

多花黄精有效成分与主要环境因子的相关性

叶 钱¹, 蒋燕锋², 冯家骏¹, 冯恺俊¹, 谢彩香³, 刘京晶¹

(1. 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 临安 311300; 2. 浙江省丽水市林业科学研究院, 浙江 丽水 323000; 3. 中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所, 北京 100193)

摘要: 多花黄精 *Polygonatum cyrtonema* 的根茎是药食同源的中药材, 用途广泛, 目前多利用野生资源。收集了不同种源的多花黄精, 采用蒽酮-浓硫酸比色法和香草醛-冰醋酸-高氯酸比色法分别测定根茎中总多糖和总皂苷质量分数, 并分析这 2 种有效成分与环境因子间的相关性。结果表明: 多花黄精总多糖质量分数为 97.0~363.2 mg·g⁻¹, 总皂苷质量分数为 24.0~62.6 mg·g⁻¹, 来源于 17 个不同种源地的多花黄精化学质量存在较大的差异: 浙江金华磐安种源的多糖质量分数最高, 浙江丽水莲都区皂苷质量分数最高; 环境因子中活动积温与多糖质量分数呈极显著负相关($r=0.618$, $P=0.008$), 生长期适当的低温有利于多糖的积累。表 3 参 11

关键词: 植物学; 多花黄精; 多糖; 皂苷; 环境因子

中图分类号: S718.3; R282

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)01-0192-05

Correlation between environmental factors and active constituents of *Polygonatum cyrtonema*

YE Qian¹, JIANG Yanfeng², FENG Jiajun¹, FENG Kaijun¹, XIE Caixiang³, LIU Jingjing¹

(1. The Nurturing Station for State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Lishui Academy of Forestry, Lishui 323000, Zhejiang, China; 3. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Science, Peking Union Medical College, Beijing 100193, China)

Abstract: *Polygonatum cyrtonema*, a widely used traditional Chinese herbal medicine that mainly comes from the wild, could also be used as a food specific environmental factors influence the formation and the accumulation of active constituents, therefore an appropriate environment is a prerequisite for production of high-quality genuine this medicinal materials. This study aimed to explore the impact of environment factors on polysaccharide and saponin accumulation to enhance the quality of *P. cyrtonema*. Rhizomes of *P. cyrtonema* were collected from 17 different provenances of Zhejiang, Anhui and Hubei Provinces, China. Total polysaccharides were determined by the anthrone-sulfuric acid colorimetric method and total saponins by the vanillin-glacial acetic acid-perchloric acid colorimetric method. In addition, a correlation analysis between the main active constituents and environmental factors was also conducted. Results showed that the content range of total polysaccharides was 97.0–363.2 mg·g⁻¹, and total saponins was 24.0–62.6 mg·g⁻¹. Among the provenances tested, total content of these two effective constituents differed. Of all 17 samples, those from Pan'an in Jinhua, Zhejiang exhibited the highest polysaccharide content, and the sample from Liandu in Lishui, Zhejiang had the maximum saponin content. Moreover, active accumulated temperature significantly affected polysaccharide accumulation ($r = 0.618$, $P = 0.008$). The results indicated an appropriate low temperature could improve the polysaccharide content in cultivated *P. cyrtonema*. [Ch, 3 tab. 11 ref.]

Key words: botany; *Polygonatum cyrtonema*; polysaccharide; saponin; environmental factors

收稿日期: 2015-06-12; 修回日期: 2016-04-06

基金项目: 浙江省公益技术研究农业项目(2012C22096); 浙江省教育厅资助项目(kg2013219)

作者简介: 叶钱, 从事中药材质量评价及品种选育研究。E-mail: 237715099@qq.com。通信作者: 刘京晶, 讲师, 博士, 从事中药材质量评价及品种选育研究。E-mail: jing_jing_6@163.com

百合科 Liliaceae 植物多花黄精 *Polygonatum cyrtonea* 是中药材黄精的基源物种之一, 根茎入药, 又名姜形黄精。始载于《雷公炮炙论》, 具有补气养阴、健脾、润肺、益肾等传统功效^[1]。多花黄精根茎中的主要化学成分包括多糖和甾体皂苷。多糖具有免疫调节、降血糖、抗衰老、抗化学性肝损伤、保护痴呆小鼠海马区线粒体结构等活性, 甾体皂苷具有降血脂、抗病毒、改善记忆障碍等作用^[2-3]。黄精为常用中药材, 是药食同源物种, 可作为临床配方、中成药生产、保健食品配伍及药膳原料使用。由于市场需求量的增加、资源蕴藏量的减少等原因, 黄精价格逐渐上涨, 但其引种驯化、丰产栽培技术尚不成熟, 目前药材仍主要来源于野生^[4]。多花黄精广泛分布于浙江、江苏、安徽、江西、福建、四川、贵州等地, 浙江省为多花黄精的主产区之一, 种质资源丰富^[2]。本研究通过种质资源收集、质量评价、主要有效成分质量分数与生态环境因子的逐步回归分析和相关性分析, 为多花黄精的种源筛选、品种选育, 规范中药材生产质量管理(good agricultural practice of medicinal plants and animals, GAP)提供研究基础, 为黄精资源的可持续利用提供科学依据。

1 材料

1.1 试验材料

不同种源的多花黄精根茎供试品来自浙江、安徽、湖北等地, 采样点信息见表 1。利用《中药材产地适宜性分析地理信息系统》(TCMGIS), 基于数字高程模型(digital elevation model, DEM)的多元线性回归插值方法, 根据采样点经纬度提取气候、土壤等主要环境因子^[5]。种源地采集后选择有芽的根茎, 用刀切成有 2~3 个节的小段进行种植, 于浙江省丽水市莲塘区丽水市林业科学研究院中药材种质资源圃栽培 1 a, 2013 年 11 月收集地下部分(根茎), 60 °C 烘干, 粉碎, 过 60 目筛, 干燥器保存。

1.2 仪器与试剂

UV 2500 紫外-可见分光光度计(上海第三分析仪器厂); DK-S24 型电热恒温水浴锅(上海森信实验仪器有限公司); AB104-N 电子分析天平(梅特勒托利多仪器上海有限公司); SWB5200 型超声波清洗仪(上海必能信超声有限公司)。D-葡萄糖、菝契皂苷对照品(中国药品生物制品检定所); 甲醇、无水乙醇、浓硫酸、冰醋酸、香草醛、高氯酸均为分析纯。

表 1 多花黄精种源采样点气候因子

Table 1 Climatic factors of *Polygonatum cyrtonea* sites

编号	采样点	纬度 N/(°)	经度 E/(°)	活动积 温/°C	年平均 气温/°C	年相对 湿度/%	年日照 时数/h	年降水 量/mm	7月最 高温/°C	7月平 均温/°C	1月最 低温/°C	1月平均 气温/°C
1	浙江丽水莲都区	28.45	119.92	5 669.2	22.3	76.4	1 705	1 502	33.2	28.4	3.3	6.3
2	浙江丽水青田县	28.14	120.30	5 674.8	21.4	79.1	1 723	1 538	31.7	27.6	3.7	6.6
3	浙江丽水松阳县	28.45	119.49	5 653.9	22.0	78.1	1 727	1 498	33.0	28.2	2.9	6.1
4	浙江丽水庆元县	27.62	119.07	5 396.7	22.2	79.9	1 665	1 565	32.6	27.1	3.3	6.4
5	浙江丽水龙泉市	28.08	119.15	5 732.8	22.7	79.2	1 695	1 522	33.3	28.1	3.3	6.5
6	浙江金华磐安县	28.94	120.55	4 675.6	19.3	79.7	1 663	1 504	30.0	25.9	0.6	3.6
7	浙江丽水遂昌县	28.52	119.09	4 833.9	21.3	79.1	1 690	1 500	32.2	27.2	1.7	5.0
8	浙江丽水缙云县	28.82	120.26	4 929.1	20.9	78.4	1 731	1 491	32.2	27.6	2.1	4.9
9	浙江丽水景宁县	27.80	119.72	4 524.9	20.1	80.6	1 560	1 588	29.9	25.0	1.4	5.2
10	浙江衢州江山市	28.74	118.62	5 182.4	21.9	78.6	1 752	1 458	33.3	28.5	2.7	5.5
11	浙江台州天台县	29.24	121.06	4 517.1	17.6	80.9	1 591	1 509	28.0	24.0	-1.1	2.1
12	浙江温州文成县	27.87	119.84	3 898.5	19.1	80.8	1 508	1 599	28.7	23.8	0.1	4.2
13	浙江杭州淳安县	29.61	119.05	5 261.8	20.7	78.1	1 806	1 405	32.8	27.9	1.4	4.0
14	浙江湖州安吉县	30.47	119.69	4 896.0	18.7	78.4	1 876	1 365	30.5	26.4	-0.7	2.1
15	浙江绍兴新昌县	29.39	121.10	4 965.6	19.2	79.8	1 746	1 472	30.1	26.2	0.9	3.7
16	安徽池州青阳县	30.64	117.85	5 173.8	20.2	76.4	1 850	1 296	31.9	28.1	1.2	3.5
17	湖北赤壁市	29.73	113.91	5 307.8	21.2	78.7	1 741	1 267	32.9	28.8	1.5	4.3

2 测定方法

2.1 总多糖的测定

2.1.1 样品溶液制备 取多花黄精根茎粉末 0.25 g, 精密称定, 加入体积分数为 80%乙醇 150.0 mL, 80 °C水浴回流提取 1.0 h, 过滤, 取滤渣加入蒸馏水 150.0 mL, 100 °C水浴回流提取 1.0 h, 过滤, 取滤液定容至 250 mL。另精密称取干燥至恒量的 D-无水葡萄糖对照品 8.3 mg 于 25.0 mL 容量瓶中, 加蒸馏水定容, 配制成 $0.332 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的对照品溶液, 置冰箱中备用。

2.1.2 标准曲线的绘制 精密吸取对照品溶液 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 mL 分别至试管中, 加蒸馏水补足至 2.0 mL, 于冰浴中加入体积分数为 0.2%蒽酮硫酸溶液 8 mL, 摇匀, 静置至室温, 100 °C水浴 10 min 后冰浴 10 min 冷却。以蒸馏水为空白对照, 同法操作, 在 520 nm 波长处测定吸光度值。以质量浓度(x)为横坐标, 吸光度值(y)为纵坐标绘制标准曲线, 测得总多糖的标准曲线方程为 $y = 1.194 9x - 0.012 0$, $r = 0.999 (n = 6)$, 线性范围为 0.033 2~0.199 2 mg。取同一供试品溶液, 按 2.1.2 操作进行显色稳定性试验, 隔 0.5 h 测定其吸光度值, 结果的相对标准偏差为 3.25% ($n = 5$), 表明供试品溶液在显色后 2 h 内稳定。按 2.1.1 平行制备 6 份供试品溶液进行重复性试验, 测定其吸光度值, 结果相对标准偏差为 1.54 %, 表明试验重复性良好。

2.1.3 样品质量分数测定 样品按 2.1.1 制成供试品溶液, 平行 3 份, 精密吸取 1.0 mL 至试管中, 按 2.1.2 测定吸光度值, 计算其质量分数。

2.2 总皂苷测定

2.2.1 样品溶液制备 取多花黄精根茎粉末 0.5 g, 精密称定, 加入甲醇 25.0 mL, 80 °C水浴回流提取 1.0 h, 过滤即得。精密称取干燥至恒量的菝葜皂苷对照品 2.0 mg, 置于 10.0 mL 容量瓶内, 加入甲醇定容, 配制成 $0.2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的对照品溶液, 置冰箱中备用。

2.2.2 标准曲线的绘制 精密吸取对照品溶液 0.05, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00 mL 分别至试管中, 加甲醇补足至 1.0 mL, 100 °C水浴蒸干, 分别加入体积分数为 5%香草醛-冰醋酸溶液 0.5 mL, 高氯酸溶液 0.8 mL, 60 °C水浴 20 min, 取出后于冰浴中加入冰乙酸 5.0 mL, 摇匀, 室温放置 15 min。以甲醇溶液为空白对照, 同法操作, 在 452 nm 波长处测定吸光度值。以质量浓度(x)为横坐标, 吸光度值(y)为纵坐标绘制标准曲线, 结果总皂苷的标准曲线方程为 $y = 9.718 2x - 0.021 7$, $r = 0.999 (n = 5)$, 线性范围为 0.01~0.20 mg。取同一供试品溶液, 按 2.2.2 操作进行显色稳定性试验, 隔 0.5 h 测定其吸光度值, 结果相对标准偏差为 2.62% ($n = 5$), 表明供试品溶液在显色后 2 h 内稳定。精密吸取对照品溶液 5 份, 各 0.6 mL, 按 2.2.2 连续测定进行精密度试验, 结果相对标准偏差为 3.20%, 表明仪器精密度良好。按 2.2.1 平行制备 6 份供试品溶液, 分别测定其吸光度值进行重复性试验, 结果相对标准偏差为 4.38 %, 表明方法重复性良好。

2.2.3 加样回收率试验 精密称取已知质量分数的同一供试品 6 份各 0.25 g, 分别加入适量菝葜皂苷元对照品溶液, 按 2.2.1 制成供试品溶液, 按 2.2.2 测定吸光度值, 计算回收率为 99.3%~104.1%, 相对标准偏差为 1.63%。

2.2.4 样品质量分数测定 样品按 2.2.1 制成供试品溶液, 平行 3 份, 精密吸取 0.1 mL 至试管中, 按 2.2.2 测定吸光度值, 计算其质量分数。

2.3 数据分析

在 Excel 2003 统计软件中进行数据处理和表格制作。在 SPSS 17.0 统计软件中进行单因素方差分析, 比较不同种源多花黄精根茎主要有效成分的差异, 并进行有效成分与主要环境因子的相关性分析。

3 结果与分析

3.1 不同种源多花黄精根茎主要有效成分质量分数差异

不同种源多花黄精根茎多糖及皂苷质量分数存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 2), 多糖质量分数范围为 97.0~363.2 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 皂苷质量分数的范围为 24.0~62.6 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。来自浙江金华磐安县种源的多花黄精根茎多糖质量分数最高, 安徽池州青阳县、浙江丽水景宁县和浙江温州文成县次之, 浙江丽水莲都区的多糖

质量分数最低但皂苷质量分数最高, 安徽池州市青阳县和浙江金华磐安县盘峰乡的皂苷质量分数最低。

相关性分析表明, 多花黄精根茎多糖和皂苷质量分数呈显著的负相关关系($P=0.018$), 表明多花黄精根茎中这 2 类有效成分质量分数均高的种源难以兼得, 引种驯化及优良品种选育时需注意多指标综合评价, 而临床及生产应用时应根据适应症及质量控制指标进行原料药材的筛选。

表 2 不同种源多花黄精根茎多糖和皂苷质量分数

Table 2 Contents of polysaccharides and saponins of *Polygonatum cyrtoneuma* from different provenances ($\bar{x} \pm s, n=3$)

编号	种源地	多糖/(mg·g ⁻¹)	皂苷/(mg·g ⁻¹)	编号	种源地	多糖/(mg·g ⁻¹)	皂苷/(mg·g ⁻¹)
1	浙江丽水莲都区	97.0 ± 2.9 g	62.6 ± 4.6 a	10	浙江衢州江山市	239.1 ± 12.4 cd	37.1 ± 3.8 de
2	浙江丽水青田县	104.4 ± 6.1 g	54.0 ± 0.4 b	11	浙江台州天台县	226.7 ± 9.7 de	47.0 ± 1.4 c
3	浙江丽水松阳县	153.6 ± 10.8 f	31.9 ± 2.8 fg	12	浙江温州文成县	299.9 ± 15.9 b	34.3 ± 1.9 ef
4	浙江丽水庆元县	210.5 ± 2.3 e	32.0 ± 1.6 fg	13	浙江杭州淳安县	254.8 ± 8.0 c	27.2 ± 0.7 hi
5	浙江丽水龙泉市	210.7 ± 12.4 e	40.5 ± 1.7 d	14	浙江湖州安吉县	214.2 ± 9.9 e	46.6 ± 0.4 c
6	浙江金华磐安县	363.2 ± 14.2 a	24.1 ± 1.3 i	15	浙江绍兴新昌县	217.7 ± 8.9 e	38.1 ± 3.8 de
7	浙江丽水遂昌县	143.2 ± 7.1 f	41.3 ± 0.7 d	16	安徽池州青阳县	302.3 ± 11.5 b	24.0 ± 0.2 i
8	浙江丽水缙云县	212.1 ± 4.4 e	27.1 ± 0.4 hi	17	湖北赤壁市	226.1 ± 12.3 de	28.0 ± 2.0 ghi
9	浙江丽水景宁县	300.7 ± 3.0 b	52.7 ± 2.1 b				

说明: 同一列所注不同小写英文字母表示新复极差测验 5% 显著水平。

3.2 影响多花黄精根茎主要有效成分质量分数的主要环境因子

将 12 个生态因子分别规定为 x_1 (经度), x_2 (纬度), x_3 (活动积温), x_4 (年平均气温), x_5 (平均相对湿度), x_6 (年日照时数), x_7 (年降水量), x_8 (土壤), x_9 (7 月最高温), x_{10} (7 月平均气温), x_{11} (1 月最低温), x_{12} (1 月平均气温)。设 y_1 为多糖质量分数, y_2 为皂苷质量分数。

以种源地的生态因子为自变量, 17 个样品的多糖和皂苷质量分数为因变量, 采用逐步回归分析方法, 剔除没有显著效应的自变量, 建立比较简化和相对准确的多元线性回归方程: $y_1=66.948-0.0009x_3$ ($r=0.618, P=0.008$), 表明多花黄精根茎中多糖质量分数与活动积温呈极显著($P<0.01$)负相关关系。

由多花黄精根茎中多糖、皂苷质量分数与环境因子的相关系数统计分析(表 3)可知, 多花黄精根茎中多糖积累明显与温度有关, 包括活动积温($P=0.008$), 年平均气温($P=0.038$), 7 月最高温($P=0.064$), 7 月平均气温($P=0.075$), 1 月最低温($P=0.024$), 1 月平均气温($P=0.037$); 而皂苷质量分数与 12 个生态环境因子均无显著相关性, 其积累变异规律有待进一步研究。

4 结论与讨论

本研究建立了以菝葜皂苷元为标准品的多花黄精根茎总皂苷质量分数测定方法; 通过对回流提取、超声提取 2 种提取法, 及甲醇、二氯甲烷和乙酸乙酯 3 种提取溶剂的综合比较, 确定了供试品溶液制备的甲醇回流方法; 经过方法学考察后, 应用于多花黄精种质资源的质量评价。

表 3 多花黄精根茎 2 种主要有效成分质量分数与生态因子的相关分析

Table 3 Correlation analysis between contents of 2 kinds of main effective constituents and environmental factors

成分	项目	经度	纬度	活动积温	年平均气温	年相对湿度	年日照时数
多糖	Person 相关性	-0.056	0.217	-0.618**	-0.507*	0.328	-0.194
	显著性(双侧)	0.830	0.402	0.008	0.038	0.199	0.455
皂苷	Person 相关性	0.349	-0.319	0.117	0.041	0.058	-0.225
	显著性(双侧)	0.170	0.212	0.654	0.876	0.824	0.386
成分	项目	年降水量	土壤	7 月最高温	7 月平均气温	1 月最低温	1 月平均气温
多糖	Person 相关性	-0.096	-0.185	-0.459	-0.443	-0.545*	-0.508*
	显著性(双侧)	0.713	0.476	0.064	0.075	0.024	0.037
皂苷	Person 相关性	0.386	0.050	-0.129	-0.163	0.140	0.231
	显著性(双侧)	0.126	0.848	0.622	0.531	0.592	0.372

说明: ** 表示 1% 显著水平; * 表示 5% 显著水平。

多花黄精根茎中总甾体皂苷质量分数与总多糖质量分数显著负相关($P < 0.05$)。在初生代谢比较旺盛的条件下,多糖大量积累,皂苷、生物碱等次生代谢合成受到抑制的现象在黄芪 *Astragali radix*, 石斛 *Dendrobii caulis* 等多种中药材中均有出现^[6-8]。活动积温是影响多花黄精根茎中多糖积累的最主要环境因子,与多糖质量分数呈负相关关系,表明生长期适当的低温有利于多糖类成分的积累,与低温刺激植物多糖合成与积累的报道相一致^[6]。

中药材生长过程中受到适当的逆境胁迫有利于次生代谢产物的积累,气候地理环境变异与中药材化学生态型的形成与分化相关^[9];不同种源药材在同一实验地栽培后测试分析结果表明:因种源特殊环境因子产生的化学生态型变异,具有一定的遗传潜力,有效成分与种源环境和遗传多样性的关联可为中药优良品种的选育提供参考^[10-11]。本研究未发现影响皂苷积累的关键环境因子,需要扩大样本量进一步深入研究;多花黄精中高多糖和高皂苷质量分数难以兼顾,在引种栽培、制定育种和遗传改良方案时,要根据具体改良目标权衡考虑。

5 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 288.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草: 第22卷[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 8 - 142.
- [3] 成威, 李友元, 邓洪波, 等. 黄精多糖对痴呆小鼠海马线粒体超微结构的影响[J]. 中南药学, 2014, **12**(10): 969 - 972.
CHENG Wei, LI Youyuan, DENG Hongbo, *et al.* Effect of polygona-polysaccharose on the mitochondrial ultrastructure of dementia mice [J]. *Cent South Pharm*, 2014, **12**(10): 969 - 972.
- [4] 李莺, 赵兵, 陈克克, 等. 黄精的研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2012, **31**(1): 9 - 13.
LI Ying, ZHAO Bing, CHEN Keke, *et al.* Progress of research on *Polygonatum sibiricum* [J]. *Chin Wild Plant Resour*, 2012, **31**(1): 9 - 13.
- [5] 谢彩香, 索风梅, 贾光林, 等. 人参皂苷与生态因子的相关性[J]. 生态学报, 2011, **31**(24): 7551 - 7563.
XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, *et al.* Correlation between environmental factors and ginsenosides [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(24): 7551 - 7563.
- [6] KAWAKAMI A, SATO Y, YOSHIDA M. Genetic engineering of rice capable of synthesizing fructans and enhancing chilling tolerance [J]. *J Exp Bot*, 2008, **59**(4): 793 - 802.
- [7] 黄明进, 罗春丽, 赵致, 等. 贵州兴义四种石斛的多糖和总生物碱含量分析[J]. 时珍国医国药, 2014, **25**(6): 1359 - 1361.
HUANG Mingjin, LUO Chunli, ZHAO Zhi, *et al.* Determination of polysaccharides and total alkaloids in four *Caulis dendrobii* materials from Xingyi, Guizhou [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2014, **25**(6): 1359 - 1361.
- [8] 刘振鹏, 徐翠霞, 刘京晶, 等. 铁皮石斛叶片多糖和醇溶性浸出物动态积累规律研究[J]. 中国中药杂志, 2015, **40**(12): 2314 - 2317.
LIU Zhenpeng, XU Cuixia, LIU Jingjing, *et al.* Study on accumulation of polysaccharides and alcohol-soluble extracts contents of *Dendrobium officinale* leaves [J]. *China J Chin Mater Med*, 2015, **40**(12): 2314 - 2317.
- [9] 黄林芳, 索风梅, 宋经元, 等. 中国产西洋参品质变异及生态型划分[J]. 药学学报, 2013, **48**(4): 580 - 589.
HUANG Linfang, SUO Fengmei, SONG Jingyuan, *et al.* Quality variation and ecotype division of *Panax quinquefolium* in China [J]. *Acta Pharm Sin*, 2013, **48**(4): 580 - 589.
- [10] 于晓芹, 刘锡葵, 顾志建. 不同地理种源云南红豆杉的遗传多样性与紫杉醇含量相关性分析 [J]. 云南植物研究, 2009, **31**(6): 493 - 498.
YU Xiaoqin, LIU Xikui, GU Zhijian. Analysis of relationship between genetic diversity and taxol content of *Taxus wallichiana* var. *wallichiana* in different provenance [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2009, **31**(6): 493 - 498.
- [11] 魏胜利, 王文全, 刘长利, 等. 1年生甘草药材产量与甘草酸含量的广义遗传力及其遗传相关性分析[J]. 中国中药杂志, 2012, **37**(5): 553 - 557.
WEI Shengli, WANG Wenquan, LIU Changli, *et al.* Analysis of broad-sense heritability and genetic correlation of production and content of glycyrrhizin of annual *Glycyrrhiza uralensis* [J]. *China J Chin Mater Med*, 2012, **37**(5): 553 - 557.