

## 不同种质金线莲氨基酸和矿物质元素量的比较

许梦洁<sup>1</sup>, 叶申怡<sup>1</sup>, 吴梅<sup>3</sup>, 邵清松<sup>1,2\*</sup>, 谭欣<sup>1</sup>, 李明焱<sup>4</sup>

1. 浙江农林大学中药学院, 浙江 杭州 311300

2. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 杭州 311300

3. 金华市农业科学研究院, 浙江 金华 321017

4. 浙江省珍稀植物药工程技术研究中心, 浙江 武义 321200

**摘要:** 目的 比较不同种质金线莲中氨基酸和矿物质元素的差异。方法 采用全自动氨基酸分析仪和原子吸收光谱仪测定 11 个不同种质金线莲中氨基酸和矿物质元素的量。结果 不同种质金线莲必需氨基酸为 2.81%~4.47%, 总氨基酸量为 11.38%~17.06%, 其中天门冬氨酸、谷氨酸和精氨酸的量明显高于其他氨基酸组分。矿物质元素中钾元素的量最高, 其顺序为 K>Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd。主成分分析表明丙氨酸、丝氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸为金线莲的特征性氨基酸, Fe、Zn、Mn、Ca、Cr、Mg 为金线莲的特征性元素。结论 金线莲中氨基酸和矿物质元素量存在地域性差异。

**关键词:** 金线莲; 氨基酸; 矿物质元素; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: R286.014 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2017)02-0368-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.02.025

## Comparison on contents of mineral elements and amino acids in different germplasms of *Anoectochilus roxburghii*

XU Meng-jie<sup>1</sup>, YE Shen-yi<sup>1</sup>, WU Mei<sup>3</sup>, SHAO Qing-song<sup>1,2</sup>, TAN Xin<sup>1</sup>, LI Ming-yan<sup>4</sup>

1. Department of Chinese Materia Medica, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China

2. Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China

3. Jinhua Academy of Agricultural Sciences, Jinhua 321017, China

4. Rare Herbal Medicine and Engineering Institute of Zhejiang Province, Wuyi 321200, China

**Abstract: Objective** To compare the contents of mineral elements and amino acids in different germplasms of *Anoectochilus roxburghii*.

**Methods** The contents of amino acids and mineral elements in 11 different germplasms of *A. roxburghii* were determined by automatic amino acid analyzer and atomic absorption spectrometer. **Results** The range of essential amino acids in the different species of *A. roxburghii* was 2.81%—4.47%, and the range of total amino acids was 11.38%—17.06%. Aspartic acid, glutamic acid, and lysine contents were significantly higher than those of other amino acids. The content of potassium was the highest, and the order was: K > Ca > Mg > Fe > Mn > Zn > Cr > Cu > Pb > Cd. The principal components analysis showed that alanine, serine, glutamic acid, aspartic acid, threonine, isoleucine, alanine, phenylalanine, and leucine were characteristic amino acids in *A. roxburghii*. Fe, Zn, Mn, Ca, Cr, and Mg were characteristic elements of *A. roxburghii*. **Conclusion** There are regional differences of *A. roxburghii* between amino acids and the content of mineral elements.

**Key words:** *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl.; amino acids; mineral elements; principal components analysis; cluster analysis

金线莲 *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl. 又名花叶开唇兰、金线兰、金丝草, 为兰科 (Orchidaceae) 开唇兰属 *Anoectochilus* Bl. 多年生草本植物, 主产于福建、浙江、台湾、江西、贵州等地。金线莲性平、味甘, 常用于治疗急慢性肝炎、糖尿病等症, 享有“药王”的美称<sup>[1-4]</sup>。近年来随着

金线莲在医药、保健、美容及饮用品等诸多领域的广泛应用, 国内外市场对金线莲需求量不断上升, 市场缺口逐年加大, 供需矛盾异常突出, 因此金线莲人工种植的规模迅速扩大。目前关于金线莲的研究主要集中于种苗繁育、人工栽培、化学成分以及药理作用等方面, 而关于不同种质金线莲氨基酸和

收稿日期: 2016-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81303167, 81673531); 浙江省农业新品种选育重大科技专项 (2016C02058); 浙江省大学生科技创新活动 (新苗人才) 计划基金项目

作者简介: 许梦洁, 硕士研究生, 主要从事药用植物生物技术研究。E-mail: xmj\_iris@163.com

\*通信作者 邵清松 (1980—), 男, 浙江人, 博士, 副教授, 主要从事药用植物栽培与育种研究。E-mail: sqszjfc@126.com

矿物质元素的系统研究报道却不多见<sup>[5-10]</sup>。本研究采用氨基酸分析仪和原子吸收光谱仪,测定 11 个不同种质金线莲的氨基酸和矿物质元素量,并通过主成分分析法和聚类分析法对测定结果进行分析,为金线莲的种质资源利用开发与品种选育提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

收集不同种源金线莲,经浙江农林大学胡润淮教授鉴定为兰科开唇兰属植物金线兰 *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl.。种质经组培扩繁,于 2014 年 3 月选取长势良好、大小一致、无感染病虫害和无机械损伤的不同种源金线莲组培苗,用 50%多菌灵可湿性粉剂 500 倍液消毒。种植于泥炭-河沙(2:1)栽培基质上,表面加盖一层活苔藓,种植密度为 3 cm×3 cm,栽种后大棚覆盖 70%遮阳网,定期喷施 1/4 MS 营养液,并做好病虫害防治工作,种植 6 个月后进行采收,材料来源和编号见表 1。

表 1 金线莲供试材料

Table 1 Tested *A. roxburghii*

代码	种源	经度 (E)	纬度 (N)
zjqy	浙江庆元	119°12'	27°45'
zjts	浙江泰顺	119°56'	27°21'
fjya	福建永安	117°10'	25°44'
fjwp	福建武平	116°02'	25°12'
fjmx	福建明溪	117°11'	26°22'
fjnj	福建南靖	117°13'	24°36'
jxay	江西安远	115°11'	25°03'
gzls	贵州雷山	108°10'	26°14'
gzyj	贵州印江	108°25'	28°01'
gdsg	广东韶关	113°46'	25°03'
gxbl	广西北流	110°20'	22°43'

### 1.2 仪器和试剂

日立 L-8900 全自动氨基酸分析仪, DGG-9070A 恒温电热鼓风干燥箱, FA2104N 分析天平, ICE3300 型原子吸收光谱仪, EH-35A 电热板。钾、钙、镁、铁、铅标准溶液 (Merck 公司), 铬、铜、锌、镉、锰混合标准溶液 (SPEX CertiPrep 公司), 高纯氮气 (质量分数为 99.99%), 浓硝酸、高氯酸为优级纯, 其他化学试剂均为分析纯。

### 1.3 氨基酸的测定

1.3.1 样品前处理 参照 GB/T5009.124-2003《食

品中氨基酸的测定》,精密称取金线莲样品 0.10 g, 分别置于水解管中,加 6.00 mol/L 盐酸 10 mL,充氮,迅速密封水解管。置烘箱中于 (110±1) °C 水解 22 h,冷却后滤过,用去离子水定容至 50 mL。取 1 mL,于真空干燥箱中 40~50 °C 干燥,残留物用 1~2 mL 去离子水溶解,再干燥,反复进行 2 次,最后蒸干,用 1 mL 柠檬酸钠缓冲液 (pH 2.2) 溶解,以 0.22 μm 微孔滤膜滤过后备用。

1.3.2 氨基酸分析条件 采用梯度洗脱,分离柱柱温 57 °C,反应柱柱温 135 °C,缓冲液体积流量 0.35 mL/min,茚三酮体积流量 0.35 mL/min,检测波长通道 1 为 570 nm,通道 2 为 440 nm,进样量 20 μL。

### 1.4 矿物质元素的测定

1.4.1 样品前处理 精密称取金线莲样品 0.50 g 于三角瓶中,加入 10 mL 消化液 (浓硝酸-高氯酸 4:1) 置于电热板上,在通风橱中进行消解 24 h,温度保持在 150~250 °C,直至冒白烟,消化液呈透明或略带黄色,放冷并移至 50 mL 量瓶中,用 0.5% 硝酸稀释至刻度,作为供试品溶液。同法制备试剂空白溶液。

1.4.2 标准溶液制备与测定 精密吸取各标准储备溶液,以 0.5% 硝酸稀释,配制成相应浓度的工作溶液,考察线性关系。矿物质元素采用原子吸收光谱测定其量,实验条件见表 2。

表 2 原子吸收光谱法的工作条件

Table 2 Working conditions of atomic absorption spectrometry

元素	波长/nm	狭缝宽度/nm	灯电流/mA	燃气流量/(L·min <sup>-1</sup> )
Ca	422.7	0.5	3.0	1.3
Zn	213.9	0.5	3.0	1.3
Cr	357.9	0.5	3.0	1.3
Cu	324.7	0.5	2.0	1.2
Fe	248.3	0.5	3.0	1.1
K	766.5	0.5	3.0	1.2
Mg	285.2	0.5	3.0	1.1
Mn	279.5	0.5	4.0	1.3
Pb	283.0	0.5	2.0	1.2
Cd	228.8	0.5	2.0	1.2

## 2 结果与分析

### 2.1 氨基酸量的分析

在不同种质金线莲样品中共检测出 16 种氨基酸,从表 3 可以看出金线莲样品中含 7 种人体必需

氨基酸，即苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸。16 种氨基酸中天门冬氨酸的量最高，为 3.93%~6.78%，其次是谷氨酸为 1.20%~1.77%，第 3 是精氨酸为 0.86%~1.27%。福建永安金线莲所含人体必需氨基酸量最高为 4.47%，广东韶关量最低为 2.81%，11 个不同种质金线莲中人体必需氨基酸量，按其量由大到小排序

为福建永安>贵州印江>贵州雷山>浙江泰顺>浙江庆元>广西北流>福建明溪>福建南靖>福建武平>江西安远>广东韶关。贵州雷山金线莲所含总氨基酸量最高为 17.06%，江西安远量最低为 11.38%，按质量分数由大到小排序为贵州雷山>贵州印江>福建永安>浙江泰顺>广西北流>浙江庆元>福建南靖>福建明溪>福建武平>广东韶关>江西安远。

表 3 不同种质金线莲氨基酸量的比较

Table 3 Determination of amino acids in *A. roxburghii*

种源	质量分数/%																	
	苏氨酸	缬氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	天门冬氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	酪氨酸	组氨酸	精氨酸	脯氨酸	必需氨基酸	总氨酸
zjqy	0.46	0.52	0.20	0.45	0.71	0.59	0.62	4.71	0.49	1.36	0.73	0.71	0.07	0.20	1.04	0.37	3.55	13.23
zjts	0.56	0.59	0.23	0.51	0.99	0.55	0.68	5.61	0.58	1.69	0.88	0.85	0.12	0.24	1.17	0.41	4.11	15.66
fjya	0.59	0.63	0.16	0.53	1.15	0.68	0.73	5.28	0.61	1.74	0.92	0.91	0.09	0.25	1.27	0.45	4.47	15.99
fjwp	0.42	0.44	0.13	0.40	0.70	0.52	0.49	4.78	0.44	1.20	0.68	0.58	0.05	0.19	0.86	0.31	3.10	12.19
fjmx	0.45	0.46	0.18	0.41	0.69	0.48	0.52	5.11	0.45	1.31	0.67	0.66	0.02	0.19	0.92	0.31	3.19	12.83
fjnj	0.38	0.46	0.10	0.37	0.87	0.49	0.50	5.64	0.45	1.21	0.64	0.65	0.02	0.16	0.86	0.28	3.17	13.08
jxay	0.40	0.45	0.11	0.41	0.62	0.53	0.52	3.93	0.45	1.30	0.67	0.62	0.01	0.18	0.86	0.32	3.04	11.38
gzls	0.62	0.65	0.15	0.59	0.96	0.67	0.66	6.78	0.62	1.87	0.85	0.88	0.04	0.25	1.13	0.34	4.30	17.06
gzjy	0.60	0.64	0.16	0.58	1.00	0.67	0.67	6.81	0.62	1.77	0.82	0.86	0.06	0.23	1.09	0.35	4.31	16.91
gdsg	0.39	0.45	0.13	0.36	0.56	0.41	0.51	4.80	0.44	1.22	0.67	0.60	0.02	0.17	0.86	0.32	2.81	11.91
gxbl	0.47	0.52	0.16	0.32	0.73	0.53	0.54	5.05	0.50	1.46	0.75	0.72	0.05	0.20	0.97	0.33	3.27	13.30

2.2 矿物质元素量的分析

经检测 11 个不同种质金线莲中均含有 Ca、Zn、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Pb、Cd 等 10 种矿物质元素，其量见表 4。根据 WHO 人类营养和健康中矿物质元素的分类<sup>[1]</sup>，可见金线莲的 10 种矿物质元素中属于人体必需常量元素为 K、Ca、Mg，

其中最高的 K 量为 4 529.98~6 275.85 μg/g，最低的 Mg 量为 940.47~1 476.3 μg/g，属于人体必需微量元素的为 Fe、Zn、Cr、Cu，其中量最高的 Fe 为 714.13~1 105.46 μg/g，最低的 Cu 量为 0.28~2.02 μg/g。Pb 量变化范围为 0.20~0.55 μg/g，Cd 量变化范围为 0.06~0.40 μg/g。

表 4 不同种质金线莲矿物质元素量的比较

Table 4 Determination of mineral elements in *A. roxburghii*

种源	质量分数/(μg·g <sup>-1</sup> )									
	Ca	Zn	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Cd
zjqy	3 979.02	187.63	6.75	0.95	822.56	5 609.12	1 476.30	375.26	0.41	0.07
zjts	3 957.66	130.70	8.09	1.58	714.13	6 257.40	1 370.90	276.77	0.23	0.13
fjya	4 021.32	144.74	5.64	1.34	900.93	6 048.90	1 247.32	385.90	0.24	0.14
fjwp	2 905.22	192.52	5.96	1.49	768.80	6 033.67	940.47	462.47	0.15	0.08
fjmx	3 772.92	158.24	10.30	0.28	966.21	6 275.85	1 330.81	539.59	0.20	0.20
fjnj	3 003.40	220.04	7.39	1.01	1 105.46	5 965.87	1 295.20	523.92	0.42	0.13
jxay	3 226.35	119.66	6.17	2.02	941.04	6 243.01	976.99	443.17	0.22	0.12
gzls	3 631.52	145.54	3.93	1.09	859.46	5 080.05	1 177.08	419.12	0.37	0.40
gzjy	2 581.08	136.06	4.32	0.60	767.46	4 839.12	1 230.82	302.40	0.21	0.38
gdsg	3 754.25	202.45	8.03	1.21	1 041.11	5 662.47	1 576.57	296.05	0.55	0.06
gxbl	3 018.34	112.16	1.72	0.72	756.95	4 529.98	1 276.39	391.45	0.53	0.12

### 2.3 主成分分析

对 11 个不同种质金线莲中的氨基酸、矿物质元素量进行主成分分析, 计算主成分特征值、方差贡献率和累积方差贡献率, 结果如表 5、6 所示。

氨基酸前 2 个主成分的累积方差贡献率达到了 90.155%, 且特征根  $\lambda_1=12.791$ 、 $\lambda_2=1.634$ , 均大于 1, 说明就氨基酸量而言, 前 2 个因子在金线莲质量评价中起着主导作用。其中第 1 组分贡献率最大为 79.944%, 而由旋转后的主成分因子的载荷矩阵可知第 1 主成分中丙氨酸、丝氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸的系数占较大的比重, 故为金线莲的特征性氨基酸。矿物质元素前 4 个主成分的累积方差贡献率达到了 84.572%, 且特征根  $\lambda_1=3.194$ 、 $\lambda_2=2.349$ 、 $\lambda_3=1.719$ 、 $\lambda_4=1.195$ , 均大于 1, 说明就矿物质元素量而言, 前 4 个因子在金线莲质量评价中起主导作用, 故选取前 4 个主要成分, 其中第 1 主成分的方差贡献率最大为 31.936%, 且第 1 主成分中 Fe、Zn、Mn 的载荷系数较大, 为第 1 主成分影响最大的特征向量, 第 2 主成分的方差贡献

率为 23.494%, Ca、Cr、Mg 元素成为第 2 组分中的重要决定因子。由于总方差的 50%以上贡献率来自于第 1、2 主成分, 故 Fe、Zn、Mn、Ca、Cr、Mg 为金线莲的特征性元素。

### 2.4 聚类分析

对 11 个不同种质金线莲中的氨基酸、矿物质元素量进行聚类统计分析, 结果见图 1。基于氨基酸量可将 11 个不同种质的金线莲分为 2 大类, 贵州雷山和贵州印江聚为一类, 其余剩下的 9 组聚为一类 (图 1-a)。基于矿物质元素量可将 11 个不同种质的金线莲分为 2 大类, 其中贵州雷山、贵州印江和广西北流聚为一类, 其余剩下的 8 组聚为一类 (图 1-b)。

### 3 讨论

11 个不同种质金线莲中天门冬氨酸的量最高, 其次是谷氨酸, 第 3 是精氨酸。天门冬氨酸对高血压、肝功能障碍、贫血等疾病有良好的治疗效果; 谷氨酸可增强大脑功能, 缓解疲劳, 同时具有改进和维护大脑机能的功效; 精氨酸对提高机体免疫功能、改善氮平衡及促进胰岛素等多种激素分泌有重要作用<sup>[11]</sup>。主成分分析数据得出丙氨酸、丝氨酸、

表 5 主成分分析特征根和方差贡献率

Table 5 Analysis on characteristic root and variance contribution rate

成分	氨基酸的初始特征值			成分	矿物质元素的初始特征值		
	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%		特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	12.791	79.944	79.944	1	3.194	31.936	31.936
2	1.634	10.211	90.155	2	2.349	23.494	55.430
				3	1.719	17.195	72.625
				4	1.195	11.947	84.572

表 6 主成分矩阵

Table 6 Principal component matrix

氨基酸	主成分		元素	主成分			
	1	2		1	2	3	4
丝氨酸	0.900	0.422	Fe	0.840	0.142	0.143	0.038
缬氨酸	0.897	0.420	Zn	0.770	0.156	0.245	0.120
谷氨酸	0.891	0.404	Mn	0.732	-0.213	-0.444	-0.140
天门冬氨酸	0.882	-0.094	Ca	-0.098	0.845	0.144	0.138
苏氨酸	0.876	0.446	Cr	0.493	0.784	-0.245	0.060
异亮氨酸	0.863	0.296	K	0.378	0.586	-0.541	0.461
丙氨酸	0.847	0.505	Pb	0.175	-0.117	0.941	0.022
苯丙氨酸	0.841	0.316	Mg	0.063	0.613	0.743	-0.217
亮氨酸	0.803	0.395	Cu	-0.179	-0.028	-0.249	0.887
组氨酸	0.774	0.586	Cd	-0.237	-0.237	-0.233	-0.743
赖氨酸	0.731	0.655					
甘氨酸	0.722	0.664					
铬氨酸	0.287	0.890					
脯氨酸	0.357	0.884					
蛋氨酸	0.095	0.833					
精氨酸	0.693	0.705					

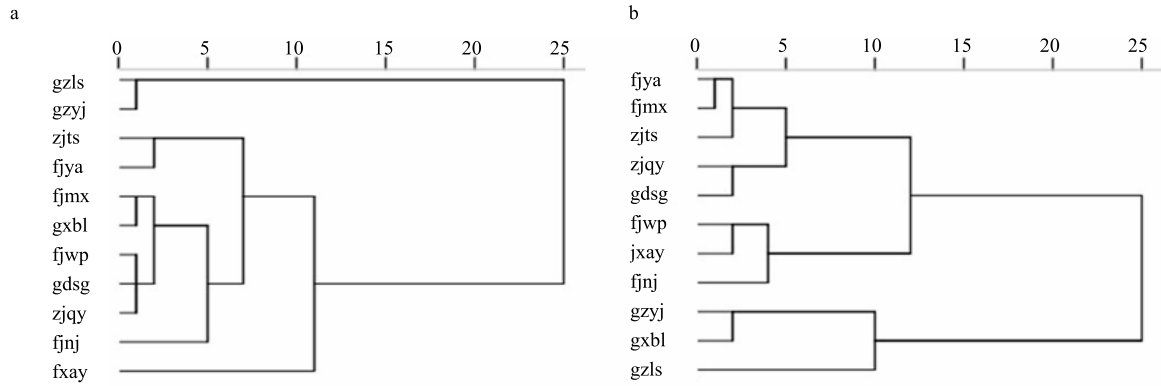


图 1 按氨基酸量 (a) 和矿物质元素 (b) 对不同种质金线莲的聚类分析树状图

Fig. 1 Clustering dendrogram of different germplasms of *A. roxburghii* by amino acids (a) and mineral elements (b)

谷氨酸、天门冬氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸为金线莲的特征性氨基酸。聚类分析结果得出浙江、福建、广西、广东、江西等地理位置相对较近的聚为一类，贵州单独聚为一类，表明金线莲氨基酸量存在一定的地域性差异。

金线莲中含有的矿物质元素以 K、Ca、Fe、Mg 为主。K 可以调节细胞内正常的渗透压和体液的酸碱平衡，可以预防卒中，在摄入高钠而导致高血压时，其具有降血压的作用。Ca 元素是人类骨、齿的主要无机成分，也是神经传递、肌肉收缩、血液凝结、激素释放和乳汁分泌等所必需的元素。Fe 在人体中具有造血功能，参与血红蛋白、细胞色素及各种酶的合成，促进生长。Mg 参与人类生命过程中的 300 多种酶促反应，具有维护骨骼生长和神经肌肉的兴奋性和胃肠道和激素的功能<sup>[12-14]</sup>。在《中国药典》2015 年版附录中规定“除矿物、动物、海洋类以外的中药材中，铅元素量不得超过 10 mg/kg；镉不得超过 1 mg/kg；砷不得超过 5 mg/kg；汞不得超过 1 mg/kg；铜不得超过 20 mg/kg”<sup>[15]</sup>，从表 3 中可以看出 Cd 和 Pb 的量均在限度范围内。但根据中华人民共和国外经贸行业标准《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM/T2-2004)规定的“Pb≤5.0 mg/kg, Hg≤0.2 mg/kg, Cu≤20.0 mg/kg, Cd≤0.3 mg/kg”，表 3 中仅贵州 2 地的镉元素量稍微超过限度范围，由此可见，金线莲的重金属限量总体上是安全的。矿物质元素主成分分析结果表明，Fe、Zn、Mn、Ca、Cr、Mg 为金线莲特征元素，聚类分析图中广西和贵州被分为一类，其余为一类，金线莲矿物质元素量存在一定的地域性差异。

参考文献

[1] 罗晓青, 吴明开, 查兰松, 等. 珍稀药用植物金线莲研究现状与发展趋势 [J]. 贵州农业科学, 2011, 39(3): 71-74.

[2] Shao Q S, Wang H Z, Guo H P, *et al.* Effects of shade treatments on photosynthetic characteristics, chloroplast ultrastructure, and physiology of *Anoectochilus roxburghii* [J]. *PLoS One*, 2014, 9(2): 85996-86006.

[3] 郑纯, 黄以钟, 季莲芳. 金线莲文献考证、原植物及商品调查 [J]. 中草药, 1996, 27(3): 169-172.

[4] 何春年, 王春兰, 郭顺星, 等. 兰科开唇兰属植物的化学成分和药理活性研究进展 [J]. 中国药学杂志, 2004, 39(2): 81-84.

[5] 刘知远, 沈廷明, 吴仲玉. RP-HPLC 法同时测定福建产金线莲中槲皮素、山柰素、异鼠李素的量 [J]. 中草药, 2015, 46(3): 432-434.

[6] 邵清松, 黄瑜秋, 胡润淮, 等. 金线莲形态学性状与产量形成关系的多重分析 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(13): 2456-2459.

[7] 邵清松, 周爱存, 胡润淮, 等. 种苗级别对金线莲生长发育及产量和品质的影响 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(5): 785-789.

[8] Zhang A L, Wang H Z, Shao Q S, *et al.* Large scale *in vitro* propagation of *Anoectochilus roxburghii* for commercial application: Pharmaceutically important and ornamental plant [J]. *Ind Crops Prod*, 2015, 70(1): 158-162.

[9] 吴萍萍, 黄丽英. 金线莲 HPLC 指纹图谱研究 [J]. 中草药, 2015, 46(13): 1975-1979.

[10] 黄颖桢, 陈菁瑛, 赵云青, 等. 金线莲遗传多样性的 ISSR 分析 [J]. 中草药, 2014, 45(15): 2230-2234.

[11] 汪家春, 陈雅琳, 杨睿倩. 冬虫夏草口服液游离氨基酸和微量元素的分析比较 [J]. 生物技术通讯, 2013, 24(3): 393-397.

[12] 马月光, 宓嘉琪, 吴新新. 不同产地延胡索中微量元素含量的主成分分析及聚类分析 [J]. 中华中医药学刊, 2013, 31(11): 2552-2554.

[13] 周利兵, 陈伟, 刘先国, 等. 青海高原牦牛角中微量元素的主成分分析和聚类分析 [J]. 中国兽医杂志, 2011, 47(3): 17-18.

[14] 多本加. 四种补益药中微量元素含量的主成分分析 [J]. 武汉工程大学学报, 2015, 37(7): 30-33.

[15] 沈廷明, 刘知远, 吴仲玉, 等. ICP-MS 法测定金线莲中 5 种重金属元素 [J]. 中草药, 2016, 47(8): 1405-1408.