

柴胡药材中的矿质元素与有效成分的相关性分析

薛文峰, 刘长利*, 张淑华, 赵香妍, 戚文涛

(首都医科大学 中医药学院, 中医络病研究北京市重点实验室, 公共卫生学院,
环境毒理学北京市重点实验室, 北京 100069)

[摘要] **目的:**通过分析柴胡药材中的矿质元素与有效成分之间的关系,探究其对柴胡药材质量的影响,为提高栽培种柴胡的药材质量提供参考。**方法:**采用微波消解法消解,采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定24批样品中Fe、Mg等16种矿质元素的含量,根据《中国药典》2015年版标准,利用HPLC测定指标成分柴胡皂苷a、d的含量,流动相为水(A)-乙腈(B)梯度洗脱(0~5 min,35%~40% B;5~15 min,40%~45% B;15~25 min,45%~55% B;25~30 min,55%~90% B;30~45 min,90%~35% B),流速1.0 mL·min⁻¹,进样量20 μL,柱温25℃,检测波长210 nm。利用SPSS 17.0软件进行双变量相关方法分析24批样品中矿质元素与有效成分之间的相互关系。**结果:**不同柴胡样品中矿质元素和有效成分含量都有较大差异,有效成分柴胡皂苷a、d的含量与Cu元素相关系数分别为0.349和0.425,呈显著正相关,与Na元素的相关系数分别为-0.517和-0.420,呈显著负相关。**结论:**柴胡药材中有效成分柴胡皂苷a、d含量与Cu和Na等矿质元素之间的存在一定关系,建议通过外源施入矿质元素的栽培措施来调控柴胡皂苷a、d在柴胡根中合成,为栽培种柴胡质量的提高提供实验依据。

[关键词] 柴胡; 矿质元素; 柴胡皂苷类; 相关性分析; 栽培种; 野生种

[中图分类号] R284.1;R932;R282.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2017)08-0045-05

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2017080045

[网络出版地址] <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20170208.1029.008.html>

[网络出版时间] 2017-02-08 10:29

Correlation Analysis Between Mineral Elements and Active Ingredients in Bupleuri Radix

XUE Wen-feng, LIU Chang-li*, ZHANG Shu-hua, ZHAO Xiang-yan, QI Wen-tao

(Beijing Key Laboratory of Environmental Toxicology, School of Public Health, Beijing Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine (TCM) Collateral Disease Research, School of TCM, Capital Medical University, Beijing 100069, China)

[Abstract] **Objective:** By analyzing the relationship between mineral elements and effective components in Bupleuri Radix to explore the influence of this relationship on quality of Bupleuri Radix. **Method:** Samples were digested by microwave digestion method, ICP-AES was employed to determine contents of 16 kinds of mineral elements in 24 batches of samples, then according to standards in the 2015 edition of *Chinese Pharmacopoeia*, HPLC was adopted to determine contents of saikosaponin a and d with mobile phase of acetonitrile-water for gradient elution and detection wavelength of 210 nm. Relationship between mineral elements and effective components in Bupleuri Radix was analyzed by double variable correlation method with SPSS 17.0 software. **Result:** Contents of different mineral element and active ingredient in Bupleuri Radix had significant differences. Saikosaponin a and d were significantly positive correlation with Cu element, their correlation coefficients were 0.349 and 0.425; and they had significant negative correlation with Na element, correlation coefficients were -0.517 and -0.420. **Conclusion:** Mineral elements and contents of effective components in Bupleuri Radix with different growing

[收稿日期] 20161208(018)

[基金项目] 北京市自然科学基金面上项目(6142002)

[第一作者] 薛文峰,在读硕士,从事中药资源研究,E-mail:xuewenfeng_boy@163.com

[通讯作者] *刘长利,博士,副教授,从事中药材规范化生产及其药材质量调控研究,Tel:010-83911633,E-mail:lcl74@126.com

conditions have a certain difference. It is suggested that saikosaponin a and d can be synthesized in roots of *Bupleuri Radix* by exogenous application of mineral elements.

[Key words] *Bupleuri Radix*; mineral elements; saikosaponins; correlation analysis; cultivated species; wild species

柴胡具有解表退热、疏肝解郁、升举阳气的功效^[1],是常用的大宗药材之一,主产于河北、山西、甘肃等地,具有抗惊厥、抗癫痫、解热等药理活性^[2]。其主要含有皂苷、黄酮、甾体、倍半萜、香豆素及生物碱等化学成分^[3],其中柴胡皂苷 a, d 是《中国药典》2015 年版规定的指标性成分,规定二者的总质量分数不得低于 0.30%。目前,关于柴胡中有机成分的研究较多,但是对于矿质元素的研究相对较少。近年来发现,中药材中的矿质元素种类和含量水平不仅与中药药性有着密切的关系^[4],而且与药效有一定的关系^[5]。一些学者对野生柴胡中的矿质元素进行了分析^[6],也有对不同产地柴胡中矿质元素进行了研究^[7],还有报道不同产地柴胡中矿质元素与总黄酮的含量存在相关关系^[8],但是未见矿质元素与柴胡皂苷 a, d 的相关性研究。本实验以 14 份野生和 10 份栽培柴胡为研究对象,测定 24 份不同来源的中药柴胡中的柴胡皂苷 a, d 和 16 种矿质元素的含量,分析柴胡药材中柴胡皂苷 a, d 与矿质元素之间的关系,为栽培种柴胡药材质量的调控研究提供科学依据。

1 材料

UV-6100S 型紫外分光光度计(上海美普达仪器有限公司),DFT-150 型手提式高速万能粉碎机(浙江省温岭市林大机械有限公司),ICPS-7000 型高频电感耦合等离子体发射光谱仪(日本岛津公司),Milli-RO Plus 型纯水装置(美国 Millipore 公司),1200 系列高效液相色谱仪(美国安捷伦公司),AR-1140 型电子分析天平(美国 Ohaus 公司)。

Cu, Zn, Mn, Pb, Se, Cd, Ni, La, Na, Cr, Fe, Ca, Al, K, Mg 对照品(国家标准物质研制中心,批号 LD-1120360),柴胡皂苷 a, d 对照品(中国食品药品检定研究院,批号分别为 110777-201309, 110778-201409)。柴胡药材样品来源于市售、自采 2 种渠道,其中市售柴胡 1, 11 是来源于广西玉林药材市场(2014-05-16); 2, 3, 7, 13 来源于河北安国药材市场(2014-09-23); 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 14 来源于安徽亳州药材市场(2014-05-15)实地考察采购,其中野生药材 4 份,栽培药材 10 份;自采野生柴胡来源于北京山区(10 份,2014-08)实地考察采集;均经首都医

科大学中医药学院刘长利副教授鉴定为伞形科植物柴胡 *Bupleurum chinense*。

2 方法与结果

2.1 矿质元素的含量测定^[9-11] 运用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定 24 批柴胡样品中 Cu, Zn, Mn, Pb, Se, Cd, Ni, La, Na, Cr, Fe, Ca, Al, K, Mg 等 16 种矿质元素的含量,见表 1。结果发现同一批次柴胡样品中不同元素间含量差异显著,不同批次相同元素间的含量也不相同。平均质量分数 < 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有 Ni, Cd, Se, La, Pb 共 5 种矿质元素;平均质量分数在 10 ~ 100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有 Li, Mn, Zn, Cu, Sr 共 5 种元素;平均质量分数分布在 0.1 ~ 1.0 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的是 Al 元素;平均质量分数 > 1 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 有 Na, Mg, K, Ca, Fe 共 5 种矿质元素,这与刘长利等^[10]研究甘草微量元素含量结果相一致。比较栽培种与野生种柴胡样品间矿质元素平均含量的差异发现,16 种矿质元素中,野生种柴胡中 Li, Al, Mg, K, Fe, Cu, Se 元素低于栽培种样品,其余 9 种元素均高于栽培种样品。

2.2 有效成分的含量测定 《中国药典》2015 年版规定柴胡皂苷 a, d 为柴胡药材质量评价的指标性成分,且二者质量分数之和不得低于 0.30%。利用 HPLC 测定柴胡皂苷 a, d 的含量^[12-13]。色谱条件为流动相水(A)-乙腈(B)梯度洗脱(0 ~ 5 min, 35% ~ 40% B; 5 ~ 15 min, 40% ~ 45% B; 15 ~ 25 min, 45% ~ 55% B; 25 ~ 30 min, 55% ~ 90% B; 30 ~ 45 min, 90% ~ 35% B),流速 1.0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,进样量 20 μL ,柱温 25 $^{\circ}\text{C}$,检测波长 210 nm。称取柴胡皂苷 a, d 对照品 4.37, 4.55 mg,溶于 2 mL 甲醇中,逐级稀释,按上述方法测定,以峰面积为纵坐标,质量浓度为横坐标,得柴胡皂苷 a, d 的回归方程分别为 $Y = 9\ 803.92 X + 33.95$ ($r = 0.999\ 9$), $Y = 11\ 904.76 X + 38.64$ ($r = 0.999\ 8$),线性范围分别为 0.017 07 ~ 2.185, 0.017 77 ~ 2.275 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。精密度试验、稳定性试验、重复性试验和加样回收率试验均符合要求。测定 24 批柴胡样品中柴胡皂苷 a, d 的含量,柴胡皂苷 a, d 的总质量分数平均值 0.41%,符合要求,总合格率 62.5%,表明选用的柴胡药材质量不稳定。比较栽培种与野生种样品中柴胡皂苷

表 1 不同来源柴胡样品中矿质元素及柴胡皂苷 a, d 的含量测定

Table 1 Determination of mineral elements, saikosaponin a and d in Bupleuri Radix from different sources

No.	产地	矿质元素/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$										
		Li	Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Se	La	Pb	Al	Sr
1	甘肃	10.63	32.87	1.14	21.67	0.08	6.47	0.78	0.46	0.76	75.44	75.18
2	甘肃	19.68	47.83	4.78	52.18	0.25	12.91	1.31	1.61	2.38	178.39	10.93
3	甘肃	24.66	77.91	6.45	62.90	0.43	15.14	1.15	2.39	3.68	191.52	26.95
4	甘肃	28.47	57.79	4.49	28.74	0.38	9.52	1.10	1.93	1.95	158.22	26.59
5	山西	18.70	63.80	3.86	49.92	0.14	12.76	0.87	1.21	1.05	101.04	47.77
6	山西	33.04	61.17	4.85	24.78	0.38	9.01	1.57	2.38	2.10	200.24	33.22
7	陕西	24.48	67.56	6.45	38.82	0.33	13.40	1.25	1.65	0.88	225.27	14.77
8	山西	24.39	59.50	3.69	25.22	0.25	7.98	1.22	1.86	1.36	165.20	31.81
9	山西	15.23	54.71	2.99	30.36	0.18	8.79	1.07	0.90	1.31	97.66	23.98
10	山西	18.51	58.05	4.27	38.47	0.07	13.15	0.75	1.11	1.14	123.12	23.60
11	甘肃	24.95	71.91	6.68	49.10	0.24	14.49	1.20	1.39	1.89	129.33	70.03
12	东北	15.43	75.00	7.99	101.24	0.51	10.44	0.48	1.20	4.09	130.04	44.77
13	山西	24.05	69.77	3.50	52.80	0.24	13.76	0.71	1.17	1.00	131.67	59.48
14	内蒙古	31.31	84.18	5.16	46.03	0.51	11.32	1.88	3.45	2.00	419.61	82.98
15	北京	15.49	32.30	3.26	58.22	0.44	9.20	0.67	1.21	0.73	97.58	10.03
16	北京	13.33	39.81	2.49	45.41	0.35	8.94	0.85	1.49	4.01	83.93	10.08
17	北京	12.57	40.05	3.60	34.29	0.39	8.83	0.61	1.94	2.97	89.66	20.73
18	北京	13.15	47.37	4.40	42.96	0.36	10.92	0.78	2.12	2.14	131.87	28.70
19	北京	12.55	42.78	3.42	56.36	0.41	8.89	1.84	1.08	7.01	88.22	21.35
20	北京	13.22	58.56	5.47	64.92	0.50	16.08	0.77	2.54	4.12	127.77	28.69
21	北京	15.44	54.73	4.44	35.23	0.59	9.30	1.18	1.24	4.59	199.50	25.26
22	北京	13.12	49.77	5.34	53.32	0.23	8.40	1.74	1.36	4.01	126.51	16.08
23	北京	16.00	76.14	4.60	52.45	0.62	5.96	0.84	1.99	4.10	192.61	19.68
24	北京	13.97	85.18	4.01	54.11	0.33	8.97	1.52	1.58	3.76	131.11	24.84

No.	产地	矿质元素/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$					质量分数/%	
		Na	Mg	K	Ca	Fe	柴胡皂苷 a	柴胡皂苷 d
1	甘肃	0.88	1.93	7.35	4.69	0.47	0.14	0.12
2	甘肃	0.66	1.97	7.82	6.24	1.19	0.14	0.13
3	甘肃	0.73	2.87	8.52	8.32	1.35	0.37	0.38
4	甘肃	2.04	3.91	11.17	6.06	1.63	0.07	0.08
5	山西	0.74	3.14	9.16	7.41	1.00	0.40	0.44
6	山西	1.07	3.20	11.60	6.83	1.92	0.06	0.08
7	陕西	0.96	2.69	9.60	7.05	2.02	0.22	0.45
8	山西	0.96	2.36	10.20	5.86	1.43	0.15	0.14
9	山西	1.04	2.70	7.41	6.90	0.84	0.18	0.18
10	山西	0.78	2.75	8.67	6.11	0.87	0.28	0.44
11	甘肃	0.94	2.66	10.84	7.23	0.99	0.37	0.36
12	东北	0.69	2.52	10.02	9.33	1.12	0.09	0.11
13	山西	0.94	3.14	9.57	7.00	1.11	0.30	0.32
14	内蒙古	1.36	4.41	10.47	10.39	2.84	0.08	0.12
15	北京	0.91	3.35	6.03	6.77	1.38	0.16	0.11
16	北京	0.94	2.59	3.69	7.58	0.91	0.21	0.19
17	北京	0.99	1.51	5.74	3.86	0.79	0.13	0.12
18	北京	1.33	2.05	6.77	4.99	0.72	0.26	0.19
19	北京	0.97	1.74	5.37	7.32	0.88	0.21	0.19
20	北京	1.02	2.17	4.87	6.34	0.59	0.19	0.17
21	北京	1.18	2.00	5.76	4.60	1.74	0.16	0.15
22	北京	1.32	2.32	6.94	5.98	1.16	0.16	0.19
23	北京	0.94	2.09	5.47	6.15	2.30	0.17	0.18
24	北京	1.13	3.30	7.02	6.64	1.08	0.18	0.16

注:样品 1~10 为栽培种,11~24 号为野生种。

a, d 含量发现, 栽培种柴胡的合格率 50.0%, 野生种样品的合格率 71.4%, 但栽培种样品中柴胡皂苷 a, d 的总质量分数平均值(0.445%) 高于野生种样品的 0.374%, 同时栽培种样品中柴胡皂苷 a, d 含量差异性较大。

2.3 相关性分析 使用 SPSS 17.0 软件进行双变

量相关分析, $P < 0.05$ 表示二者相关性具有统计学意义, 见表 2。结果发现柴胡皂苷 a + d, 柴胡皂苷 a, d 与 Cu 元素呈显著正相关, 与 Na 元素呈显著负相关。矿质元素之间, 与 Cu 元素呈显著正相关的有 Mn, Ni, Zn, Ca 元素; Na 元素与 Fe, Mg, Se 元素呈显著正相关。

表 2 柴胡样品中不同矿质元素与柴胡皂苷类成分含量相关分析矩阵

Table 2 Correlative analysis matrix between contents of mineral elements and saikosaponins in Bupleuri Radix

成分	柴胡皂苷 a + d	柴胡皂苷 a	柴胡皂苷 d	Li	Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Se
柴胡皂苷 a + d	1.000									
柴胡皂苷 a	0.954 ²⁾	1.000								
柴胡皂苷 d	0.971 ²⁾	0.855 ²⁾	1.000							
Li	0.148	0.017	0.248	1.000						
Mn	0.255	0.171	0.298	0.492 ¹⁾	1.000					
Ni	0.182	0.090	0.242	0.347	0.616 ²⁾	1.000				
Zn	0.119	0.156	0.074	-0.203	0.328	0.582 ²⁾	1.000			
Cd	-0.401	-0.364	-0.402	-0.180	0.254	0.381	0.386	1.000		
Cu	0.407 ¹⁾	0.349 ¹⁾	0.425 ¹⁾	0.312	0.415 ¹⁾	0.721 ²⁾	0.670 ²⁾	0.053	1.000	
Se	-0.149	-0.185	-0.111	0.240	0.237	0.111	-0.189	0.053	-0.263	1.000
La	-0.197	-0.218	-0.176	0.325	0.440 ¹⁾	0.389	0.027	0.533 ²⁾	0.128	0.310
Pb	-0.259	-0.189	-0.303	-0.501 ¹⁾	0.014	0.227	0.407 ¹⁾	0.598 ²⁾	-0.037	0.311
Al	-0.155	-0.273	-0.049	0.550 ²⁾	0.577 ²⁾	0.404	-0.047	0.421 ¹⁾	0.099	0.497 ¹⁾
Sr	0.089	0.109	0.071	0.424 ¹⁾	0.343	0.033	-0.035	-0.181	0.201	0.044
Na	-0.487 ¹⁾	-0.517 ²⁾	-0.420 ¹⁾	0.264	0.086	-0.017	-0.364	0.199	-0.316	0.411 ¹⁾
Mg	0.004	-0.064	0.061	0.616 ²⁾	0.488 ¹⁾	0.137	-0.009	0.013	0.134	0.243
K	0.094	-0.022	0.185	0.911 ²⁾	0.499 ¹⁾	0.417 ¹⁾	-0.127	-0.252	0.331	0.203
Ca	0.141	0.080	0.177	0.460 ¹⁾	0.574 ²⁾	0.458 ¹⁾	0.541 ²⁾	0.197	0.500 ¹⁾	0.274
Fe	-0.220	-0.349	-0.098	0.491 ¹⁾	0.507 ¹⁾	0.324	-0.084	0.522 ²⁾	-0.130	0.434 ¹⁾

成分	La	Pb	Al	Sr	Na	Mg	K	Ca	Fe
柴胡皂苷 a + d									
柴胡皂苷 a									
柴胡皂苷 d									
Li									
Mn									
Ni									
Zn									
Cd									
Cu									
Se									
La	1.000								
Pb	0.156	1.000							
Al	0.734 ²⁾	-0.019	1.000						
Sr	0.089	-0.330	0.311	1.000					
Na	0.361	-0.015	0.353	-0.011	1.000				
Mg	0.363	-0.405 ¹⁾	0.502 ¹⁾	0.329	0.444 ¹⁾	1.000			
K	0.190	-0.502 ¹⁾	0.419 ¹⁾	0.504 ¹⁾	0.326	0.573 ²⁾	1.000		
Ca	0.321	0.039	0.474 ¹⁾	0.326	-0.065	0.609 ²⁾	0.369	1.000	
Fe	0.568 ²⁾	-0.002	0.866 ²⁾	0.093	0.412 ¹⁾	0.511 ¹⁾	0.370	0.398	1.000

注: ¹⁾ 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ²⁾ 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 讨论

本文研究结果表明不同产地、生产方式对柴胡的矿质元素及柴胡皂苷 a, d 的含量有显著影响, 矿质元素 Cu, Na 与有效成分柴胡皂苷 a, d 相关性较大。王升等^[14]研究发现不同产地黄芩对各矿质元素的吸收能力是不同的, 严辉等^[15]在不同产地当归

药材及其土壤无机元素的关联分析与探讨中发现, Zn, Cu, Mn, Mg 等矿质元素与当归道地性最为相关, 龚建华等^[16]研究发现不同产地北柴胡药材中柴胡皂苷类成分含量差异较大。以上研究均表明产地与中药材的质量存在相关性。本文中不同产地柴胡中矿质元素和柴胡皂苷 a, d 的含量也不同, 说明产地

是影响柴胡药材质量的重要因素之一。野生柴胡中大多数矿质元素的含量高于栽培种;野生柴胡中有效成分柴胡皂苷 a, d 的差异性比栽培柴胡小。野生与栽培 2 种不同种植方式对柴胡中矿质元素及柴胡皂苷 a, d 的含量影响,可能与栽培柴胡种植环境、使用肥料类型、采收年限等因素相关,野生样品反而是因为野生环境没有太多的外界干预使不同的野生柴胡药材中有效物质含量较为稳定,矿质元素相对丰富。比如采收年限,有研究表明只有规范化栽培 2 年以上的柴胡中柴胡皂苷 a, d 含量之和与野生柴胡基本一致^[17]。

在主成分分析用于不同产地柴胡矿质元素含量的研究中,Cu 元素的系数值最大^[6],Cu 元素能够影响人的生殖及免疫功能^[18],提示在治疗疾病中柴胡皂苷类成分可能与 Cu 元素共同起作用,提高人体免疫力,起到治疗疾病的效果。Cu 也是植物正常生命活动所必需的微量矿质元素之一,是多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶、细胞色素氧化酶等的组成成分,参与植物体内的氧化还原过程,其也存在于叶绿体的质体蓝素中,参与光合作用的电子传递^[19],从而影响植物的生长、发育及器官分化。高浓度的 Na 使得清除活性氧的酶如超氧化物歧化酶,过氧化物酶等失活,破坏了活性氧清除机制,活性氧大量积累,从而引起膜脂、蛋白、核酸等降解^[20]。所以可能 Cu, Na 元素参与柴胡皂苷 a, d 的合成中,Cu 元素正向调控柴胡皂苷 a 及柴胡皂苷 d 含量的积累,Na 元素则反向调控二者的积累。

初步研究表明柴胡药材中矿质元素含量与有效成分柴胡皂苷 a, d 之间存在相关关系。据此已经开展矿质元素叶面喷施的栽培试验,期望进一步验证矿质元素对有效成分柴胡皂苷 a, d 合成与积累的调控作用,同时还将进一步增加不同省份野生、栽培柴胡的样本量,确保数据分析结果的准确性。从而指导柴胡药材的栽培生产,即依据测定土壤中的各种矿质元素含量结果,通过施入适量的外源矿质元素来达到提高人工栽培柴胡药材质量的目标。

【参考文献】

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:280.
[2] 杨错,邢立国,刘玉兰. 柴胡乳剂对小鼠免疫功能的影响[J]. 沈阳药科大学学报,2006,23(3):169-171.
[3] 李春娜,刘悦,刘洋洋. 北柴胡化学成分及活性部位研究进展[J]. 中华中医药学刊,2014,32(11):2674-2677.
[4] 秦俊法. 中国的中药微量元素研究Ⅲ. 微量元素:中

药性量化的物质基础[J]. 广东微量元素科学,2011,18(1):1-10.
[5] 秦俊法,陈馨华. 中国的中药微量元素研究 I. 微量元素:一切中药的基本成分[J]. 广东微量元素科学,2010,17(11):1-12.
[6] 裴晓丽,王瑞,林乔梅. 山西野生柴胡不同部位中微量元素的含量测定[J]. 光谱实验室,2013,30(5):2275-2278.
[7] 姜华,李军,韩建国,等. 不同产地柴胡中微量元素的测定分析[J]. 广东微量元素科学,2009,16(5):52-55.
[8] 刘茹,余马,舒晓燕,等. 不同产地三种柴胡总黄酮及微量元素含量分析[J]. 湖北农业科学,2016(3):670-672.
[9] 宁可莉,元英进. 微波消解 ICP-AES 法测定柴胡中矿质元素[J]. 天津中医药大学学报,2008,23(2):47-49
[10] 刘长利,尹艳,张淑华,等. 中药甘草中矿质元素与有效成分相关性研究[J]. 中国中药杂志,2014,39(17):3335-3338.
[11] 曹海禄,魏建和,何春娥,等. 不同土壤种植下四种柴胡种质药材中常量及微量元素含量的比较研究[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(4):1105-1108.
[12] 闫婕,卫莹芳,古锐,等. HPLC 测定 4 种川产柴胡地上与地下部分柴胡皂苷 a, c, d 的含量[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(13):73-76.
[13] 刘伟,郭蕾,范婷,等. 生长期不同施肥方法对柴胡中柴胡皂苷 a, d 含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2010,16(1):18-21.
[14] 王升,赵曼茜,郭兰萍,等. 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[J]. 生态学报,2014,34(16):4734-4745.
[15] 严辉,段金殿,钱大玮,等. 不同产地当归药材及其土壤无机元素的关联分析与探讨[J]. 中药材,2011,34(4):512-516.
[16] 龚建华,石森林. 五个产地北柴胡中皂苷含量的比较[J]. 中华中医药学刊,2014,32(1):200-203.
[17] 陈佩,尚博扬,马玲,等. 柴胡皂苷 a, d 在宁夏栽培与野生柴胡中含量的比较研究[J]. 宁夏医学杂志,2010,32(5):433-435.
[18] 黄作明,黄珣. 矿质元素与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2010,27(6):58-62.
[19] 潘瑞焱,董恩得. 植物生理学[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2012:30.
[20] LI C J, ZHANG F S, DOBERMANN A, et al. Plant nutrition for food security, human health and environmental protection [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005:44-45.

【责任编辑 刘德文】