

红芪生长年限与无机元素相关性研究

强正泽, 李成义*, 王 燕, 王明伟, 李 硕

甘肃中医药大学, 兰州 730000

摘要:采用 ICP-MS 测定不同生长年限红芪中 13 种无机元素含量, 并分析其规律, 发现不同生长年限红芪样品之间 As、Pb、B、Al、Ti、Ga、Ba 元素含量无显著性差异 ($P > 0.05$), Hg、Be、Mo 元素含量具极显著性差异 ($P < 0.01$)。V、Ce、Sr 元素含量具显著性差异 ($P < 0.05$); 生长年限与 Hg、Mo 含量之间存在极显著负相关关系, 与 V 含量之间存在极显著的正相关关系, 与 B 含量之间存在显著的负相关关系; 生长年限与 Hg 含量之间存在线性回归关系, 与 Hg 元素、V 元素的含量之间存在 Fisher 的线性判别式函数关系, Hg、Mo、Ce、B 是不同生长年限红芪特征性元素, 无机元素表征了不同生长年限红芪质量的差异性。研究结果为其他豆科多年生药用植物的生长年限判别及与无机元素的关系提供参考。

关键词:红芪; 生长年限; 无机元素; 相关性

中图分类号: R284

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2017.9.014

Correlations between Inorganic Elements Content and Growth Ages of Hedysari Radix

QIANG Zheng-ze, LI Cheng-yi*, WANG Yan, WANG Ming-wei, LI Shuo

Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

Abstract: To analyze the law of 13 inorganic elements of Hedysari Radix in different growth ages by ICP-MS. The result showed that the contents of As, Pb, B, Al, Ti, Ga and Ba were no significant difference ($P > 0.05$), the contents of Hg, Be and Mo were significant difference ($P < 0.01$), the contents of V, Ce and Sr were obviously difference ($P < 0.05$). The result of correlation analysis showed that growth ages of Hedysari Radix had significantly negative correlation with Hg and Mo contents and had significantly positive correlation with V contents and had significantly negative correlation with B contents. There were the linear regression relationship between the contents of inorganic elements and growth ages, there were the linear discriminant function of Fisher between the contents of Hg and V and growth ages. Hg, Mo, Ce and B were the characteristic trace elements of Hedysari Radix. The inorganic elements characterized the differences of the quality of samples with different growth ages. Our results provided a reference for identifying the growth ages of other leguminous medicinal plants and studying relationships with inorganic elements and growth ages.

Key words: Hedysari Radix; growth ages; inorganic elements; correlation

红芪 (*Hedysari Radix*) 为豆科 (Leguminosae) 岩黄耆属 (*Hedysarum* Linn.) 植物多序岩黄耆 (*Hedysarum polybotrys* Hand. -Mazz.) 的干燥根^[1], 资源丰富, 在甘肃省南部有悠久的用药历史。其味甘, 微温, 归肺、脾经。具有补气升阳, 固表止汗, 利水消

肿, 生津养血, 行滞通痹, 托毒排脓, 敛疮生肌的功效, 中医临床上用于治疗气虚乏力, 食少便溏, 中气下陷等。已被证明^[2-5]许多中药的生长年限与药材中活性成分、初生代谢产物及次生代谢产物的含量具有较高的关联性, 且不同生长年限的中药材质量参差不齐^[6,7], 导致产生了中医临床疗效波动的现象。红芪为多年生药用植物, 已发现甘肃武都米仓山栽培红芪的生长年限对红芪产量、黄酮和多糖含量具有显著影响^[8], 因此研究多年生药用植物红芪的生长年限及其与化学成分的关系成为近年来中药研究的重点问题之一。

许多无机元素被认为是所有活生物体生长所必

收稿日期: 2017-03-28 接受日期: 2017-05-15

基金项目: 国家自然科学基金 (81360621); 2015 联合研发横向项目 (忘忧系列产品开发); 2015 甘肃省高校中 (藏) 药化学与质量研究省级重点实验室开放基金 (zzy-2015-01); 甘肃省中药质量与标准研究重点实验室培育基地开放基金 (ZYZL16-005); 甘肃省高校人文社科重点研究基地敦煌医学文献整理与应用研究中心开放基金 (DHYX2016-01)

* 通信作者 Tel: 86-931-8765385; E-mail: gslchengyi@163.com

需的,且存在较多的生物学功能^[9-11],如增强或抑制血管生成等作用。在中药中,无机元素含量影响了某些中药的药性与药效^[12],而且 27 种药材中无机元素锌、锰、铜与总黄酮、咖啡酸、阿魏酸、槲皮素等成分呈显著的相关关系^[13],这些研究为进一步揭示中药中无机元素的规律及功能奠定了基础。课题组前期采用火焰原子吸收分光光度法研究了铁、铜、钙、锰、锌、镁、铬、钴、钠、锂、镍、钾元素时发现,无机元素与红芪中毛蕊异黄酮等活性成分含量存在密切关系^[14],红芪野生与栽培生长类型与无机元素含量存在密切关系,无机元素鉴别野生与栽培红芪有一定可行性^[15];红芪生长年限与某些无机元素关系密切,无机元素与红芪的质量具有一定关系^[16];以无机元素评价红芪质量表征了不同产区红芪质量之间的差异性^[17],这些前期的成果为本研究的开展提供

了参考基础。

在本研究中我们采用 ICP-MS 测定了不同生长年限药材中的 As、Pb、B、Hg 等 13 种无机元素的含量,并初步分析了无机元素与生长年限的关系,以无机元素为评价指标建立了不同生长年限红芪的质量评价函数,为优选甘肃红芪的最佳生长年限,保证中医临床用药提供参考。

1 材料与仪器

1.1 样品来源

2013 年 10 月采集甘肃省武都区、宕昌县不同生长年限栽培红芪样品(表 1),经甘肃中医药大学中药鉴定教研室李成义教授鉴定,为豆科植物多序岩黄芪 *Hedysarum polybotrys* Hand. -Mazz. 的干燥根,经搓条加工后晾干,备用。

表 1 样品信息

Table 1 The information of samples

样品 Samples	产地 Producing area	生长年限 Growth ages	经度 Longitude	纬度 latitude	海拔 Altitude	生长类型 Sample types
S ₁	武都安化镇官沟村	1	E105°02'07.15"	N33°30'37.87"	1451.1	栽培
S ₂	武都安化镇米仓山铺底下村	1	E105°06'57.92"	N33°28'28.45"	1899.6	栽培
S ₃	武都安化镇米仓山李家庙村	1	E105°06'41.15"	N33°28'50.33"	1844.3	栽培
S ₄	武都郭河乡柏树坪郭罗社	1	E105°10'04.94"	N33°20'40.42"	1619.7	栽培
S ₅	武都郭河乡马儿沟村红崖子	1	E105°10'54.13"	N33°20'50.06"	1839.9	栽培
S ₆	宕昌县南阳镇草坡村	2	E104°33'43.77"	N33°57'46.70"	2494.8	栽培
S ₇	宕昌县兴化乡常家庄村	2	E104°33'39.38"	N34°03'04.16"	1997.1	栽培
S ₈	武都鱼龙乡黑头坪	2	E105°08'24.11"	N33°28'17.20"	2115.9	栽培
S ₉	宕昌县车拉乡儿家湾村	3	E104°27'43.93"	N34°03'48.97"	2332.1	栽培
S ₁₀	宕昌县庞家乡庞家村	4	E104°16'54.59"	N34°17'39.69"	2452.7	栽培
S ₁₁	宕昌县南阳镇草坡村	6	E104°33'45.31"	N33°57'46.73"	2485.4	栽培
S ₁₂	宕昌县官亭镇	8	E104°30'59.59"	N33°49'10.87"	1427.5	栽培

1.2 仪器

电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)(仪器型号:ELAN DRC-e)、SB450300 型电热板(湖北英山国营无限电元件厂)、101-2 型电热恒温鼓风干燥箱(上海跃进医疗器械厂)、VPH-1-5T 型超纯水制造系统(批号:7061205)、BS 224-型分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司)。实验所需量瓶等玻璃仪器,使用前均用铬酸洗液浸泡 24 h,后用自来水、蒸馏水冲洗干净,50 °C 烘干备用。

1.3 试剂

As、Pb、B、Hg、Be、Al、Ti、V、Ga、Ba、Ce、Sr、Mo 标准溶液(浓度 1000 μg/mL)均购于国家有色金属及

电子材料分析测试中心,高氯酸、浓硝酸均为分析纯。

2 方法与结果

2.1 样品处理

不同生长年限红芪样品处理方法参考课题组前期方法^[14],样品处理后定容,备用。

2.2 ICP-MS 测定条件

S₁ 至 S₁₂ 红芪样品中 As、Al、Ti、Pb、B、Hg、Be、V、Ga、Ba、Ce、Sr 及 Mo 元素含量测定方法均采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS),各元素测定条件见表 2。

表 2 测定条件及标准曲线

Table 2 The measurement conditions and standard curve

元素 Elements	检测元素 质量数 Detection of element mass	等离子 体流量 Plasma flow rate (L/min)	脉冲电压 Pulse voltage (V)	雾化气流量 Nebulizer flow (L/min)	模拟电压 Analog voltage (V)	低质量截取 RPq (mL/min)	冷却气流量 Cooling air flow (L/min)	RF 功率 RF power (W)	线性方程 Linear equation
As	74.922	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 286.52x$
Pb	207.977	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 2069.89x$
Hg	201.971	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 297.366x$
Be	9.012	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 71.8548x$
B	11.009	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 47.404x$
Al	26.982	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 885.183x$
Ti	46.952	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 136.072x$
V	50.944	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 1866.47x$
Ga	68.9257	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 1439.04x$
Ba	137.905	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 3094.4x$
Ce	139.905	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 3527.84x$
Sr	87.9056	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 3043.83x$
Mo	97.9055	15	950	8	-1900	0.25	1.2	1100	$y = 712.886x$

将处理好的不同年限红芪样品按表 2 测定条件进行测定,每个样品平行两次 $n=2$,结果见表 3。以红芪样品 S1(平行 6 份)做了加样回收率实验以便

考察测定方法的准确度,加样回收率为 92.0712% ~ 104.6504%,RSD 值为 0.5% ~ 2.9%,符合实验要求。

表 3 无机元素含量测定结果 ($n=2, \bar{x}$, mg/kg)Table 3 The content of 13 inorganic elements of Hedysari Radix ($n=2, \bar{x}$, mg/kg)

No.	Elements (mg/kg)												
	As	Pb	Hg	Be	B	Al	Ti	V	Ga	Ba	Ce	Sr	Mo
S ₁	0.875	0.900	0.066	0.025	13.120	752.400	16.805	2.165	0.840	19.935	0.905	255.880	36.210
S ₂	0.580	1.295	0.065	0.013	16.105	514.575	8.920	2.005	1.295	39.115	0.405	168.600	12.580
S ₃	0.605	0.950	0.053	0.025	20.055	773.060	16.325	2.520	0.605	11.285	0.895	92.800	24.990
S ₄	0.590	1.085	0.040	0.023	18.330	725.995	13.855	2.435	0.565	10.815	0.815	103.360	11.515
S ₅	0.660	1.820	0.035	0.025	18.835	681.320	17.400	2.530	0.620	12.455	0.875	50.365	21.175
S ₆	0.670	0.995	0.010	0.033	12.580	505.950	11.525	3.125	0.530	7.735	0.805	45.295	1.925
S ₇	0.360	1.135	0.008	0.028	14.430	383.375	6.460	2.765	0.440	7.570	0.655	30.995	3.780
S ₈	0.935	1.080	0.026	0.037	15.815	847.040	16.470	2.815	0.690	15.150	1.255	34.755	5.895
S ₉	0.725	0.795	0.010	0.017	15.980	430.780	12.065	2.870	0.725	18.520	0.475	74.620	5.190
S ₁₀	0.675	1.435	0.022	0.036	15.875	1061.375	20.360	3.125	0.680	11.900	1.530	48.505	4.440
S ₁₁	0.520	1.105	0.007	0.017	17.190	540.825	10.025	1.915	0.575	11.150	0.360	56.175	1.685
S ₁₂	0.635	1.335	0.002	0.025	12.785	567.510	9.850	2.880	0.555	8.910	0.605	93.730	1.590

2.3 数据处理

以红芪样品不同生长年限及 13 种无机元素含量为数据建立无机元素与生长年限的数据库,采用

SPSS 21.0 软件对数据进行单因素方差分析、Spearman 相关性分析、线性回归分析、判别分析及因子分析。

2.3.1 单因素方差分析

以不同生长年限为自变量,无机元素含量为因变量,采用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析,结果见表 4,发现不同生长年限红芪样品之间 As、Pb、

B、Al、Ti、Ga、Ba 元素含量无显著性差异 ($P > 0.05$),Hg、Be、Mo 元素含量具极显著性差异 ($P < 0.01$)。V、Ce、Sr 元素含量具显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 4 单因素方差分析结果

Table 4 The results of single factors analysis of variance

元素 Element	平方和 Sum of square	df	均方 Mean square	F	Sig.
As	0.048	5	0.010	0.272	0.923
Pb	0.559	5	0.112	1.039	0.425
Hg	0.010	5	0.002	16.517	0.000
Be	0.001	5	0.000	9.215	0.000
B	57.871	5	11.574	1.145	0.373
Al	517984.997	5	103596.999	2.577	0.063
Ti	186.247	5	37.249	2.098	0.113
V	3.062	5	0.612	3.859	0.015
Ga	0.264	5	0.053	1.147	0.372
Ba	422.350	5	84.470	1.224	0.338
Ce	1.811	5	0.362	7.985	0.000
Sr	42511.090	5	8502.218	2.962	0.040
Mo	1869.010	5	373.802	8.065	0.000

2.3.2 Spearman 相关性分析

对红芪生长年限与 13 种无机元素含量进行 Spearman 相关性分析,结果见表 5,发现红芪生长年

限与部分无机元素含量之间存在显著或极显著的正相关或负相关关系,与部分无机元素含量之间的相关关系未达显著。生长年限与 Hg、Mo 含量之间存

表 5 生长年限与无机元素的相关性结果

Table 5 The results of correlation between growth ages and inorganic elements

No.	nx	As	Pb	Hg	Be	B	Al	Ti	V	Ga	Ba	Ce	Sr	Mo
nx	1.000													
As	-0.061	1.000												
Pb	0.135	-0.128	1.000											
Hg	-0.867 **	0.177	-0.119	1.000										
Be	0.131	0.184	0.039	-0.136	1.000									
B	-0.475 *	-0.013	-0.047	0.468 *	-0.113	1.000								
Al	-0.137	0.454 *	0.149	0.334	0.223	0.170	1.000							
Ti	-0.233	0.372	-0.017	0.387	0.461 *	0.179	0.563 **	1.000						
V	0.605 **	0.106	0.090	-0.637 **	0.551 **	-0.363	0.063	0.160	1.000					
Ga	-0.235	0.437 *	-0.025	0.562 **	-0.251	0.089	0.240	0.352	-0.280	1.000				
Ba	-0.352	0.462 *	-0.047	0.599 **	-0.398	0.169	0.251	0.281	-0.0405 *	0.934 **	1.000			
Ce	-0.246	0.347	0.091	0.329	0.794 **	0.124	0.572 **	0.828 **	0.258	0.106	0.014	1.000		
Sr	-0.397	0.121	-0.134	0.544 **	-0.610 **	0.233	0.117	0.027	-0.549 **	0.507 *	0.497 *	-0.232	1.000	
Mo	-0.880 **	0.262	-0.173	0.920 **	-0.108	0.551 **	0.294	0.455 *	-0.584 **	0.528 **	0.597 **	0.385	0.488 *	1.000

注:生长年限:nx; *表示 $P < 0.05$ 的水平; **表示 $P < 0.01$ 水平。

Note: Growth ages:nx; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

在极显著的负相关关系,相关系数分别为-0.867、-0.880;与V含量之间存在极显著的正相关关系,相关系数为0.605;与B含量之间存在显著的负相关关系,相关系数为-0.475。同时发现不同元素之间也存在不同程度的相关关系,推测红芪吸收无机元素时,各元素之间可能存在相互作用。

2.3.3 线性回归分析

相关性分析表明,部分无机元素与生长年限之间存在相关关系,因此以生长年限为因变量,无机元素为自变量,采用回归分析的“逐步”法,构建红芪生长年限与无机元素的一元线性回归方程。以Y表示生长年限,将进入方程的元素Hg表示为 X_1 构建的方程为: $Y = -4.613 - 67.976X_1$ ($R^2 = 0.476, P = 0.014 < 0.05$)由方程可知,Hg元素含量与生长年限之间存在线性关系,方程中Hg元素含量与红芪生长年限之间呈负相关关系,这与Spearman相关性分析的结果是一致的。

2.3.4 判别分析

在线性回归分析的基础上,采用判别分析研究了红芪生长年限与无机元素的关系,发现红芪生长年限与部分无机元素之间存在Fisher的线性判别式函数, $Y_1、Y_2、Y_3、Y_4、Y_6、Y_8$ 分别代表1年生、2年生、3年生、4年生、6年生、8年生, $X_1、X_2$ 分别代表Hg元素、V元素的含量(判别变量),Fisher的线性判别式函数(分类判别函数)如下:

$$Y_1 = -192.842 + 1844.463 X_1 + 123.091 X_2$$

$$Y_2 = -199.287 + 1675.179 X_1 + 127.696 X_2$$

$$Y_3 = -188.407 + 1606.354 X_1 + 124.224 X_2$$

$$Y_4 = -241.488 + 1876.367 X_1 + 140.496 X_2$$

$$Y_6 = -85.479 + 1078.848 X_1 + 83.177 X_2$$

$$Y_8 = -177.159 + 1511.428 X_1 + 120.523 X_2$$

应用时将Hg元素、V元素的含量带入上述Fisher的线性判别式函数,计算判别得分,以此来判别红芪样品的生长年限。

2.3.5 因子分析

综合单因素方差、Spearman相关性、线性回归、判别分析的结果,发现Hg、Be、Mo、Sr、V、Ce、B元素与红芪生长年限之间存在联系。为了进一步分析无机元素与生长年限之间的关系,以Hg、Be、Mo、Sr、V、Ce、B为变量,采用因子分析法处理不同生长年限数据,提取方法采用主成分分析,旋转法采用具有Kaiser标准化的正交旋转法,旋转在4次迭代后收敛,KOM统计量为 $0.434 < 0.5$,Bartlett球形检验P

值为 $0.000 < 0.05$,符合因子分析的要求。提取主成分的方差贡献率见表6,可知总共提取了三个主成份,提取的三个主成分代表了总体信息的92.543%,损失了7.497%信息,且三个主成分值均大于1,可以作为代表不同生长年限红芪无机元素的信息的主成分,可代表无机元素对不同生长年限红芪质量的影响,公因子载荷量越大,对不同生长年限红芪质量的影响越强,旋转成分矩阵见表7。以不同生长年限红芪样品综合得分及排名为标准,对不同生长年限红芪进行质量评价。不同生长年限红芪质量得分的高低,表示不同生长年限红芪质量的优劣,得分越高,表明此生长年限的红芪质量越好。将公因子的方差贡献率作为权重系数,计算不同生长年限红芪质量的综合得分(y), $y = 0.483F_1 + 0.274F_2 + 0.168F_3$,各公因子得分计算公式 $F_i = \sum b_{ij}X_j$ (b_{ij} 为因子得分矩阵第i行、第j列的系数,文中未列出; X_j 为元素含量值),不同生长年限红芪排名及得分数据见表8,发现以无机元素为评价指标评价不同生长年限的红芪质量时,S1(一年生)样品红芪质量排名第一,其他一年生样品排名分别为第二、第四、第六、第七表明主产区一年生的红芪样品质量存在差异性;3个两年生红芪样品的排名为第五、第八、第九,说明主产区两年生红芪样品的质量也存在差异性;三年生红芪样品质量排名第十,四年生红芪样品质量排名第三,六年生、八年生红芪样品质量排名为第十二、第十一,说明不同生长年限的红芪质量存在差异性。同时分析解释的总方差可知48.332%的贡献率来自于第一主成分,27.409%的贡献率来自于第2主成分,16.802%的贡献率来自于第3主成分,结合最大方差法对因子载荷矩阵旋转后的结果表7,发现第1主成分中元素Hg、Mo对第1主成分的贡献较大;第2主成分中Ce对第2主成分的贡献较大;第3主成分中B对第3主成分的贡献较大,因此Hg、Mo、Ce、B元素是不同生长年限红芪特征性元素。

3 讨论与结论

本文通过测定不同生长年限红芪样品中的As、Al、Ti、Pb、B、Hg、Be、V、Ga、Ba、Ce、Sr及Mo元素的含量,并对数据进行单因素方差分析、相关性研究、线性回归分析、判别分析及因子分析,主要分析两点内容:生长年限与无机元素的关系,以无机元素为指标评价不同生长年限的红芪的质量,为红芪的质量

表6 主成分特征值及方差贡献率

Table 6 Characteristic roots and contribution rate of principle components

成份 Ingredients	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和载入 Extraction squared sum			旋转平方和载入 Rotation squared sum		
	合计 Total	方差 Variance (%)	累积 Cumulative (%)	合计 Total	方差 Variance (%)	累积 Cumulative (%)	合计 Total	方差 Variance (%)	累积 Cumulative (%)
1	3.383	48.332	48.332	3.383	48.332	48.332	2.823	40.335	40.335
2	1.919	27.409	75.741	1.919	27.409	75.741	2.399	34.266	74.601
3	1.176	16.802	92.543	1.176	16.802	92.543	1.256	17.942	92.543

表7 旋转成分矩阵

Table 7 Rotation component matrix

Elements	成份 Ingredients		
	1	2	3
Hg	0.932	-0.046	0.231
Be	-0.172	0.948	-0.124
B	0.104	-0.081	0.985
V	-0.525	0.693	-0.260
Ce	0.139	0.959	0.114
Sr	0.878	-0.299	-0.328
Mo	0.921	0.044	0.170

表8 样品排名及得分

Table 8 The total score and ranking of samples

samples	生长年限 Growth ages	公因子 Common factor			得分 Score(y)	质量排名 Quality ranking
		F1	F2	F3		
S ₁	1	2.454	0.099	-1.411	0.975	1
S ₂	1	0.940	-1.447	-0.064	0.046	7
S ₃	1	0.769	0.319	1.575	0.724	2
S ₄	1	0.243	-0.148	0.842	0.218	6
S ₅	1	0.186	0.201	1.308	0.365	4
S ₆	2	-0.279	1.356	0.214	0.273	5
S ₇	2	-0.794	0.595	-1.233	-0.428	8
S ₈	2	-0.880	-0.060	-0.424	-0.513	9
S ₉	3	-0.774	-0.835	-0.151	-0.628	10
S ₁₀	4	-0.296	1.809	0.121	0.373	3
S ₁₁	6	-0.845	-1.570	0.616	-0.735	12
S ₁₂	8	-0.724	-0.319	-1.393	-0.671	11

评价提供研究思路。

研究结果显示不同生长年限红芪样品之间 As、

Pb、B、Al、Ti、Ga、Ba 元素含量无显著性差异 ($P > 0.05$), Hg、Be、Mo 元素含量具极显著性差异 ($P <$

0.01)。V、Ce、Sr 元素含量具显著性差异 ($P < 0.05$),原因可能是红芪在生长过程中对不同无机元素的吸收具有差异性。红芪生长年限与部分无机元素含量之间存在显著或极显著的正相关或负相关关系,生长年限与 Hg、Mo 含量之间存在极显著的负相关关系,与 V 含量之间存在极显著的正相关关系,与 B 含量之间存在显著的负相关关系,部分无机元素之间也存在相关关系。Hg 元素含量与生长年限之间存在线性关系;红芪生长年限与 Hg 元素、V 元素的含量之间存在 Fisher 的线性判别式函数关系,可通过 Fisher 的线性判别式函数判别红芪的生长年限,此结果暗示 Hg 元素可作为体现红芪生长年限的特征成分之一,研究结果为其他豆科多年生药用植物的生长年限的判别提供参考。我们了解到植物中元素的积累是一个复杂的过程:绑定,运输和隔离,受到关键摄取的基因产物的网络控制,其中许多基因和生理过程的影响元件不止一个^[18,19],因此生长年限与无机元素、无机元素与无机元素存在相关性的机理有待于进一步深入研究。

我们的研究结果还表明,Hg、Mo、Ce、B 元素是不同生长年限红芪特征性元素,以无机元素为指标评价不同生长年限红芪的质量的研究思路反映了不同生长年限红芪质量之间的差异性。红芪中无机元素主要来源于土壤,质量排名的差异性可能是土壤环境不同造成的,具体机制应该是下一步研究的课题之一。

2015 年《中国药典》规定豆科药用植物黄芪^[20]药材中铅不得过 5 mg/kg,砷不得过 2 mg/kg,汞不得过 0.2 mg/kg。本研究中不同生长年限红芪样品中汞最大值为 0.066 ± 0.005 mg/kg,铅最大值为 1.820 ± 0.665 mg/kg,砷最大值为 0.935 ± 0.007 mg/kg,与黄芪比较发现,不同生长年限红芪中重金属元素汞铅砷的含量均低于 2015 版《中国药典》的规定值,因此从重金属水平来看,不同生长年限的红芪是安全的,但不同生长年限的红芪质量排名是有差异的。叶菊等^[8]学者综合分析甘肃省武都区米仓山红芪栽培的产投效益及功效价值,认为该地区红芪生长年限应以 3 年为宜。课题组在前期研究中以红芪样品中毛蕊异黄酮、芒柄花素、浸出物及多糖含量为指标评价筛选红芪的生长年限,发现 1 年或 2 年生的红芪质量较佳^[21],符合《中国药典》规定,因此本文的研究结果是否合理,还需与以性状指标、药材产量、活性成分、药效等指标的质量评价结果进

行对比,但本文以具有生物学功能的无机元素^[9-11]为指标评价了不同生长年限的红芪质量,为中药红芪质量综合评价体系的建立及质量标志物的筛选提供了新思路。

参考文献

- 1 The Official Committee of Hygiene Department of the People's Republic of China. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (中华人民共和国药典,2015 年,一部). Beijing:China Medical Science Press,2015. 152.
- 2 Zou YF(邹元锋),Chen XF(陈兴福),Yang WY(杨文钰),et al. Analysis of amino acids in different ages of *Radix codonopsis* and their nutritional evaluation. *Food Ferment Ind* (食品与发酵工业),2010,36:146-150.
- 3 Ma R(麻锐),Jin WQ(靳雯棋),Feng K(冯凯),et al. Relations between morphology and saponin synthesis of cultivated ginseng in different growth years. *Northern Horticult* (北方园艺),2016,13:159-162.
- 4 Yang QZ(杨庆珍),Zheng SH(郑司浩),Huang LF(黄林芳),et al. Research on identification of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* in different growth years by electronic nose and chemical analysis. *World Sci Technol/Modern Tradit Chin Med Mater Med* (世界科学技术-中医药现代化),2015,17:723-728.
- 5 Zhou LL(周丽莉),Yi WZ(伊伟贞),Qi JJ(祁建军),et al. Effect of varieties and growth years on root yield and bioactive components accumulation dynamics of *Salvia miltiorrhiza*. *Chin Wild Plant Resou* (中国野生植物资源),2012,31(5):8-11.
- 6 Xue Y(薛英),Li XW(李晓伟),Li ZY(李震宇),et al. UPLC/Q-TOF MS and NMR plant metabolomics approach in studying the effect of growth year on the quality of *Polygala tenuifolia*. *Acta Pharm Sin* (药学学报),2015,50:340-347.
- 7 Li GL(李桂兰),Zhao HH(赵慧辉),Zhao P(赵平),et al. Quality control study of *Astragalus* based on HPLC fingerprint. *China J Tradit Chin Med Pharm* (中华中医药杂志),2011,26:84-87.
- 8 Ye J(叶菊),Lin HM(蔺海明),Cheng WD(程卫东),et al. Growth and slope effects for yield and quality of *Hedysarum polybotrys* Hand.-Mazz. *Acta Agrestia Sin* (草地学报),2013,21:288-294.
- 9 Saghiri MA,Asatourian A,Orangi J,et al. Functional role of inorganic trace elements in angiogenesis—Part I: N, Fe, Se, P, Au and Ca. *Crit Rev Oncol/Hematol*, 2015, 96: 8146-8151.