

假木豆属种质资源植物学性状遗传多样性分析

袁秉琛¹, 王燕茹², 孙郁婷¹, 李承臻¹, 虞道耿^{3*}

1. 海南大学热带作物学院, 海南海口 570228; 2. 海南大学林学院, 海南海口 570228; 3. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101

摘要: 假木豆 (*Dendrolobium triangulare*) 为多年生灌木, 假木豆叶量大、产量高, 营养价值高, 是优良的高蛋白青饲料。目前仅有山蚂蝗亚族之间的遗传多样性研究, 假木豆属的形态学遗传多样性的分析研究比较匮乏, 缺少大范围的种质形态学遗传多样性研究。对优质育种资源植物学性状综合评价是育种的前提。为了培育优质豆科牧草品种, 满足南方畜牧生产需求, 本研究采用随机区组设计, 研究材料为 76 份假木豆属种质资源, 对 35 个植物学性状进行观测, 分析假木豆属的遗传多样性特点, 为假木豆选育工作提供基础材料。通过形态学观测分析研究其遗传多样性, 结果表明: 35 个植物学性状中叶背面毛况 ($CV=46.92\%$), 茎的颜色 ($CV=39.77\%$) 和叶柄毛况 ($CV=39.52\%$) 变异系数 (CV) 最大, 说明假木豆属遗传多样性较为丰富; 多个植物学性状之间存在相关性, 叶长与叶宽 ($r=0.887$) 之间存在极显著正相关, 长宽比在 2.0 左右, 叶形比较接近椭圆形。茎的形状与叶长 ($r=-0.459$)、叶宽 ($r=-0.491$) 存在相关性, 这表明如果假木豆产量以叶面积为主, 应尽量选择圆柱形的茎。中央小叶叶形与荚果长 ($r=0.360$) 存在极显著相关, 所以选育时选择倒卵圆形的叶, 可以提高种子产量。叶背面毛况与叶柄毛况 ($r=0.462$)、荚果毛况 ($r=0.589$) 存在极显著相关, 说明同一植株毛被状况具有较高的关联性, 可进行筛选整株毛被较少的资源。通过聚类分析与系统评价筛选出 4 份高产优质资源 (070314022 假木豆、GX121121004 假木豆、050218087 假木豆、050307492 假木豆)。本研究探究了假木豆属种间的植物学性状遗传多样性的特点, 可为后续的育种工作提供基础材料。

关键词: 假木豆; 植物学性状; 遗传多样性

中图分类号: S541.9 文献标识码: A

Analysis of Genetic Diversity of *Desmodium* Desv. Based on Botanical Characters

YUAN Bingchen¹, WANG Yanru², SUN Yuting¹, LI Chengzhen¹, YU Daogeng^{3*}

1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. College of Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 3. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: In order to meet the demand for high-quality leguminous forage varieties in southern livestock production, comprehensive evaluation of the botanical characters of high-quality breeding resources is the premise of breeding. *Dendrolobium triangulare* is a perennial shrub with large leaves, high yield and high nutritional value. It is an excellent high-protein green feed. At present, there are only studies on the genetic diversity among the subgroups of the locust, and the analysis and research on the morphological genetic diversity of the genus *Desmodium* Desv. are relatively scarce, and there is a lack of research on the morphological genetic diversity of germplasm in a large range. In this experiment, a random block design was adopted, and the research materials were 76 germplasm resources of the genus *Desmodium* Desv. 35 botanical traits were observed, and the genetic diversity characteristics of *Desmodium* Desv spp. were analyzed for future breeding work of *Desmodium* Desv. Provide basic materials. The genetic diversity was studied by morpho-

收稿日期 2022-04-24; 修回日期 2022-06-26

基金项目 海南省农业农村厅物种资源保护项目“海南饲用豆科植物资源保护”(琼财农[2020]829号)。

作者简介 袁秉琛(1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 牧草资源收集与开发。*通信作者 (Corresponding author): 虞道耿 (YU Daogeng), E-mail: geng0209@126.com。

logical observational analysis. The 35 botanical traits, the hair condition on the back of the leaf ($CV=46.92\%$), the color of the stem ($CV=39.77\%$) and the condition of the petiole hair ($CV=39.52\%$) had the largest coefficients of variation, indicating that the false *D. triangulare* was rich in genetic diversity. There were correlations among several botanical characters, there was a very significant positive correlation between leaf length and leaf width ($r=0.887$), the aspect ratio was about 2.0, and the leaf shape was close to ellipse. There was a correlation between the shape of the stem and the length of the leaf ($r=-0.459$) and the width of the leaf ($r=-0.491$), indicating that if the yield of pseudo pigeon is mainly based on the leaf area, the cylindrical stem should be selected as much as possible. There was a very significant correlation between the leaf shape of the central leaflet and the length of the pod ($r=0.360$), so the selection of obovate leaves during breeding could improve the seed yield. There was a very significant correlation between the hair condition on the back of the leaf, the hair condition on the petiole ($r=0.462$) and the hair condition on the pod ($r=0.589$), indicating that the hair coat condition of the same plant has a high correlation, and the resources with less hair coat on the whole plant can be screened. Through cluster analysis and systematic evaluation, four germplasm resources were screened out (*D. triangulare* 070314022, *D. triangulare* GX121121004, *D. triangulare* 050218087, *D. triangulare* 050307492), and the germplasm resources had the characteristics of high yield and high quality. This experiment explored the characteristics of genetic diversity of botanical traits among the species of *D. triangulare*, which could provide basic materials for subsequent breeding work.

Keywords: *Desmodium* Desv.; botanical characters; genetic diversity

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.01.007

假木豆属 (*Dendrolobium* Desv.) 是一种多年生灌木或者小乔木, 全属共 14 种, 分布于亚洲热带地区, 我国共有 4 种, 产地分布于广东、海南、广西、贵州、云南、台湾等省 (区) [1]。研究表明假木豆的植物营养干物质为 39.18%, 粗蛋白含量为 17.22%~26.79% [2], 纤维含量适中, 具有较高的营养价值, 是一种非常具有潜力的饲用资源 [3]。除了作优良饲料以外, 假木豆中可以提取生物碱 [4]、偶氮化合物 [5]、黄酮等 [6], 具有良好细胞损伤保护性、消炎、灭菌等药用价值 [7]。此外假木豆有着丰富的根瘤菌资源还可以用作退化生态系统修复等作用 [8]。

植物遗传多样性分析在遗传资源保护、生物资源开发与可持续利用、探究物种进化史和未来演化等方面有着重要意义 [9]。遗传多样性主要通过遗传标记来反映, 而形态学标记是遗传标记广

泛使用的主要标记方法之一 [10], 其通过直接观测植物的性状来进行分类鉴定, 有着方便快捷、经济实惠等优点 [11]。目前仅有山蚂蝗亚族之间的遗传多样性研究 [12], 假木豆属的形态学遗传多样性的分析研究比较匮乏, 缺少大范围的种质形态学遗传多样性研究。为了探究假木豆属的种质资源分类, 本研究对 76 份假木豆属种质资源的 35 个表型性状进行观测, 分析假木豆属的遗传多样性特点, 为今后的假木豆选育工作提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的 76 份假木豆属种质 (包括假木豆和单节荚假木豆) 来源于中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所热带牧草中心, 供试材料基本信息详见表 1。

表 1 试验材料基本信息
Tab. 1 Basic information of test materials

编号 No.	种质 Germplasm	来源地 Origin	编号 No.	种质 Germplasm	来源地 Origin
1	101116006 假木豆	广西大新县	11	101113001 假木豆	广西龙州县上降乡
2	70303015 假木豆	云南省河口瑶族自治县	12	61129009 假木豆	海南乐东县郊区抱由
3	60305007 假木豆	海南省白沙天堂	13	101109028 假木豆	广西崇左市板利镇
4	41130093 假木豆	海南乐东县山荣乡来美村	14	60227005 假木豆	海南省大成县
5	GX11120302 假木豆	广西牧草工作站	15	80112003 假木豆	云南省保山市
6	41104055 假木豆	海南省白沙县胶厂门口	16	101119004 假木豆	广西大新县榄圩乡
7	61222077 假木豆	海南省陵水县黎安镇	17	60328016 假木豆	越南
8	70312018 假木豆	贵州省兴义市天生桥县永和镇	18	151121002 假木豆	贵州省兴义市南牌江镇
9	60402033 假木豆	云南省普洱市磨黑镇	19	61126009 假木豆	海南省白沙县白沙镇
10	70305002 假木豆	云南省麻栗坡	20	70312038 假木豆	广西隆林县旧州镇

续表 1 试验材料基本信息
Tab. 1 Basic information of test materials (continued)

编号 No.	种质 Germplasm	来源地 Origin	编号 No.	种质 Germplasm	来源地 Origin
21	70228017 假木豆	云南省元阳市	49	GX12112007B 假木豆	广西河池市都安县
22	60218011 假木豆	海南白沙邦溪镇	50	50227341 假木豆	云南勐海县
23	51210051 假木豆	海南省五指山市毛阳镇	51	170908026 假木豆	云南省普洱市勐海县
24	50217045 假木豆	云南省保山县潞江坝	52	101118008 假木豆	广西天等县都康乡
25	70313009 假木豆	广西田林县田丁镇	53	61127015 假木豆	海南省昌江县保平乡
26	70315019 假木豆	广西宜山县	54	101115008 假木豆	广西龙州县武德乡
27	41130037 单节荚假木豆	海南省昌江县叉河镇	55	70310026 假木豆	贵州省册亨县坡坡镇
28	60428026 单节荚假木豆	海南省屯昌县大同镇	56	80113055 假木豆	云南省泸水县六库镇
29	101115018 假木豆	广西龙州县水口镇	57	101117002 假木豆	广西大新县硕龙镇
30	50217067 假木豆	云南省保山市曼海大桥	58	70314022 假木豆	云南省巴马瑶族自治县
31	41104061 假木豆	海南省白沙县高山村	59	GX121121004 假木豆	广西百色市田林县
32	41104074 假木豆	海南省白沙县元门乡	60	70313007 假木豆	广西田林县田丁镇
33	40822154 假木豆	海南省白沙县响水牧场	61	50309540 假木豆	广西靖西市湖润镇
34	151122013 假木豆	贵州省兴义市清水河开发区	62	101111002 假木豆	广西南明县下店镇
35	41130005 假木豆	海南省白沙县	63	51212098 假木豆	海南省东方市
36	041212001-1 假木豆	海南省乐东县千家镇	64	60227008 单节荚假木豆	海南省儋州市王五镇
37	GX101029003 假木豆	广西崇左市宁明县爱店镇	65	50307489 假木豆	广西隆林县
38	50307501 假木豆	广西田林县旧州镇	66	50218087 假木豆	云南省腾冲县清水乡
39	41130088 单节荚假木豆	海南省东方市	67	50307492 假木豆	广西田林县旧州镇
40	60120027 单节荚假木豆	海南省临高县	68	50215017 假木豆	云南省开远市丘北县明普镇
41	41130114 单节荚假木豆	海南省三亚市	69	41130038 假木豆	海南省昌江县叉河镇
42	60424007 单节荚假木豆	海南省乐东县千家镇	70	70312040 假木豆	广西隆林县旧州镇
43	041130319A 单节荚假木豆	广东省惠阳区新圩镇	71	61128012 单节荚假木豆	海南省东方市东方镇
44	40822155 单节荚假木豆	海南省昌江县	72	60310004 单节荚假木豆	海南省乐东县
45	60305031 假木豆	海南省白沙县细水牧场	73	41001007 假木豆	广西
46	70313007 假木豆	广西田林县田丁镇	74	50221156 假木豆	云南省龙陵县章风镇
47	141028056 假木豆	海南省昌江县	75	60406020 假木豆	广西百色市阳圩镇
48	80111039 假木豆	云南省保山县	76	20301007 假木豆	海南省儋州市雅星镇

1.2 方法

1.2.1 试验地基本情况 在中国热带农业科学院品种资源研究所试验基地 (109°57'E, 19°53'N, 海拔 121.87 m) 进行, 试验地为热带季风气候, 阳光与降水充沛^[13]。土壤为砖红土, pH 为 4.6 左右, 肥力较低。

1.2.2 表型性状调查与指标 2020 年 3 月 15 日进行播种育苗, 5 月 11 日将苗移栽至大田, 试验地采用随机区组设计, 每份假木豆材料种植 2 行, 12 株, 株距为 0.5 m, 行距 1 m, 植株生长成熟后随机抽取 5 株进行观测, 植物学性状的观测主要根据《热带牧草种质资源质量控制规范》^[14]测量并对质量性状进行赋值, 共 35 个植物学性状指标 (表 2), 其中, 中央小叶长、中央小叶宽、荚果

长、荚果宽为数量指标, 其余为质量指标。

1.3 数据处理

1.3.1 相关指标计算 将假木豆各指标观测的原始数据输入 Excel 软件进行汇总, 通过统计分析得到各表型性状的分布频率、最小值、最大值、极差、平均值、标准差及变异系数。遗传多样性指数由公式 $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$ 计算, 其中 P_i 是指性状的第 i 级所含材料份数占总材料份数的百分比, \ln 为自然对数。使用统计软件 SPSS 26.0 对数据进行 Pearson 相关性分析^[15]。

1.3.2 聚类分析 将 76 份假木豆的 35 个植物学性状指标数据标准化后采用 SPSS 26.0 统计分析软件进行系统聚类分析, 通过各指标间欧式距离进行聚类, 分析各物种间的相关性。

表 2 假木豆属种质植物学性状及其赋值
Tab. 2 Botanical characters and their assignment of *Desmodium* Desv.

性状 Trait	植物学性状及其赋值 Botanical character and its assignment
生活性	灌木 (2); 一年生草本 (4); 二年生草本 (5); 多年生草本 (6)
茎的生长习性	直立 (1); 斜升 (2); 平卧 (4); 匍匐 (5); 其他 (X)
茎的形状	圆柱状 (1); 椭圆柱状 (2)
茎的颜色	灰 (2); 浅绿 (10); 绿 (11); 深绿 (12); 浅紫 (16); 紫 (17); 棕 (19); 红褐 (20); 褐 (21); 深褐 (22)
茎的毛况	无 (0); 稀 (1); 密 (2)
茎毛类型	短柔毛 (5); 茸毛 (6); 疏柔毛 (10); 硬毛 (13); 刚毛 (14)
叶的类型	单叶 (1); 羽状三出复叶 (6); 掌状三出复叶 (7)
中央小叶脉序	羽状脉 (1); 掌状脉 (3)
中央小叶叶形	椭圆形 (4); 阔椭圆形 (5); 卵圆形 (6); 倒卵圆形 (7); 阔卵圆形 (8)
叶色	浅绿 (10); 绿 (11); 深绿 (12)
叶尖	锐尖 (1); 渐尖 (2); 钝形 (3); 凸尖 (4)
叶基	心形 (1); 圆形 (3); 楔形 (4); 偏斜 (5)
叶缘	全缘 (1); 波状 (2); 锯齿状 (4)
叶片腹毛况	无 (0); 稀 (1); 密 (2)
叶腹面毛被类型	短柔毛 (5); 茸毛 (6); 疏柔毛 (10); 硬毛 (13)
叶背面毛况	无 (0); 稀 (1); 密 (2)
叶背面毛被类型	短柔毛 (5); 茸毛 (6); 疏柔毛 (10); 硬毛 (13)
叶柄毛况	无 (0); 稀 (1); 密 (2)
托叶	退化 (0); 脱落 (1); 宿存 (2)
托叶形状	针形 (1); 线形 (2); 披针形 (3)
托叶质地	膜质 (2); 草质 (3); 纸质 (4); 其他 (X)
花序类型	总状花序 (1); 圆锥花序 (4)
花序着生部位	顶生 (1); 腋生 (2); 顶生+腋生 (3)
花萼形状	筒形 (1); 漏斗形 (2); 钟状 (3); 辐射 (6); 其他 (X)
旗瓣颜色	白 (1); 浅黄 (2);
旗瓣形状	扁圆形 (4); 椭圆形 (5); 阔椭圆形 (7); 阔卵圆形 (10)
荚果形状	椭圆形 (2); 长椭圆形 (3); 扁棱形 (8); 弓形 (9); 念珠形 (10); 条形 (13); 带形 (14)
荚果颜色	灰 (2); 浅绿 (10); 棕 (19); 红褐 (20); 褐 (21); 深褐 (22)
荚果毛况	无 (0); 稀 (1); 密 (2)
荚果毛被类型	短柔毛 (5); 茸毛 (6); 疏柔毛 (10); 硬毛 (13)
裂荚性	不裂 (1); 易裂 (2); 自裂 (3)

2 结果与分析

2.1 假木豆种质植物学性状的变异与规律

由表 3 可知, 观测的 35 个假木豆属资源质量性状指标中, 茎的颜色, 荚果颜色遗传多样性指数均大于 1, 其中茎的颜色遗传多样性指数是所有性状中最高的, 为 1.71; 而生活型、叶的类型、中央小叶脉序、叶缘、叶腹面毛被类型、托叶、托叶形状、托叶质地、花序类型、花序着生部位、花萼形状、荚果毛况类型、裂荚性共 13 个性状的遗传多样性指数均为 0。

在假木豆茎的颜色性状分布频率中, 最高是红褐色分布频率为 39%, 最小是绿色、褐色、深褐色 3 种颜色分布频率均为 3%; 荚果的性状分布频率中, 最高是红褐色和深褐色, 分布频率均为 33%, 最低是棕色, 分布频率为 5%。

2.2 假木豆属种质资源植物学性状变异性分析

对 76 份假木豆属材料的 35 个植物学性状调查表明 (表 4), 供试材料的植物学性状变异系数最大的是叶柄毛况 (68.93%), 其次是叶背面毛况 (46.92%) 和茎的颜色 (39.77%); 生活型、茎毛类型、叶的类型、中央小叶脉序、叶缘、叶腹面毛被类型、托叶、托叶类型、托叶质地、花序类型、花序着生部位、雄蕊类型、雌蕊类型、荚果毛况类型、裂荚性等植物学性状无变异情况, 说明假木豆这部分性状保持稳定, 而其余部分性状遗传多样性较为丰富。在所测指标中, 茎的相关指标有 5 个, 变异系数的平均值为 26.97%; 叶相关的指标有 17 个, 变异系数的平均值为 16.67%; 花的相关指标有 5 个, 变异系数平均值为 8.09%; 荚果的相关指标有 7 个变异系数平均值为 18.62%。通过 LSD

表 3 假木豆属种质资源质量性状频率
Tab. 3 Frequency distribution of quality traits of *Dendrolobium* Desv.

性状 Character	频率分布 Frequency distribution/%															遗传多样 性指数 Bioversity index
	0	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12	19	20	21	22	
生活性			100													0.00
茎的生长习性		13	78	9												0.68
茎的形状		55	45													0.69
茎的颜色			11						12	3	17	13	39	3	3	1.71
茎的毛况	88	9	3													0.43
茎毛类型	88						12									0.36
叶的类型								100								0.00
中央小叶脉序		100														0.00
中央小叶叶形					25	5		70								0.75
叶色									8	53	39					0.91
叶尖		61	39													0.67
叶基				74	26											0.58
叶缘		100														0.00
叶片腹毛况	95	3	3													0.24
叶腹面毛被类型								100								0.00
叶背面毛况	9	43	47													0.94
叶背面毛被类型						3	97									0.03
叶柄毛况		32	3	66												0.73
托叶			100													0.00
托叶形状				100												0.00
托叶质地				100												0.00
花序类型								100								0.00
花序着生部位			100													0.00
花萼形状				100												0.00
旗瓣颜色		86	14													0.41
旗瓣形状						13		87								0.12
荚果形状			4	11					86							0.50
荚果颜色			8									5	33	21	33	1.41
荚果毛况		13		87												0.39
荚果毛被类型								100								0.00
裂荚性		100							100							0.00

多重比较茎、叶、花、荚果的变异系数平均值(表 5),结果显示茎、叶与花的之间存在显著差异,说明假木豆遗传多样性来源分布并不均匀。在所观测指标中叶的背面毛况、茎的颜色、叶柄毛况、叶尖、茎的毛况这 5 个性状变异系数较大,说明这些指标在假木豆的遗传多样性中起着关键作用。

2.3 假木豆属种质资源植物学性状的相关性分析

对假木豆标准差不为 0 的植物学性状进行相关性分析(表 6),结果显示有多组性状之间存在

显著相关,表明假木豆各性状之间存在关联性。茎的形状与旗瓣形状、旗瓣颜色、荚果形状、荚果毛况、叶长度、叶宽度存在相关性,相关系数分别为-0.276、0.307、-0.258、-0.276、-0.459、-0.491,说明假木豆属茎与叶、花、荚果等部分存在关联,可以通过茎的形状预测假木豆叶、花、荚果相关的指标。中央小叶叶形与叶背面毛况、叶长度、叶宽度、旗瓣形状、旗瓣颜色、荚果形状、荚果长、荚果宽呈极显著相关,相关系数分别为 0.522、0.375、0.507、0.635、-0.586、0.634、

表 4 试验材料各性状变异情况
Tab. 4 Variation of various characters of test materials

指标 Index	极小值 Min	极大值 Max	极差 Extreme value	均值 Mean	标准误 SE	标准差 SD	变异系数 CV/%
生活性	2.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
茎的生长习性	1.00	3.00	2.00	1.96	0.05	0.47	24.04
茎的形状	1.00	2.00	1.00	1.45	0.06	0.50	34.35
茎的颜色	2.00	22.00	20.00	15.26	0.70	6.07	39.77
茎的毛况	0.00	2.00	2.00	1.14	0.05	0.42	36.69
茎毛类型	6.00	6.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00
叶的类型	6.00	6.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00
中央小叶脉序	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
中央小叶叶形	1.00	6.00	5.00	6.14	0.15	1.31	21.40
叶色	10.00	12.00	2.00	11.32	0.07	0.61	5.40
叶尖	1.00	2.00	1.00	1.39	0.06	0.49	35.05
叶基	3.00	4.00	1.00	3.26	0.05	0.44	13.49
叶缘	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
叶片腹毛况	0.00	2.00	2.00	1.08	0.04	0.35	32.81
叶腹面毛被类型	6.00	6.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00
叶背面毛况	0.00	2.00	2.00	1.38	0.07	0.65	46.92
叶背面毛被类型	6.00	6.00	0.00	5.97	0.02	0.17	2.81
叶柄毛况	0.00	2.00	2.00	1.34	0.11	0.93	68.96
托叶	2.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
托叶形状	3.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00
托叶质地	3.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00
花序类型	1.00	7.00	6.00	7.00	0.00	0.00	0.00
花序着生部位	2.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
花萼形状	3.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00
旗瓣颜色	1.00	2.00	1.00	1.16	0.04	0.35	30.39
旗瓣形状	5.00	7.00	2.00	6.74	0.08	0.68	10.04
荚果形状	2.00	10.00	8.00	8.95	0.28	2.44	27.25
荚果颜色	2.00	22.00	20.00	19.39	0.59	5.18	26.69
荚果毛况	1.00	3.00	2.00	2.74	0.08	0.68	24.70
荚果毛被类型	6.00	6.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00
裂荚性	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
叶长度	31.40	149.20	117.80	63.55	2.08	18.16	28.58
叶宽度	11.80	49.40	37.60	31.04	0.99	8.67	27.92
荚果长度	6.00	25.60	19.60	12.26	0.33	2.91	23.72
荚果宽度	2.80	7.00	4.20	3.61	0.12	1.01	28.00

0.360、-0.585，与叶柄毛况呈显著相关，相关系数为 0.251，说明同一植物叶的各项指标相关性较高，并且可以根据叶的形态预测假木豆旗瓣和荚果相关指标。叶背面毛况与叶柄毛况、荚果毛况

呈极显著相关，相关系数分别为 0.462、0.589，说明同一植物不同组织结构毛被状况有着较高的相似度。旗瓣颜色与旗瓣形状、荚果形状呈极显著相关，相关系数分别为-0.894、-0.945，说明假

表 5 假木豆属茎、叶、花、荚果的 LSD 多重比较
Tab. 5 LSD multiple comparison of stems, leaves, flowers and pods of *Desmodium* Desv.

性状 Trait	平均值差值 Mean difference	标准误 SE	P 值 P value	95% 置信区间 95% confidence interval		
				下限 Lower limit	上限 Upper limit	
茎	叶	0.06051	0.05954	0.339	-0.0768	0.1978
	花	0.20120*	0.05954	0.010	0.0639	0.3385
	荚果	0.11096	0.05954	0.099	-0.0263	0.2483
叶	茎	-0.06051	0.05954	0.339	-0.1978	0.0768
	花	0.14069*	0.05954	0.046	0.0034	0.2780
	荚果	0.05045	0.05954	0.421	-0.0869	0.1877
花	茎	-0.20120*	0.05954	0.010	-0.3385	-0.0639
	叶	-0.14069*	0.05954	0.046	-0.2780	-0.0034
	荚果	-0.09025	0.05954	0.168	-0.2276	0.0471
荚果	茎	-0.11096	0.05954	0.099	-0.2483	0.0263
	叶	-0.05045	0.05954	0.421	-0.1877	0.0869
	花	0.09025	0.05954	0.168	-0.0471	0.2276

注: *表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: * means significant difference ($P < 0.05$).

木豆属资源不同种之间旗瓣与荚果存在明显差异。叶长度与叶宽度呈极显著相关, 相关系数为 0.887, 说明叶宽随着叶长增大。荚果长度与荚果宽度呈极显著相关, 相关系数为 -0.542, 说明假木豆荚果宽度随着荚果长度的增大而缩小。

2.4 假木豆属种质植物学性状的系统聚类分析

对假木豆 20 个标准差不为 0 的性状指标标准化后进行系统聚类分析, 得到其聚类图 (图 1)。

由聚类结果的欧式距离进行遗传距离判断, 并分析这些假木豆种质资源的亲缘关系。结果表明, 供试材料的遗传距离范围为 0.666~11.378, 说明 76 份假木豆材料种质资源具有较为丰富的遗传多样性。在遗传距离方面, 假木豆 49 和单节假木豆 71 之间的欧式距离为 11.378, 是所有假木豆材料中最大的, 说明二者亲缘关系比较远; 假木豆 61 和假木豆 62 之间的欧式距离为 0.666, 是所有假木豆材料中最小的, 说明二者亲缘关系比较近。

根据聚类图, 当欧氏距离为 14 时, 可以将 76 份假木豆材料聚成 5 大类, 第一大类共有 60 份假木豆材料, 分别为 61、62、32、35、73、14、17、75、76、45、69、74、68、70、65、66、57、60、58、59、52、53、5、31、67、7、36、12、30、38、18、19、13、6、24、26、34、29、20、22、15、16、9、21、25、11、4、23、3、10、47、

8、51、46、54、63、33、48、1、2; 第二大类共有 5 份假木豆材料, 分别为 49、55、50、37、56; 第三大类共 1 份假木豆材料 (56); 第四大类共有 10 份单节假木豆材料, 分别为 71、72、43、44、39、28、42、41、40、27; 为第五大类共有 1 份假木豆材料 (64)。根据以上的聚类结果, 可以完全将假木豆和单节假木豆区分开, 单节假木豆聚在一起, 说明这些材料关系比较近, 而假木豆材料有 4 个分类, 说明假木豆的种内变异波动较大。

3 讨论

当前国内牧草产业发展潜力巨大, 而南方热区主要豆科牧草品种单一, 不利于畜牧业健康发展, 迫切需要培育牧草新品种, 假木豆是优质豆科牧草材料之一, 进行遗传多样性分析, 有助于新品种的选育^[16-18]。植物学性状是物种的本身遗传物质的外在表现, 在牧草的遗传多样性分析方面有着广泛应用。通过多种植物学性状评价牧草的品质是一种有效可行的方式^[19]。研究表明, 木本植物有着较高的蛋白质含量和多种微量元素, 但本身又具有茎叶被毛、有尖叶及质地硬等多种抗营养因子, 导致家畜的采食量降低^[2, 20]。有研究表明, 牧草生长时间会影响牧草的品质, 同时牧草产量和植株高度、茎叶的相关指标密切相关^[21]; 因此, 在选择育种材料时应选择株高较高、叶形

表 6 假木豆属各性状间的相关系数
Tab. 6 Correlation coefficients of *Desmodium* Desv. among traits

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	
X ₁	1																				
X ₂	0.019	1																			
X ₃	-0.153	0.175	1																		
X ₄	0.095	0.068	0.140	1																	
X ₅	0.137	-0.300**	-0.165	0.176	1																
X ₆	-0.002	0.271*	0.027	0.078	-0.188	1															
X ₇	0.125	0.085	0.138	0.042	0.013	-0.197	1														
X ₈	0.113	0.123	0.171	-0.135	0.025	-0.015	0.251*	1													
X ₉	0.413**	0.024	-0.181	-0.077	0.145	-0.115	-0.180	0.036	1												
X ₁₀	0.179	-0.121	-0.022	0.184	0.522**	-0.138	0.106	0.063	0.213	1											
X ₁₁	0.152	0.125	0.106	0.245*	0.251*	0.042	0.225	0.425**	0.159	0.462**	1										
X ₁₂	-0.204	0.307**	0.081	-0.142	-0.586**	0.277*	-0.179	-0.161	-0.092	-0.531**	-0.435**	1									
X ₁₃	0.204	-0.232*	-0.081	-0.036	0.586**	-0.216	0.179	0.246*	0.092	0.531**	0.435**	-0.894**	1								
X ₁₄	0.231*	-0.258*	-0.059	0.134	0.634**	-0.232*	0.237*	0.232*	0.087	0.587**	0.470**	-0.945**	0.945**	1							
X ₁₅	-0.015	0.131	0.035	-0.220	-0.225	0.048	-0.140	0.208	0.019	-0.072	0.128	0.164	-0.019	-0.148	1						
X ₁₆	0.215	-0.276*	-0.054	0.134	0.635**	-0.245*	0.235*	0.233*	0.087	0.589**	0.480**	-0.946**	0.946**	0.998**	-0.151	1					
X ₁₇	0.107	-0.459**	-0.230*	-0.054	0.375**	-0.166	0.086	0.114	-0.072	0.278*	0.065	-0.498**	0.533*	0.522**	0.007	0.522**	1				
X ₁₈	0.197	-0.491**	-0.210	-0.028	0.507**	-0.252*	0.142	0.180	0.074	0.402**	0.277*	-0.677**	0.710**	0.701**	-0.035	0.701**	0.887**	1			
X ₁₉	-0.029	0.013	0.246*	0.032	0.360**	-0.080	0.304**	0.109	-0.073	0.319**	0.382**	-0.487**	0.453**	0.519**	-0.168	0.522**	0.185	0.288*	1		
X ₂₀	-0.275*	0.161	0.097	-0.085	-0.585**	0.287*	-0.324**	-0.309**	-0.084	-0.549**	-0.494**	0.830**	-0.837**	-0.892**	0.124	-0.888**	-0.497**	-0.669**	-0.542**	1	

注：X₁ 茎的生长习性；X₂ 茎的形状；X₃ 茎的颜色；X₄ 茎的毛况；X₅ 中央小叶叶形；X₆ 叶色；X₇ 叶尖；X₈ 叶基；X₉ 叶片腹毛况；X₁₀ 叶背面毛况；X₁₁ 叶柄毛况；X₁₂ 旗瓣颜色；X₁₃ 旗瓣形状；X₁₄ 荚果形状；X₁₅ 荚果颜色；X₁₆ 荚果毛况；X₁₇ 叶长度；X₁₈ 叶宽度；X₁₉ 荚果长度；X₂₀ 荚果宽度。表示显著相关 ($P < 0.05$)，**表示极显著相关 ($P < 0.01$)。
 Note: X₁ means growth habits of stems; X₂ means shape of stems; X₃ means color of stems; X₄ means hair condition of stem; X₅ means shape of leaf; X₆ means color of leaves; X₇ means leaf tip; X₈ means leaf base; X₉ means state of leaf; X₁₀ means state of leaf adjective; X₁₁ means hair condition; X₁₂ means color of flower; X₁₃ means shape of flower; X₁₄ means shape of pod; X₁₅ means color of pod; X₁₆ means state of pod; X₁₇ means length of pod; X₁₈ means width of central lobe; X₁₉ means length of central lobe; X₂₀ means width of pod. * indicates significant correlation ($P < 0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$).

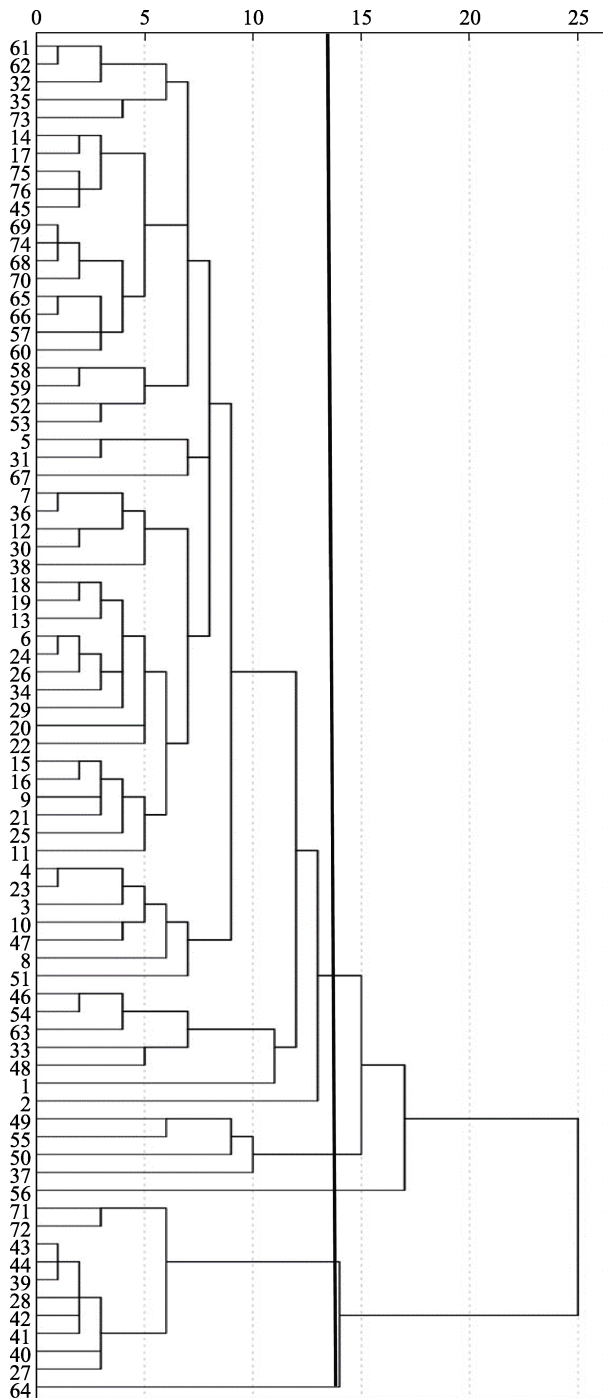


图 1 假木豆属植物学性状聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of *Desmodium* Desv. based on morphological data

大作为目标材料,让候选材料具有高产特征;同时也要注意叶尖无或小、质地较软、茎叶毛况较少或者无的材料,使材料具有适口性好的特征。

本研究的 76 份假木豆植物学性状中,植物学特性变异系数最大的是叶柄毛况(68.93%),其次是叶背面毛况(46.92%)和茎的颜色(39.77%),说明这几个性状在假木豆遗传过程中变异情况较

大,是区分材料的重要指标。而变异系数小于 20% 的有叶基(13.49%)、旗瓣形状(10.04%)、叶色(5.4%)、叶背面毛类型(2.81%)共 4 种性状,其他植物学性状中叶柄毛况的变异系数最高,为 68.96%,与刘苗苗等^[22]关于山蚂蝗属的分析结果相似,说明山蚂蝗亚族之间变异性具有一些相似性。假木豆的植物学性状之间有多个存在相关性,叶长与叶宽之间呈极显著正相关,相关系数为 0.887,长宽比约 2.0,叶形比较接近椭圆形。茎的形状与叶长度、叶宽度存在相关性,相关系数为-0.459、-0.491,这表明如果假木豆产量以叶面积为主,应尽量选择圆柱形的茎。中央小叶叶形与荚果长度呈极显著相关,相关系数为 0.360,所以选育时选择倒卵圆形的叶,可以提高种子产量。叶背面毛况与叶柄毛况、荚果毛况呈极显著相关,相关系数分布为 0.462、0.589,说明同一植株毛被状况具有较高的关联性,可进行筛选整株毛被较少的资源。通过聚类分析与系统评价为筛选合适的假木豆种质资源奠定基础,结果显示第一类中 070314022 假木豆、GX121121004 假木豆、050218087 假木豆、050307492 假木豆具有叶形大、叶尖小、茎叶毛况少或无等共同特点,是假木豆育种工作下一步的重点关注对象。

近年来,分子标记技术在遗传多样性研究中广泛应用,有着显著的技术优势^[23-26],但是受到种群和基因型数量的限制,在当前无法取代测量简单的植物学性状分析。本研究或可为接下来的分子标记工作提供基础,缩小材料选择范围,为育种工作提供一定的参考。

参考文献

- [1] 张前军,杨小生,朱海燕,郝小江.假木豆脂溶性成分研究[J].贵州大学学报(自然科学版),2006(3):270-271.
ZHANG Q J, YANG X S, ZHU H Y, HAO X J. Liposoluble constituents from *Dendrolobium triangulare* (Retz.) Schindl[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science Edition), 2006(3): 270-271. (in Chinese)
- [2] 字学娟,李茂,周汉林,易克贤.4种热带灌木饲用价值研究[J].西南农业学报,2011,24(4):1450-1454.
ZI X J, LI M, ZHOU H L, YI K X. Study on feeding values of four tropical shrub legumes[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011(4): 1450-1454. (in Chinese)
- [3] 刘国道,罗丽娟,白昌军,王东劲,郑学勤.海南豆科饲用植物资源及营养价值评价[J].草地学报,2006(3):254-260.

- LIU G D, LUO L J, BAI C J, ANG D J, ZHENG X Q. A survey of Hainan island forage legume resources and assessment of their nutritional values[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2006(3): 254-260. (in Chinese)
- [4] 张前军, 连钱草、假木豆化学成分及其抗菌活性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2006.
- ZHANG Q J. Study on the chemical constituents and anti-bacterial activity of *Glechoma longituba* (Nakai) Kupr and *Dendrolobium triangulare*[D]. Guiyang: Guizhou University, 2006. (in Chinese)
- [5] 张前军, 杨小生, 朱海燕, 孙黔云, 郝小江. 假木豆中一新偶氮化合物[J]. *药学报*, 2009, 44(9): 1009-1013.
- ZHANG Q J, YANG X S, ZHU H Y, SUN Q Y, HAO X J. A novel azo-type compound from *Dendrolobium triangulare*[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2009, 44(9): 1009-1013. (in Chinese)
- [6] KANOKMEDHAKUL S, KANOKMEDHAKUL K, NAMBUDEE K. New bioactive prenylflavonoids and dibenzocycloheptene derivative from roots of *Dendrolobium lanceolatum*[J]. *Journal of Natural Products*, 2004, 67(6): 968-972.
- [7] 姚平, 杨翼菲, 夏星, 林国彪. 假木豆对 CCl₄ 致大鼠肝损伤的保护作用[J]. *中医药导报*, 2021, 27(7): 37-41.
- YAO P, YANG Y F, XIA X, LIN G B. Protective effect of *Dendrolobium triangulare* on CCl₄ induced liver injury in rats[J]. *Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2021, 27(7): 37-41. (in Chinese)
- [8] 吴涛, 姚红艳, 莫本田, 龙忠富, 罗充. 8 种豆科灌木栽培种丛枝菌根真菌种类及分布[J]. *草业科学*, 2016, 33(2): 210-218.
- WU T, YAO H Y, MO B T, LONG Z F, LUO C. The category and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of eight cultivated leguminous shrubs[J]. *Pratacultural Science*, 2016(2): 210-218. (in Chinese)
- [9] 侯向阳, 白乌云. 基于表型性状的羊草遗传多样性评价[J]. *草地学报*, 2022, 30(3): 631-636.
- HOU X Y, BAI W Y. Evaluation of genetic diversity of *Leymus chinensis* based on phenotypic traits[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(3): 631-636. (in Chinese)
- [10] MOHAMED A. EL-ESAWI. Genetic diversity and evolution of *Brassica* genetic resources: from morphology to novel genomic technologies—a review[J]. *Plant Genetic Resources*, 2016, 15(5): 388-399.
- [11] 苏伟敏, 靳雅惠, 杨妮, 王建. 植物形态学及 SSR 标记在药用植物遗传分析中的应用[J]. *河北农业科学*, 2016, 20(2): 48-50, 54.
- SU W M, JIN Y H, YANG N, WANG J. Application of plant morphological and SSR marker in genetic analysis of medicinal plant[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2016(2): 48-50, 54. (in Chinese)
- [12] HEIDER B, FISCHER E, BERNDL T, SCHULTZE-KRAFT R. Genetic relationships among accessions of four species of *Desmodium* and allied genera (*Dendrolobium triangulare*, *Desmodium gangeticum*, *Desmodium heterocarpon*, and *Tadehagi triquetrum*)[J]. *Tropical Conservation Science*, 2009, 2(1): 52-69.
- [13] 严琳玲, 张瑜, 董荣书, 郇恒福, 刘国道, 刘一明. 基于植物学性状分析山蚂蝗属种质的遗传多样性[J]. *草地学报*, 2020, 28(3): 640-651.
- YAN L L, ZHANG Y, DONG R S, HUAN H F, LIU G D, LIU Y M. Analysis of genetic diversity of *Desmodium* Des. based on botanical characters[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2020(3): 640-651. (in Chinese)
- [14] 白昌军, 刘国道. 热带牧草种质资源数据质量控制规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 245-247.
- BAI C J, LIU G D. Quality control of data collection of descriptors for tropical forage[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2007: 245-247. (in Chinese)
- [15] 王彤. 医学统计学与 SPSS 软件应用[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2008: 67.
- WANG T. Medical statistics and SPSS software application[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2008: 67. (in Chinese)
- [16] 金京波, 王台, 程佑发, 王雷, 张景昱, 景海春, 种康. 我国牧草育种现状与展望[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(6): 660-665.
- JIN J B, WANG T, CHENG Y F, WANG L, ZHANG J Y, JING H C, ZHONG K. Current situation and prospect of forage breeding in China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(6): 660-665. (in Chinese)
- [17] 郭婷, 薛彪, 白娟, 孙启忠. 刍议中国牧草产业发展现状——以苜蓿、燕麦为例[J]. *草业科学*, 2019, 36(5): 1466-1473.
- GUO T, XUE B, BAI J, SUN Q Z. Discussion of the present situation of China's forage grass industry development: an example using alfalfa and oats[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(5): 1466-1473. (in Chinese)
- [18] 王国刚, 王明利, 王济民, 杨春, 汪武静. 中国南方牧草产业发展基础、前景与建议[J]. *草业科学*, 2015, 32(12): 2114-2121.
- WANG G G, WANG M L, WANG J M, YANG C, WANG W J. Foundation prospects and suggestions for the development of the forage industry in southern China[J]. *Pratacultural Science*, 2015, 32(12): 2114-2121. (in Chinese)
- [19] KAMBASHI B, BOUDRY C, PICRON P, BINDELLE J. Forage plants as an alternative feed resource for sustainable pig production in the tropics: a review[J]. *Animal*, 2014, 8(8):

- 1298-1311.
- [20] SUN A, DENG H F, LI C J, JIANG G T, ZHANG X, LI J B. Comparative study of three warm-season forage varieties in southern China[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2019, 11(Z1): 119-121.
- [21] BUXTON D R. Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, 59(1): 37-49.
- [22] 刘苗苗, 严琳琳, 张瑜, 廖丽, 白昌军, 王志勇. 山蚂蝗属 (*Desmodium* Desv.) 种质资源形态多样性研究[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(10): 1897-1904.
- LIU M M, YAN L L, ZHANG Y, LIAO L, BAI C J, WANG Z Y. Morphological diversity of *Desmodium* Desv. [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2014(10): 1897-1904. (in Chinese)
- [23] GUO Q, LIU J, LI J K, CAO S, ZHANG Z J, ZHANG J T, ZHANG Y S, DENG Y P, NIU D S, SU L Z, LI X Y, DONG L, SUN Y, LI Y. Genetic diversity and core collection extraction of *Robinia pseudoacacia* L. germplasm resources based on phenotype physiology and genotyping markers[J]. *Industrial Crops and Products*, 2022, 178: 114627.
- [24] 李晓荣, 张中平, 孙永海, 善从锐, 包晓鹏, 赵鹏, 刘琨, 丁明亮. 西南麦区 96 份小麦育种材料重要农艺性状的遗传多样性分析[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(9): 2358-2368.
- LI X R, ZHANG Z P, SUN Y H, SHAN C R, BAO X P, ZHAO P, LIU K, DING M L. Genetic diversity of 96 wheat breeding materials in the southwest wheat region based on important agronomic traits[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021(9): 2358-2368. (in Chinese)
- [25] 李文略, 陈常理, 骆霞虹, 柳婷婷, 安霞, 金关荣, 朱关林. 浙江黄麻资源表型性状的遗传多样性分析[J]. *分子植物育种*, 2022(1): 50-55
- LI W L, CHEN C L, LUO X H, LIU T T, AN X, JIN G R, ZHU G L. Genetic diversity analysis of phenotypic characteristics of kenaf resources in Zhejiang province[J]. *Crops*, 2022(1): 50-55. (in Chinese)
- [26] 赵文杰, 徐薇, 张景龙, 程爽, 郑甲成, 刘言龙, 殷世霞, 李杰勤, 詹秋文. 甜高粱生物学性状与 SSR 分子标记遗传多样性[J]. *浙江农业学报*, 2019, 31(12): 1945-1954.
- ZHAO W J, XU W, ZHANG J L, CHENG S, ZHENG J C, LIU Y L, YIN S X, LI J Q, ZHAN Q W. Genetic diversity of sweet sorghum as revealed by biological characters and SSR markers[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2019, 31(12): 1945-1954. (in Chinese)