0.28	30.78	0.53	11.21	0.1	32.62	0.8	32.01	2.9	32.11	0.16	39.22
12	0.43	41.07	0.02	42.2	0.61	56.95	0.11	42.61	0.29	19.81	0.31	23.3	0.07	60.97	0.79	66.69	2.66	25.66	0.28	51.48
13	0.25	38.04	0.01	28.93	0.36	37.03	0.18	35.45	0.46	43.17	0.47	21.44	0.1	26.04	0.61	11.14	4.87	26.77	0.26	9.78
14	0.14	87.75	0.04	27.11	0.37	13.02	0.12	36.09	0.42	12.14	0.52	17.32	0.06	25.39	0.71	34.4	3.48	15.51	0.3	23.62
15	0.36	63.08	0.07	33.42	0.39	33.97	0.19	32.54	0.36	15.65	0.44	12.14	0.08	36.95	0.74	24.8	3.22	46.68	0.43	37.42
16	0.17	44.26	0.05	30.26	0.34	93.88	0.34	19.07	0.49	19.3	0.57	7.38	0.13	25.95	1.54	37.55	2.92	26.23	0.32	32.82
平均值 Mean	0.45	39.96	0.16	57.40	0.72	33.68	0.22	45.59	0.30	21.42	0.66	14.84	0.10	38.09	1.26	32.13	3.58	24.98	0.55	32.84
总分布区 Total areas	0.43	82.17	0.17	341.75	0.72	128.99	0.21	71.27	0.3	40.6	0.66	43.55	0.09	60.73	1.27	78.72	3.52	58.22	0.56	89.44
总/平均 Total/Mean	0.96	2.06	1.06	5.95	1.00	3.83	0.95	1.56	1.00	1.90	1.00	2.93	0.90	1.59	1.01	2.45	0.98	2.33	1.02	2.72

反映黄芩无机元素与根际土无机元素的关系,不能完全反映黄芩无机元素与不同产地土壤(非根际)之间的关系,因为黄芩根际会产生根系分泌物能够活化和富集一部分无机元素,成为有效态的,从而被黄芩吸收利用。此试验分析了土壤中无机元素的全量与黄芩无机元素含量的关系,土壤中无机元素的形态及其有效性有待进一步的分析研究。

References:

- [1] Xiao P G. Modern Chinese Materia Medica. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 862-862.
- [2] Yang Q, Bai Y, Chen Q L, Zhang Y, Chen Y H, Wang W Q. The resource investigation and continual utilization of *Scutellaria baicalensis* Georgi. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2006, 17(7): 1159-1160.
- [3] Zhao M X, Lü J R, Yang G, Lin S F, Wu Z G, Song L K, Huang L Q, Guo L P. Effects of inorganic elements in soil on contents of inorganic elements and paeoniflorin in radix *Paeoniae rubra*. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2009, 15(10): 38-42.
- [4] Zhao M X, Lü J R, Guo L P, Ge X G, Yang G, Song L K. Effects of inorganic elements of soil on contents of inorganic elements and baicalin in *Scutellaria*. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2010, 16(9): 103-106.
- [5] Zhou C Z, Li Y, Yang C S. Studies on the presence of various trace elements in the geo-herbal Wildginger (*Asarum L.*). Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2000, 31(4): 292-295.
- [6] Guo L P, Huang L Q, Yan Y N. The influences of inorganic elements in soil on the geolism of *Atractylodes lancea*. China Journal of Chinese Materia Medica, 2002, 27(4): 245-250.
- [7] Tan H P, Chen N W, Huang P. Study on pretreatment methods to determine abioelements in soil. China Measurement Technology, 2003, 29(5): 3-6.
- [8] Iwashita A, Nakajima T, Takanashi H, Ohki A, Fujita Y, Yamashita T. Effect of pretreatment conditions on the determination of major and trace elements in coal flyash using ICP-AES. Feul, 2006, 85: 257-263.
- [9] Committee C P. Chinese Pharmacopoeia // China Pharmacopoeia Committee. Beijing: Medicine Science and Technology Press of China, 2010: 1042-1042.
- [10] Yuki T, Kumi Y, Eiji F, Hiroki H, Yoshiyasu S, Tadao K. Analysis of metal elements of hydrangea sepal sat-various growing stages by ICP-AES. Biochemical Engineering Journal, 2003, 14(3): 237-241.
- [11] Guan J H, Li E K. Quantification of TCM Theory and Trace Elements. Wuhan: Hubei Publishers of Science and Technology, 1998: 14-14.
- [12] Yan H J, Fang Z J. Study on determination and principal component analysis of inorganic elements in *Polygonum multiflorum* from different areas. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 33(4): 416-419.
- [13] Chen J H, Xie M Y, Fu B Q, Yang M F, Wang X R. Principal component analysis and cluster analysis of inorganic elements in *Panax quinque folium*. L. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(7): 1326-1329.
- [14] Gallo J M, Almirall J R. Element analysis of white cotton fiber evidence using solution ICP-MS and laser ablation ICP-MS (LA-ICP-MS). Forensic Science International, 2009, 190(1/3): 52-57.
- [15] Li C, Liu X Z, Wang L S, Liu Z, Zhang L X. Study on the contents of Cu, Zn and Mn in different growing years of ginseng and its rhizosphere soil. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(3): 718-723.
- [16] Yan H, Duan J A, Qian D W, Su S L, Song B S, He Z Q. Correlation analysis and evaluation of inorganic elements in *Angelica sinensis* and its correspondence soil from different regions. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2011, 34(4): 512-516.
- [17] Yin H B, Zhang N, Luo H, Han R C, Li G Y. Principal component analysis and cluster analysis of inorganic elements in *Erodium stephanianum* from different areas. China Journal of Chinese Materia Medica, 2010, 35(15): 1935-1938.
- [18] Zhang J K, Kang T G, Dou D Q. Cluster analysis and principal component analysis of inorganic elements in ginseng cultivated in forest and garden. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2012, 43(9): 1835-1840.
- [19] Huang J H, Chen L Z. A study of chemical contents in a mixed shrubland near Baihuashan Mountain in Beijing. Journal of Plant Ecology and Botany, 1991, 15(3): 224-233.
- [20] Wang L Y, Meng F Y, Zhang W S, Du S S. Relativity between *Aconitum vilmorinianum* Kom and inorganic elements of soil. Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2005, 28(3): 68-71.

参考文献:

- [1] 肖培根. 新编中药志. 北京: 化学工业出版社, 2002: 862-862.
- [2] 杨全, 白音, 陈千良, 张燕, 陈云华, 王文全. 黄芩资源现状及可持续利用的研究. 时珍国医国药, 2006, 17(7): 1159-1160.
- [3] 赵曼茜, 吕金嵘, 杨光, 林淑芳, 吴志刚, 宋良科, 黄璐琦, 郭兰萍. 土壤无机元素对赤芍无机元素及芍药苷含量的影响. 中国实验方剂学杂志, 2009, 15(10): 38-42.
- [4] 赵曼茜, 吕金嵘, 郭兰萍, 格小光, 杨光, 宋良科. 土壤无机元素对黄芩无机元素及黄芩苷含量的影响. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(9): 103-106.
- [5] 周长征, 李银, 杨春澍. 细辛道地药材与微量元素. 中草药,

- 2000, 31(4): 292-295.
- [6] 郭兰萍, 黄璐琦, 阎玉凝. 土壤中无机元素对茅苍术道地性的影响. 中国中药杂志, 2002, 27(4): 245-250.
- [7] 谭和平, 陈能武, 黄苹. 土壤无机元素测定的前处理方法研究. 中国测试技术, 2003, 29(5): 3-6.
- [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 // 国家药典委员会. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 1042-1042.
- [11] 管竞环, 李恩宽. 中医药理论量化与微量元素. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1998: 14-14.
- [12] 严寒静, 房志坚. 不同产地何首乌无机元素的含量测定和主成分分析. 中国中药杂志, 2008, 33(4): 416-419.
- [13] 陈军辉, 谢明勇, 傅博强, 杨妙峰, 王小如. 西洋参中无机元素的主成分分析和聚类分析. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(7): 1326-1329.
- [15] 李成, 刘学周, 王丽思, 刘哲, 张连学. 不同参龄人参与其根际土壤中 Cu、Zn、Mn 含量研究. 土壤通报, 2012, 43(3): 718-723.
- [16] 严辉, 段金殿, 钱大玮, 宿树兰, 宋秉生, 何子清. 不同产地当归药材及其土壤无机元素的关联分析与探讨. 中药材, 2011, 34(4): 512-516.
- [17] 尹海波, 张囡, 罗宏, 韩荣春, 李国玉. 不同产地牻牛儿苗无机元素的主成分分析和聚类分析. 中国中药杂志, 2010, 35(15): 1935-1938.
- [18] 张建逵, 康廷国, 窦德强. 林下山参与园参无机元素的聚类分析和主成分分析. 中草药, 2012, 43(9): 1835-1840.
- [19] 黄建辉, 陈灵芝. 北京百花山附近杂灌丛的化学元素含量特征. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(3): 224-233.
- [20] 汪丽娅, 孟繁蕴, 张文生, 杜树山. 黄草乌原药材与土壤无机元素相关性研究. 北京中医药大学学报, 2005, 28(3): 68-71.