

18 个地黄种质的表型性状及相关统计学分析

王丰青¹, 田云鹤^{1,2}, 黄 勇¹, 李 娟¹, 董诚明³, 张重义^{1,2,①}

(1. 河南农业大学中药材研究所, 河南 郑州 450002; 2. 福建农林大学中药材 GAP 研究所, 福建 福州 350002;
3. 河南中医学院药学院, 河南 郑州 450046)

摘要: 对地黄(*Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey.) 11 个主栽品种、3 个变异类型和 4 个野生种源的 18 个表型性状(包括 9 个数值型性状和 9 个非数值型性状)进行了观测和分析;在此基础上,对 18 个地黄种质进行了聚类分析,还进行了 18 个表型性状的主成分分析和 9 个数量性状的相关性分析。结果表明:18 个地黄种质的表型性状变异非常丰富,冠幅、茎粗、单株叶片数、叶长、叶宽、单株块根数、块根长度、块根直径和单株块根鲜质量变异均较大,其变异系数大多在 20% 左右,其中单株块根鲜质量的变异系数(56.66%)最大。聚类分析结果显示:在欧氏距离 6.74 处,18 个地黄种质可分为栽培、野生和新变异类型 3 大类。主成分分析结果表明:在 18 个表型性状中,前 4 个主成分的累计贡献率达 81.865 5%,其中第 1 主成分的贡献率为 50.552 7%,包括冠幅、叶长、叶宽、块根直径和单株块根鲜质量。相关性分析结果显示:单株块根鲜质量与冠幅、茎粗、单株叶片数、叶长、叶宽和块根直径呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数分别为 0.862、0.849、0.759、0.879、0.822 和 0.898;与块根长度呈显著正相关($P < 0.05$),相关系数为 0.562。研究结果显示:地黄种质间存在较大的表型变异,基于表型性状的聚类分析结果可用于鉴别地黄种质间的亲缘关系;并可以通过冠幅、茎粗、叶片大小和块根大小等性状的选择提高地黄的单株块根产量。

关键词: 地黄; 种质; 表型性状; 聚类分析; 主成分分析; 相关性分析

中图分类号: Q94-332; S567.23+903.7; R282.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)01-0028-08
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.01.04

Phenotypic characters and associated statistical analysis on eighteen germplasms of *Rehmannia glutinosa* WANG Fengqing¹, TIAN Yunhe^{1,2}, HUANG Yong¹, LI Juan¹, DONG Chengming³, ZHANG Zhongyi^{1,2,①} (1. Institute of Chinese Medicinal Materials, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Institute of GAP for Chinese Medicinal Materials, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. School of Medicine, He'nan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(1): 28-35

Abstract: Eighteen phenotypic characters (including nine numeric characters and nine non numeric characters) of eleven main cultivars, three mutations and four wild provenances of *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey. were observed and analyzed. On this basis, cluster analysis on eighteen germplasms of *R. glutinosa* was carried out, and principal component analysis on eighteen phenotypic characters and correlation analysis on nine quantitative characters were also done. The results show that variations of phenotypic characters of eighteen germplasms of *R. glutinosa* are very rich. Variations of crown width, stem diameter, leaf number per plant, leaf length, leaf width, tuberous root number per plant, tuberous root length, tuberous root diameter and tuberous root fresh weight per plant all are bigger, with coefficients of variation about 20% in most cases, in which, coefficient of variation (56.66%) of tuberous root fresh weight per plant is the biggest. The cluster analysis result shows that at Euclidean distance of 6.74, eighteen germplasms of *R. glutinosa* are divided into three

收稿日期: 2014-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81274022; 81473299; 81102756); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAI06B02); 中国博士后科学基金资助项目(2013M541977); 河南省教育厅科学技术研究重点资助项目(14A360007)

作者简介: 王丰青(1977—),男,河南兰考人,博士,讲师,主要研究方向为中药资源学。

①通信作者 E-mail: hauzzy@163.com

groups of cultivation, wild and new variation types of *R. glutinosa*. The principal component analysis result shows that in eighteen phenotypic characters, the accumulative contribution rate of the first four principal components reaches to 81.865 5%, in which, the contribution rate of the first principal component is 50.552 7%, which includes crown width, leaf length, leaf width, tuberous root diameter and tuberous root fresh weight per plant. The correlation analysis result shows that tuberous root fresh weight per plant has extremely significantly positive correlation ($P < 0.01$) with crown width, stem diameter, leaf number per plant, leaf length, leaf width and tuberous root diameter, their correlation coefficients are 0.862, 0.849, 0.759, 0.879, 0.822 and 0.898, respectively, and has significantly positive correlation ($P < 0.05$) with tuberous root length with the correlation coefficient of 0.562. It is suggested that there is larger phenotypic variation among germplasms of *R. glutinosa*. The cluster analysis result based on phenotypic characters can be used for identifying genetic relationship of *R. glutinosa* germplasms. And the tuberous root yield per plant of *R. glutinosa* can be improved by selection of crown width, stem diameter, leaf size and tuberous root size, etc.

Key words: *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey.; germplasm; phenotypic character; cluster analysis; principal component analysis; correlation analysis

地黄 [*Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey.] 为玄参科 (Scrophulariaceae) 多年生草本植物, 其块根可入药, 具有清热生津、凉血、止血等功效^[1]; 地黄的药用历史悠久、临床疗效确切, 已成为构建中国现代大中药产业链重点推荐研究利用的大宗药材之一^[2]; 地黄在河南、山东、山西、黑龙江等地均有大量种植, 以“古怀庆府”(为今河南焦作的温县、武陟县、孟县、博爱县等沁河沿岸的地区) 的怀地黄栽培历史最为悠久。

地黄育种工作开展较早, 早在 1917 年已培育出地黄品种‘四齿毛’, 迄今已有近百年历史^[3]。然而, 近年来地黄的育种研究进展非常缓慢, 自 2000 年以来仅有 1 个品种(‘金九’)通过审定^[4]。由于地黄的繁殖和生产均以无性繁殖为主, 因此通过杂交培育出的地黄品种较少, 多数地黄品种由选择育种或提纯复壮获得, 种源混杂和同种异名现象严重, 极大地限制了其育种工作的开展。因此, 对现有的地黄种质进行评价和多样性分析对于地黄种质创新和新品种选育具有重要意义。迄今为止, 关于地黄种质形态特征方面的研究已有一些报道, 主要包括对不同种质进行初步分类^[5]、分析块根产量与其相关性状的相关性^[6]、比较栽培品种和野生种的农艺性状^[7]以及栽培品种叶片形态及其气孔大小和密度的研究^[8], 但尚未见通过表型性状分析地黄种质亲缘关系的研究报道。

通过植株形态特征进行数字化分析, 可以分析植物各种质间的遗传多样性, 并据此将不同的种质进行分类, 以明确其亲缘关系。目前, 该技术已经应用于药用植物菊花 [*Chrysanthemum morifolium* (Ramat.)

Tzvel.] 和薯蓣属 (*Dioscorea* Linn.) 种质的亲缘关系研究, 并取得了较好的分析结果^[9-10]。

鉴于此, 作者以 11 个地黄主栽品种、3 个变异类型和 4 个野生种源为材料, 通过对其 18 个表型性状指标的数量分析了解供试地黄种质的表型变异程度, 基于表型性状数据对各种质进行聚类分析以揭示它们的亲缘关系, 并采用主成分分析方法以及相关性分析方法分析与地黄药材产量关系密切的主要表型特征, 以期对地黄种质的遗传改良和新品种选育提供研究依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的 18 个地黄种质共包括 3 类: 第 1 类为怀地黄产区的 11 个主栽品种, 包括‘85-5’、‘金九’(‘Jinjiu’)、‘红薯王’(‘Hongshuwang’)、‘北京 1 号’(‘Beijing No. 1’)、‘金状元’(‘Jinzhuangyuan’)、‘生津’(‘Shengjin’)、‘山东种’(‘Shandongzhong’)、‘北京 3 号’(‘Beijing No. 3’)、‘9302’、‘白状元’(‘Baizhuangyuan’) 和‘沁怀 1 号’(‘Qinhuai No. 1’); 第 2 类为从栽培品种中新选育的 3 个变异类型, 包括‘85-5’系选、012-2 和 012-5; 第 3 类为 4 个野生种源, 包括来源于郑州市黄岗寺村的 3 个种源 WT1-1、WT3-1 和 WT5-1 以及来源于郑州市毛庄村的种源 WT2-1。

1.2 方法

1.2.1 种植方法 2013 年 4 月, 将供试的地黄块根

种植于河南省郑州市河南农业大学试验农场内,其中,栽培种质选用直径2.0~2.5 cm的块根、野生种源选用直径0.8~1.2 cm的块根。将块根掰成长度为2.5~3.0 cm的小块,放入体积分数50%多菌灵600倍溶液中浸泡20 min,晾干并直接播种。每个小区只种植1个种质,小区的长度和宽度分别为2.5和1.5 m,株距25 cm、行距50 cm;每个小区共种植30个块根,每个块根保留1株苗,每个种质种植3个小区(视为3个重复),共90株苗。田间管理与常规大田管理相同。

1.2.2 表型性状指标的观测方法 于2013年9月25日观测地黄植株地上部分的表型性状(包括株型、冠幅、茎粗、叶形、叶缘形状、叶色、叶质、单株叶片数、叶长和叶宽),于同年11月10日收获并观测地下部分的表型性状(包括块根的皮色、肉色、形状、长度和直径,单株块根数,单株块根鲜质量以及菊花心直径占块根直径的比例)。每个小区随机选取生长一致的10株样株进行观测。冠幅为植株东西方向的宽度;茎粗为莲座叶基部的直径;叶长为植株顶部第3枚叶片的叶尖至叶末端的长度;叶宽为植株顶部第3叶片中部最宽处的宽度;单株块根数为每个植株显著膨大的块根总数;块根长度为植株所有块根膨大部位长度的平均值;块根直径为植株所有块根膨大部位最大直径的平均值。茎粗及块根的长度和直径用游标卡尺测量,冠幅、叶长和叶宽则用直尺测量。数值型表型性状的数值为10个样株的平均值。

1.3 数据统计及分析

数值型表型性状的数据按照实测值进行分析,非数值型表型性状的数据则根据分级并赋值后再进行分析。株型:平展、半直立和直立依次赋值为1、2和3。叶形:卵圆形、椭圆形、长椭圆形和披针形依次赋值为1、2、3和4。叶缘形状:浅波浪形、波浪形、浅锯齿形和锯齿形依次赋值为1、2、3和4。叶色:黄绿色、绿色和深绿色依次赋值为1、2和3。叶质:厚、薄依次赋值为1和2。块根皮色:浅黄色、黄色和黄红色依次赋值为1、2和3。块根肉色:黄白色和粉白色依次赋值为1和2。菊花心直径占块根直径的比例(R): $R \leq 1/3$ 、 $1/3 < R \leq 1/2$ 、 $1/2 < R \leq 2/3$ 和 $R > 2/3$ 依次赋值为1、2、3和4。块根形状:疙瘩状、纺锤状、长条状和细长条状依次赋值为1、2、3和4。

应用DPS v7.05软件对18个地黄种质的18个表型性状进行主成分分析和聚类分析;在聚类分析前需

先对数据进行标准化转换,并采用加权配对算术平均法(weighted pair group method using arithmetic average, WPGMA)进行聚类分析。应用DPS v7.05软件对18个地黄种质的9个数值型表型性状进行相关性分析。

2 结果和分析

2.1 地黄种质的表型性状分析

通过田间观察,发现供试的18个地黄种质具有以下共同特征:1)叶通常在茎基部集成莲座状,向上强烈缩小成苞片或逐渐缩小,并在茎上互生;2)叶缘有不规则的齿,叶片肉质并有表皮毛和隆起的脉;3)块根肉质,具有由韧皮部和木质部组成的白色菊花心。其他表型性状均存在一定差异,叶和块根的差异相对较大。供试地黄种质地上和地下部分表型性状的观察和测定结果分别见表1和表2。

由表1可以看出:地黄的株型有平展、半直立和直立3种类型,以半直立型居多。冠幅和茎粗的平均值分别为43.89和1.39 cm,变异系数分别为19.42%和23.29%,说明地黄冠幅和茎粗的变异较大,遗传多样性较丰富。

由表1还可以看出:地黄的叶片形状有卵圆形、椭圆形、长椭圆形和披针形4种,且不同叶形所占比例差异不大;叶缘形状分为浅波浪形、波浪形、浅锯齿形和锯齿形4种,以浅波浪形和锯齿形居多;叶色有黄绿色、绿色和深绿色3种,绿色叶占有绝对优势;根据叶片厚度可将叶片分为厚和薄2类,以厚叶居多。18个地黄种质的单株叶片数平均值为32.9,变异系数为26.5%;叶片长度和宽度的平均值分别为25.35和8.87 cm,变异系数分别为22.08%和20.92%,说明地黄单株叶片数、叶长和叶宽的变异均较大,遗传多样性丰富。

由表2可以看出:地黄块根的外皮颜色以黄色为主;块根肉色以粉白色为主,部分偏黄色;根据菊花心直径占块根直径的比例(R)分为4类: $R \leq 1/3$ 、 $1/3 < R \leq 1/2$ 、 $1/2 < R \leq 2/3$ 和 $R > 2/3$,其中 $1/2 < R \leq 2/3$ 占有绝对优势;块根形状主要有疙瘩状、纺锤状、长条状和细长条状4种,以纺锤状为主,且部分种质不同块根兼具1或2种类型。单株块根数的平均值为8.4,变异系数为32.3%;块根长度和块根直径的平均值分别为10.38和2.35 cm,变异系数分别为19.67%和

36.65%。不同地黄种质的单株块根鲜质量有较大差异,最大值达443.98 g,最小值仅17.03 g,平均值为247.93 g,变异系数达到56.66%。上述结果说明供

试地黄种质的单株块根数和单株块根鲜质量以及块根长度和直径均存在丰富的遗传变异。

表1 18个地黄种质地上部分表型性状的观察和测定结果

Table 1 Results of observation and determination on phenotypic characters of above-ground part of eighteen germplasms of *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey.

种质 ¹⁾ Germ-plasm ¹⁾	株型 Plant type	冠幅/cm Crown width	茎粗/cm Stem diameter	叶形 Leaf shape	叶缘形状 Leaf margin shape	叶色 Leaf color	叶质 Leaf texture	单株叶片数 Leaf number per plant	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width
1	半直立 Semi-erect	52.11	1.59	长椭圆形 Long elliptic	浅波浪形 Shallow wave	绿色 Green	厚 Thick	43.8	29.89	10.50
2	平展 Spreading	43.96	1.43	椭圆形 Elliptic	浅波浪形 Shallow wave	深绿色 Dark green	厚 Thick	34.0	22.38	8.18
3	半直立 Semi-erect	39.37	1.19	椭圆形 Elliptic	浅波浪形 Shallow wave	黄绿色 Yellow-green	厚 Thick	23.8	21.98	8.81
4	半直立 Semi-erect	49.57	1.39	椭圆形 Elliptic	浅波浪形 Shallow wave	绿色 Green	厚 Thick	30.7	29.43	10.28
5	半直立 Semi-erect	53.97	1.74	长椭圆形 Long elliptic	波浪形 Wave	绿色 Green	厚 Thick	38.4	30.13	9.79
6	直立 Erect	45.18	1.32	披针形 Lanceolate	波浪形 Wave	绿色 Green	厚 Thick	43.8	26.00	8.81
7	半直立 Semi-erect	53.24	1.81	长椭圆形 Long elliptic	浅波浪形 Shallow wave	绿色 Green	厚 Thick	43.4	30.63	10.35
8	半直立 Semi-erect	41.11	1.46	卵圆形 Ovate	浅锯齿形 Shallow serration	绿色 Green	厚 Thick	27.8	26.22	9.28
9	半直立 Semi-erect	52.91	1.89	长椭圆形 Long elliptic	浅波浪形 Shallow wave	绿色 Green	厚 Thick	39.4	28.57	9.92
10	半直立 Semi-erect	41.89	1.18	披针形 Lanceolate	锯齿形 Serration	黄绿色 Yellow-green	薄 Thin	31.4	24.91	8.68
11	直立 Erect	57.92	2.03	披针形 Lanceolate	锯齿形 Serration	绿色 Green	厚 Thick	50.6	35.79	11.01
12	半直立 Semi-erect	48.22	1.10	卵圆形 Ovate	波浪形 Wave	深绿色 Dark green	厚 Thick	32.6	29.82	11.23
13	半直立 Semi-erect	42.38	1.44	卵圆形 Ovate	波浪形 Wave	绿色 Green	厚 Thick	31.1	27.09	9.73
14	半直立 Semi-erect	40.56	1.16	椭圆形 Elliptic	浅波浪形 Shallow wave	黄绿 Yellow-green	厚 Thick	27.9	24.38	9.05
15	平展 Spreading	28.99	0.90	披针形 Lanceolate	锯齿形 Serration	深绿色 Dark green	薄 Thin	23.3	15.17	4.44
16	平展 Spreading	30.35	1.10	披针形 Lanceolate	锯齿形 Serration	绿色 Green	薄 Thin	28.3	16.35	5.85
17	平展 Spreading	32.22	0.91	披针形 Lanceolate	锯齿形 Serration	深绿色 Dark green	薄 Thin	19.3	16.68	5.97
18	半直立 Semi-erect	36.13	1.44	椭圆形 Elliptic	锯齿形 Serration	深绿色 Dark green	薄 Thin	22.4	20.88	7.86
M		43.89	1.39					32.9	25.35	8.87
SD		8.52	0.32					8.7	5.60	1.86
CV/%		19.42	23.29					26.5	22.08	20.92

¹⁾ 1: '85-5'; 2: '金九' 'Jinjiu'; 3: '红薯王' 'Hongshuwang'; 4: '北京1号' 'Beijing No. 1'; 5: '金状元' 'Jingzhuangyuan'; 6: '生津' 'Shengjin'; 7: '山东种' 'Shandongzhong'; 8: '北京3号' 'Beijing No. 3'; 9: '85-5'系选 Line from '85-5'; 10: '白状元' 'Baizhuangyuan'; 11: 012-2; 12: '9302'; 13: '沁怀1号' 'Qinhuai No. 1'; 14: 012-5; 15: WT1-1; 16: WT2-1; 17: WT3-1; 18: WT5-1. M: 平均值 Mean value; SD: 标准差 Standard deviation; CV: 变异系数 Coefficient of variation.

表2 18个地黄种质地下部分表型性状的观察和测定结果

Table 2 Results of observation and determination on phenotypic characters of under-ground part of eighteen germplasms of *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey.

种质 ¹⁾ Germ-plasm ¹⁾	R ²⁾	块根特征 Character of tuberous root					N ³⁾	W/g ⁴⁾
		皮色 Epidermis color	肉色 Flesh color	形状 Shape	长度/cm Length	直径/cm Diameter		
1	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	黄白色 Yellow white	纺锤状 Fusiform	10.06	2.73	6.7	353.69
2	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	粉白色 Pinkish white	长条状 Long strip	13.64	2.41	9.6	309.01
3	1/2<R≤2/3	黄红色 Yellowish red	粉白色 Pinkish white	纺锤状 Fusiform	12.35	2.44	6.5	148.49
4	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	粉白色 Pinkish white	纺锤状 Fusiform	10.69	2.83	9.4	290.50
5	1/2<R≤2/3	浅黄色 Pale yellow	黄白色 Yellow white	疙瘩状 Knob	11.54	3.04	7.1	338.32
6	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	粉白色 Pinkish white	纺锤状 Fusiform	10.39	2.59	11.4	295.26
7	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	黄白色 Yellow white	纺锤状 Fusiform	10.87	3.28	6.6	371.09
8	1/3<R≤1/2	黄色 Yellow	粉白色 Pinkish white	疙瘩状 Knob	10.63	2.91	10.5	339.03
9	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	黄白色 Yellow white	纺锤状 Fusiform	10.49	3.22	6.9	379.59
10	1/2<R≤2/3	浅黄色 Pale yellow	黄白色 Yellow white	纺锤状 Fusiform	8.59	2.71	6.2	192.71
11	R>2/3	黄红色 Yellowish red	粉白色 Pinkish white	长条状 Long strip	13.27	2.81	14.7	443.98
12	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	黄白色 Yellow white	纺锤状 Fusiform	9.77	2.51	11.9	285.09
13	1/2<R≤2/3	黄色 Yellow	粉白色 Pinkish white	疙瘩状 Knob	10.38	3.23	9.9	420.77
14	1/2<R≤2/3	黄红色 Yellowish red	粉白色 Pinkish white	纺锤状 Fusiform	11.19	1.99	6.6	124.27
15	1/3<R≤1/2	浅黄色 Pale yellow	黄白色 Yellow white	细长条状 Elongate strip	9.90	1.25	7.1	63.23
16	1/3<R≤1/2	浅黄色 Pale yellow	黄白色 Yellow white	细长条状 Elongate strip	4.08	0.62	4.6	17.03
17	1/2<R≤2/3	黄红色 Yellowish red	粉白色 Pinkish white	细长条状 Elongate strip	8.97	0.80	9.9	47.63
18	R≤1/3	黄红色 Yellowish red	粉白色 Pinkish white	细长条状 Elongate strip	10.09	0.97	4.7	42.98
M					10.38	2.35	8.4	247.93
SD					2.04	0.86	2.7	140.46
CV/%					19.67	36.65	32.3	56.66

¹⁾ 1: '85-5'; 2: '金九' 'Jinjiu'; 3: '红薯王' 'Hongshuwang'; 4: '北京1号' 'Beijing No. 1'; 5: '金状元' 'Jingzhuangyuan'; 6: '生津' 'Shengjin'; 7: '山东种' 'Shandongzhong'; 8: '北京3号' 'Beijing No. 3'; 9: '85-5'系选 Line from '85-5'; 10: '白状元' 'Baizhuangyuan'; 11: 012-2; 12: '9302'; 13: '沁怀1号' 'Qinhuai No. 1'; 14: 012-5; 15: WT1-1; 16: WT2-1; 17: WT3-1; 18: WT5-1. M: 平均值 Mean value; SD: 标准差 Standard deviation; CV: 变异系数 Coefficient of variation.

²⁾ R: 菊花心直径占块根直径的比例 Proportion of radial striation diameter to tuberous root diameter.

³⁾ N: 单株块根数 Tuberous root number per plant.

⁴⁾ W: 单株块根鲜质量 Tuberous root fresh weight per plant.

2.2 基于表型性状的地黄种质的聚类分析

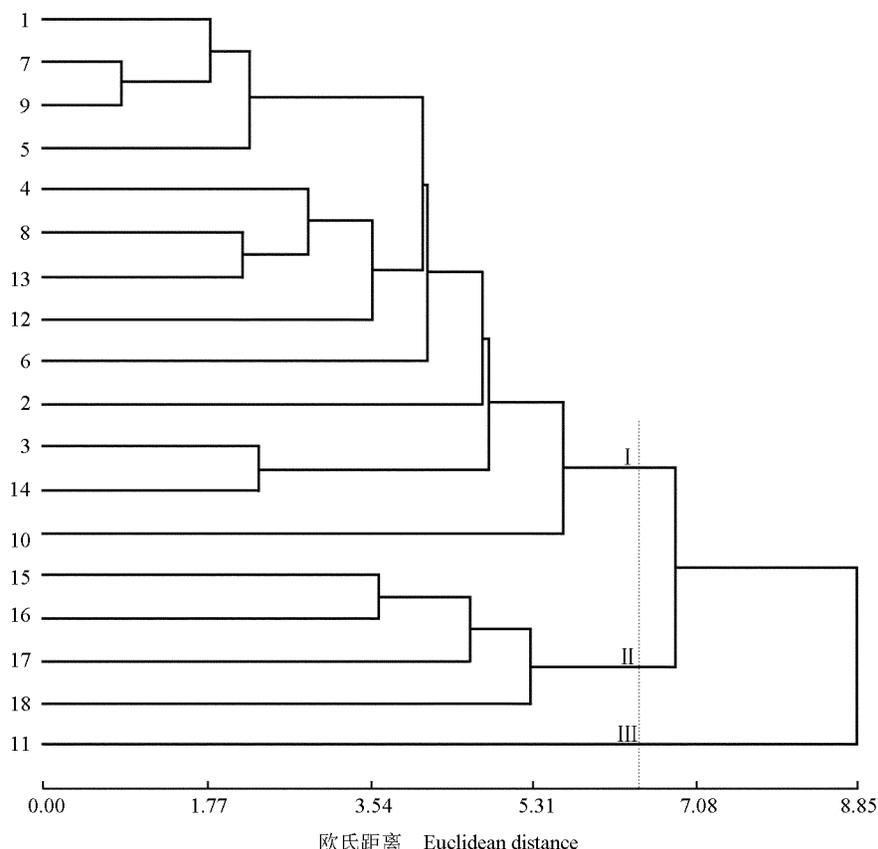
使用 DPS v7.05 统计软件对数据进行标准化转换并采用 WPGMA 法对 18 个地黄种质进行聚类分析,其亲缘关系树状图见图 1。在欧氏距离 6.74 处, 18 个地黄种质可分为 3 大类。大类 I 为地黄栽培种质,包括 11 个主栽品种和 2 个变异类型,分别为'85-5'、'山东种'、'金状元'、'北京1号'、'北京3号'、'沁怀1号'、'9302'、'生津'、'金九'、'红薯王'、'白状元'、'85-5'系选和 012-5,主要特征是冠幅较大、叶片多、叶片宽大且肥厚、块根粗大、单株产量高。大类 II 为地黄野生种质,包括 WT1-1、WT2-1、WT3-1 和 WT5-1,主要特征为冠幅小、叶片小而薄且数量较少、块根细长条形且很细(直径 0.62~1.25 cm)、商品性状差、单株产量很低。大类 III 仅含新类型 012-2,是 1 个明显不同于栽培种质和野生种质的新变异类型,主要特征是株型直立、冠幅大、茎粗、叶片

大且多、块根长条形、芦头很长、单株块根数多、菊花心直径占块根直径的比例较大(大于块根直径的 2/3)、单株产量高。

2.3 地黄表型性状的主成分分析

供试地黄 18 个表型性状的主成分分析结果见表 3。结果表明:在地黄的 18 个表型性状中,前 4 个主成分的累计贡献率达到 81.865 5%,说明 18 个表型性状的绝大部分信息可由前 4 个主成分来概括。

由表 3 还可见:第 1 主成分的贡献率最高,达到 50.552 7%,包括的主要指标有冠幅、叶长、叶宽、块根直径和单株块根鲜质量。第 2 主成分的贡献率为 13.767 5%,包括的主要指标有叶形、块根皮色、块根肉色和块根长度。第 3 主成分的贡献率为 10.572 2%,包括的主要指标有叶形、叶缘形状、块根形状和单株块根数。第 4 主成分的贡献率为 6.973 1%,包括的主要指标有株型、叶形和叶色。



1: ‘85-5’; 2: ‘金九’ ‘Jinjiu’; 3: ‘红薯王’ ‘Hongshuwang’; 4: ‘北京 1 号’ ‘Beijing No. 1’; 5: ‘金状元’ ‘Jingzhuangyuan’; 6: ‘生津’ ‘Shengjin’; 7: ‘山东种’ ‘Shandongzhong’; 8: ‘北京 3 号’ ‘Beijing No. 3’; 9: ‘85-5’ 系选 Line from ‘85-5’; 10: ‘白状元’ ‘Baizhuangyuan’; 11: 012-2; 12: ‘9302’; 13: ‘沁怀 1 号’ ‘Qinhuai No. 1’; 14: 012-5; 15: WT1-1; 16: WT2-1; 17: WT3-1; 18: WT5-1.

图 1 基于表型性状的 18 个地黄种质的聚类图
 Fig. 1 Cluster diagram of eighteen germplasms of *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey. based on phenotypic characters

表 3 供试地黄 18 个表型性状的主成分分析结果¹⁾
 Table 3 Result of principal component analysis on eighteen phenotypic characters of *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey. tested¹⁾

主成分 Principal component	各指标的特征向量 Eigenvector of different indexes						
	PT	CW	SD	LS	LMS	LC	LT
第 1 The first	0.241 2	0.308 9	0.252 9	-0.099 8	-0.202 5	-0.110 4	-0.295 9
第 2 The second	0.029 4	-0.133 5	-0.130 0	-0.354 5	-0.084 9	0.101 0	-0.134 1
第 3 The third	0.177 5	0.098 1	0.148 4	0.435 2	0.390 4	0.268 0	0.157 0
第 4 The fourth	-0.341 5	0.072 3	0.079 7	-0.304 5	-0.054 4	0.737 4	-0.079 5

主成分 Principal component	各指标的特征向量 Eigenvector of different indexes						
	LNP	LL	LW	ECTR	FCTR	R	TRS
第 1 The first	0.257 3	0.313 4	0.307 0	0.054 4	0.024 2	0.225 0	-0.250 5
第 2 The second	-0.264 0	-0.081 4	0.011 6	0.503 0	0.561 2	-0.034 6	0.031 1
第 3 The third	0.262 2	0.085 4	-0.065 3	0.171 8	0.120 8	0.200 8	0.369 2
第 4 The fourth	0.006 3	0.020 6	0.005 6	-0.235 0	-0.191 6	-0.199 9	0.069 0

续表 3 Table 3 (Continued)

主成分 Principal component	各指标的特征向量 Eigenvector of different indexes				特征值 Eigen value	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Accumulative contribution rate
	N	TRL	TRD	W			
第 1 The first	0.159 7	0.209 2	0.304 7	0.306 7	9.099 5	50.552 7	50.552 7
第 2 The second	0.223 7	0.305 9	-0.089 9	-0.071 4	2.478 1	13.767 5	64.320 2
第 3 The third	0.404 6	0.083 4	-0.157 0	0.047 1	1.903 0	10.572 2	74.892 4
第 4 The fourth	0.181 1	0.099 4	0.038 4	0.211 6	1.255 2	6.973 1	81.865 5

¹⁾ PT: 株型 Plant type; CW: 冠幅 Crown width; SD: 茎粗 Stem diameter; LS: 叶形 Leaf shape; LMS: 叶缘形状 Leaf margin shape; LC: 叶色 Leaf color; LT: 叶质 Leaf texture; LNP: 单株叶片数 Leaf number per plant; LL: 叶长 Leaf length; LW: 叶宽 Leaf width; ECTR: 块根皮色 Epidermis color of tuberous root; FCTR: 块根肉色 Flesh color of tuberous root; R: 菊花心直径占块根直径的比例 Proportion of radial striation diameter to tuberous root diameter; TRS: 块根形状 Tuberous root shape; N: 单株块根数 Tuberous root number per plant; TRL: 块根长度 Tuberous root length; TRD: 块根直径 Tuberous root diameter; W: 单株块根鲜质量 Tuberous root fresh weight per plant.

2.4 地黄主要数量性状的相关性分析

供试地黄种质 9 个数量性状的相关性分析结果见表 4。结果表明:除单株块根数外,其他 7 个数量性状均与单株块根鲜质量有极显著($P<0.01$)或显著($P<0.05$)相关性。其中,叶长、叶宽、单株叶片数、茎粗、冠幅和块根直径均与单株块根鲜质量呈极显著正相关,相关系数分别为 0.879、0.822、0.759、0.849、0.862 和 0.898;而块根长度则与单株块根鲜质量呈显著正相关,相关系数为 0.562。说明通过对地黄植

株的叶片大小、冠幅、茎粗和块根大小等性状进行选择可以提高其单株块根的产量;而对单株块根数进行选择则不能达到提高地黄单株块根产量的效果。

此外,地黄地上部分各指标间均呈极显著正相关;冠幅和叶长均与块根长度、单株叶片数和块根长度均与块根直径呈显著正相关;冠幅、茎粗、叶长和叶宽均与块根直径呈极显著正相关;其余指标之间均呈不显著的正相关。

表 4 地黄 9 个数量性状的相关性分析¹⁾Table 4 Correlation analysis of nine quantitative characters of *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey.¹⁾

数量性状 Quantitative character	相关系数 Correlation coefficient								
	CW	SD	LNP	LL	LW	N	TRL	TRD	W
CW	1.000								
SD	0.872**	1.000							
LNP	0.843**	0.828**	1.000						
LL	0.957**	0.811**	0.792**	1.000					
LW	0.894**	0.688**	0.652**	0.949**	1.000				
N	0.329	0.215	0.310	0.433	0.363	1.000			
TRL	0.537*	0.472	0.331	0.491*	0.470	0.454	1.000		
TRD	0.819**	0.742**	0.609*	0.841**	0.845**	0.230	0.575*	1.000	
W	0.862**	0.849**	0.759**	0.879**	0.822**	0.472	0.562*	0.898**	1.000

¹⁾ CW: 冠幅 Crown width; SD: 茎粗 Stem diameter; LNP: 单株叶片数 Leaf number per plant; LL: 叶长 Leaf length; LW: 叶宽 Leaf width; N: 单株块根数 Tuberous root number per plant; TRL: 块根长度 Tuberous root length; TRD: 块根直径 Tuberous root diameter; W: 单株块根鲜质量 Tuberous root fresh weight per plant. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

3 讨论和结论

表型性状分析结果显示供试的 18 个地黄种质间存在丰富的表型变异,而基于表型性状的聚类分析结果则将地黄的主要栽培品种及变异类型与野生种源分开,并分别聚为不同的大类,说明运用表型性状可以有效地鉴别野生地黄与栽培地黄。主成分分析结

果显示地黄的株型、冠幅、茎粗、单株叶片数、叶长、叶宽、叶质、块根形状、块根直径和单株块根鲜质量等表型性状能够大体反映地黄的主要表型特征。相关性分析结果表明地黄的单株块根鲜质量与叶片大小、冠幅、茎粗、单株叶片数、块根直径和块根长度等表型性状呈极显著或显著正相关。

前人的研究结果^[11-12]表明:分子标记技术虽然是基于 DNA 分子水平的差异进行类群间的聚类分析,

但用于区别基因杂合程度很高的植物种类时仍然具有一定的局限性。因此,在地黄新品种选育上,需要对丰产品种具有的表型性状进行系统的评估和聚类分析。上述聚类分析结果显示:供试的地黄大块根丰产型品种‘85-5’、‘山东种’、‘金状元’和变异类型‘85-5’系选单独聚为1小类,它们的共同特征是块根粗壮、单株块根数量适中、芦头短、叶片肥大;多块根丰产型品种‘北京1号’、‘北京3号’、‘9302’和‘沁怀1号’单独聚为1小类,它们的主要特征是单株块根数量多、叶片大小和块根大小均较适中、芦头较长、较耐密植。聚类分析结果还显示具有类似表型性状的地黄种质间的亲缘关系较近。品种‘85-5’是以品种‘单县151’为母本、品种‘金状元’为父本杂交选育而成的品种^[13],‘85-5’系选则是作者所在课题组通过单株选育从品种‘85-5’中选育而来的优选系,在聚类图上‘金状元’、‘85-5’、‘85-5’系选和‘山东种’聚为1小类,据此可推测品种‘山东种’可能也是由品种‘85-5’衍生而来。品种‘北京1号’是用品种‘新状元’和‘武陟1号’杂交选育而成的品种,‘北京3号’则为近几年从‘北京1号’中提纯出的品种^[14],在聚类图上‘北京1号’、‘北京3号’、‘9302’和‘沁怀1号’聚为1小类,这一结果与基于RAPD和SRAP标记分析获得的结果相似^[15-16],说明这4个地黄种质可能具有共同的亲本来源。品种‘金九’是以品种‘金状元’为父本、品种‘9302’为母本杂交选育而成的品种^[4],然而‘金状元’和‘9302’却分属于不同的小类,但二者均与品种‘金九’同属于1个大类,也可说明品种‘金九’确实是由品种‘金状元’和‘9302’杂交选育而来,具有2个小类共同的表型特征。变异类型012-5是从品种‘红薯王’选育出来的,因而,在聚类图上这2个种质聚在一起,属于同一分支,说明二者具有较近的亲缘关系。

综上所述,供试的18个地黄种质间存在较大的表型变异;基于表型性状进行聚类分析可以确定地黄种质间的亲缘关系;在地黄的育种过程中可以对叶片

大小、冠幅、茎粗、块根大小等性状进行优选以提高地黄单株块根产量。

参考文献:

- [1] 刘 朵,章丹丹,卞 卡.地黄药理药化及配伍研究[J].时珍国医国药,2012,23(3):748-750.
- [2] 黄璐琦,李军德,李 哲,等.我国现代大中药产业链发展趋势及对策[J].中国科技投资,2010(5):67-69.
- [3] 张金鼎,曹鸿云.河南四大怀药[J].中药材,1987,10(3):55-56.
- [4] 路翠红,赵正伟,王天亮,等.地黄新品种金九(03-2)的选育及栽培要点[J].农业科技通讯,2012(10):164-165.
- [5] 李先恩,祁建军,周丽莉,等.地黄种质资源形态及生物学性状的观察与比较[J].植物遗传资源学报,2007,8(1):95-98.
- [6] 李建军,范喜梅,孙 华,等.怀地黄6个主流品种产量相关性及其相关分析[J].河南农业科学,2007(9):86-88,96.
- [7] 李先恩,祁建军,周丽莉,等.地黄种质资源生物性状的比较研究[J].中国中药杂志,2008,33(18):2033-2036.
- [8] LI J J, WANG Y, JIA G L, et al. A comparison of leaf morphological characters among different major cultivars of *Rehmannia glutinosa* Libosch[J]. Medicinal Plant, 2012, 3: 1-6.
- [9] 邵清松,郭巧生,李育川,等.药用菊花种质资源形态变异的数量分析[J].中国中药杂志,2011,36(10):1261-1265.
- [10] 黄玉仙,王丰青,杜家方,等.薯蓣属植物种质资源形态变异的数量分析[J].中国中药杂志,2013,38(3):318-324.
- [11] 周延清,景建洲,李振勇,等.利用RAPD和ISSR分子标记分析地黄种质遗传多样性[J].遗传,2004,26(6):922-928.
- [12] 赵孟良,韩 睿,李 莉.24个菊芋品种(系)遗传多样性的ISSR标记分析[J].植物资源与环境学报,2013,22(4):44-49.
- [13] 温学森,霍德兰,杨世林,等.地黄优良品种“85-5”脱毒苗的快速繁殖研究[J].中草药,2002,33(5):452-455.
- [14] 董诚明,李增光,李汉伟.河南地黄栽培品种调查与品质评价研究[C]//中国药学会中药与天然药物专业委员会.第10届全国中药和天然药物学术研讨会论文集.洛阳:[出版者不详],2009.
- [15] 吴志刚,王 敏,黄璐琦,等.地黄不同品种遗传关系的RAPD分析[J].中国中药杂志,2007,32(18):1865-1869.
- [16] 周春娥,谷凤平,周延清.基于SRAP分析怀地黄种质的遗传多样性[J].贵州农业科学,2012,40(2):4-7.

(责任编辑:佟金凤)