

## 林下山参与园参无机元素的聚类分析和主成分分析

张建逵, 康廷国, 窦德强\*

辽宁中医药大学药学院, 辽宁 大连 116600

**摘要:** 目的 分析林下山参与园参中无机元素特征。方法 采用电感耦合等离子质谱 (ICP-MS) 法测定林下山参与园参药材中无机元素的量, 分别建立林下山参与园参的无机元素标准谱, 运用 SPSS 15.0 统计软件对结果进行统计分析。结果 聚类分析将 17 份样品聚为林下山参与园参两大类, 主成分分析选出 3 个主成分, 得出林下山参与园参的特征元素为 Ca、Na、Fe、Zn、Cu、Mo、V、Sn、Sr、Al、Ba、Ge。元素的分布特征与人参的生态环境、栽培方式及生长年限有关。结论 主成分分析法和聚类分析法是林下山参与园参药材中无机元素分析的有效方法。

**关键词:** 林下山参; 园参; 主成分分析; 聚类分析; 无机元素; 电感耦合等离子质谱 (ICP-MS)

中图分类号: R286.014 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2012)09-1835-06

## Cluster analysis and principal component analysis of inorganic elements in ginseng cultivated in forest and garden

ZHANG Jian-kui, KANG Ting-guo, DOU De-qiang

College of Pharmacy, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Dalian 116600, China

**Abstract: Objective** To explore the characteristics of inorganic elements in commercial ginseng cultivated in forest and garden. **Methods** The contents of inorganic elements in commercial ginseng cultivated in forest and garden were determined by ICP-MS. The reference diagram for inorganic elements in commercial ginseng cultivated in forest and garden was established. The statistic analysis was completed by SPSS 15.0 software. **Results** Cluster analysis showed that 17 samples could be clustered reasonably into two groups. Three principal components were extracted. The results showed that Ca, Na, Fe, Zn, Cu, Mo, V, Sn, Sr, Al, Ba, and Ge were the characteristic elements in commercial ginseng cultivated in forest and garden. The element distribution characteristics were related to the ecological environment, cultivation methods, and growth years. **Conclusion** The cluster analysis and principal component analysis are effective methods for inorganic elements analysis.

**Key words:** ginseng cultivated in forest; ginseng cultivated in garden; principal component analysis; cluster analysis; inorganic elements; ICP-MS

人参为我国传统名贵中药材, 具有大补元气、固脉复脱、补脾益肺、生津养血、安神益智的功效<sup>[1-2]</sup>。目前市售的人参商品主要有园参、林下山参、野山参等。其中林下山参是把人参种籽播种在山林野生状态下自然生长而成的山参, 习称“籽海”<sup>[3]</sup>。已有对人参无机元素研究的一些报道<sup>[4-9]</sup>, 但并不全面。近年来研究发现中药的药效与其所含微量元素及各种微量元素量比值有关; 植物体内无机元素的存在对中药临床治疗效果的影响有着密切关系, 除直接参与和调节体内必需的元素外, 常与其药用有

机成分产生协同作用, 增强其疗效<sup>[10]</sup>。

本实验应用电感耦合等离子质谱 (ICP-MS) 法测定林下山参与园参中无机元素的量, 并对其进行差异显著性检验及聚类分析和主成分分析, 为人参的鉴别及质量评价提供依据。

### 1 仪器与材料

#### 1.1 仪器

7500a 型电感耦合等离子体质谱仪 (美国 Agilent 公司), MDS—6 型温压双控微波消解/萃取仪 (上海新仪微波化学有限公司), Milli2Q 型超纯

收稿日期: 2011-11-06

基金项目: 辽宁省科技厅科技创新团队项目 (2008T117); 辽宁省高等学校优秀人才支持计划项目 (2008RC34)

作者简介: 张建逵 (1980—), 男, 讲师, 博士在读, 研究方向为药用植物资源。E-mail: lnzyzjk@sina.com

\*通讯作者 窦德强 E-mail: qoudeqiang2003@yahoo.com.cn

网络出版时间: 2012-07-06 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/12.1108.R.20120706.1743.016.html>

水处理系统(美国 Millipore 公司); CP225D 分析天平(德国 Sartorius 公司), FW80 高速万能粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司), DHG—9030A 电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司)。

## 1.2 材料

林下山参(L1~L8)购于辽宁省本溪市桓仁县, 园参药材(Y1~Y9)购于沈阳市南六马路参茸市场,

具体来源及生产年限见表 1。药材均由本溪市药品检验所刘风云高级中药师鉴定为五加科植物人参 *Panax ginseng* C. A. Mey. 的根及根茎。浓硝酸为优级纯, 水为超纯水(自制); 标准液 Li、Co、Y、Ce 和 Tl 由 Agilent 公司提供; 多元素混标 (Part #5184-3566), 内标 (Part #518324682), Li、Y、Ce 和 Tl 的调谐液均由美国 Agilent 公司提供。

表 1 样品来源及生长年限

Table 1 Source and growth years of samples

编号	样品来源	生长年限 / 年	编号	样品来源	生长年限 / 年
Y1	辽宁宽甸县	4	L1	辽宁桓仁县拐磨子镇荒沟村	8
Y2	辽宁桓仁县	4	L2	辽宁桓仁县拐磨子荒沟村	12
Y3	黑龙江七台河市	5	L3	辽宁桓仁县于占民商贸公司	13
Y4	辽宁新宾县	6	L4	辽宁桓仁县黑沟乡大东沟村	12
Y5	辽宁清原县	6	L5	辽宁桓仁县北甸乡英额通村	12
Y6	吉林集安市	4	L6	辽宁桓仁县古城镇大荒沟村	12
Y7	吉林抚松县	4	L7	辽宁桓仁县黑沟乡大东沟村	14
Y8	吉林安图县	4	L8	辽宁桓仁县二户来镇碑登村	17
Y9	黑龙江牡丹江市	6			

## 2 方法与结果

### 2.1 样品的消解

取各批次样品粉碎, 过 60 目筛, 干燥至恒定质量, 取 0.3 g 粉末, 精确称定, 置消解罐中, 精密加入浓 HNO<sub>3</sub> 5.0 mL, 依次在 0.3、0.6、1.0 MPa 的压力下各消解 4 min, 最后在 1.5 MPa 的压力下消解 10 min, 微波功率均为 600 W。消解结束待冷却后取出消解罐, 将管内溶液转移至 10 mL 量瓶中, 用超纯水多次洗涤消解罐, 一并移至量瓶中, 定容至刻度, 低温保存备用。精密移取 2.0 mL 样品溶液, 用重蒸水稀释至 50 mL, 即得供试品溶液。同法制备空白溶液。

### 2.2 标准溶液的配制

进行半定量分析时, 化学工作站会根据标准溶液中已知浓度的响应因子推算整个质谱范围内所有元素的响应因子。半定量分析所选用的标准溶液中应包括低、中、高质量数的元素。本实验使用调谐液(含 <sup>7</sup>Li、<sup>59</sup>Co、<sup>89</sup>Y、<sup>140</sup>Ce 和 <sup>205</sup>Tl) 作为半定量分析的标准溶液。

### 2.3 仪器工作参数

优化结果为载气体积流量为 1.14 L/min, 等离子体体积流量为 15.0 L/min, RF 功率为 1 300 W, 雾化室温度为 2 °C, 采样深度 8.4 mm, 测点数/质

量为 6, 采样锥孔径 1.0 mm, 截取锥孔径 0.4 mm, 样品提升率 1.45 mL/min, 分析时间 0.1 s。

### 2.4 样品中无机元素的测定

采用半定量扫描法测定样品中各种无机元素的量。在测定样品之前按仪器说明调谐仪器灵敏度、相对标准偏差、氧化物双电荷、质量轴等参数, 在仪器最佳状态下, 依次测定标准溶液和供试品溶液及空白溶液。分别对 8 个样品的林下山参和 9 个样品的园参数据求平均值, 结果见表 2。从表 2 可知, 人参无机元素的量较为丰富, 各无机元素平均量(μg/g) 前 5 位按由高到低的顺序是 K (14.565 92)、Ca (2.569 09)、Mg (2.524 23)、Na (0.126 60)、Fe (0.105 80)。

应用 SPSS 15.0 统计软件对每种元素进行两组间的差异显著性检验(对于每种元素, 数据呈正态分布采用 *t* 检验, 数据不呈正态分布采用秩和检验), 结果见表 3。从表 3 可以看出林下山参与园参中 Ca、Na、Fe、Zn、Cu、Mo、V、Sn、I、Sr、Al、Ba、Ge 等元素量有极显著的差异 ( $P < 0.01$ ), Mn 量上有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), Mg、K、Cr、Co、Se、Ni、Rb、Si、B、Ti 等元素的量上无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。有文献报道人参的生长发育对 K 的需求量较高, 且随生长年限的增加吸收量呈比例增

表 2 无机元素测定结果 (n=3)  
Table 2 Determination of inorganic elements (n=3)

样品	质量分数 / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )											
	Ca	Mg	K	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Cr	Mo	Co	Se
L1	3 624.26	2 569.93	13 179.13	59.67	171.33	16.47	49.42	19.44	0.33	0.40	0.10	0.14
L2	3 735.02	2 546.61	14 260.99	56.03	159.59	16.30	57.72	19.01	0.30	0.37	0.08	0.15
L3	2 169.74	1 869.31	12 017.00	23.41	173.58	16.69	43.39	23.70	0.57	0.04	0.14	0.12
L4	5 037.91	2 485.37	11 419.27	131.36	181.36	33.74	110.83	19.82	0.40	0.77	0.09	0.16
L5	2 379.67	2 719.62	15 637.80	26.20	129.18	16.66	61.19	17.00	0.44	0.28	0.11	0.15
L6	2 521.66	1 681.11	11 095.29	42.19	117.68	20.85	104.23	11.43	0.22	0.22	0.06	0.14
L7	2 966.16	2 517.79	15 175.71	57.48	124.16	22.42	89.67	19.31	0.20	0.41	0.07	0.18
L8	4 123.73	2 405.51	14 776.69	80.33	120.28	13.75	41.24	23.37	0.17	0.52	0.08	0.15
Y1	1 539.45	3 218.85	11 545.89	158.91	69.98	16.09	32.19	22.39	0.06	0.11	0.06	0.15
Y2	1 437.11	2 606.85	15 707.92	147.05	50.13	19.05	33.42	33.42	0.16	0.06	0.09	0.18
Y3	1 580.02	2 218.75	14 791.65	164.30	114.30	13.78	24.88	67.23	0.18	0.07	0.08	0.15
Y4	1 526.82	2 341.12	16 286.08	150.89	47.50	8.14	12.55	22.73	0.54	0.05	0.05	0.12
Y5	2 471.74	3 284.37	15 575.35	233.63	84.65	12.19	15.91	64.33	0.54	0.03	0.12	0.15
Y6	2 705.28	2 772.92	19 951.47	258.36	84.54	9.47	16.23	47.34	0.74	0.03	0.10	0.16
Y7	1 934.90	3 178.77	11 056.58	182.22	65.65	8.29	15.20	20.39	0.52	0.10	0.04	0.15
Y8	1 941.28	2 179.69	16 688.24	187.74	44.27	9.20	11.92	78.33	0.29	0.01	0.09	0.14
Y9	1 979.79	2 315.34	18 455.63	192.37	60.40	13.09	12.08	20.80	0.40	0.14	0.04	0.15
均值	2 569.09	2 524.23	14 565.92	126.60	105.80	15.66	43.06	31.18	0.36	0.21	0.08	0.15

样品	质量分数 / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )											
	Ni	V	Sn	I	Sr	Rb	Si	B	Al	Ba	Ti	Ge
L1	1.12	0.43	0.53	4.28	46.13	9.55	125.20	9.55	266.88	108.73	3.29	56.01
L2	0.98	0.41	0.37	1.94	47.54	13.58	78.10	12.22	193.54	135.82	3.74	44.14
L3	2.30	0.47	0.43	1.20	33.38	4.01	100.14	8.68	143.95	116.83	4.01	40.06
L4	1.61	0.33	1.65	1.11	57.10	8.73	87.32	11.08	238.46	114.19	5.71	47.02
L5	1.77	0.20	0.75	0.99	23.46	15.64	78.19	13.94	287.99	71.39	4.08	64.59
L6	1.14	0.20	1.71	0.74	40.35	2.35	67.24	7.40	121.04	131.13	6.05	33.62
L7	1.07	0.21	1.24	0.76	37.94	7.93	82.78	13.11	45.92	93.12	4.14	18.28
L8	1.00	0.15	0.52	0.72	51.55	11.34	48.11	11.68	37.80	151.20	2.89	16.15
Y1	2.38	0.07	0.38	0.45	30.44	10.85	30.79	9.45	0.31	31.49	3.85	14.34
Y2	0.84	0.07	0.50	0.22	28.41	5.35	22.73	13.37	1.59	40.11	5.04	33.42
Y3	2.86	0.10	0.08	0.33	19.50	8.40	63.87	13.78	1.42	43.70	2.86	31.94
Y4	0.51	0.03	0.28	0.34	24.43	4.07	29.52	11.54	0.49	47.50	1.53	20.02
Y5	1.35	0.07	0.18	0.34	40.63	14.90	125.28	12.53	0.25	84.65	3.39	11.85
Y6	0.61	0.07	0.07	0.41	29.08	10.14	37.20	12.51	0.43	17.25	3.04	17.92
Y7	0.86	0.05	0.06	0.52	38.01	26.26	55.28	13.48	0.44	86.38	4.49	18.31
Y8	0.41	0.03	0.06	0.32	30.99	7.15	13.28	11.58	0.30	23.16	1.63	11.92
Y9	0.50	0.06	0.14	0.37	20.80	3.36	100.67	14.09	0.69	50.33	2.28	23.82
均值	1.25	0.17	0.53	0.88	35.28	9.62	67.39	11.76	78.91	79.23	3.65	29.61

表 3 林下山参和园参中无机元素的显著性差异检验结果 ( $\bar{x} \pm s$ )

**Table 3 Significant difference tests of inorganic elements in commercial ginseng cultivated in forest and garden ( $\bar{x} \pm s$ )**

样品	Ca / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Mg / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	K / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Na / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Fe / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Zn / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
林下山参	3 319.77±987.92**	2 349.41±368.72	13 445.24±1 771.91	59.58±34.49**	147.15±26.86**	19.61±6.34**
园参	1 910.82±443.08	2 679.63±451.28	15 562.09±2 882.62	186.16±37.94	69.05±22.51	12.14±3.77
检验方法	t 检验	秩和检验	t 检验	t 检验	t 检验	秩和检验
样品	Cu / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Mn / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Cr / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Mo / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Co / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Se / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
林下山参	69.71±27.81**	19.14± 3.84*	0.33±0.14	0.38±0.22**	0.09±0.03	0.15±0.02
园参	19.38± 8.56	41.88±22.99	0.38±0.22	0.07±0.04	0.07±0.03	0.15±0.02
检验方法	秩和检验	t 检验	t 检验	t 检验	t 检验	t 检验
样品	Ni / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	V / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Sn / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	I / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Sr / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Rb / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
林下山参	1.37±0.47	0.30±0.13**	0.90±0.55**	1.47±1.20**	42.18±10.72**	9.14±4.49
园参	1.15±0.89	0.06±0.02	0.19±0.16	0.37±0.09	29.14± 7.08	10.05±7.08
检验方法	秩和检验	t 检验	t 检验	秩和检验	t 检验	t 检验
样品	Si / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	B / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Al / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Ba / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Ti / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Ge / ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
林下山参	83.39±22.69	10.96±2.25	166.95±95.93**	115.30±25.15**	4.24±1.10	39.98±16.94**
园参	53.18±37.76	12.48±1.46	0.66±0.50	47.17±24.32	3.12±1.21	20.39± 7.96
检验方法	t 检验	t 检验	秩和检验	t 检验	t 检验	t 检验

\*表示在 0.05 水平差异显著, \*\*表示在 0.01 水平差异显著  
\*means significant difference at 0.05 level, \*\*means significant difference at 0.01 level

加<sup>[4]</sup>。在本实验中, 尽管林下山参生长年限比园参长, 其含 K 量与园参却无显著性差异, 可能与栽培过程中林下山参不施肥但园参为增产而施用 K 肥有关<sup>[11]</sup>。人体必需的微量元素包括 Fe、Zn、Cu、Mn、Cr、Mo、Co、Se、Ni、V、Sn、I、Sr、F<sup>[12]</sup>。林下山参中除 Cr、Co、Se、Ni 的量和园参没有显著性差异外, 其他人体必需的微量元素量均显著高于园参。

**2.5 聚类分析**

应用 SPSS 15.0 统计软件对原始数据进行聚类分析, 采用 Z-score 方法对数据进行标准化, 聚类方法是最短距离法, 测度选用欧氏距离。结果见图 1。从图 1 中可以看出, 样品 L1~L8 聚为一类 (林下山参组), 样品 Y1~Y9 聚为一类 (园参组)。说明二者之间的无机元素存在差异。同时聚类分析结果又表明这些元素在不同样品体内的分布与样品收集的地理区域、栽培方式、生长环境、生长年限有着一定的联系, 基本呈一定的连续性。

**2.6 林下山参及园参中无机元素指纹谱的建立**

根据无机元素定量的测量结果并参考何首乌的无机元素分析方法<sup>[13]</sup>, 按其原子序数顺序制作质量分数分布曲线。为绘图方便, 把一些质量分数悬殊的元素同时放大或缩小相同倍数至同一数量级 (Ca、Mg、K 缩小 100 倍; Cr、Mo、Co、Se、Ni、V、Sn、I 放大 100 倍)。为了便于比较, 本研究将

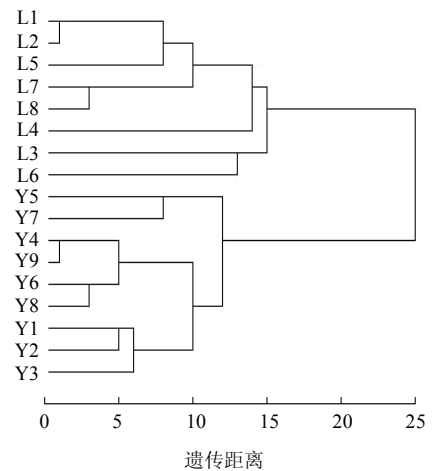


图 1 聚类分析结果

Fig. 1 Results of cluster analysis

8 个林下山参样品的无机元素分布图谱绘在一起, 见图 2。将 9 个园参样品的无机元素分布图谱绘在一起, 见图 3。将两组人参各元素量的平均值分布图谱绘在一起, 见图 4。

从图 2、3 可以看出, 林下山参与园参的无机元素指纹谱的峰形有较大差异, 这与二者诸多元素存在 (极) 显著的差异有关, 其主要原因在于园参和林下山参的生长环境、栽培方式以及生长年限有所不同。在各组内部, 各样品都具有相似的峰形。由图 4 可见, 两组样品在 Mg、Zn、Co、Se、Ni、

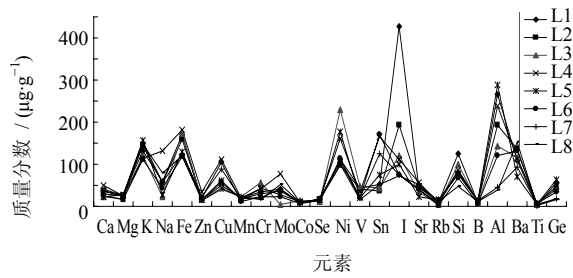


图2 林下山参的无机元素量分布曲线

Fig. 2 Distribution curves of inorganic elements in ginseng cultivated in forest

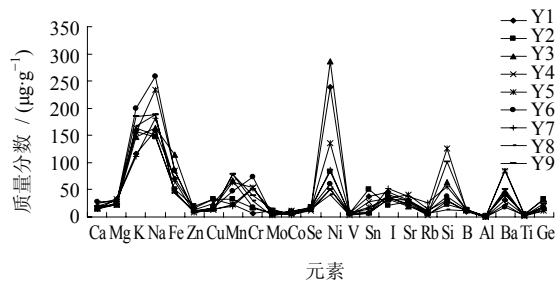


图3 园参的无机元素量分布曲线

Fig. 3 Distribution curves of inorganic elements in ginseng cultivated in garden

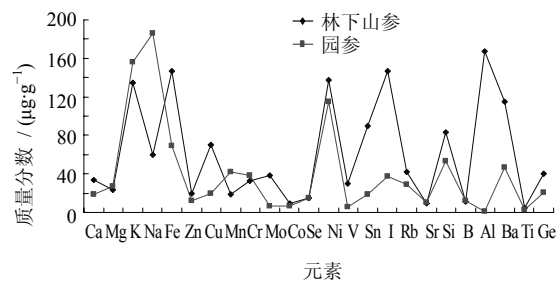


图4 林下山参与园参的无机元素指纹图谱

Fig. 4 Fringerprint of inorganic elements in ginseng cultivated in forest and garden

V、Sn、I、Rb、Sr、Si、B、Ti、Ge 等元素的峰形相似，因此可作为人参药材的无机元素指纹谱与其他药材无机元素指纹谱的鉴别特征。

### 2.7 主成分分析

应用 SPSS 15.0 统计软件对林下山参与园参有显著性差异的元素进行主成分分析，其中 KMO 检验值为 0.660，Bartlett's 检验  $P < 0.05$ ，适于进行主成分分析。特征值和方差贡献率见表 4。可以看到第 1、2、3 个主成分的方差贡献率分别为 60.880%、12.632%、9.811%，所以选取前 3 个主成分进行评价，其代表人参中无机元素 83.32% 的信息量。

由因子载荷矩阵可知，第 1 主成分和 Ca、Fe、Zn、Cu、Mo、V、Sn、Sr、Al、Ba、Ge 呈高度正

表 4 变量总体描述

Table 4 Total description of variance

主成分	特征值	方差贡献率 / %	累积贡献率 / %
1	8.523	60.880	60.880
2	1.768	12.632	73.512
3	1.374	9.811	83.323

相关，和 Na 呈现高度负相关。因为总方差 60% 以上的贡献来自第 1 主成分，所以可以认为 Ca、Na、Fe、Zn、Cu、Mo、V、Sn、Sr、Al、Ba、Ge 是林下山参和园参药材的特征无机元素。

### 3 讨论

本研究提供了林下山参和园参无机元素量测定的准确数据，为人参药材的深入研究提供了依据；并建立不同人参样品无机元素指纹谱。近年来的研究已提示，中药的元素量及其比例与中药疗效、性能有密切关系。如高锌可干扰铜的代谢，Zn/Cu 比值增大，可引起胆固醇代谢紊乱，产生高胆固醇血症，是引起冠心病的危险因素<sup>[14-15]</sup>。人参具有预防和治疗高胆固醇血症的作用，可能与其 Zn/Cu 比值较低有关。本实验中林下山参的 Zn/Cu 平均值为 0.30，园参的 Zn/Cu 平均值为 0.67，经秩和检验，二者有极显著性差异 ( $P < 0.01$ )，说明林下山参的预防和治疗高胆固醇血症可能会优于园参。

本实验通过聚类分析的方法，用科学的数据证明此两类人参在无机元素方面存在差异，同时分析出其微量元素在不同样品体内的分布与样品收集的地理区域、栽培方式、生长环境、生长年限有着一定的联系，基本呈一定的连续性。通过对多样品多元素的分析，建立林下山参和园参的无机元素指纹谱，并通过指纹谱的比较得到了人参区别于其他药材的鉴别特征，为人参的鉴别提供基础。通过对两类人参的主成分分析，得到了人参药材的特征无机元素，为进一步的研究提供了鉴别依据，为人参的作用机制提供了理论依据。

卫永第等<sup>[8]</sup>研究发现，野山参和园参各部位含有 17 种相同种类的无机元素，20 年的野山参中多数元素的量高于园参。通过本实验的结果与之相比可知，野山参、林下山参以及园参均含有 Ca、Mg、K、Na、Fe、Zn、Cu、Mn、Co、Cr、Ni、V、Sr、Al、Ba、Ti 16 种无机元素。林下山参中的 Ca、Fe、Zn、Cu、Mo、V、Sn、I、Sr、Al、Ba、Ge 等无机元素量均高于园参，与野山参接近。

林下山参与园参的无机元素分布特征与其生态环境、栽培方式及生长年限有关。本实验数据可为该药材的药效与无机元素的关系提供一定的理论依据；同时此方法也可以进行林下山参与园参药材的鉴定。

#### 参考文献

- [1] 王寅秀, 赵岩, 陈文学, 等. 海拔高度对人参多糖量的影响 [J]. 中草药, 2011, 42(4): 796-798.
- [2] 李勇, 应益昕, 赵东岳, 等. 人参及西洋参栽培土壤微生物种群遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. 中草药, 2010, 41(11): 1871-1875.
- [3] 中国药典 [S]. 一部. 2010.
- [4] 孟繁莹, 王铁生. 人参无机元素研究概况与展望 [J]. 特产研究 1993(2): 23-25.
- [5] 林春驿, 赵丽琴, 李春英. 人参不同部位无机元素含量测定 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1998, 10(1): 68-69.
- [6] 王继彦, 李向高, 许传莲, 等. 人参果中挥发油和无机元素的分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26(1): 53-56.
- [7] 吴锦忠, 李向高, 杨继群, 等. 鲜人参与红参无机元素的比较研究 [J]. 贵阳医学院学报, 1992, 17(2): 145-146.
- [8] 卫永第, 吴广宣, 王春荣, 等. 野山参和园参各部位微量元素的对比分析 [J]. 白求恩医科大学学报, 1989, 15(5): 478-480.
- [9] 徐静, 贾力, 赵余庆. 人参的化学成分与人参产品的质量评价 [J]. 药物评价研究, 2011, 34(3): 199-203.
- [10] 周祖文. 影响中药微量元素的相关因素研究概况 [J]. 微量元素与健康研究, 2002, 19(1): 66-68.
- [11] 赵英, 王秀全, 任跃英. 磷、钾肥与人参产量 [J]. 中药材, 2002, 25(8): 543-544.
- [12] 蓝统胜, 李桂英. 微量元素防病指南 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [13] 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 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(4): 416-419.
- [14] 杨维东, 刘洁生, 彭喜春. 微量元素与健康 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.
- [15] 钟晓旻, 钟晓东, 钟晓南, 等. 元素平衡保健医学 [M]. 广州: 广东经济出版社, 2003.